



**UNL**

Universidad  
Nacional  
de Loja

## Universidad Nacional de Loja

### Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables

#### Maestría en Minas Mención en Mineralurgia y Metalurgia Extractiva

#### Determinación del diseño de beneficio para el aumento cuantitativo de producción de la Mina Mirador, en su sistema de flotación

Trabajo de Titulación previo a la  
obtención del título de Magister en Minas  
Mención Mineralurgia y Metalurgia  
Extractiva

#### AUTOR:

Ing. Francisco Rodrigo Gaona Salinas

#### DIRECTOR:

Ing. Fermín Alexander González Sisalima Mg. Sc.

Loja – Ecuador

2023

## Certificación

Loja, 06 de julio del 2023

Ing. Fermín Alexander González Sisalima Mg. Sc.  
**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

### **CERTIFICO:**

Que he revisado y orientado todo proceso de la elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Determinación del diseño de beneficio para el aumento cuantitativo de producción de la Mina Mirador, en su sistema de flotación**, previo a la obtención del título de **Magíster en Minas, Mención Mineralurgia y Metalurgia Extractiva**, de autoría del estudiante **Ing. Francisco Rodrigo Gaona Salinas**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja para el efecto, autorizo la presentación para la respectiva sustentación y defensa.

Ing. Fermín Alexander González Sisalima Mg. Sc.  
**DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

## **Autoría**

Yo, **Francisco Rodrigo Gaona Salinas**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación del Trabajo de Titulación en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.

**Firma:**

**Cédula de Identidad:** 1103168348

**Fecha:** 06 de julio del 2023

**Correo electrónico:** francisco.gaona@unl.edu.ec

**Teléfono :** 0989430805

**Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.**

Yo, **Francisco Rodrigo Gaona Salinas**, declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Determinación del diseño de beneficio para el aumento cuantitativo de producción de la Mina Mirador, en su sistema de flotación**, como requisito para optar el título de **Magíster en Minas, Mención Mineralurgia y Metalurgia Extractiva**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los seis días del mes de julio del 2023.

**Firma:**

**Autor:** Francisco Rodrigo Gaona Salinas

**Cédula:** 1103168348

**Dirección:** Loja/Vilcabamba, vía Yamburara s/n

**Correo electrónico:** francisco.gaona@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0989430805

**DATOS COMPLEMENTARIOS:**

**Director de Trabajo de Titulación:** Ing. Fermín Alexander González Sisalima Mg. Sc.

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo principalmente a Dios, por darme la fuerza necesaria para terminar esta meta en mi formación profesional, a mis padres, aunque el uno ya no está físicamente, por motivarme a seguir hacia adelante, a mi esposa e hijos, para que cada uno de mis metas alcanzadas les quede como ejemplo, a mi familia en general por su apoyo incondicional y compartir conmigo buenos y malos momentos.

***Francisco Rodrigo Gaona Salinas***

## **Agradecimiento**

En primer lugar, agradezco a Dios, por darme la vida y la salud, a mis padres, aunque el uno físicamente ya no está, a mi esposa, hijos e hijas que siempre me han dado su apoyo incondicional para poder cumplir los objetivos personales y académicos, a mi tutor por su dedicación y conocimientos y a todos mis docentes que han formado parte de mi camino universitario en esta maestría para transmitirme los conocimientos necesarios, por ultimo agradecer a la universidad por haberme acogido como estudiante de la maestría y así obtener mi título de Magister.

*Francisco Rodrigo Gaona Salinas*

## Índice de contenidos

Portada.....	i
Certificación .....	ii
Autoría.....	iii
Carta de autorización por parte del autor.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimiento .....	vi
Índice de contenidos.....	vii
Índice de tablas: .....	ix
Índice de figuras:.....	x
Índice de anexos: .....	xi
<b>1. Título.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Resumen.....</b>	<b>2</b>
2.1. Abstract .....	3
<b>3. Introducción .....</b>	<b>4</b>
3.1. Objetivos .....	6
3.1.1.    Objetivo general .....	6
3.1.2.    Objetivos específicos .....	6
<b>4. Marco Teórico .....</b>	<b>7</b>
4.1. Proyectos Estratégicos Mineros Nacionales (PEMN).....	7
4.2. Flotación de minerales .....	7
4.2.1.    Proceso de flotación.....	7
4.2.2.    Clasificación de flotación de minerales.....	8
4.2.3.    Elementos tecnológicos del proceso.....	9
4.2.4.    Reactivos de flotación .....	10
4.3. Pruebas de ciclo cerrado y su procedimiento .....	11
4.4. Circuito de flotación Rougher .....	11
4.5. Proceso de flotación de minerales .....	12
4.6. Espesador de concentrado .....	12
4.7. Reactivos y Colectores de flotación .....	13
<b>5. Materiales y Métodos.....</b>	<b>14</b>
5.1. Materiales .....	14
5.2. Área de estudio.....	14
5.2.1.    Ubicación.....	14
5.2.2.    Acceso .....	17
5.3. Metodología .....	17
5.3.1.    Metodología aplicada para el primer objetivo: Evaluar el tipo de materia prima mineral a ser procesada, en base a consideraciones físicas, químicas y mineralógicas que inciden en la trituración y molienda de los minerales cupríferos de la mina Mirador Norte. ....	18
5.3.2.    Metodología del segundo objetivo: Valorar el comportamiento de la mena en los procesos de concentración, tratamiento y uso de reactivos para la obtención de los minerales cupríferos, mediante el sistema de flotación. ....	20
5.3.3.    Metodología del tercer objetivo: Estructurar la infraestructura necesaria para el funcionamiento de la planta de beneficio mediante flotación de los minerales cupríferos y relaves, para el aumento cuantitativo de producción de esta mina.....	21
<b>6. Resultados.....</b>	<b>23</b>
6.1. Información general del área de estudio .....	23
6.2. Resultados del primer objetivo.....	24

6.2.1.	Estado actual de la producción de la planta de beneficio .....	24
6.2.2.	Depósito de relaves.....	26
6.2.3.	Peso específico de roca y mineral.....	26
6.3.	Resultados del segundo objetivo .....	31
6.3.1.	Prueba preliminar de flotación del mineral .....	31
6.3.2.	Prueba de flotación de minerales realizada por el Centro Técnico de Tongling 34	
6.3.3.	Proceso de flotación.....	45
6.3.4.	Descripción de los principales equipos seleccionados .....	46
6.3.5.	Equipo de flotación.....	47
6.3.6.	Espesador del concentrado de cobre.....	52
6.3.7.	Equipo de mezcla antes de la flotación rougher .....	52
6.4.	Resultados del tercer objetivo .....	54
6.4.1.	Planta de beneficio Mirador Norte .....	54
6.4.2.	Sala de control centralizado.....	60
<b>7.</b>	<b>Discusión .....</b>	<b>61</b>
<b>8.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>65</b>
<b>9.</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>67</b>
9.1.	Infraestructuras complementarias de la Planta de Beneficio Mirador Norte .....	57
<b>10.</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>68</b>
<b>11.</b>	<b>Anexos.. .....</b>	<b>71</b>

