



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**  
La Universidad Católica de Loja

**ÁREA BIOLÓGICA**

TITULACIÓN EN INGENIERÍA QUÍMICA

**“Efecto del tamaño de grano, pH y tipo de colectores en la flotabilidad del mineral de Skarn Aurífero de los Condominios Norte y Sur, del yacimiento minero Nambija”**

TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

**AUTOR:**Valdivieso Torres, Daniel Ricardo

**DIRECTOR:**Sanmartín Gutiérrez, Víctor Aurelio, Mgs.

LOJA-ECUADOR

**2013**



*Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>*

2013

## CERTIFICACIÓN

MGS.

Víctor Aurelio Sanmartín Gutiérrez

DIRECTORA DEL TRABAJO DE FIN DE TITULACIÓN

C E R T I F I C A:

Que el presente trabajo, denominado: "Efecto del tamaño de grano, pH y tipo de colectores en la flotabilidad del mineral de Skarn Aurífero de los Condominios Norte y Sur, del yacimiento minero Nambija" realizado por el profesional en formación: Daniel Ricardo Valdivieso Torres; cumple con los requisitos establecidos en las normas generales para la Graduación en la Universidad Técnica Particular de Loja, tanto en el aspecto de forma como de contenido, por lo cual me permito autorizar su presentación para los fines pertinentes.

Loja, Agosto 2013

f) \_\_\_\_\_

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

“Yo, Daniel Ricardo Valdivieso Torres declaro ser autor del presente trabajo y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 67 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado que se realicen a través o con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”.

f) \_\_\_\_\_

Autor: Daniel Ricardo Valdivieso Torres

Cedula: 1104267883

## DEDICATORIA

Para mis padres Gonzalo y Elena por su apoyo, consejos, comprensión, amor, socorren los momentos difíciles. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, para conseguir mis objetivos.

A mis hermanos por estar siempre presentes, acompañándome para poderme realizar.

## **AGRADECIMIENTO**

A mis padres por ser el pilar primordial en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente sostenido a través del tiempo.

A Mis abuelos Gonzalo y Lucía, por quererme y apoyarme siempre.

Mis hermanos, Gonzalo, Gabriela y Andrea por estar conmigo y apoyarme siempre, los quiero mucho.

A Mi Tío Iván, por su apoyo y cariño, en todos mis estudios.

A todos mis amigos, por compartir los buenos y malos momentos.

Finalmente al Ing. Víctor Sanmartín por su guía para la elaboración del presente trabajo, por su tiempo, consejos y charlas amenas.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARATULA.....	i
CERTIFICACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
1. RESUMEN EJECUTIVO.....	1
2. ABSTRACT.....	2
3. INTRODUCCIÓN.....	3
3.1 Justificación y fin del proyecto.....	3
<b>3.2 Objetivos de la Tesis.</b> .....	4
3.3 Hipótesis.....	4
4. MARCO TEÓRICO.....	5
4. 1 Muestras de Estudio.....	5
4. 1. 1 Ubicación.....	5
<b>4.1.2 Características.</b> .....	5
4. 2 Flotación.....	7
4. 3 Flotación de Oro.....	7
4. 4 Efecto del Tamaño de Partícula.....	8
4. 5 Efecto del pH.....	9
4. 6 Reactivos de Flotación.....	9
4.6.1 Selección del Colector.....	9
4.6.2 Uso de Modificadores.....	13
4.6.3 Selección del Espumante.....	13
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
5. 1 Metodología.....	15
5. 2 Diseño Experimental.....	16
5. 3 Flotación.....	17
5.3.1 Equipos.....	17
5.3.2 Procedimiento.....	18
5.3.3 Parámetros de Flotación.....	18
5.3.4 Reactivos.....	21

5.3.5 Preparación y Dosificación de Reactivos.....	22
<b>6. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....</b>	<b>30</b>
6.1 Primera Etapa Tamaño de Grano.....	30
6.2 Segunda Etapa pH.....	31
6.3 Tercera Etapa Diferentes Colectores.....	33
<b>7. CONCLUSIONES .....</b>	<b>35</b>
<b>8. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>36</b>
<b>9. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>37</b>
<b>10. ANEXOS .....</b>	<b>39</b>



## 1. RESUMEN EJECUTIVO

La minería artesanal del yacimiento Nambija en el Sur del Ecuador desecha relaves con leyes de oro de importancia económica que se derrochan por procedimientos inadecuados de explotación. Los relaves de las plantas artesanales fueron sometidos al proceso de flotación para recuperar el oro desechado; con el fin de mejorar las leyes o concentraciones de Oro, optimizando la tasa de recuperación del mineral Skarn de los Condominios Norte y Sur del distrito minero Nambija, determinando el tamaño de grano adecuado, variando el pH para establecer si la recuperación es mayor en un medio ácido, básico o neutro y finalmente encontrando el Colector que nos permita tener la tasa más alta de rendimiento. Los resultados fueron los siguientes: con tamaño de grano de 63µm, pH de 10.5, y utilizando como colector Aerofloat 25-31, el Condominio Norte obtuvo un porcentaje de recuperación final de 89.39% y con tamaño de grano de 75µm, pH de 10.5, y utilizando como colector Aerofloat 25-31, el Condominio Sur obtuvo un porcentaje de recuperación final de 95.16%.

**PALABRAS CLAVES:** Minería Artesanal, Nambija, Flotación, Relaves, Tamaño de Grano, pH, Colector.

## 2. ABSTRACT

The handcrafted mining industry of the deposit Nambija in the south of the Ecuador rejects re-wash with golden laws of economic importance that are wasted by inadequate procedures of exploitation. Re-wash them of the handcrafted plants they were submitted to the process of flotation to recover the rejected gold; in order to improve the laws or golden concentrations, optimizing the rate of recovery of the mineral Skarn of the Condominiums North and South of the mining district Nambija, determining the size of suitable grain, changing the pH to establish if the recovery is major in an acid, basic or neutral way and finally finding the Collector who allows us to have the highest rate of performance. The results were the following ones: with size of grain of 63um, pH of 10.5, and using as collector Aerofloat 25-31, the north condominium obtained a percentage of final recovery of 89.39 % and with size of grain of 75um, pH of 10.5, and using as collector Aerofloat 25-31, the south condominium obtained a percentage of final recovery of 95.16 %.

**KEYWORDS:** Handcrafted mining industry, Nambija, Flotation, Re-wash, Size of Grain, pH, Collector.

### 3. INTRODUCCIÓN

#### 3.1 Justificación y fin del proyecto.

En el Ecuador la industria Minera, es una de la fuentes de riquezas de mayor importancia dentro del aspecto económico-social. Dicha actividad se desarrolla de forma acelerada, gracias a la aparición de nuevas tecnologías y nuevas investigaciones, que son cada vez más diversificadas y acondicionadas a los procesos tradicionales, buscando que dichos procesos sean cada vez más rentables y con una mayor recuperación.

Uno de los procesos utilizados en la Minería es la flotación, utilizados en la recuperación de diversos minerales tanto como de cobre, plata y oro. La definición tradicional de flotación dice que es una técnica de concentración de minerales en húmedo, en la que se aprovechan las propiedades físico-químicas superficiales de las partículas para efectuar la selección. En otras palabras, se trata de un proceso de separación de materias de distinto origen que se efectúa desde sus pulpas acuosas por medio de burbujas de gas y a base de sus propiedades hidrofóbicas.

El desarrollo de nuevos parámetros que permitan un mayor control en los procesos de flotación es un exitoso beneficio para optimizar la recuperación y separación de minerales en el circuito de flotación. Estudios recientes han mostrado que existen relaciones entre condiciones de operación (pH, tamaño de grano y reactivos.) y el rendimiento de la flotación lo que ha despertado el interés para el desarrollo de nuevas tecnologías y desarrollo de los mismos para que permitan optimizar los procesos de flotación.

La minería en Nambija deja ver su decadencia, aquel brillo que cautivó en la década de los 80 está desvanecido. Nambija ya no es más esa prodigiosa beta de oro. La montaña desgarrada hoy solo es un mundo de condiciones extremas que pone a prueba la capacidad de supervivencia de sus trabajadores. Los procedimientos mineros consisten simplemente en una trituración, molienda (molino chileno), la concentración gravimétrica en canaleta y la amalgamación; técnicas ya caducas y que atentan ampliamente contra el medio ambiente y la salud de los trabajadores y habitantes del sector, con más de 25 años de explotación artesanal, sus espacios están sobresaturados de mercurio, usado para recuperar el oro de la amalgama; se desecha relaves con leyes de oro de importancia económica que se derrochan por procedimientos inadecuados de explotación. El presente trabajo pretende mejorar las leyes o concentraciones de Au, optimizando la tasa de recuperación del mismo por Flotación del mineral Skarn de los Condominios Norte y Sur del distrito minero Nambija,

realizando flotaciones en secuencia, establecidas en tres etapas para determinar en la primera etapa el tamaño de grano adecuado; después en una Segunda etapa se varió el pH para establecer si la recuperación es mayor en un medio ácido, básico o neutro y finalmente en la Tercera Etapa se probó diferentes colectores para encontrar aquel que permita tener la tasa más alta de rendimiento; mostrando en conclusión a la Flotación como un método alternativo, moderno, eficiente, que no afecta al medio ambiente, que podría reparar la vida del sector, una ilusión a la que todavía se aferran sus habitantes.

### **3.2 Objetivos de la Tesis.**

#### **General:**

- Mejorar la concentración de oro por Flotación del mineral Skarn de Nambija de los Condominios Norte y Sur.

#### **Específicos:**

- Determinar el tamaño de grano adecuado en la flotación del mineral Skarn de los Condominios Norte y Sur.
- Determinar el pH adecuado en la flotación del mineral Skarn de los Condominios Norte y Sur.
- Determinar el tipo de colector adecuado en la flotación del mineral Skarn de los Condominios Norte y Sur.

### **3.3 Hipótesis.**

Efecto del Tamaño de Grano, pH y Tipo de Colectores en la recuperación de oro por medio de Flotación, del mineral de Skarn aurífero de los Condominios Norte y Sur, del yacimiento minero Nambija.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1 Muestras de Estudio.

#### 4.1.1 Ubicación.

Las muestras para realizar los diferentes ensayos fueron recolectadas del Distrito minero Nambija, son los relaves de las plantas artesanales de beneficio de minerales de los Condominios Norte y Sur. El yacimiento de Nambija, es una mina aurífera en el caserío del mismo nombre, en Ecuador. Es el más grande y famoso yacimiento que la provincia de Zamora Chinchipe ha tenido. Se encuentra a 36 Km de la ciudad de Zamora, a 2600 msnm (**Ministerio Geología y Minas, 2000**)<sup>(1)</sup>.

#### 4.1.2 Características.

Es un yacimiento tipo Skarn de rocas metamórficas constituidas por calco-silicatos de Ca, Mg, Fe principalmente, específicamente es un Skarn de oro oxidado, caracterizado por la presencia de piroxeno, arsenopirita y pirrotita.

El término Skarn fue introducido por petrólogos metamórficos suecos para designar rocas metamórficas regionales o de contacto constituidas por silicatos de Ca, Mg y Fe derivados de un protolito de calizas y dolomitas en las cuales se ha introducido metasomáticamente grandes cantidades de Si, Al, Fe y Mg.

El distrito de Nambija se compone de diversos Condominios tales como Norte, Sur y Central. A escala regional, el distrito de Nambija está disecado por el borde oeste, N10°E a N20 °E por fallas de empuje espaciadas aproximadamente 10-30 km. El Skarn de Nambija ocurre dentro de los depósitos metamórficos Piuntza, rocas volcano-sedimentarias que se producen como techo colgantes en 170 Ma del batolito de Zamora (**Villares, 2011**)<sup>(2)</sup>.

Las concentraciones van desde 14 a 84 g / t de Au, con un promedio de 15-30 g / t de Au. Dado el tamaño de grano del oro y el funcionamiento artesanal, todo lo anterior las cifras de tonelaje y categoría deben considerarse con cautela. Se encuentra principalmente Oro en Nambija ocurre en vetas de cuarzo espacialmente asociado con Skarn con granate. Algunas de las vetas de cuarzo tienen granate deformado indicando contemporaneidad con la formación de Skarn. Las inclusiones fluidas en el cuarzo son simples dos fases de inclusiones. No hay minerales hijos, de manera que el total de la salinidad es <26. % peso de NaCl (**Evaluación de Distritos Mineros en el Ecuador, 2000**)<sup>(3)</sup>.

A continuación se detalla las características mineralógicas del Distrito Norte y Sur del yacimiento minero Nambija:

***Muestras del Condominio Norte:***

Peso específico: 3,29 g/cm<sup>3</sup>

Tamaño de grano: 109,35 mallas

Análisis Químico:

Ley (ppm):

Oro 0.680

Plata 0.976

Cobre 4.674

Hierro 5.004

Componentes: Pirita 40%, Calcopirita 10%, Horblenda 7%, Pirrotina 20% Minerales de Rx 27%.

Descripción general: La calcopirita tiene granos de 2 a 20 micras. La pirrotina va desde los 4 hasta las 23 micras. Como minerales de roca se describe a los piroxenos, epidota, cuarzo (**Sanmartín, 2012**)<sup>(4)</sup>.

***Muestras del Condominio Sur:***

Peso específico: 3,14 g/cm<sup>3</sup>

Tamaño de grano: 104, 34 mallas

Análisis Químico:

Ley (ppm):

Oro 1.398

Plata 1.320

Cobre 8.374

Hierro 7.684

Componentes: Pirita 40%, Calcopirita 10%, Horblenda 2%, Pirrotina 20% Minerales de Rx 24%, Galena 3%, Blenda 1%.

Descripción general: El tamaño de los granos de la calcopirita va desde las 2 micras a las 11 micras. Los granos de pirrotina van desde los 2 hasta las 18 micras. Los minerales de ganga en mayor porcentaje está formado por minerales de roca (feldespatos, carbonatos, epidota, cuarzo) (**Sanmartín, 2012**)<sup>(4)</sup>.

## 4. 2 Flotación.

La flotación es selectiva y está fundamentada en una propiedad particular, “la hidrofobicidad”, que puede ser natural de una superficie de un mineral o inducida por medio de la adsorción de sustancias Surfactantes. La flotación es un proceso complejo que implica estudios de fenómenos de hidrodinámica y fisicoquímica de superficies, además implica la interacción entre varios factores, entre los que se encuentran: la naturaleza química de los reactivos de flotación, componentes del equipo y componentes de operación(**Allan-Woodcock, 2001**)<sup>(5)</sup>.

El proceso de Flotación es utilizado para aislar un componente de valor de los minerales de ganga para producir un producto concentrado. Este proceso involucra pasar aire a través de una mezcla perfectamente agitada de agua y partículas finamente molidas. Varios reactivos son usados para favorecer la hidrofobicidad del componente de valor y favorecer así la adherencia a las burbujas de aire que son elevadas a la superficie de la celda de flotación y puedan así ser separadas del mineral de ganga (partículas hidrofílicas) las cuales permanecen en el fondo de la celda.

## 4. 3 Flotación de Oro.

La suma de los trabajos hechos (**Allan-Woodcock, 2001**)<sup>(5)</sup> sobre la flotación de oro, han sido realizados usando oro refinado de alta pureza y aleaciones de oro y plata, con el fin de determinar las interacciones oro-colector y la naturaleza de adsorción de los iones de colector en la superficie del oro). Además, algunos trabajos se ha realizado para determinar si el oro puro tiene o no hidrofobicidad natural y por lo tanto, un cierto grado de flotabilidad natural. Aunque algunos trabajos se han realizado sobre las partículas de oro recuperado de depósitos de placer (**Allan-Woodcock, 2001**)<sup>(5)</sup>, poca información aparece sobre trabajos realizados con partículas de oro seleccionadas de depósitos de beta, (**Allan-Woodcock, 2001**)<sup>(5)</sup> y la flotación de oro libre ha sido poco estudiada y los mecanismos de hidrofobización son poco conocidos.

La mineralogía de los minerales auríferos y de la ganga acompañante, el tipo de perfil de liberación de los minerales auríferos después de que la mena se somete a procesos de reducción de tamaño y el tamaño de las partículas de oro, constituyen los factores más importantes para determinar el mejor método de procesamiento de un mineral aurífero. (**Allan-Woodcock, 2001**)<sup>(5)</sup>.

La composición mineralógica de una mena es muy importante, cuando se considera su procesamiento por flotación espumante, tanto desde el punto de vista de los reactivos a emplear como de la configuración de los dispositivos de flotación. Aparte de una adecuada selección del colector, también es importante determinar si cualquiera de los minerales de ganga es susceptible de hidrofóbizarse y por lo tanto será necesario considerar el empleo de depresantes. **(Castro, 2003)<sup>(6)</sup>**.

Las menas que contienen oro susceptibles de tratamiento por flotación presentan variadas composiciones mineralógicas y van desde menas de oro libre, hasta menas de metales base donde el oro constituye un componente secundario recuperado como subproducto. Las formas geológicas de ocurrencia incluyen depósitos de placer, depósitos hidrotermales y epitermales, material volcánico, rocas sedimentarias y metamórficas y material oxidado y/o meteorizado.

#### **4. 4 Efecto del Tamaño de Partícula.**

El tamaño de partícula tiene un gran efecto sobre la recuperación de oro por medio de la flotación debido a su alta densidad. La flotación es positiva para partículas de oro en el intervalo de 20-200  $\mu\text{m}$ . Para tamaños más finos la selectividad del oro decrece debido a la flotación de minerales ganga. Para tamaños de partícula más gruesos la flotación debe realizarse con altas densidades de la mezcla (35% sólidos) dado que esto reduce el tamaño de partícula de la sedimentación **(Castro, 2003)<sup>(6)</sup>**.

Existe un tamaño de partícula que presenta una mayor recuperación, observándose, en general, una disminución de ésta para tamaños más gruesos y más finos de la mena. La recuperación disminuye para tamaños pequeños, lo cual se relaciona con la dificultad de adhesión partícula/burbuja, dado que éstas no adquieren la energía cinética suficiente para producir un agregado partícula/burbuja estable. Por otra parte, las partículas pequeñas son arrastradas más fácilmente a la espuma, ya que el drenaje a la pulpa se favorece con el incremento de la velocidad de sedimentación.

De esta manera, el tamaño de partícula es la variable sobre la cual debe iniciarse en una investigación, debido a su efecto en la recuperación metalúrgica y en la selectividad del concentrado final, así como, por la alta incidencia que tiene en los costos de operación del proceso global de concentración **(Pavez, 2005)<sup>(7)</sup>**.



#### 4. 5 Efecto del pH.

La flotación es sumamente sensible al pH, especialmente cuando se trata de flotación selectiva. Cada fórmula de reactivos tiene un pH óptimo ambiente en el cual se obtendría el mejor resultado operacional. El pH además presenta influencia sobre las propiedades superficiales del mineral y en las interacciones entre las partículas del mineral y las burbujas de aire. Se debe variar el pH para establecer si la recuperación es mayor en un medio ácido, básico o neutro, con el fin de medir el comportamiento del mineral en los diferentes medios. Utilizamos cal como modificador de pH y ácido sulfúrico(Naranjo, 2012)<sup>(8)</sup>.

#### 4. 6 Reactivos de Flotación.

Los reactivos de flotación se clasifican en tres grupos principales.

Estos reactivos son:

*Los colectores:* proporcionan propiedades hidrofóbicas a las superficies de los minerales.

*Los modificadores:* son las que regulan las condiciones de funcionamiento de los colectores, así aumentando su selectividad. Se clasifican en tres clases:

*Reguladores (Modificadores de pH) y Dispersores:* que controlan las concentraciones iónicas de las pulpas y sus reacciones a través de su acidez o alcalinidad.

- Activadores: que fomentan las propiedades hidrofóbicas de los minerales y aumentan su flotabilidad.
- Depresores: que hidrolizan las superficies minerales y contribuyen a su depresión.
- Los espumantes: es la que permite formación de una espuma estable (Perry, 2001)<sup>(9)</sup>.

##### 4.6.1 Selección del Colector.

La misión del colector es hacer hidrofóbico al mineral deseado, por lo que, es el reactivo químico más significativo empleado en la flotación. La amplia experiencia existente en la flotación de minerales permite usar con eficiencia determinados tipos de colectores

dependiendo de los tipos de minerales y asociaciones mineralógicas presentes(**Pavez, 2005**)<sup>(7)</sup>.

Se han sugerido muchos colectores para la flotación de oro, pero usualmente se prefieren los xantatos y los ditiofosfatos, o mezclas de ellos. Los xantatos empleados varían desde etilxantato hasta amilxantato, junto con ditiofosfato de sodio, en cantidades desde 50 g/t hasta 200 g/t. Estos reactivos se han mostrado eficientes Flotación de oro, como sustituto de la amalgamación tradicional tanto para la recuperación de los sulfuros como del oro nativo; posteriormente puede aplicarse cianuración a los concentrados para obtener el oro (**Klimpel, 1999**)<sup>(10)</sup>.

A pesar del empleo exitoso y ampliamente documentado de los xantatos y ditiofosfatos en la flotación de oro algunos expertos propone el uso de colectores apolares e insolubles en agua tales como los tiocarbamatos, los mercaptanos y los dialquil sulfuros y desaconseja el empleo de los colectores primero mencionados. Argumenta que los xantatos y los ditiofosfatos rebajan la tasa de flotación de todos los minerales naturalmente hidrofóbicos, entre ellos el oro, además de que requieren mayores dosis para lograr la hidrofobicidad. Una razón adicional es la pérdida de la selectividad al usar colectores polares, mientras el uso de colectores no polares preserva la selectividad en la flotación de las especies naturalmente hidrofóbicas(**Allan-Woodcock, 2001**)<sup>(5)</sup>.

Las experiencias aportadas por (**Klimpel, 1999**)<sup>(10)</sup> sugieren que las partículas de oro libre pueden recuperarse muy selectivamente, especialmente contra pirita, manteniendo las superficies del oro limpias de lodos y de especies orgánicas, sin el uso de reguladores de pH y con pequeñas o cero dosis de colectores apolares.

Se debe tener en cuenta, que los reactivos de flotación requieren de un cierto tiempo de acondicionamiento para estar en contacto con la pulpa y de esa forma poder actuar en forma eficiente sobre las especies útiles de la mena. Así, la etapa de acondicionamiento adquiere mucha importancia, ya que algunos reactivos se deben adicionar en la etapa de molienda para tener mayor contacto con la mena, mientras que otros, se adicionan directamente al cajón de descarga de los molinos de bolas o al acondicionador.

Debido a efectos sinérgicos se prefiere trabajar con diferentes reactivos y proporción de los mismos, los beneficios de usar una mezcla de colectores se atribuye al incremento en la capacidad de carga de la fase espumante, una cinética más rápida y una recuperación

exitosa de partículas intermedias y gruesas. Se infiere que es la interacción entre los componentes del sistema de la mezcla de colectores más que el efecto principal individual es el que domina los beneficios del desempeño, estos a su vez incluyen: el aumento de las recuperaciones y el grado de metal pagado, así como, el incremento en la velocidad del tiempo de recuperación cuando se usan las dosis más bajas de reactivos (**Lotter-Bradshaw, 2010**)<sup>(11)</sup>.

En este trabajo utilizamos:

### ***Xantato amílico de potasio (KAX)***

Es el colector más fuerte y es el menos selectivo. Este reactivo es empleado generalmente en la etapa rougher o en circuitos deflotación scavenger donde se deseen altas recuperaciones. Este producto puede ser empleada solo o en combinación con otros colectores. El rango de dosificación está entre 20 – 160 g/ton. El xantato amílico de potasio es el preferido para la recuperación de los minerales oxidados de plomo y cobre después de la sulfurización (Perry, 2001)<sup>(9)</sup>.