## Índice de tablas:

<b>Tabla 1.</b> Materiales de campo y de oficina .....	<b>14</b>
<b>Tabla 2.</b> Ubicación y fuente cartográfica .....	<b>15</b>
<b>Tabla 3.</b> Indicadores de producción mensuales de la planta de beneficio actual de Mirador.	<b>25</b>
<b>Tabla 4.</b> Resumen de los registros del peso específico .....	<b>26</b>
<b>Tabla 5.</b> Resumen del límite superior de la ley de cobre y oro.....	<b>27</b>
<b>Tabla 6.</b> Propiedades físicas de la mena del tajo Mirador .....	<b>27</b>
<b>Tabla 7.</b> Propiedades físicas de la mena del tajo Mirador Norte .....	<b>27</b>
<b>Tabla 8.</b> Composición mineral y contenido relativo de la mina Mirador Norte .....	<b>29</b>
<b>Tabla 9.</b> Resultados del análisis de los elementos múltiples de la mena .....	<b>29</b>
<b>Tabla 10.</b> Resultados de todo el análisis químico de la mina Mirador Norte .....	<b>30</b>
<b>Tabla 11.</b> Información de muestras del yacimiento Norte para pruebas de flotación.....	<b>34</b>
<b>Tabla 12.</b> Composición de muestras compuestas para pruebas de flotación de Mirador Norte .....	<b>35</b>
<b>Tabla 13.</b> Resultados de prueba de finura de molienda .....	<b>37</b>
<b>Tabla 14.</b> Análisis oro, plata .....	<b>39</b>
<b>Tabla 15.</b> Análisis Cu, S, humedad, tamizaje .....	<b>39</b>
<b>Tabla 16.</b> Análisis de los múltiples elementos del concentrado de cobre (%).....	<b>43</b>
<b>Tabla 17.</b> Análisis de los múltiples elementos de relave grueso (%).....	<b>43</b>
<b>Tabla 18.</b> Análisis de los múltiples elementos de relave fino (%).....	<b>44</b>
<b>Tabla 19.</b> Celdas de flotación rougher .....	<b>48</b>
<b>Tabla 20.</b> Celdas de flotación barridos.....	<b>49</b>
<b>Tabla 21.</b> Celdas de flotación de limpios.....	<b>50</b>
<b>Tabla 22.</b> Espesador del concentrado de cobre .....	<b>52</b>
<b>Tabla 23.</b> Tipo, dosis y concentración de reactivos .....	<b>53</b>
<b>Tabla 24.</b> Instalaciones de almacenamiento de mena .....	<b>58</b>

## Índice de figuras:

<b>Figura 1.</b> Representación esquemática del proceso de flotación .....	<b>8</b>
<b>Figura 2.</b> Clasificación de la aplicación de flotación.....	<b>8</b>
<b>Figura 3.</b> Corte transversal de una celda de flotación.....	<b>9</b>
<b>Figura 4.</b> Ubicación general.....	<b>15</b>
<b>Figura 5.</b> Ubicación detallada del proyecto minero Mirador Norte.....	<b>16</b>
<b>Figura 6.</b> Acceso al proyecto Mirador .....	<b>17</b>
<b>Figura 7.</b> Proyecto Mina Mirador .....	<b>24</b>
<b>Figura 8.</b> Flujo de proceso principal de la prueba preliminar en el tajo .....	<b>33</b>
<b>Figura 9.</b> Diagrama de muestreo de concentrado de cobre.....	<b>35</b>
<b>Figura 10.</b> Diagrama de flujo del proceso de la prueba de finura de molienda.....	<b>37</b>
<b>Figura 11.</b> Diagrama de flujo cantidad-calidad de prueba de circuito cerrado del proceso de diseño .....	<b>42</b>
<b>Figura 12.</b> Control remoto del proceso de flotación .....	<b>44</b>
<b>Figura 13.</b> Empacadoras de concentrado de cobre .....	<b>54</b>
<b>Figura 14.</b> Celdas e hidrociclones de flotación.....	<b>55</b>
<b>Figura 15.</b> Diagrama de Flujo Planta de Beneficio.....	<b>56</b>

## **Índice de anexos:**

<b>Anexo 1:</b> Análisis químico de Mena Mirador Norte .....	<b>71</b>
<b>Anexo 2:</b> Análisis física mecánica de rocas .....	<b>72</b>
<b>Anexo 3:</b> Indicadores de concentrado de cobre.....	<b>73</b>
<b>Anexo 4:</b> Pruebas de flotación.....	<b>74</b>
<b>Anexo 5:</b> Ensayos de humedad de transporte de concentrado de cobre y medición de análisis metalúrgico.....	<b>75</b>
<b>Anexo 6:</b> Diagrama de flujo del proceso de beneficio .....	<b>76</b>
<b>Anexo 7:</b> Ubicación de equipos en ampliación de la planta de beneficio .....	<b>77</b>
<b>Anexo 8:</b> Ubicación de equipos en la planta de beneficio.....	<b>78</b>
<b>Anexo 9:</b> Análisis oro, plata .....	<b>79</b>
<b>Anexo 10:</b> Análisis Cu, S, humedad, tamizaje .....	<b>80</b>
<b>Anexo 11:</b> Autorización de empresa ECSA .....	<b>81</b>
<b>Anexo 12:</b> Certificado de traducción del resumen .....	<b>82</b>

## **1. Título**

**Determinación del diseño de beneficio para el aumento cuantitativo de producción de la Mina Mirador, en su sistema de flotación**

## 2. Resumen

La planta de beneficio Mirador fue construida, instalada y se pone en funcionamiento en julio de 2019. La ampliación de la planta Mirador Norte considera la producción actual de 60000 t/d (20 millones de t/a), aumentando 80000 t/d (26.2 millones de t/a). Después de la ampliación, la producción total de la mina de cobre Mirador será de 140000 t/d (46.2 millones de t/a).

La Planta Concentradora de la división Salvador-CODELCO experimentó bajas recuperaciones de cobre y una alta razón de cobre oxidado (Kox) en la alimentación. Es por ello que se planteó como alternativa la sulfidización de cobre en la flotación Rougher para aumentar la recuperación de cobre, situación que se consiguió en estos últimos años. En la Escuela Politécnica Nacional se realizó el diseño preliminar básico para una planta de concentración de cobre, a partir del material del Proyecto Mirador, la capacidad para el diseño fue de 5 000 t/día; este trabajo es similar al planteado en este estudio investigativo.