### ***Aerofloat 242***

El promotor aerofloat 242 es el más selectivo del resto de promotores aerofloat líquidos. Es un promotor fuerte y ha encontrado gran aceptación particularmente en la flotación de sulfuros de plomo y cobre, en la presencia de sulfuros de esfalerita y hierro, donde la selectividad hacia estos últimos sulfuros representa un problema serio. Es un promotor de acción rápida y muy adecuada para la alimentación por etapas en los circuitos de flotación (Perry, 2001)<sup>(9)</sup>.

### ***Aerofloat 25***

El aerofloat 25 es ampliamente usado como un promotor efectivo para minerales sulfurosos de plata, cobre, plomo y zinc. Generalmente no flotan fácilmente los minerales sulfurosos de hierro en un circuito alcalino. En un circuito ácido o neutro es un promotor espumante fuerte y no selectivo para todos los sulfuros. Algunos investigadores han encontrado que tanto el aerofloat 15 como el 25, son útiles en la recuperación de sulfuros de cobre, plomo y zinc muy finamente molidos. Los promotores aerofloat 15 y 25 también han

hallado aplicaciones en la flotación de arena para vidrio, donde su principal función es la de estabilizar la espuma (Perry,2001)<sup>(9)</sup>.

### ***Aerofloat 31***

El promotor aerofloat 31 combinado con el promotor aerofloat 25, se emplea principalmente en la flotación de sulfuros de plomo y plata. Es también muy adecuado para la flotación de menas oxidadas de oro y menas de sulfuro de cobre argentífero. Los promotores aerofloat 31 y 242 son los mejores promotores para los minerales de plata (Perry, 2001)<sup>(9)</sup>.

### ***Aerofloat 208***

Este promotor es más fuerte que a diferencia de promotor SodiumAerofloat y su mayor aplicación se encuentra en la flotación de menas de oro, plata y cobre. Es uno de los mejores promotores desarrollados para metálicos, tales como el oro, cobre y plata. Este reactivo, con frecuencia combinado con el xantato Aero 301, es un promotor ideal para menas de oro. En aquellos casos en que el oro se presenta de forma libre y en parte asociado con la pirita y otros sulfurosos se usa extensamente al combinación de aerofloat 208 y Xantato aero301, en ocasiones también con aerofloat 15 como promotor suplementario y principal o único espumante. El aerofloat 208 también es un colector eficaz para la calcopirita, bornita y covelita (Perry,2001)<sup>(9)</sup>.

### ***Aerofloat 3477***

Es utilizado en la concentración de oro, plata y cobre, se encuentra combinado con sulfuro de cinc, presenta una formación de espuma débil. Presenta Selectividad ante productos de sulfuro de cobre, sulfuro de plomo, de sulfuro de níquel y otros múltiples, en metal refractario de flotación de mineral tiene un buen efecto, ampliamente utilizado en las minas de cobre y oro asociado, plata y metales preciosos en las minas de la flotación de metales no ferrosos (Perry, 2001)<sup>(9)</sup>.

#### 4.6.2 Uso de Modificadores.

Los Modificadores son sales de metales base cuyo ion metálico se adsorbe sobre la superficie de las partículas minerales modificando sus propiedades químicas superficiales; como consecuencia, puede extenderse el intervalo de pH para la flotación mineral, y se incrementan la velocidad de flotación, la recuperación y la selectividad.

Son compuestos que modulan el sistema de flotación regulando la química de la solución o la dispersión o aglomeración de partículas en la pulpa de flotación. Una gran cantidad de compuestos orgánicos e inorgánicos actúan como modificadores. Estos incluyen a reguladores de pH o sea ácidos y bases inorgánicos que mediante un mecanismo iónico influyen el potencial electrocinético y la película hidratada de los minerales. También están los activadores que son reactivos que favorecen la formación de superficies hidrofóbicas y los depresores, que favorecen la hidratación de superficies minerales. En general, los modificadores son ácidos, bases y sales inorgánicas también los hay de origen orgánico (tanino, almidón, etc.) (Lotter-Bradshaw, 2010)<sup>(11)</sup>.

En este trabajo utilizamos:

#### ***Silicato de Sodio***

Este reactivo se usa para dispersar lamas silicosas y de óxidos de hierro, y a su vez actúa como un depresor de ganga silicosa en la flotación de sulfuros y de no metálicos. El silicato de sodio se encuentra en el mercado usualmente en forma de un líquido viscoso, que es una solución acuosa de hidratos de  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Na}_2\text{O}$  (Perry, 2001)<sup>(9)</sup>.

#### 4.6.3 Selección del Espumante.

La elección del espumante establece las características de la espuma, que favorece la selectividad de la operación.

Se adicionan con el objeto de:

- Estabilizar la espuma,
- Disminuir la tensión superficial del agua,
- Mejorar la cinética de interacción burbuja – partícula,
- Disminuir el fenómeno de unión de dos o más burbujas (coalescencia).

Los diferentes trabajos estudiados (**Klimpel, 1999**)<sup>(10)</sup>, (**Allan-Woodcock, 2001**)<sup>(5)</sup> y (**Teague, 1999**)<sup>(12)</sup>, apuntan al uso de combinaciones de diferentes componentes de espumantes, con el objeto de maximizar la efectividad en la flotación de un amplio intervalo de tamaños de partículas. Allan y Woodcock (2001) establecen que la mezcla de espumantes es ahora una práctica común dependiendo de la fortaleza y compacidad que se requieran en la espuma.

Para la flotación de oro nativo se recomiendan espumantes fuertes y estables.

Un espumante no puede competir con los colectores disminuyendo la energía libre superficial de las partículas minerales y por lo tanto, si un espumante actuara como colector se reduciría la selectividad del colector en uso. (**Klimpel, 1999**)<sup>(10)</sup>, (**Cytec, 2008**)<sup>(13)</sup>.

En este trabajo utilizamos:

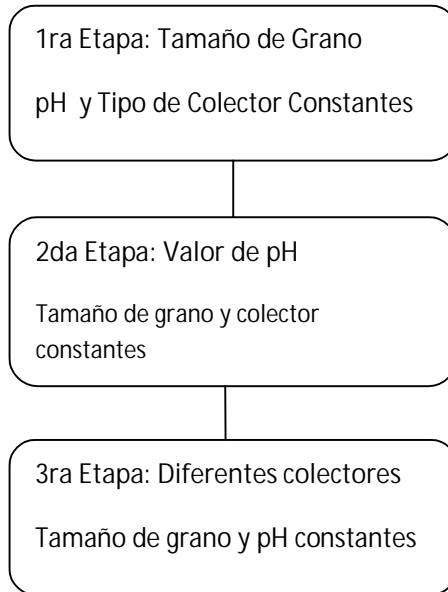
#### ***Aceite de Pino (Rs 370)***

El aceite de pino es el producto de la destilación del pino seco sobre una temperatura de 170 °C. Las fracciones entre 170 °C y 220°C contienen un 78% del aceite total. La solubilidad de estos productos es muy baja, unos 2.5 gr/Lt y disminuye fuertemente la tensión superficial de agua. El aceite de pino es de ligeramento de carácter alcalino y por esta razón se usa con preferencia en los circuitos alcalinos. Es de color amarillo variable, contiene un alto porcentaje de terpineoles de fórmula global  $C_{10}H_{17}(OH)$ .

El aceite de pino es utilizado como espumante en la flotación de sulfuros. Como el ácidocresílico, 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 ácidocresílico y su mayor característica indeseable es la tendencia a flotarganga. Los principales compuestos Surfactantes del aceite de pino son alcoholes complejos hidro – aromáticos como el terpinol (Perry, 2001)<sup>(9)</sup>.

## 5. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Metodología.



Se realizaron flotaciones en secuencia, divididas en 3 etapas. Para cada flotación se realizaron los diversos cálculos de dosificación de reactivos y disoluciones.

La primera etapa consiste en determinar el tamaño de grano adecuado en la flotación del mineral Skarn, se realizaron flotaciones, para el CondominioNortey para el Condominio Sur, con tamaño de granos correspondientes a No de malla 120 200 y 230 ASTM, En cada ensayo de flotación en esta etapa se mantiene constante el pH y el tipo de colector y una aireación de 1h y 15 minutos. De esta manera se pudo determinar el rendimiento de recuperación del mineral probando diversos tamaños de grano. Se realizaron balances metalúrgicos de oro para controlar el proceso y determinar el porcentaje de recuperación de oro. Se realizó dos repeticiones para todos los ensayos en los dos Condominios.

La segunda etapa consiste en determinar el pH adecuado en la flotación del mineral Skarnde losCondominiosNorte y Sur, a partir del tamaño de grano establecido en la primera etapa y manteniendo constante el tipo de colector, se realizaron flotaciones en diversos medios con pH's de 6.5, 8.5, 9.5 y 10.5 para cada Condominio. Se realizaron balances metalúrgicos de oro para controlar el proceso y determinar el porcentaje de recuperación de oro. Se realizó dos repeticiones para todos los ensayos en los dos Condominios.

La Tercera etapa consiste en determinar el Tipo de Colector adecuado en la flotación del mineral Skarnde losCondominiosNorte y Sur, a partir del tamaño de grano y pH establecidos en la primera y segunda etapa, serealizaron flotaciones utilizando diversos colectores primero se emplea el colector 244, después una mezcla entre el aerofloat 25 y el aerofloat 31 y finalmente se utilizara una mezcla entre el aerofloat 208 y el 3477, todos estos para cada Condominio. Se realizaronbalances metalúrgicos de oro para controlar el proceso y de terminar el porcentaje de recuperación de oro. Se realizó dosrepeticiones para todos los ensayos en los dos Condominios.

Al finalizar todos estos ensayos se obtendrán las condiciones más favorables de operación como son: el mejor tamaño de grano, el mejor pH y el mejor tipo de colector para flotar el mineral Skarn de los CondominiosNorteySur.

## **5. 2 Diseño Experimental.**

En este trabajo se utilizó un diseño experimental en bloques, compuesto para evaluar el porcentaje de oro recuperado en cada etapa. Se realizaron 2 repeticiones para cada ensayo. Las variables independientes seleccionadas para el diseño experimental fueron el tamaño de Grano (TG), el pH (VpH), y el Tipo de colector (TC).

A continuación se muestra el esquema del diseño experimental utilizado y la nomenclatura utilizada para cada variable:

### **1ra. Etapa Tamaño de Grano**

Variable Independiente: Tamaño de Grano: (120, 200, 230. Numero de malla ASTM)

Variable Dependiente: % de oro recuperado

Valores Constantes: pH, Tipo de Colector.

Esquema:

TG: Tamaño de Grano

C: 2 Condominios (Norte y Sur)

N°R: 2 Repeticiones

Total de Ensayos = TG x C x N°R

$$3 \times 2 \times 2 = 12$$



## **2da. pH**

Variable Independiente: Valor de pH: (6.5, 8.5, 9.5, 10.5)

Variable Dependiente: % de oro recuperado

Valores Constantes: Tamaño de Grano, Tipo de Colector.

Esquema:

VpH: Valor de pH

C: 2 Condominios (Norte y Sur)

N°R: 2 Repeticiones

Total de Ensayos = VpH x C x N°R

$$4 \times 2 \times 2 = 16$$

## **3ra. Etapa Diferentes Colectores.**

Variable Independiente: Tipo de Colector: (242, 25-31, 208-3477)

Variable Dependiente: % de oro recuperado

Valores Constantes: Tamaño de Grano, pH.

Esquema:

TC: Tipo de Colector

C: 2 Condominios (Norte y Sur)

N°R: 2 Repeticiones

Total de Ensayos = VpH x C x N°R

$$3 \times 2 \times 2 = 12$$

## **5. 3 Flotación.**

### **5.3.1 Equipos.**

- Celda de flotación DENVER, modelo D-12, con dos rotores difusores de adaptación intercambiable, motor de velocidad constante. Brazo y columna de sustentación de aluminio, tacómetro integral y control regulable de aireación.
- pH-metro PHM 80 portable COPENHAGEN.
- Estufa, Menmert.
- Balanza, Sartorius.