Los indicadores de mena de cobre de la planta de beneficio de Mirador Norte proyectados son: 0,51% de Cu, 0,17 g/t de Au y 1,36 g/t de Ag. La tecnología de trituración y molienda adopta el proceso SABC "molienda semiautomática + molienda de bolas + trituración de roca dura". Para el beneficio, se utiliza el "proceso de molienda, flotación, descarga, remolienda y flotación de limpios y de barridos". Se utiliza el proceso de espesadores de dos etapas: "concentración + filtración" para la deshidratación del concentrado de cobre. El concentrado de cobre se embala y serán transportados en sacos de big bags de dos toneladas.

El sistema de flotación y remolienda: estará integrada por tres circuitos de flotación: el primero para gruesos compuesto por once celdas, un nido de hidrociclones y un molino vertical; un segundo circuito de flotación vertical contará con siete columnas de flotación y, finalmente, el tercer circuito de flotación contará con cuatro celdas. La finura de molienda es el factor clave que afecta la tasa de recuperación del concentrado de cobre.

Los gastos de producción y operación incluyen principalmente la tarifa de energía eléctrica, el consumo de acero, banda transportadora y malla y el costo de mano de obra. El costo de operación integral de la alternativa del (proceso SABC), es el más bajo.

**Palabras claves:** Proceso SABC, celdas de flotación, hidrociclones, flotación rougher, espesadores, concentrado de cobre.

## 2.1. Abstract

The Mirador beneficiation plant was built, installed and will be commissioned in July 2019. The expansion of the Mirador Norte plant considers the current production of 60,000 t/d (20 million t/a), increasing to 80,000 t/d (26.2 million t/a). After the expansion, the total production of the Mirador copper mine will be 140,000 t/d (46.2 million t/a).

The Salvador-CODELCO division of the Concentrator Plant experienced low copper recoveries and a high ratio of oxidized copper (Kox) in the feed. For this reason, copper sulfidization in Rougher flotation was proposed as an alternative to increase copper recovery, a situation that has been achieved in recent years. At the National Polytechnic School, a basic preliminary design was made for a copper concentration plant, based on material from the Mirador Project; the design capacity was 5,000 t/day; this work is similar to the one proposed in this research study.

The projected copper ore indicators of the Mirador Norte beneficiation plant are: 0.51% Cu, 0.17 g/t Au and 1.36 g/t Ag. The crushing and grinding technology adopts the SABC process "semi-automatic grinding + ball milling + hard rock crushing". For beneficiation, the "clean and sweep grinding, flotation, discharging, regrinding and flotation process" is used. The two-stage thickener process: "concentration + filtration" is used for the dewatering of the copper concentrate. The copper concentrate is packed and will be transported in two-ton big bags.

The flotation and regrinding system will consist of three flotation circuits: the first for coarse flotation, composed of eleven cells, a nest of hydrocyclones and a vertical mill; a second vertical flotation circuit will have seven flotation columns; and finally, the third flotation circuit will have four cells. Grinding fineness is the key factor affecting the copper concentrate recovery rate.

The production and operating costs mainly include electric power rate, steel, conveyor belt and mesh consumption and labor cost. The integral operating cost of the alternative of the (SABC process), is the lowest.

**Keywords:** SABC process, flotation cells, hydrocyclones, rougher flotation, thickeners, copper concentrate.

### 3. Introducción

La flotación de sulfuros de cobre es una actividad metalúrgica nueva en el Ecuador y se está constituyendo en una operación minera de gran relevancia hoy en día, es un proceso simple desde el punto de vista operacional y poco costoso en cuanto al consumo de los reactivos que requiere, lo cual hace que su aplicación industrial sea muy atractiva, por otra parte, es importante señalar que la flotación, en el tratamiento de sulfuros, es la operación metalúrgica más importante desde el punto de vista económico, debido a que es aquí donde se producen las mayores pérdidas del proceso extractivo, por lo cual la minimización de pérdidas de mineral valioso o de recuperación en la flotación es una tarea crucial y un desafío para la optimización del proceso minero en cuestión y consiguiente obtención de mayores ingresos para la empresa.

Es así como una de las causas de pérdida de recuperación de mineral valioso en flotación tiene relación con las características mineralógicas de la alimentación al proceso, las cuales muchas veces dificultan el tratamiento del mineral. Una de estas características corresponde al contenido de cobre soluble u oxidado, este cobre soluble, debido a su gran hidratación, no es posible colectarlo en el proceso y se pierde en la cola de flotación.

La planta de beneficio de la fase I Mirador fue construida, instalada y se pone en funcionamiento en julio de 2019. Se utiliza dos series de producción, cada serie opera con una capacidad de producción diseñada de 10 millones de toneladas anuales. El sistema de trituración y molienda adopta el proceso SABC, y el sistema de clasificación utiliza el proceso de "molienda, flotación rougher, relaves, remolienda, flotación de limpios y barridos", y el sistema de espesadores adopta el proceso de dos etapas de "concentración + filtración". El producto es el concentrado de cobre (incluidos oro y plata).

En base a la información de Ecuacorriente S.A. (ECSA), hasta el mes de marzo de 2021, la planta de beneficio de la fase I ha procesado un total de 11.08 millones de toneladas de mineral, con una ley acumulada de concentrado de cobre de 25.15%, la tasa de recuperación de cobre es de 85.54% y se produce acumulativamente 286.339 toneladas de concentrado de cobre.

Según Alexander Sutulov (Alexander, 1963) el proceso de flotación de minerales está basado en procesos fisicoquímicos que ayudan a explicar la afinidad de algunas partículas al aire (esta característica es llamada hidrofobicidad), y también de la afinidad de otras partículas minerales por el agua (esta característica es llamada hidrofiliidad). Se obtiene del proceso un producto comercial llamado concentrado, el cual básicamente contiene un mineral valioso

como el cobre además de otros minerales oro y plata en menor proporción; así como minerales no valiosos que se hallan como impurezas. El otro producto final del proceso de flotación son los llamados relaves o colas, los cuales se caracterizan por tener minerales sin valor comercial.

Los reactivos químicos para generar superficies hidrofóbicas se conocen como colectores, los cuales son sustancias orgánicas con una zona polar y otra no-polar. Un extremo de la parte no-polar contiene un grupo hidrocarbonado de cadena larga. Básicamente, el colector debe adherirse en la parte superficial de las partículas que se desea flotar.

En los siguientes años se pondrá en funcionamiento la mina Mirador Norte, por lo que se realizan pruebas de circuito cerrado del proceso del laboratorio de esta mina: obteniendo ley de concentrado de cobre 26,30%, ley de oro 0,17.06g/t, ley de plata 1,36 g/t; tasa de recuperación de concentrado de cobre de 89%, tasa de recuperación del oro 50% y tasa de recuperación de plata 67%. Los indicadores de beneficio del mineral primario de Mirador Norte han mejorado considerablemente, por esos es necesario una investigación científica de su proceso de flotación.