### **5.3.2 Procedimiento.**

Primero pesamos 750 gramos de la muestra que vamos a flotar, preparamos los reactivos de acuerdo a la dosificación programada en g/t de mineral y se los lleva a disolución en un balón de 100ml de (colector, espumante y agente renovador de medio), preparamos cada uno de acuerdo a los cálculos realizados; la disolución de pulpa es s/l :1/2 (750 gramos de mineral/ 1500 ml de agua); la adición de los diversos reactivos se la lleva a cabo de acuerdo a la programación del ensayo. Controlamos el pH de la muestras, en caso de tener una pulpa ácida, adicionamos cal hasta un pH adecuado. Se deja acondicionar los reactivos por 10 minutos, se abre la llave de paso de aire y flotamos por 5 minutos recogiendo el mineral concentrado en una bandeja. Esto se lo hace para las fracciones de flotación programadas. Además se recoge el mineral que queda en el equipo (relaves), ambos se los lleva a secada en una estufa. Una vez secos se los pesa, homogeniza y almacena.

### **5.3.3 Parámetros de Flotación.**

#### ***Etapa 1***

##### *Condominio Sur*

Tamaños de grano: No.120 ASTM, No.200 ASTM, No.230 ASTM (número de malla ASTM)

Flotación No. 1, Flotación No. 2, Flotación No. 3.

Condiciones de Operación:

pH: 8,5

Aireación: 1h15

Rpm: 700

Muestra: 750g

Disolución S/L: ½

pH: 8.5

Acondicionamiento de Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>: 16 min.

Acondicionamiento de 242: 11 min.

Acondicionamiento del KAX, Rs-370: 5 minutos.

*CondominioNorte*

Tamaños de grano: No.120 ASTM, No.200 ASTM, No.230 ASTM (número de malla ASTM)

Flotación No. 1, Flotación No. 2, Flotación No. 3.

Condiciones de Operación:

pH: 8,5

Aireación: 1h15

Rpm: 700

Muestra: 750g

Disolución S/L: ½

pH : 8.5

Acondicionamiento de Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>: 16 min.

Acondicionamiento de 242: 11 min.

Acondicionamiento del KAX, Rs-370: 5 minutos.

***Etapas 2***

*Condominio Sur*

pH: 6.5, 8.5, 9.5, 10.5

Flotación No. 1, Flotación No. 2, Flotación No. 3. Flotación No. 4

Condiciones de Operación:

Rpm: 700

Muestra: 750g

Disolución S/L: ½

Acondicionamiento de Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>: 16 min.

Acondicionamiento de 242: 11 min.

Acondicionamiento del KAX, Rs-370: 5 minutos

*CondominioNorte*

pH: 6.5, 8.5, 9.5, 10.5

Flotación No. 1, Flotación No. 2, Flotación No. 3. Flotación No. 4

Condiciones de Operación:

Rpm: 700

Muestra: 750g

Disolución S/L: ½

Acondicionamiento de Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>: 16 min.

Acondicionamiento de 242: 11 min.  
Acondicionamiento del KAX, Rs-370: 5 minutos.

### ***Etapas 3***

#### *Aerofloat 242*

Condominio Sur, Condominio Norte  
Flotación No. 1, Flotación No. 2.  
Condiciones de Operación:  
Rpm: 700  
Muestra: 750g  
Disolución S/L: ½  
Acondicionamiento de Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>: 15 min.  
Acondicionamiento de 242: 10 min.  
Acondicionamiento del KAX, Rs-370: 5 minutos.

#### *Aerofloat 25 - 31*

Condominio Sur, Condominio Norte  
Flotación No. 3, Flotación No. 4.  
Condiciones de Operación:  
Rpm: 700  
Muestra: 750g  
Disolución S/L: ½  
Acondicionamiento de Aerofloat 25-31: 15 min.  
Acondicionamiento de 242: 10 min.  
Acondicionamiento del KAX, Rs-370: 5 minutos.

#### *Aerofloat 208 - 3477*

Condominio Sur, Condominio Norte  
Flotación No. 5, Flotación No. 6.  
Condiciones de Operación:  
Rpm: 700  
Muestra: 750g

Disolución S/L: ½

Acondicionamiento de Aerofloat: 15 min.

Acondicionamiento de 242: 10 min.

Acondicionamiento del KAX, Rs-370: 5 minutos.

#### **5.3.4 Reactivos.**

##### *Etapa 1*

- Aerofloat 242 - colector específico
- Silicato de sodio( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) - depresor
- Xantato amílico de potasio(KAX Z-6) - colector
- RS 370 - espumante
- Cal ( $\text{CaO}$ ) - modificador de medio

##### *Etapa 2*

- Aerofloat 242 - colector específico
- Silicato de sodio( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) - depresor
- Xantato amílico de potasio(KAX Z-6) - colector
- RS 370 - espumante
- Cal ( $\text{CaO}$ ) - modificador de medio

##### *Etapa 3*

- Aerofloat 31 - colector específico
- Aerofloat 25 - colector específico
- Aerofloat 208 - colector específico
- Aerofloat 3477 - colector específico
- Silicato de sodio( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) - depresor
- Xantato amílico de potasio(KAX Z-6) - colector
- RS 370 - espumante
- Cal ( $\text{CaO}$ ) - modificador de medio

### 5.3.5 Preparación y Dosificación de Reactivos.

La dosificación indica la cantidad de reactivo que se debe adicionar durante todo el proceso, esta cantidad es dividida en fracciones en cada acondicionamiento, así por ejemplo se añadió 50 gramos de reactivo aerofloat 242, que se dividen en 30 gramos agregados en el primer acondicionamiento y 10 gramos en el segundo y tercero acondicionamiento, el mismo procedimiento se llevó a cabo con los demás reactivos. Las tablas 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13 detalla la dosificación de los reactivos usados en el proceso. Se pesó la cantidad necesaria de cada reactivo y se llevó a solución de 100 ml, las tablas 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 muestra el volumen de solución de reactivo añadido a la pulpa en cada acondicionamiento, estos volúmenes se añadieron según el mismo principio explicado para las tablas anteriores. Se realizaron 2 repeticiones para cada ensayo de Flotación programado.

#### Etapa 1

Tamaño de Grano: No.120 ASTM, No.200 ASTM, No.230 ASTM (Abertura de malla ASTM)

Condominio Sur

- Flotación No. 1(No.120 ASTM), Flotación No. 2 (No.200 ASTM), Flotación No. 3(No.230 ASTM).

*Tabla 1. Dosificación de Reactivos de Flotación Etapa 1, Condominio Sur.*

Operación	tiempo	pH	Reactivos				
			Dosificación	242	KAX	RS-370	SiO3Na2
Acondicionamiento	16'			50 g/tn	75 g/tn	50 g/tn	500 g/tn
Acondicionamiento	11'		30				
Acondicionamiento	5'				50	30	
Flotación A	5'						
Acondicionamiento	5'		10	15	10		
Flotación B	5'						
Acondicionamiento	5'		10	10	10		
Flotación C	5'						

**Fuente:** El Autor

Tabla 2. Adición de Reactivos preparados a 100 ml de solución Etapa 1, Condominio Sur.

			Reactivos	242	KAX	RS-370	SiO3Na2
Operación	tiempo	pH	Dosificación	100ml	100ml	100ml	100ml
Acondicionamiento	16'						100
Acondicionamiento	11'		60				
Acondicionamiento	5'			66,67	60		
Flotación A	5'						
Acondicionamiento	5'		20	20	20		
Flotación B	5'						
Acondicionamiento	5'		20	13,33	20		
Flotación C	5'						

Fuente: El Autor

#### CondominioNorte

- Flotación No. 1(No.120 ASTM), Flotación No. 2 (No.200 ASTM), Flotación No. 3(No.230 ASTM).

Tabla 3. Dosificación de Reactivos de Flotación Etapa1, CondominioNorte.

			Reactivos	242	KAX	RS-370	SiO3Na2
Operación	tiempo	pH	Dosificación	50 g/tn	75 g/tn	50 g/tn	500 g/tn
Acondicionamiento	16'						500
Acondicionamiento	11'		30				
Acondicionamiento	5'			50	30		
Flotación A	5'						
Acondicionamiento	5'		10	15	10		
Flotación B	5'						
Acondicionamiento	5'		10	10	10		
Flotación C	5'						

Fuente: El Autor

Tabla 4. Adición de Reactivos preparados a 100 ml de solución Etapa 1, Condominio Norte.

			Reactivos	242	KAX	RS-370	SiO3Na2
Operación	tiempo	pH	Dosificación	100ml	100ml	100ml	100ml
Acondicionamiento	16'						100
Acondicionamiento	11'			60			
Acondicionamiento	5'				66,67	60	
Flotación A	5'						
Acondicionamiento	5'			20	20	20	
Flotación B	5'						
Acondicionamiento	5'			20	13,33	20	
Flotación C	5'						

Fuente: El Autor

## Etapa 2

pH: 6.5, 8.5, 9.5, 10.5

### Condominio Sur

- Flotación No. 1 pH 6.5, Flotación No. 2 pH 8.5, Flotación No. 3 pH 9.5, Flotación No.4 pH 10.5

Tabla 5. Dosificación de Reactivos de Flotación Etapa 2, Condominio Sur.

			Reactivos	242	KAX	RS-370	SiO3Na2
Operación	tiempo	pH	Dosificación	50 g/tn	75 g/tn	50 g/tn	500 g/tn
Acondicionamiento	16'						500
Acondicionamiento	11'			30			
Acondicionamiento	5'				50	30	
Flotación A	5'						
Acondicionamiento	5'			10	15	10	
Flotación B	5'						
Acondicionamiento	5'			10	10	10	
Flotación C	5'						

Fuente: El Autor



Tabla 6. Adición de Reactivos preparados a 100 ml de solución Etapa 2, Condominio Sur.

			Reactivos	242	KAX	RS-370	SiO3Na2
Operación	tiempo	pH	Dosificación	100ml	100ml	100ml	100ml
Acondicionamiento	16'						100
Acondicionamiento	11'			60			
Acondicionamiento	5'				66,67	60	
Flotación A	5'						
Acondicionamiento	5'			20	20	20	
Flotación B	5'						
Acondicionamiento	5'			20	13,33	20	
Flotación C	5'						

Fuente: El Autor

#### CondominioNorte

- Flotación No. 1 pH 6.5, Flotación No. 2 pH 8.5, Flotación No. 3 pH 9.5, Flotación No.4 pH 10.5

Tabla 7. Dosificación de Reactivos de Flotación Etapa 2, CondominioNorte.

			Reactivos	242	KAX	RS-370	SiO3Na2
Operación	tiempo	pH	Dosificación	50 g/tn	75 g/tn	50 g/tn	500 g/tn
Acondicionamiento	16'						500
Acondicionamiento	11'			30			
Acondicionamiento	5'				50	30	
Flotación A	5'						
Acondicionamiento	5'			10	15	10	
Flotación B	5'						
Acondicionamiento	5'			10	10	10	
Flotación C	5'						

Fuente: El Autor

Tabla 8. Adición de Reactivos preparados a 100 ml de solución Etapa 2, CondominioNorte.

			Reactivos	242	KAX	RS-370	SiO3Na2
Operación	tiempo	pH	Dosificación	100ml	100ml	100ml	100ml
Acondicionamiento	16'						100
Acondicionamiento	11'			60			
Acondicionamiento	5'				66,67	60	
Flotación A	5'						
Acondicionamiento	5'			20	20	20	
Flotación B	5'						
Acondicionamiento	5'			20	13,33	20	
Flotación C	5'						

Fuente: El Autor

### Etapa 3

#### Aerofloat 242

Condominio Sur Y CondominioNorte.

Tabla 9. Dosificación de Reactivos de Flotación usando como colector Aerofloat 242.