Las instalaciones de producción de la fase I de "Mirador" brindan las facilidades para la ampliación a la fase II, se puede realizar el desarrollo y la construcción de la fase II sobre la base de las instalaciones de la fase I. Se construye la planta principal de beneficio de la fase II en el sitio reservado de la fase I; en cuanto a la relavera, se continúa con el uso del espacio para la fase I y se analiza alternativas de ampliación y nuevos sitios para relaves. Los laboratorios son de la fase I, y se agregan los equipos faltantes. Las instalaciones de oficinas y campamentos de la fase I albergaran al personal que trabaje para la fase II.

La optimización del proceso de beneficio y específicamente del sistema de flotación es fundamental conocer; se forma una gran cantidad de micro burbujas en la parte inferior de la columna de flotación, lo que permite una mezcla uniforme de pulpa y aire, aumentando el área de contacto de los minerales y reduciendo el fenómeno de "fluctuaciones en los niveles", lo que mejora significativamente la ley de concentrado.

El cálculo de variables a utilizarse en Mirador Norte puede mejorar considerablemente la eficiencia de flotación de los minerales en la operación en planta, dando como resultado un menor consumo de reactivos químicos y optimizando los costos de producción; los otros productos obtenidos son los llamados relaves o colas, los cuales se caracterizan por tener minerales sin valor comercial; pero son importantes al momento de trasportarlos dentro de la planta de beneficio para su confinamiento.

### **3.1. Objetivos**

#### **3.1.1. *Objetivo general***

- Desarrollar las variables para la determinación del diseño de beneficio para el aumento cuantitativo de producción de la mina Mirador en su sistema de flotación, para obtener los minerales metálicos valiosos en su concentrado.

#### **3.1.2. *Objetivos específicos***

- Evaluar el tipo de materia prima mineral a ser procesada, en base a consideraciones físicas, químicas y mineralógicas que inciden en la trituración y molienda de los minerales cupríferos de la mina Mirador Norte.
- Valorar el comportamiento de la mena en los procesos de concentración, tratamiento y uso de reactivos para la obtención de los minerales cupríferos, mediante el sistema de flotación.
- Estructurar la infraestructura necesaria para el funcionamiento de la planta de beneficio mediante flotación de los minerales cupríferos y relaves, para el aumento cuantitativo de producción de esta mina.

## 4. Marco Teórico

### 4.1. Proyectos Estratégicos Mineros Nacionales (PEMN)

**Proyecto Mirador.** El producto a explotar es principalmente Cobre y secundariamente Oro y Plata, se estima una reserva probable de 437 millones 670.000 Ton. La empresa operadora es Ecuacorriente S.A. (ECSA); se prevé el inicio de explotación para el año 2016 y por un tiempo de operación de la mina de 20 años.

**Yacimiento Mirador Norte.** En el yacimiento de Mirador Norte, con una ley de corte de cobre de 0,3%, la cantidad de recursos minerales medidos e indicados, es de 289.000.000 toneladas, con una ley promedio de cobre de 0,44% (1.279.150 toneladas de Cu); y, los recursos minerales inferidos son 105.000.000 toneladas, con una ley promedio de cobre de 0,41% (434.000 toneladas de Cu).

La cantidad de recursos medidos e indicados en los dos yacimientos es en total 843.190.000 toneladas, con una ley promedio de 0,516% (4.358.640 toneladas de Cu); y, la cantidad de recursos minerales inferidos es de 522.000.000 toneladas, con una ley promedio de cobre de 0.44% (2.304.600 toneladas de Cu).

### 4.2. Flotación de minerales

La flotación de minerales depende de las propiedades de los minerales que le permite adherirse a burbujas de aire y ser llevados a la superficie de la pulpa.

Los reactivos que se adiciona a la pulpa (mineral agua) es con el propósito de crear una superficie hidrófoba, se denominan colectores.

Para facilitar la adhesión del colector al mineral útil y para impedir esta adhesión al mineral no valioso se agregan otros reactivos denominados activadores y depresores, estos compuestos llevan el nombre genérico de modificadores o moduladores de la colección.

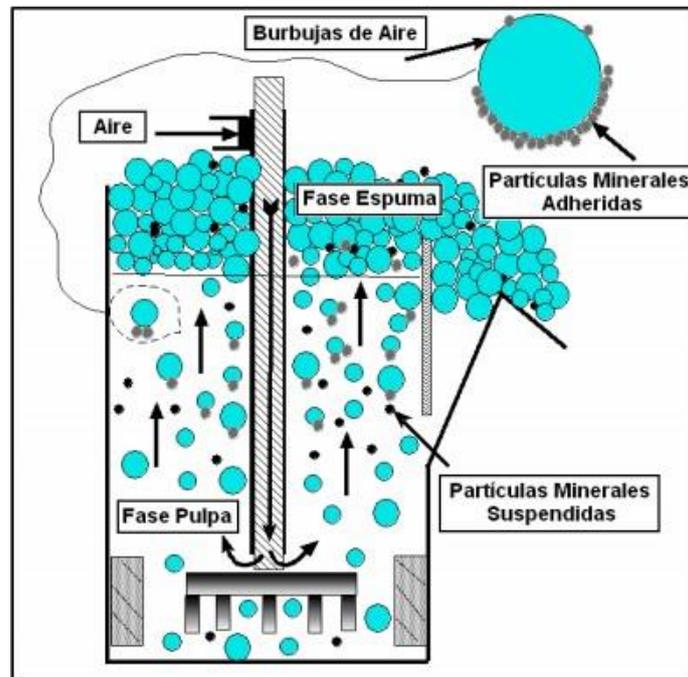
La teoría de flotación debe explicar el mecanismo mediante el cual actúan los colectores y los modificadores, las condiciones para que un compuesto químico sea colector de un determinado mineral, y debe establecer la condición fisicoquímica que producirá un mejor rendimiento del proceso. (Salager, 2007)

#### 4.2.1. *Proceso de flotación*

Todas las técnicas o métodos de separación, físicos o químicos, se basan sobre las diferencias en las propiedades de los materiales. La flotación es un proceso de separación y

concentración, aprovecha las diferencias en las propiedades fisicoquímicas de superficies de los minerales. (Vianna, 2004)

**Figura 1.** Representación esquemática del proceso de flotación



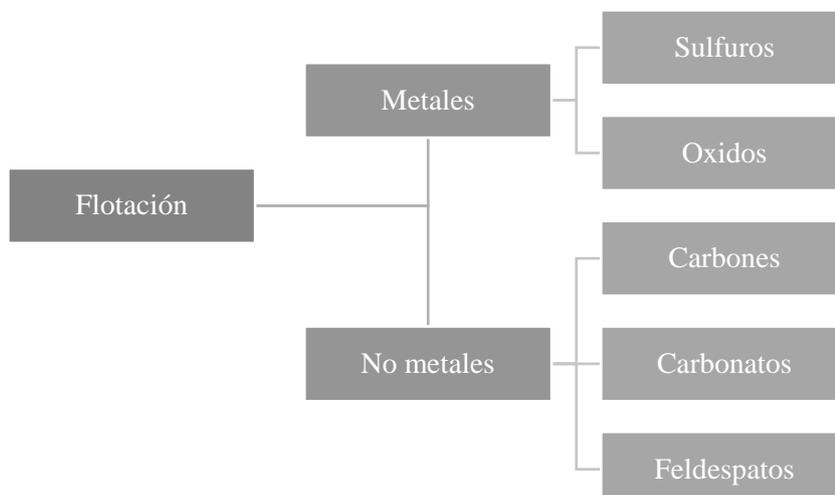
*Nota:* (Vianna, 2004)

La concentración por flotación, viene determinada principalmente de la diferencia en la hidrofobicidad de partículas minerales.

Para que una partícula sea flotada tiene que adherirse selectivamente a burbujas de aire; así, el agregado burbuja-partícula asciende a través de una pulpa, tal como se puede evidenciar en la figura 1.

#### 4.2.2. Clasificación de flotación de minerales

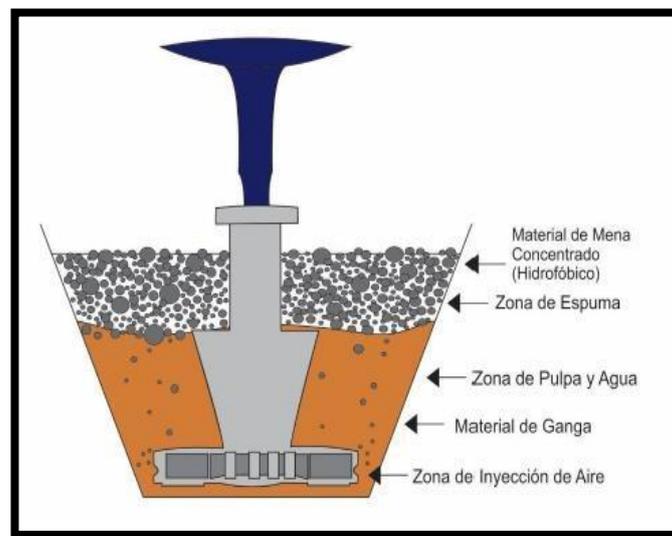
**Figura 2.** Clasificación de la aplicación de flotación



### 4.2.3. Elementos tecnológicos del proceso

En un esquema general, el tratamiento por el proceso de flotación consta de los siguientes pasos: el mineral crudo o cabeza, proveniente de la mina, entra en una planta de trituración donde se tritura en seco en dos o tres etapas hasta obtener trozos de más o menos 10 mm, estos trozos, en seguida, se entregan a una planta de molienda, donde en dos circuitos húmedos de molienda fina el mineral se reduce en tamaño hasta 50-100 micrones, dependiendo de su diseminación. El mineral tiene que molerse hasta el punto en que queda “liberado”, o sea, en que cada partícula individual representa una sola especie mineralógica (Alexander, 1963).

**Figura 3.** Corte transversal de una celda de flotación



*Nota:* (Cuenca, 2016)

El mineral preparado de este modo por flotación se acondiciona con distintos reactivos: unos que tienen como objeto preparar las superficies de los minerales para la adsorción de los reactivos (modificadores), otros que aumentan las propiedades hidrofóbicas de los minerales (colectores) y otros que facilitan la formación de una espuma pareja y estable (espumantes). Las pulpas acondicionadas con los reactivos se introducen en seguida en las máquinas de flotación, donde el producto noble, normalmente, se separa en el concentrado y la parte estéril se descarga como relave.

Cuando el mineral consta de varios componentes útiles como es el caso de menas complejas de cobre, hierro y molibdeno o de plomo, zinc y cobre, entonces la separación de minerales es algo más complicada. En primer término, en la flotación inicial (primaria), se puede optar por una flotación colectiva o selectiva. Esto significa, que se pueden flotar o todas las especies útiles en conjunto (flotación colectiva) para separarlas de la ganga y después entre

sí, o se puede flotar un componente tras otro en forma selectiva. A este último método se lo llama a veces flotación diferencial (Alexander, 1963).

Al separar los concentrados individuales de cualquiera de los dos modos, se procede, primero a su limpieza por medio de flotaciones consecutivas, y en seguida se hace el desagüe y, si es necesario, el secado y la aglomeración, como se señaló anteriormente.

#### **4.2.4. *Reactivos de flotación***

Los reactivos de flotación son sin duda el componente y la variable más importante del proceso debido a que la flotación no se puede efectuar sin ellos. El número de materiales de alta flotabilidad natural es tan restringido (grafito, talco, azufre) y su importancia relativa tan limitada que no es posible afirmar que la flotación contemporánea se pueda efectuar sin colectores. Por otra parte, hay que recordar que la flotación no se puede efectuar sin espumantes o modificadores del medio. De este modo queda establecido que los reactivos de flotación son absolutamente necesarios para cualquier flotación (Alexander, 1963).

Siendo un elemento tan indispensable del proceso, los reactivos de flotación lo influyen además con una extraordinaria sensibilidad. No solamente influye el tipo de reactivo que se agrega, sino que también toda la combinación de reactivos, su cantidad relativa y absoluta, punto y método de adición y múltiples otros factores que a veces escapan a una definición precisa. Se ha comprobado que los efectos favorables o desfavorables causados por otras variables (molienda, aireación, densidad de la pulpa, etc.) nunca pueden sobrepasar en su importancia los efectos positivos o negativos de una fórmula de reactivos. No es raro, entonces, que la investigación de los reactivos y al estudio de la fórmula más apropiada se dedique generalmente la mayor parte del esfuerzo en la solución del problema metalúrgico de un mineral.

Es conveniente destacar la complejidad del problema que representa la selección de una fórmula apropiada de flotación. Como se sabe, la adsorción de reactivos se basa en un equilibrio de iones de la pulpa que determina los potenciales cinéticos, electroquímico y la hidratación de las partículas minerales. Este equilibrio es difícil de controlar o prever, tomando en consideración que aparte de los reactivos introducidos conscientemente en la pulpa, hay una considerable variedad de iones provenientes de las impurezas que trae el mineral mismo y de las aguas industriales (Alexander, 1963).

Son tres los grupos principales en los cuales se clasifican los reactivos de flotación. Estos grupos son:

- Los colectores, cuya función principal es la de proporcionar propiedades hidrofóbicas a las superficies de los minerales.
- Los modificadores, que sirven para la regulación de las condiciones de funcionamiento de los colectores y aumentar su selectividad.
- Los espumantes, que permiten la formación de una espuma estable, de tamaño de burbujas apropiada para llevar los minerales al concentrado.