			Reactivos	242	KAX	RS-370	SiO3Na2
Operación	tiempo	pH	Dosificación	50 g/tn	75 g/tn	50 g/tn	250g/tn
Acondicionamiento	15'						250
Acondicionamiento	10'			30			
Acondicionamiento	5'				50	30	
Flotación A	5'						
Acondicionamiento	5'			10	15	10	
Flotación B	5'						
Acondicionamiento	5'			10	10	10	
Flotación C	5'						

Fuente: El Autor

Tabla 10. Adición de Reactivos preparados a 100 ml de solución usando como colector Aerofloat 242.

			Reactivos	242	KAX	RS-370	SiO3Na2	
Operación	tiempo	pH	Dosificación	100ml	100ml	100ml	100ml	
Acondicionamiento	16'							50
Acondicionamiento	11'		60					
Acondicionamiento	5'		66,67					60
Flotación A	5'							
Acondicionamiento	5'		20					20
Flotación B	5'							
Acondicionamiento	5'		20					13,33
Flotación C	5'							

Fuente: El Autor

### Aerofloat 25 - 31

Condominio Sur Y Condominio Norte.

Tabla 11. Dosificación de Reactivos de Flotación usando como colector Aerofloat 25- 31.

			Reactivos	Aerofloat 25	Aerofloat 31	KAX	RS-370	SiO3Na2
Operación	tiempo	pH	Dosificación	25 g/tn	25 g/tn	75 g/tn	50 g/tn	500 g/tn
Acondicionamiento	15'							250
Acondicionamiento	10'		15					15
Acondicionamiento	5'		50					30
Flotación A	5'							
Acondicionamiento	5'		5					5
Flotación B	5'							
Acondicionamiento	5'		5					5
Flotación C	5'							

Fuente: El Autor

Tabla 12. Adición de Reactivos preparados a 100 ml de solución usando como colector Aerofloat 25 -31.

Operación	tiempo	pH	Reactivos				
			Dosificación	Aerofloat 25	Aerofloat 31	KAX	RS-370
			100ml	100ml	100ml	100ml	100ml
Acondicionamiento	16'		100				
Acondicionamiento	11'		60	60			
Acondicionamiento	5'				66,67	60	
Flotación A	5'						
Acondicionamiento	5'		20	20	20	20	
Flotación B	5'						
Acondicionamiento	5'		20	20	13,33	20	
Flotación C	5'						

Fuente: El Autor

### Aerofloat 208 - 3477

Condominio Sur Y Condominio Norte.

Tabla 13. Dosificación de Reactivos de Flotación usando comocolelector Aerofloat 208 – 3477.

Operación	tiempo	pH	Reactivos					
			Dosificación	Aerofloat 208	Aerofloat 3477	KAX	RS-370	SiO3Na2
				25 g/tn	25 g/tn	75 g/tn	50 g/tn	500 g/tn
Acondicionamiento	15'		250					
Acondicionamiento	10'		15	15				
Acondicionamiento	5'				50	30		
Flotación A	5'							
Acondicionamiento	5'		5	5	15	10		
Flotación B	5'							
Acondicionamiento	5'		5	5	10	10		
Flotación C	5'							

Fuente: El Autor

Tabla 14. Adición de Reactivos preparados a 100 ml de solución usando como Colector Aerofloat 208 – 3477.

Operación	tiempo	pH	Reactivos	Aerofloat 208	Aerofloat 3477	KAX	RS-370	SiO <sub>3</sub> Na <sub>2</sub>
			Dosificación	100ml	100ml	100ml	100ml	100ml
Acondicionamiento	16'							100
Acondicionamiento	11'			60	60			
Acondicionamiento	5'					66,67	60	
Flotación A	5'							
Acondicionamiento	5'			20	20	20	20	
Flotación B	5'							
Acondicionamiento	5'			20	20	13,33	20	
Flotación C	5'							

*Fuente: El Autor*

### 5.3 Análisis químico.

Al terminar los ensayos de Flotación, se posee muestras de concentrados y relaves, ambos se llevaron al laboratorio IQA de la UTPL para la cuantificación de oro por el método de absorción atómica utilizando un equipo marca PerkinElmer®.

El procedimiento es el siguiente:

- Pesar 5 g del material a analizar en un vaso de teflón.
- Agregar un poco de agua destilada para humedecer la muestra.
- Añadir 20 ml de HCl y calentar sobre la plancha calefactora por 10 minutos.
- Añadir 10 ml de HNO<sub>3</sub> más 2 ml de ácido perclórico.
- Calentar hasta llevar a sequedad en la plancha.
- Adicionar 30 ml de agua destilada y someter a ebullición por unos minutos.
- Dejar enfriar y aforar a 100 ml
- Dejar sedimentar los sólidos y filtrar 50 ml.

Los resultados del análisis químico se utilizaron para realizar los balances metalúrgicos y las gráficas del proceso.

## 6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 6.1 Primera Etapa Tamaño de Grano.

Se realizó la flotación para cada ensayo según las condiciones especificadas en la tabla 1 y 2 para el Condominio Sur y en la tabla 3 y 4 para el Condominio Norte. Los rendimientos alcanzados se muestran en la tabla 15.

Tabla 15. Promedio y desviación estándar del rendimiento de oro de los ensayos de flotación para la Primera Etapa.

		Promedio	Desviación estándar
C. Norte	No. de malla 120	5,38%	0,0036
	No. de malla 200	4,35%	0,0011
	No. de malla 230	17,35%	0,0021
C. Sur	No. de malla 120	5,13%	0,0007
	No. de malla 200	11,99%	0,0013
	No. de malla 230	4,64%	0,0010

Fuente: El Autor

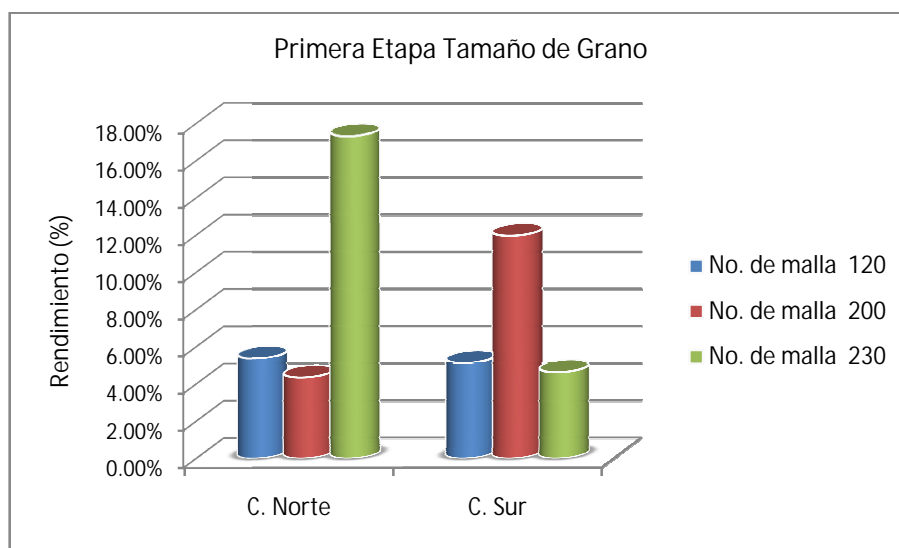


Gráfico 1. Rendimiento promedio de recuperación de Oro en los ensayos de flotación para la Primera Etapa.

El gráfico 1 muestra que el mayor rendimiento de recuperación de oro es de 17,347% en el Condominio Norte, correspondiente a tamaño de grano de 63µm que es la abertura del tamiz patrón de 230 mallas (ASTM) y de 11,987% para el Condominio Sur, correspondiente a un tamaño de grano de 75µm que es la abertura del tamiz patrón de 200 mallas (ASTM). Estos porcentajes de recuperación son deficientes.

Estos porcentajes de rendimiento son demasiado bajos comparados con un estudio en el Condominio Sur del mismo distrito minero Nambija (**Jiménez-Prieto,2011**)<sup>(14)</sup>, de 96,44%, utilizó un tamaño de grano de 68,89µm que corresponde a la abertura del tamiz patrón de 213,90(ASTM), el cual está dentro del rango de nuestros resultados( 200 -230 ASTM).

El estudio sobre flotación de oro utilizando arenas cianuradas de la zona minera Ponce Enríquez (Azuay), realizado por (**Rodríguez, 1996**)<sup>(15)</sup>, utiliza un tamaño de grano 75µm (No. de malla 200 ASTM), que es igual al obtenido como óptimo para el Condominio Sur en este estudio.

Estos tamaños de grano son tomados como bases para la siguiente etapa.

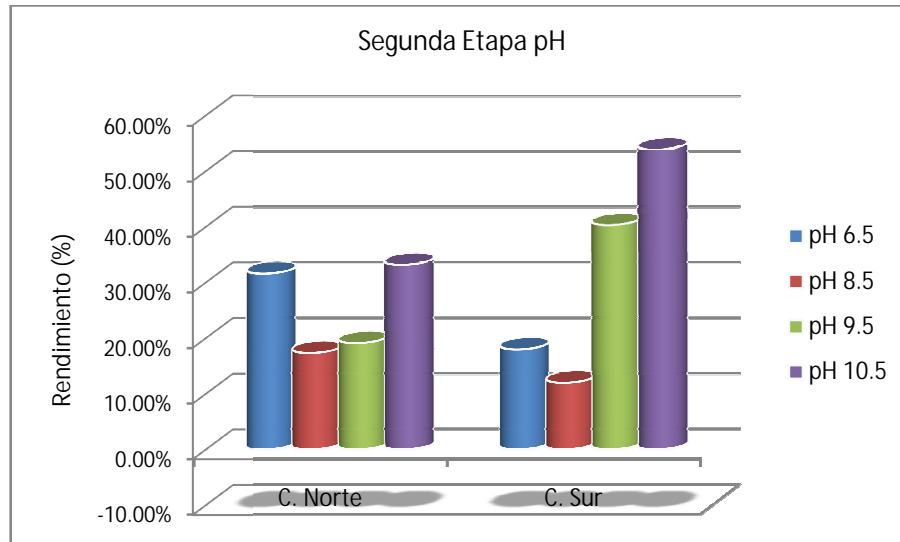
## 6. 2 Segunda Etapa pH.

Se realizó la flotación para cada ensayo según las condiciones especificadas en la tabla 5 y 6 para el Condominio Sur y en la tabla 7 y 8 para el Condominio Norte. Los rendimientos alcanzados se muestran en la tabla 16.

*Tabla 16. Promedio y desviación estándar del rendimiento de oro de los ensayos de flotación para la Segunda Etapa.*

		Promedio	Desviación estándar
C. Norte	pH 6.5	31,66%	0,0008
	pH 8.5	17,35%	0,0021
	pH 9.5	19,13%	0,0006
	pH 10.5	33,22%	0,0030
C. Sur	pH 6.5	18,00%	0,0007
	pH 8.5	11,99%	0,0013
	pH 9.5	40,36%	0,0022
	pH 10.5	53,97%	0,0030

**Fuente:** El Autor



**Gráfico 2.** Rendimiento promedio de recuperación de Oro en los ensayos de flotación para la Segunda Etapa.

El gráfico 2 muestra que el pH con mayor rendimiento de recuperación de oro para ambos Condominios es de 10.5, incrementado el mismo de forma significativa (53, 97% y 33.22%).

Este resultado se contrasta con otro estudio de minerales auríferos realizado en Medellín (**Naranjo, 2012**)<sup>(8)</sup>, en flotación con celdas DENVER y FLASH obteniendo resultados de recuperación que alcanzan hasta un 98.1 %, el cual concluye que el pH óptimo para su estudio es de 10.5; igualmente en otro estudio sobre flotación de oro utilizando arenas cianuradas de la zona minera Ponce Enríquez (Azuay), realizado por (**Rodríguez, 1996**)<sup>(15)</sup>, concluye que un pH de 9 a 11 es óptimo para la recuperación de oro por flotación en el sector.

Los estudios de (**Alulima, 2009**)<sup>(16)</sup> en los Distritos Mineros de Portovelo -Zaruma, Bella Rica y San Gerardo y (**Jiménez-Prieto, 2011**)<sup>(14)</sup> en el Condominio Sur del distrito minero Nambija, utilizan un pH relativamente diferente de 9, para la recuperación de oro por flotación; aunque claramente se ve en estos trabajos que para flotar oro los mejores resultados se obtienen a pH alcalino.

Por tanto el pH de 10.5 es el que nos da los mejores resultados en el Condominio Norte y Sur, para continuar con la tercera etapa.



### 6.3 Tercera Etapa Diferentes Colectores.

Se realizó la flotación para cada ensayo según las condiciones especificadas en la tabla 9 y 10 para los dos Condominios Norte y Sur. Los rendimientos alcanzados se muestran en la tabla 17.

Tabla 17. Promedio y desviación estándar del rendimiento de oro de los ensayos de flotación para la Tercera Etapa.

		Promedio	Desviación estándar
C. Norte	Aerofloat 242	53,24%	0,0020
	Aerofloat 25 – 31	89,39%	0,0028
	Aerofloat 208 – 3477	55,75%	0,0024
C. Sur	Aerofloat 242	79,62%	0,0006
	Aerofloat 25 – 31	95,16%	0,0018
	Aerofloat 208 – 3477	64,97%	0,0006

Fuente: El Autor

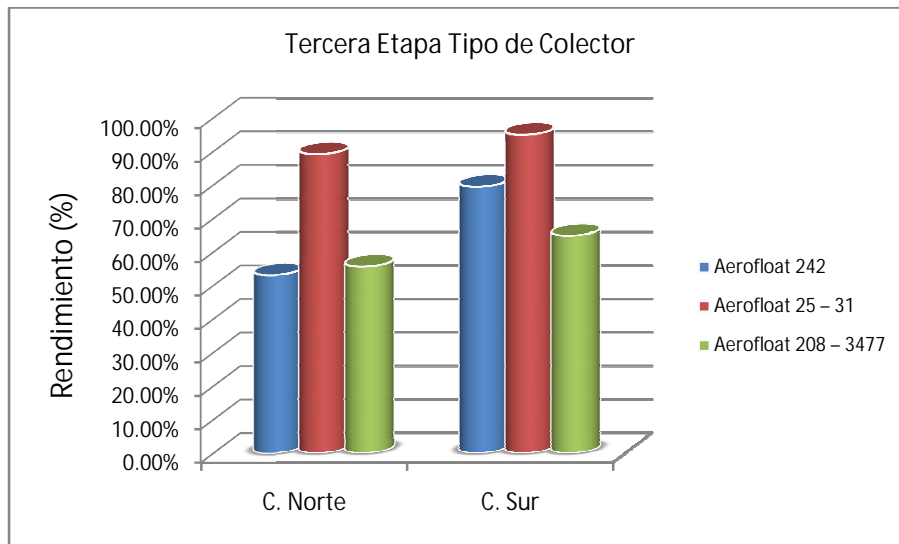


Gráfico 3. Rendimiento promedio de recuperación de Oro en los ensayos de flotación para la Tercera Etapa.

El gráfico 3 muestra que el mejor colector que podemos seleccionar, con mayor rendimiento de recuperación de oro para ambos Condominios Sur y Norte, es la mezcla entre Aerofloat 25 -31, incrementado el mismo de forma significativa a 95.16 y 89.39% respectivamente.

Estos porcentajes de rendimiento son óptimos y se contrasta con el estudio de **(Jiménez-Prieto, 2011)<sup>(14)</sup>**, de 96,44% de recuperación que utiliza KAX como colector; además nuestro resultado se considerada muy bueno en comparación a otro investigación realizada que alcanzó 83,93% de recuperación **(Alulima, 2009)<sup>(16)</sup>**, en este trabajo utilizaron como colector una mezcla de KAX y Aerofloat 242.

El estudio realizado por **(Rodríguez, 1996)<sup>(15)</sup>**, selecciona como colector final la mezcla entre KAX y Aerofloat 407, con una recuperación del 77% de oro, la cual es mucho menor a nuestro resultado.

Asimismo **(Naranjo, 2012)<sup>(8)</sup>**, recomienda en su estudio como colectores ala mezcla entre Aerofloat 3501 y 8474; con porcentajes de recuperación que varían entre el 64 y 98%, dichos colectores de la misma línea, (aniónicos, ditiofosfatos) que los determinados con los mejores resultados en nuestra investigación.

## 7. CONCLUSIONES

Como resultados de la investigación realizados en los relaves de los Condominios Norte y Sur de Nambija, se puede concluir lo siguiente:

- El tamaño de grano apropiado en la flotación del mineral Skarn para el Condominio Norte es de 63µm con un porcentaje de recuperación del 17,347%; y para el Condominio Sur es de 75µm con un porcentaje de recuperación del 11,987%, lo cuales son deficientes pero son un buen punto de partida para las siguientes etapas.
- El pH apropiado en la flotación del mineral Skarn de los Condominios Norte y Sur es de 10.5, con un porcentaje de recuperación del 53,97% y 33.22% respectivamente, claramente existe un aumento considerable con respecto al porcentaje de la primera etapa, lo que indica que este pH es el adecuado.
- El tipo de colector seleccionado en la flotación del mineral Skarn de los Condominios Norte y Sur es la combinación entre el Aerofloat 25 y 31, con una recuperación del 89.39% y 95.16% respectivamente, existiendo un aumento aún mayor que el de la segunda etapa.
- Con tamaño de grano de 63µm, pH de 10.5 y utilizando como colector Aerofloat 25-31, el Condominio Norte obtuvo un porcentaje de recuperación final de 89.39% y con tamaño de grano de 75µm, pH de 10.5, y utilizando como colector Aerofloat 25-31, el Condominio Sur obtuvo un porcentaje de recuperación final de 95.16%, los cuales son claramente óptimos para la Flotación de cualquier mineral.

## 8. RECOMENDACIONES

- Se debe realizar la flotación a tamaño de granos gruesos en un rango de 20um a 80um ya que tamaños más finos se dificultan de adhesión partícula/burbuja, dado que éstas no adquieren la energía cinética suficiente para producir un agregado partícula/burbuja estable
- Se recomienda realizar la flotación en el sector con pH's alcalinos en un rango de 9 a 11 ya que a números inferiores no se favorece la hidrofobicidad del oro disminuyendo la tasa de recuperación del mismo.
- Se recomienda utilizar Tiocoletores en lugar del Xantatos; ya que este último es utilizado para la flotación de sulfuros y las características mineralógicas de la zona no aplican al mismo.
- Se recomienda realizar posterior a la Flotación un proceso de Cianuración para así enriquecer las tasas de recuperación de oro, obteniendo mejores beneficios finales.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

1. Ministerio de Energía y Minas (2000). *Evaluación de Distritos Mineros del Ecuador* Vol. I y IV. Ecuador. UCP Prodeminca. ISBN – 9978 – 41.371-5.
2. Villare F. *Depósitos de Tipo Skarn*, 2011, pp 3-27.
3. Evaluación de Distritos Mineros en el Ecuador, Volumen 5- Depósitos Porfídicos y Epi-Mesotermales Relacionados con Intrusiones de la Cordillera del Condor. BGS-PRODEMINCA, 2000.
4. Sanmartín, V. *Mineralogía y metalurgia del Yacimiento Minero de Nambija: Estudio mineralógico y metalúrgico de los relaves de gravimetría de las plantas artesanales del Condominiosur y Condominio Norte*, Universidad Técnica Particular de Loja: Loja, 2012.
5. Allan, G.C.; Woodcock J.T. *A review of the flotation of native gold and electrum*. Minerals Engineering, Vol. 14, No. 9. 2000.
6. Castro, S.J. *Innovación en la recuperación de oro fino y ultrafino mediante el uso de flotación en columna en el distrito aurífero de Marmato*. Universidad Nacional de Colombia. 2003.
7. Pavez, O. *Apuntes sobre concentración de Minerales. Facultad de Ingeniería, Universidad de Atacama*, 2005.
8. Naranjo D. *Flotación Directa De Oro Nativo Grueso, Como Substituto De La Amalgamación Tradicional*. Engineer Dissertation. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, MA, 2012.
9. Perry R. *Manual del Ingeniero Químico (6ta. Edición)*. Sección: Sistema De Clasificación Solido – Solido Y Líquido – Líquido. Flotación. México. McGraw-Hill. Petrucci, R. S.A. 2001. Tomo 2. ISBN-0-07-040479-7.

10. Klimpel, R. R. *Industrial experiences in the evaluation of various flotation reagent schemes for the recovery of gold*. Minerals and Metallurgical Processing, vol. 16, No. 1, Feb. 1999, pp 1-11.
11. Lotter, N.O.; Bradshaw, D.J. *The formulation and use of mixed collectors in sulphide flotation*. *Mineral engineering*, 2010.
12. Teague, A.J.; Van Deventer, J.S.J., Swaminathan C. *A conceptual model for gold flotation*. *Minerals Engineering*, Vol2, No.9.pág 1001-1019. 1999.
13. Cytec. *Manual de Productos Químicos para Minería*. 2008, pp1-347.
14. Jiménez, M; Prieto, I. Determinar el rendimiento de recuperación de oro y plata aplicando un proceso combinado de flotación y cianuración a los relaves provenientes de las plantas de tratamiento gravimétrico del Condominio Sur Nambija. *EngineerDissertation*, Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, MA, 2011.
15. Rodríguez B. Estudio Mineralurgico de Concentración Gravimétrica y de Flotación para la Recuperación de Oro de Arenas Cianuradas de la Compañía Orenas S.A. *EngineerDissertation*, Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, MA, 1996.
16. Alulima J. Rendimiento De La Flotación Para Concentrar Sulfuros Minerales De Los Relaves en los Distritos Mineros de Portovelo– Zaruma, Bella Rica Y San Gerardo. *EngineerDissertation*, Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, MA, 2009.

## 10. ANEXOS

### Anexo 1

#### Equipos Utilizados



Celda de Flotación



Estufa



Balanza



pH - Metro

## Anexo 2

### Dosificación de reactivos

La dosificación de reactivos viene especificada en g/t, la cantidad de reactivo a utilizar por peso de muestra se calcula con la siguiente expresión matemática.

Dónde:

x: peso del reactivo a pesar

dr: dosificación del reactivo

Pm: peso de la muestra a flotar

F: factor de disolución

p: pureza del reactivo

$$x = \frac{dr \times Pm \times f}{p}$$

$$25 = 25 \text{ g/t} \quad x = \frac{(25)(750)(10)^{-6}}{1}$$

$$X = 0.01875 \text{ g}$$

$$31 = 25 \text{ g/t} \quad x = \frac{(25)(750)(10)^{-6}}{1}$$

$$X = 0.01875 \text{ g}$$

$$208 = 25 \text{ g/t} \quad x = \frac{(25)(750)(10)^{-6}}{1}$$

$$X = 0.01875 \text{ g}$$

$$3477 = 25 \text{ g/t} \quad x = \frac{(25)(750)(10)^{-6}}{1}$$

$$X = 0.01875 \text{ g}$$

$$242 = 50 \text{ g/t} \quad x = \frac{(50)(750)(10)^{-6}}{1}$$

$$X = 0.0375 \text{ g}$$

$$\text{KAX} = 75 \text{ g/t} \quad x = \frac{(75)(750)(10)^{-6}}{1}$$

$$X = 0.05625 \text{ g}$$

$$\text{RS370} = 50 \text{ g/t} \quad x = \frac{(50)(750)(10)^{-6}}{1}$$

$$X = 0.0375 \text{ g}$$

$$\text{SiO}_3\text{Na}_2 = 500 \text{ g/t} \quad x = \frac{(500)(750)(10)^{-6}}{1}$$

$$X = 0.375 \text{ g}$$



### Anexo 3

Dilución de reactivos en 100 MI

#### **25**

<b>25g</b>	<b>100ml</b>
15g	x= 60ml
5g	x=20ml
5g	x=20ml

#### **31**

<b>50g</b>	<b>100ml</b>
30g	x= 60ml
10g	x=20ml
10g	x=20ml

#### **208**

<b>50g</b>	<b>100ml</b>
30g	x= 60ml
10g	x=20ml
10g	x=20ml

#### **3477**

<b>50g</b>	<b>100ml</b>
30g	x= 60ml
10g	x=20ml
10g	x=20ml

#### **242**

<b>50g</b>	<b>100ml</b>
30g	x= 60ml
10g	x=20ml
10g	x=20ml

#### **KAX**

<b>75g</b>	<b>100ml</b>
50g	x= 66ml
15g	x=20ml
10g	x=14ml

#### **RS 370**

<b>50g</b>	<b>100ml</b>
30g	x= 60ml
10g	x=20ml
10g	x=20ml

## Anexo 4

### Balances Metalúrgicos de Oro

$$\text{Entrada} = \text{Concentrado} + \text{Relave}$$

$$(\text{Peso Muestra} \times \text{Ley Au}) = (\text{Peso Concentrado} \times \text{Ley Au}) + (\text{Peso Relave} \times \text{Ley Au})$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Concentrado}}{\text{Entrada}} \times 100$$