#### **4.3. Pruebas de ciclo cerrado y su procedimiento**

Una prueba de flotación de ciclo cerrado (locked cycle test en inglés) es usualmente efectuada al final de un programa de pruebas de flotación de laboratorio, y tiene como objetivo principal confirmar las mejores condiciones de flotación obtenidas en la etapa de pruebas abiertas. Para lo cual se busca evaluar la dosificación de los reactivos de flotación (depresores, colectores, espumantes, activadores, etc.), y por otra parte se busca evaluar el diagrama de flujo que podría ser usado para diseñar un circuito de flotación a escala industrial. Los circuitos de flotación de minerales de cobre, plomo-zinc, cobre-zinc, cobre-plomo-zinc, plata-oro, suelen requerir de la ejecución de las pruebas de ciclo cerrado.

Para efectuar la prueba de ciclo cerrado se debe determinar el número de etapas o ciclos de carga fresca que ingresara al circuito de flotación. Usualmente, se toma como referencia seis ciclos. La molienda primaria de cada carga se efectúa de manera usual, a la misma densidad de solidos de las pruebas abiertas de flotación, y con la adición o no adición de reactivos, y se usaran las mejores condiciones de las pruebas de flotación abiertas. (Michaud, 2015).

#### **4.4. Circuito de flotación Rougher**

El circuito Rougher está compuesto por 30 celdas de flotación encargadas de realizar la primera separación de los minerales con respecto al relave. Las celdas están distribuidas en un circuito en paralelo de 10 celdas en serie, es decir la pulpa proveniente de la estación disipadora se distribuye a tres series de celdas. Esta distribución permite obtener una mayor concentración de minerales ya que cierta celda actúa por sobre el material seleccionado por la celda anterior. Además, al estar en paralelo, se puede detener una serie (o dos) de celdas sin necesidad de detener la producción.

Las celdas de flotación son las encargadas de separar el material por medio de la adición de este a burbujas, las cuales se dirigen a la parte superior de la celda y son separadas del resto de la pulpa, que se dirige a los tranques de relave. (Font, 2010).

#### **4.5. Proceso de flotación de minerales**

El proceso de flotación es una etapa de la concentración de minerales que ocurre en tres fases (líquido, sólido y gas). Se separa el mineral valioso de aquel material no valioso aprovechando sus características físico - químicas mediante la adición de reactivos; esto propicia la generación de espumas y su posterior colección mediante canaletas o launders, para lo cual se utilizan equipos mecánicos, y/o neumáticos, denominadas celdas de flotación.

El proceso de flotación de una planta concentradora es una etapa fundamental del proceso de concentración de minerales al coleccionar en ella el mineral valioso que se refleja en el rendimiento metalúrgico del proceso; esto es en la recuperación del material y la calidad del producto; todo lo cual tiene un efecto directo sobre los ingresos de la empresa.

Un proceso de flotación deficiente con lleva a enviar a la etapa de beneficio siguiente (depósito de relaves) material que prácticamente nunca más podrá ser procesado a pesar de haberse incurrido en gastos económicos importantes en las etapas de extracción mina, transporte de material, y en las etapas de una planta de flotación es factible observar condiciones de operación no standard de los diferentes componentes de una celda y que afectan su operación, la homogenización de la pulpa con el aire de la celda de flotación, todo lo cual conduce a una operación no eficiente del equipo y alcanzar un nivel de eficiencia inferior. (Elgueta, 2021).

#### **4.6. Espesador de concentrado**

La práctica industrial de la concentración de sólidos por decantación y la producción de un rebose clarificado en el mismo equipo denominado “espesador”, data de 1907, en el que un recipiente circular cilíndrico incorporaba un sistema de rasquetas que acercaba el lodo decantado hacia el centro para su evacuación en forma de lodo, en tanto que el agua desbordaba por un canal periférico. Son los tanques “Dorr”, cómo se conoce a los primeros espesadores convencionales utilizados en la industria minera.

Un espesador Dorr convencional de tanque de hormigón sobre el terreno. En este tipo de espesadores se esperaba que el tiempo de retención de la pulpa fuese lo suficientemente largo, para permitir que todos los sólidos sedimentaran por gravedad, tal como se extrapolaba de la sedimentación inicial observado en el ensayo en probeta. Esta operación resultaba extremadamente lenta, lo que motivaba que solo pudieran estar rellenos con un 95% de líquido clarificado, y una pequeña capa de sólidos decantados en el fondo, con un bajo contenido en sólidos en el hundido. (Rodríguez Avello-Sanz, 2013).

#### **4.7. Reactivos y Colectores de flotación**

La flotación por espuma es el proceso industrial más ampliamente usado para la separación de minerales finamente liberados, el proceso consiste en la aireación de minerales en agua en presencia de reactivos de flotación que facilitan la fijación de las burbujas de aire a minerales seleccionados, así como la levitación de estos, una vez en la superficie, una capa de espuma sostiene a los minerales seleccionados hasta que sean retirados. Los materiales no unidos permanecen sumergidos en la pulpa.

Las propiedades de la superficie de un mineral determinan su capacidad de flotación. Los colectores, algunos de los reactivos de flotación más importantes que se utilizan en el proceso de flotación, se utilizan para modificar las propiedades de la superficie de los minerales. Un colector es un producto químico que se une selectivamente a la superficie de los minerales objetivo e imparte hidrofobicidad a dichas partículas minerales, una condición necesaria para la fijación de las burbujas de aire.

Los colectores generalmente se pueden clasificar en tres categorías: no iónicos, aniónicos o catiónicos. Los colectores no iónicos son aceites de hidrocarburos simples. Los colectores aniónicos y catiónicos consisten en un componente polar que se une selectivamente a las superficies minerales, y un componente no polar que se proyecta hacia afuera en la solución, lo que convierte en hidrófoba a su superficie. Los colectores pueden unirse químicamente a la superficie del mineral con alta selectividad (quimisorción) o mantenerse en la superficie por medio de fuerzas físicas (absorción física). La selección del colector es crítica para la separación eficiente de minerales por medio de la flotación por espuma. (Arkema, 2022).

## 5. Materiales y Métodos

### 5.1. Materiales

Los materiales empleados para el desarrollo del presente trabajo se muestran en la siguiente tabla (Ver tabla 1)

**Tabla 1.** Materiales de campo y de oficina

<b>Materiales de campo</b>	<b>Materiales de oficina</b>
<b>Libreta de campo</b>	Software Arcgis 10.5
<b>Dron</b>	Software Autocad 2018
<b>GPS</b>	Documentos Bibliográficos
<b>Equipo de protección personal</b>	Paquete de office 2019
<b>Cámara fotográfica</b>	Hoja geológica

### 5.2. Área de estudio

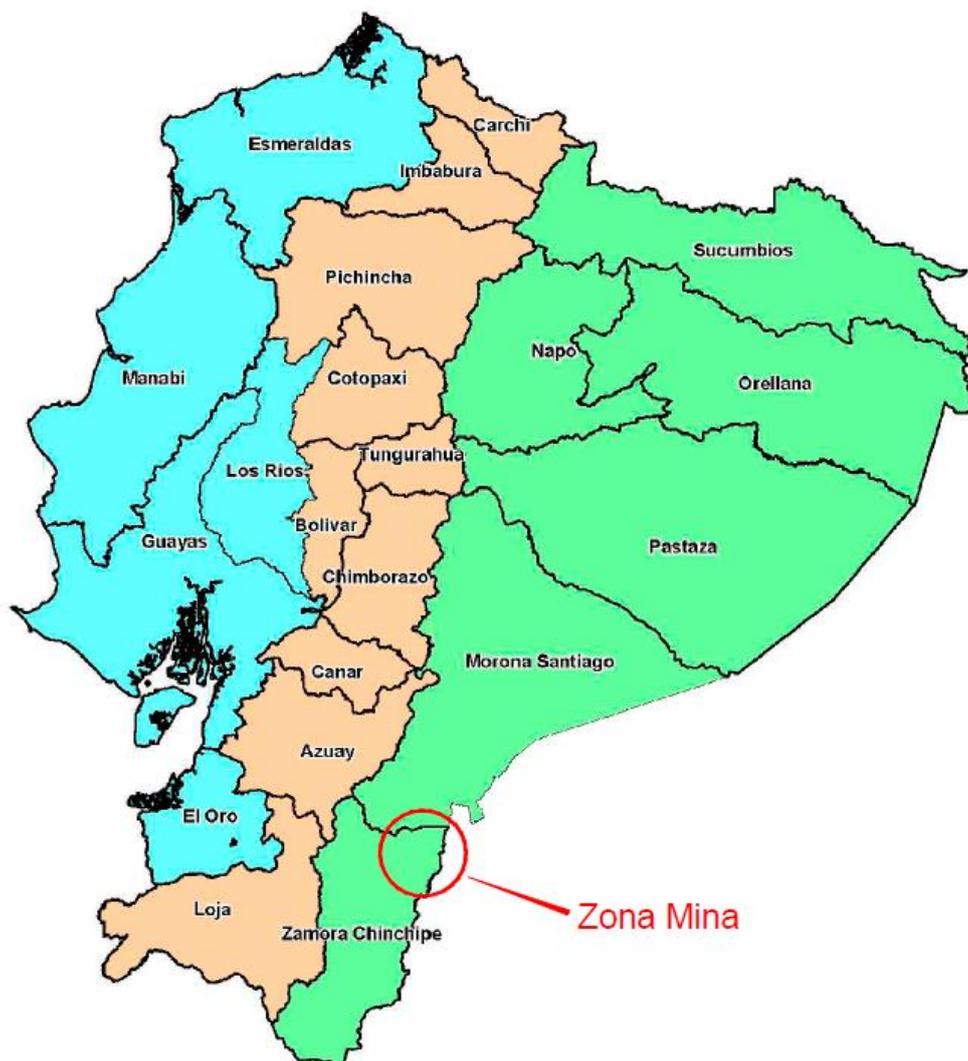
#### 5.2.1. Ubicación

El proyecto Mirador Norte, se encuentra a escasos 2 km. del proyecto Mirador; se ubica en la provincia de Zamora Chinchipe, cantón El Pangui, parroquia Tundayme, aproximadamente a 545 km al sur de Quito y a 167 km de Cuenca.

Ubicado al sureste de Ecuador, el proyecto constituye un gran depósito de cobre que forma parte del cinturón de cobre localizado en la cordillera Oriental de Los Andes; localmente en Zamora Chinchipe se denomina cordillera Condor-mirador.

Las coordenadas UTM del centro del área minera Mirador (tajo) son N9604200 y E785000 (referencia sudamericana UTM Zona 17S, 1956); y las coordenadas UTM del centro del área minera Mirador Norte (tajo norte) son N9604000 y E780500 (referencia sudamericana UTM Zona 17S, 1956). La concesión minera que abarca estos dos proyectos se denomina “Mirador 1 Acumulada”, código 500807.