Ejemplos:

- *TERCERA ETAPA*

Condominio Sur

Aerofloat 25 – 31

#### Repetición 1

Entrada	Peso: 750 g Ley: 1,398 ppm	Concentrado	Peso: 181 g Ley: 5,52 ppm	Relave	Peso: 565,8 g Ley: 0,77 ppm
---------	-------------------------------	-------------	------------------------------	--------	--------------------------------

$$750\text{g} \times 0,68 \text{ ug/g} = (181\text{g} \times 5,52 \text{ ug/g}) + (565,8\text{g} \times 0,77 \text{ ug/g})$$

$$1048,5 \text{ ug} = 999,12 \text{ ug} + 435,67 \text{ ug}$$

$$1048,5 \text{ ug} = 1434,8 \text{ ug}$$

$$1,0485 \text{ mg} = 1,4348 \text{ mg}$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{999,12}{1048,5} \times 100 = 95,29 \%$$

#### Repetición 2

Entrada	Peso: 750 g Ley: 1,398 ppm	Concentrado	Peso: 180,85 g Ley: 5,51 ppm	Relave	Peso: 566,3 g Ley: 0,8 ppm
---------	-------------------------------	-------------	---------------------------------	--------	-------------------------------

$$750\text{g} \times 0,68 \text{ ug/g} = (181\text{g} \times 5,52 \text{ ug/g}) + (565,8\text{g} \times 0,77 \text{ ug/g})$$

$$1048,5 \text{ ug} = 996,48 \text{ ug} + 453,04 \text{ ug}$$

$$1048,5 \text{ ug} = 1449,5 \text{ ug}$$

$$1,0485 \text{ mg} = 1,4495 \text{ mg}$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{996,4835}{1048,5} \times 100 = 95 \%$$

CondominioNorte

Aerofloat 25 – 31

Repetición 1

Entrada	Peso: 750 g Ley: 0,68 ppm	Concentrado	Peso: 167,9 g Ley: 2,71 ppm	Relave	Peso: 581,17 g Ley: 0,41 ppm
---------	------------------------------	-------------	--------------------------------	--------	---------------------------------

$$750g \times 0.68 \text{ ug/g} = (167.9g \times 2.71 \text{ ug/g}) + (581.17g \times 0.41 \text{ ug/g})$$

$$510 \text{ ug} = 454,87 \text{ ug} + 238,28 \text{ ug}$$

$$510 \text{ ug} = 693,15 \text{ ug}$$

$$0,51 \text{ mg} = 0,6932 \text{ mg}$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{454,8735}{510} \times 100 = 89,19 \%$$

Repetición 2

Entrada	Peso: 750 g Ley: 0,68 ppm	Concentrado	Peso: 169,85 g Ley: 2,69 ppm	Relave	Peso: 580,23 g Ley: 0,43 ppm
---------	------------------------------	-------------	---------------------------------	--------	---------------------------------

$$750g \times 0.68 \text{ ug/g} = (169.85g \times 2.69 \text{ ug/g}) + (580.23g \times 0.43 \text{ ug/g})$$

$$510 \text{ ug} = 456,9 \text{ ug} + 249,499 \text{ ug}$$

$$510 \text{ ug} = 706,4 \text{ ug}$$

$$0,51 \text{ mg} = 0,7064 \text{ mg}$$

$$\text{Rendimiento} = \frac{456,8965}{510} \times 100 = 89,6 \%$$

## Anexo 5

Resultados del análisis químico para los ensayos de Flotación de cada Etapa.

- *PRIMERA ETAPA*

		Replicate 1		Replicate 2	
		Concentrated	Tailings	concentrated	Tailings
No. 120 mesh	North Condominium	1,432 ppm	0,826 ppm	1,421 ppm	0,835 ppm
	South Condominium	1,026 ppm	0,562 ppm	1,1 ppm	0,547 ppm
No. 200 mesh	South Condominium	3,352 ppm	0,738ppm	3,321 ppm	0,727 ppm
	North Condominium	0,856 ppm	0,71 ppm	0,866 ppm	0,73 ppm
No. 230 mesh	South Condominium	1,838 ppm	0,744 ppm	1,824 ppm	0,771 ppm
	North Condominium	2,428 ppm	0,642 ppm	2,444 ppm	0,661 ppm

- *SEGUNDA ETAPA*

		Replicate 1		Replicate 2	
		Concentrated	Tailings	Concentrated	Tailings
pH 6.5	North Condominium	1,594 ppm	0,734 ppm	1,574 ppm	0,741 ppm
	South Condominium	1,98 ppm	0,524 ppm	1,97 ppm	0,511 ppm
pH 8.5	South Condominium	3,352 ppm	0,738 ppm	3,321 ppm	0,727 ppm
	North Condominium	2,428 ppm	0,642 ppm	2,444 ppm	0,661 ppm
pH 9.5	South Condominium	3,352 ppm	0,738 ppm	3,321 ppm	0,727 ppm
	North Condominium	2,428 ppm	0,642 ppm	2,444 ppm	0,661 ppm
pH 10.5	South Condominium	6,554 ppm	0,814ppm	6,544 ppm	0,823 ppm
	North Condominium	1,512 ppm	0,556 ppm	1,522 ppm	0,547 ppm

- *TERCERA ETAPA*

		Replicate 1		Replicate 2	
		Concentrated	Tailings	concentrated	Tailings
Aerofloat 242	North Condominium	5,05 ppm	0,812 ppm	5,06 ppm	0,82 ppm
	South Condominium	2,42 ppm	0,62 ppm	2,43 ppm	0,701 ppm
Aerofloat 25 – 31	South Condominium	5,52 ppm	0,77 ppm	5,51 ppm	0,8 ppm
	North Condominium	2,71 ppm	0,41 ppm	2,69 ppm	0,43 ppm
Aerofloat 208 – 3477	South Condominium	5,13 ppm	0,541 ppm	5,099 ppm	0,538 ppm
	North Condominium	2,31 ppm	0,456 ppm	2,28 ppm	0,459 ppm

## Anexo 6

Rendimiento de los ensayos de Flotación de cada Etapa.

- *PRIMERA ETAPA*

		Replicate 1	Replicate 2	Average	S
No. 120 mesh	North Condominium	5,09%	5,18%	5,13%	0,0007
	South Condominium	5,13%	5,63%	5,38%	0,0036
No. 200 mesh	South Condominium	11,89%	12,08%	11,99%	0,0013
	North Condominium	4,27%	4,43%	4,35%	0,0011
No. 230 mesh	South Condominium	4,71%	4,57%	4,64%	0,0010
	North Condominium	17,50%	17,20%	17,35%	0,0021

- *SEGUNDA ETAPA*

		Replicate 1	Replicate 2	Average	S
pH 6.5	North Condominium	18,05%	17,95%	18,00%	0,0007
	South Condominium	31,60%	31,71%	31,66%	0,0008
pH 8.5	South Condominium	11,89%	12,08%	11,99%	0,0013
	North Condominium	17,50%	17,20%	17,35%	0,0021
pH 9.5	South Condominium	40,52%	40,21%	40,36%	0,0022
	North Condominium	19,17%	19,09%	19,13%	0,0006
pH 10.5	South Condominium	53,76%	54,19%	53,97%	0,0030
	North Condominium	33,01%	33,43%	33,22%	0,0030

- *TERCERA ETAPA*

		Replicate 1	Replicate 2	Average	s
Aerofloat 242	North Condominium	79,66%	79,57%	79,62%	0,0006
	South Condominium	53,10%	53,38%	53,24%	0,0020
Aerofloat 25 – 31	South Condominium	95,29%	95,04%	95,16%	0,0018
	North Condominium	89,19%	89,59%	89,39%	0,0028
Aerofloat 208 – 3477	South Condominium	64,93%	65,02%	64,97%	0,0006
	North Condominium	55,92%	55,58%	55,75%	0,0024

## **Anexo 7.**

### **"Effect of Grain Size, pH and Type Manifolds in the Floatability of the Gold Mineral Skarn Ore from North and South Condominiums, of the Nambija Mining District"**

Daniel Valdivieso<sup>1,\*</sup>, Víctor Sanmartín<sup>1</sup>

*1) Departamento de Geología y Minas e Ingeniería Civil  
Universidad Técnica Particular de Loja  
San Cayetano, Loja, Ecuador*

\*corresponding author: drvaldivieso@utpl.edu.ec

#### **ABSTRACT:**

The handcrafted mining industry of the deposit Nambija in the south of the Ecuador rejects re-wash with golden laws of economic importance that are wasted by inadequate procedures of exploitation. Re-wash them of the handcrafted plants they were submitted to the process of flotation to recover the rejected gold; in order to improve the laws or golden concentrations, optimizing the rate of recovery of the mineral Skarn of the Condominiums North and South of the mining district Nambija, determining the size of suitable grain, changing the pH to establish if the recovery is major in an acid, basic or neutral way and finally finding the Collector who allows us to have the highest rate of performance. The results were the following ones: with size of grain of 63um, pH of 10.5, and using as collector Aerofloat 25-31, the north condominium obtained a percentage of final recovery of 89.39 % and with size of grain of 75um, pH of 10.5, and using as collector Aerofloat 25-31, the south condominium obtained a percentage of final recovery of 95.16 %.

Keywords: re-wash, mining industry, flotation, grain size, pH, collector

#### **INTRODUCTION:**

In the Ecuador the Mining industry, is one of the richest sources of greater importance in the socio-economic aspect<sup>1</sup>.

One of the processes used in the Mining industry is the flotation, used in the recovery of diverse minerals so much like of copper, silver and gold. The traditional definition of flotation says that it is a technology of concentration of minerals in humid, in that superficial physicist - chemistry of the particles take advantage of the properties to effect the selection<sup>2</sup>.

The development of new parameters that allow a major control in the processes of flotation is a successful benefit to optimize the recovery and separation of minerals in the circuit of

flotation. Recent studies have showed that relations exist between conditions of operation since are pH, size of grain and type of reagents and the performance of the flotation that has woken the interest up for the development of new technologies and development of the same ones in order that they allow to optimize the processes of flotation.

The mining industry in Nambija goes in decline, you mining procedures consist simply of a crushing, grinding (Chilean mill)<sup>1</sup>, the gravimetric concentration in channel and the amalgamation; already expired technologies and that commit an outrage widely against the environment and the health of the workers and inhabitants of the sector, with more than 25 years of handcrafted exploitation, his spaces are oversaturated of mercury, used to recover the gold of the amalgam; it is rejected re-wash with golden laws of economic importance that are wasted by inadequate procedures of exploitation<sup>3</sup>. The present work tries to improve the laws or Au's concentrations, optimizing the rate of recovery of the same one for Flotation of the mineral Skarn of the Condominiums North and South of the mining district Nambija, finding the size of suitable grain (No. Of mesh 120, 200 y230 ASTM), changing the pH to establish if the recovery is major in an acid or basic way (pH 6.5, 8.5, 9.5, 10.5)<sup>5</sup> and finally finding the Collector who allows us to have the highest rate of performance (Aerofloat 242, 25, 31, 3477, 208).

## **METHODS:**

The study was held at Department of Geology and Mining and Civil Engineering, UTPL, Loja. The flotations were realized in sequence, divided in 3 stages. For each flotation there were realized the diverse dosing reagent.

The first stage consists of determining the size of grain adapted in the flotation of the mineral Skarn, flotation's were realized, for the north condominium and for the south condominium, by size of corresponding grains to No. of mesh 120 200 and 230 ASTM<sup>4</sup>, In every test of flotation in this stage there is kept constant the pH and the type of collector and an aeration of 1h and 15 minutes. Hereby it is possible to determine the performance of recovery of the mineral proving diverse sizes of grain. Metallurgical balance sheets of gold were realized to control the process and to determine the percentage of golden recovery. Were realized two repetitions for all the tests in both condominiums.

The second stage consists of determining the pH adapted in the flotation of the mineral skran of north and south condominiums, from the size of grain established in the first stage and supporting state the type of collector, flotations will be realized in diverse means with pH's of 6.5, 8.5, 9.5 and 10.5 for each condominium. Metallurgical balance sheets of gold are

realized to check the process and determine the percentage of golden recovery. Two repetitions were realized for all the tests in both condominiums.

The Third stage consists of determining the Type of Collector adapted in the flotation of the mineral skran of north and south condominiums, from the size of grain and pH established in the first and second stage, flotations test to be realized using diverse collectors, the first collector used was Aerofloat 242, later a mixture between the aerofloat 25 and the aerofloat 31 and finally a mixture between the aerofloat 208 and 3477<sup>5</sup> was used. Metallurgical balance sheets of gold were realized to check the process and finishing the percentage of golden recovery. Two repetitions were realized for all the tests in both condominiums.

On having finished all these tests the most favorable conditions of operation will be obtained since they are: the best size of grain, the best pH and the best type of collector to float the mineral Skarn of the condominiums North and South.

The conditions, dosage and type of reagents were determined as the best to get a good gold recovery. The dried milling material was floated in a Denver flotation cell, model D-12, the conditions are given in table 1.

**Table 1.** FlotationConditions

	Condominium North	Condominium South
slurry S/L	½	½
Sample weight(g)	750	750
Water volume(ml)	1500	1500
rpm	700	700

The dosing reagent comes specified in g/t, the quantity of reagent to use for weight of sample is calculated by the following mathematical expression<sup>2</sup>.

Where:

x: weight of the reagent to weighing

dr: dosing of the reagent

Pm: weight of the sample to floating

F: factor of dissolution

p: purity of the reagent

$$x = \frac{dr \times Pm \times f}{p}$$

**Example:**

**Aerofloat 25** = 25 g/t

$$x = \frac{(25)(750)(10)^{-6}}{1}$$

X= 0.01875 g



The quantity calculated of reagent is dissolved in 100ml<sup>(2)</sup> and is added, like showed the following example:

**Aerofloat 25**

25g            100ml  
 15g            x= 60ml  
 5g              x=20ml  
 5g              x=20ml

The Flotation's of agreement are programmed this way to the calculations obtained of reagents and dissolution<sup>4</sup> like show later:

**Table 2.** Example of Addition of Reagents prepared for 100 ml.

			reagents	Aerofloat 25	Aerofloat 31	KAX	RS-370	SiO3Na2
Operation	time	pH	dosage	100ml	100ml	100ml	100ml	100ml
conditioning	16'	10.5						100
conditioning	11'	10.5		60	60			
conditioning	5'	10.5				66,67	60	
Flotation A	5'	10.5						
conditioning	5'	10.5		20	20	20	20	
Flotation B	5'	10.5						
conditioning	5'	10.5		20	20	13,33	20	
Flotation C	5'	10.5						

Source: The Author

On having finished the tests of Flotation, samples of concentrates and re-wash were taken to the laboratory IQA of the UTPL for the golden quantification by atomic absorption, for these test was used a PerkinElmer spectrofotometer. With these resultsto be realized ametallurgical balance sheets of gold:

Metallurgical Balance sheets of Gold

Entered = Concentrate + Re-washes

(weight of sample X Law Au) = (Concentrated Weight X Law Au) + (Weight Re-washes X Law Au)

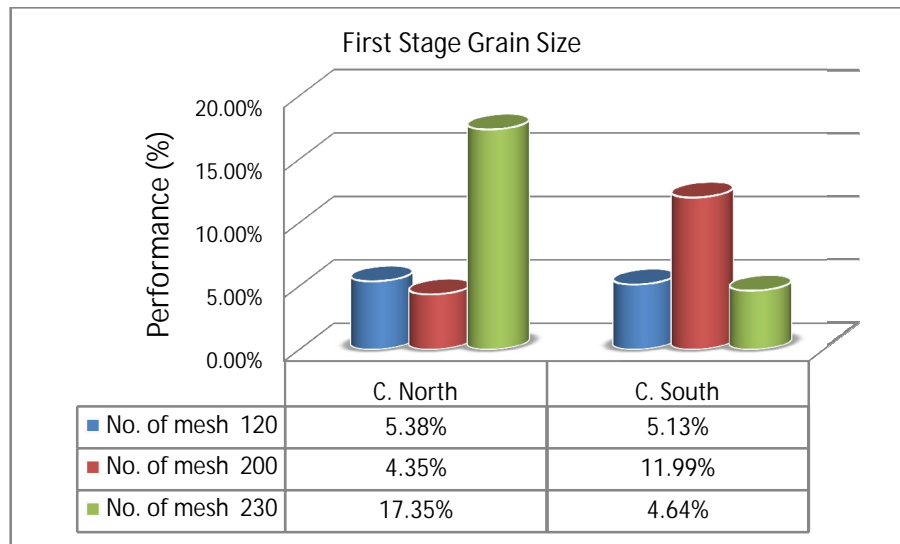
$$\text{performance} = \frac{\text{Concentrated}}{\text{Re - washes}} \times 100$$

Finally we obtain the performance of the flotation tests realizing an average between two repetitions.

**RESULTS:**

- **FirstStageGrainSize.**

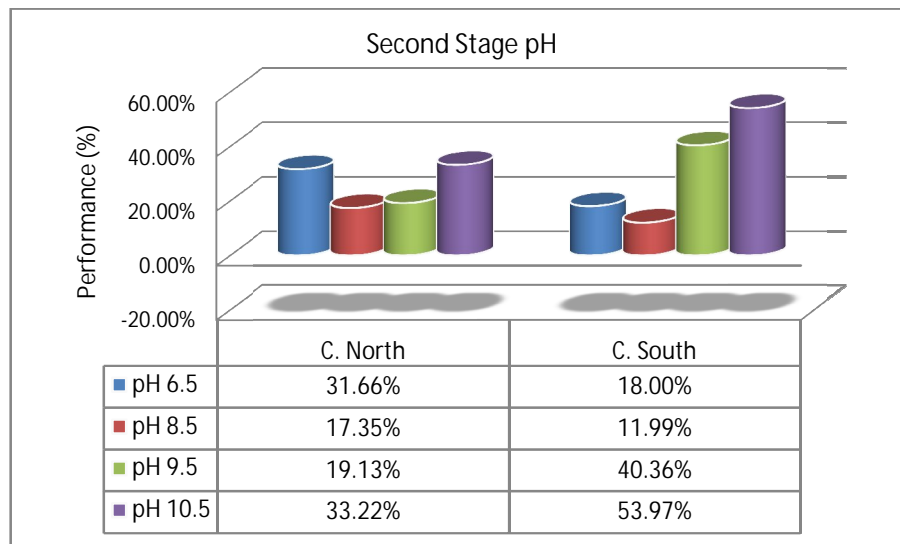
*Figure 1. Gold Performance Flotation Test of the First Stage*



Source:TheAuthor

- **SecondStage pH.**

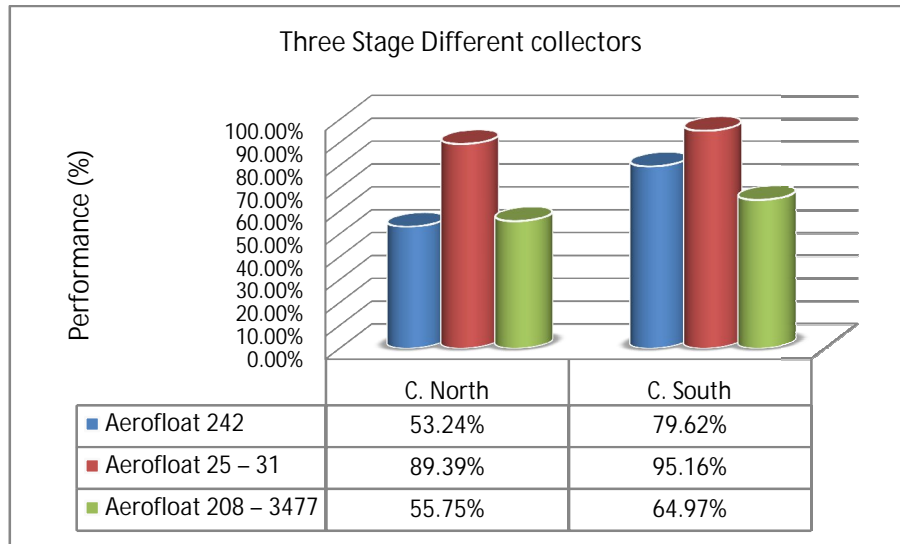
*Figure 2. Gold Performance Flotation Test of the Second Stage*



Source:TheAuthor

- **Three Stage Different collectors.**

**Figure 3.** Gold Performance Flotation Test of the three Stage



Source: The Author

## CONCLUSIONS:

Since results of the investigation realized in re-wash of the Condominiums north and Condominium South Nambija, it is possible to conclude the following thing: The size of grain adapted in the flotation of the mineral Skarn for the north condominium is of 63um and for the south condominium it is of 75um. lo which are a good point to begin the following stages. The pH adapted in the flotation of the mineral Skarm of the north and south condominiums is of 10.5. The type of collector selected in the flotation of the mineral Skarn of the North and South condominiums is the combination between the Aerofloat 25 and 31, get a final recovery of the whole process 89.39 % and 95.16 % respectively.

The size of grain of the particles adapted for the flotation of mineral Skarm of the mining district Nambija is relatively thick which favors the final recovery, the gold like metal noble possesses a strong chemical stability but in turn there has been demonstrated that they present a great interaction with the groups acid and it will be the protonation of the same one the one that generates the character strongly hydrophilic. Of the previous thing it is possible to deduce the relative facility of the hydrophobisation of the gold in the intervals of pH basic, provided that the interaction with the ionic groups of the water OH - is relatively more low that with the ionic group H+ and therefore the competitiveness of the collector's, is favored whereby increases the Total recovery.

## REFERENCES

1. Evaluación de Distritos Mineros en el Ecuador, Volumen 5- Depósitos Porfídicos y Epi-Mesotermales Relacionados con Intrusiones de la Cordillera del Condor. BGS-PRODEMINCA, 2000.
2. Sanmartín, V. *Mineralogía y metalurgia del Yacimiento Minero de Nambija: Estudio mineralógico y metalúrgico de los relaves de gravimetría de las plantas artesanales del Condominiosur y CondominioNorte*, Universidad Técnica Particular de Loja: Loja, 2012.
3. Jiménez, M; Prieto, I. Determinar el rendimiento de recuperación de oro y plata aplicando un proceso combinado de flotación y cianuración a los relaves provenientes de las plantas de tratamiento gravimétrico del Condominiosur Nambija. EngineerDissertation, Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, MA, 2011
4. Naranjo D. Flotación Directa De Oro Nativo Grueso, Como Substituto De La Amalgamación Tradicional. EngineerDissertation. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, MA, 2012.
5. Perry R. *Manual del Ingeniero Químico (6ta. Edición)*. Sección: Sistema De Clasificación Solido – Solido Y Líquido – Líquido. Flotación. México. McGraw-Hill. Petrucci, R. S.A. 2001. Tomo 2. ISBN-0-07-040479-7.