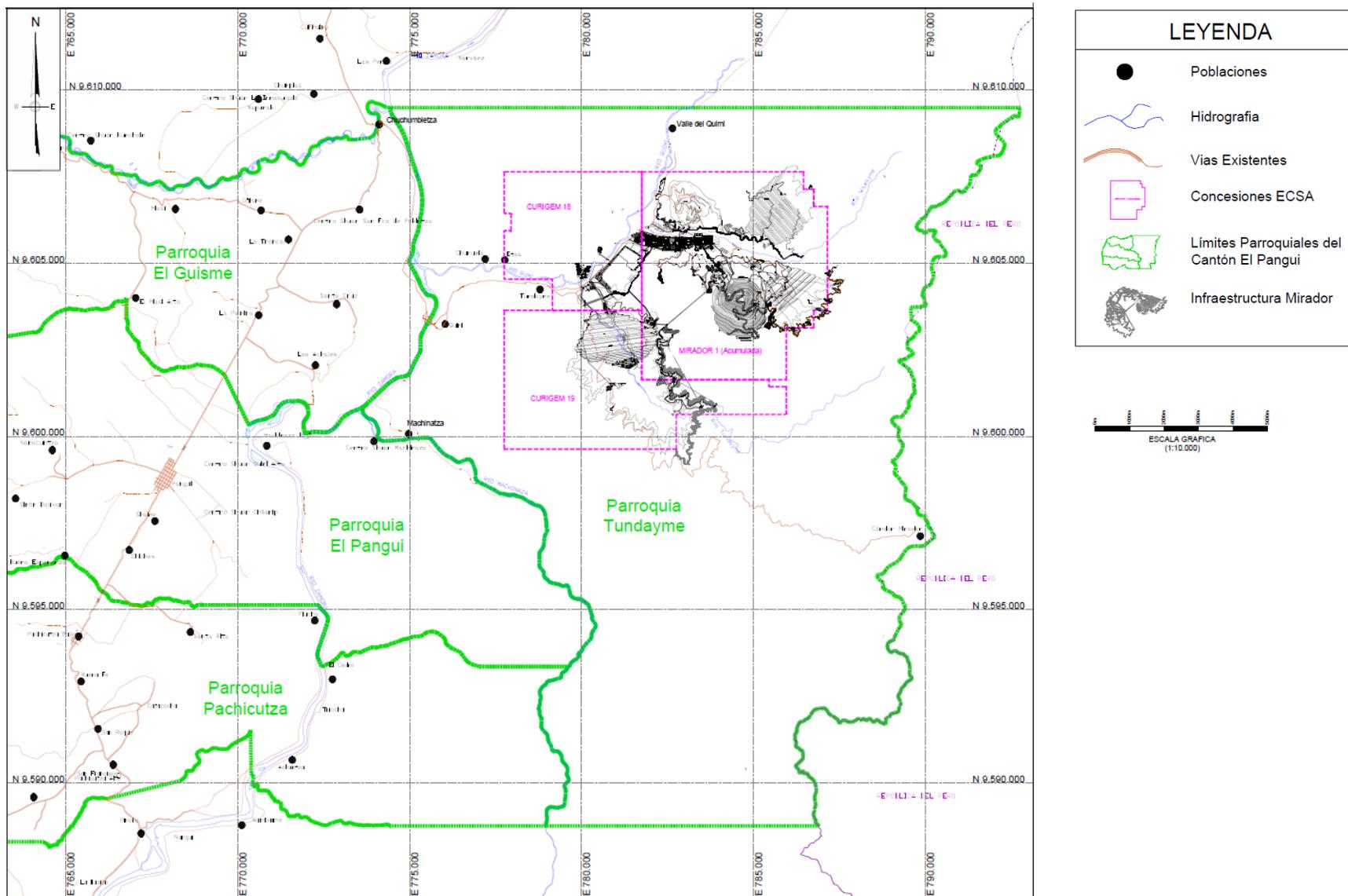
**Figura 4.** Ubicación general



**Tabla 2.** Ubicación y fuente cartográfica

<b>Ubicación</b>
Provincia: Zamora Chinchipe
Cantón: El Pangui
Parroquia: Tundayme
<b>Fuente Cartográfica</b>
Hoja IGM “El Pangui” (ÑVI C4, 3883 II)
Hoja IGM “Condor Mirador” (ÑVI D3, 3983 III)
Hoja IGM “Los Encuentros” (ÑVI E2, 3882 I)
Hoja IGM “Río Cenepa” (ÑVI F1, 3982 IV)

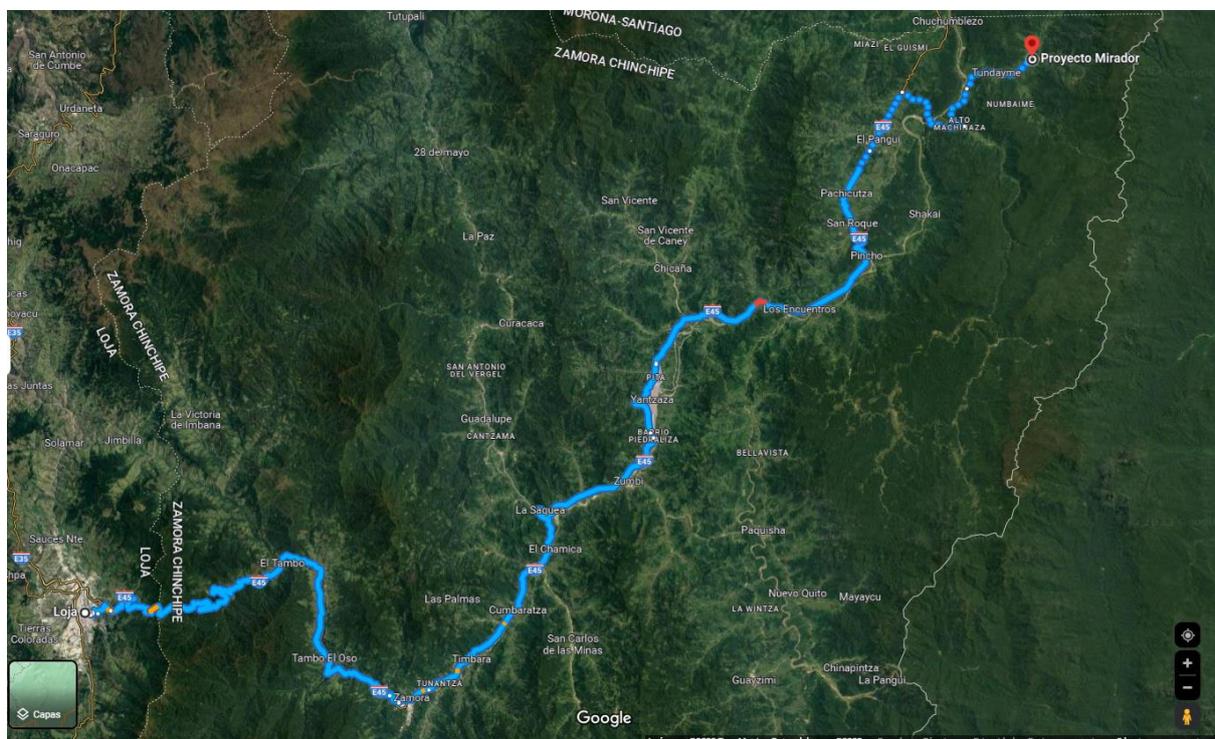
Figura 5. Ubicación detallada del proyecto minero Mirador Norte



### 5.2.2. Acceso

Como punto de partida se toma en cuenta el terminal terrestre de la ciudad de Loja, seguido se toma la calle Illiniza y C. Sta. Marianita de Jesús hacia C. Teniente Hugo Ortiz/Transversal Sur/E50, se sigue por C. Teniente Hugo Ortíz/Transversal Sur/E50 y Ecuador 45/Ruta Panamericana/Troncal Amazónica/E45 hacia Paso Lateral Yantzaza en Zamora Chinchipe, hasta llegar al Pangui seguido de eso bajo vías de tercer orden se llegaría a la parroquia Tundayme para finalmente dirigirse hacia el proyecto Mirador; para mayor detalle de la ruta revisar la figura 6.

**Figura 6.** Acceso al proyecto Mirador



*Nota:* (Google Maps, 2023)

### 5.3. Metodología

Para el desarrollo del presente trabajo de investigación se empleó el método científico-experimental, que se basa en la observación, experimentación y formulación de pruebas para adquirir nuevos conocimientos, integrar o corregir los conocimientos previos. Se manipularon variables como tiempo de trituración y molienda, relación sólido-liquido, porcentaje de entra y salida de material, proceso de flotación, generación de relaves etc.

También se utilizó el método descriptivo para argumentar, clasificar, catalogar o caracterizar la razón del presente estudio (que define el equipamiento y procesos de flotación

en la operación de la planta). En un inicio se ejecutarán descripciones generales; se avaluó el tipo de materia prima mineral a ser procesada, en base a consideraciones fisicoquímicas, mineralógicas y geo mecánica de los elementos cupríferos de la mina Mirador Norte.

El presente trabajo estuvo conformado en tres partes para su respectiva elaboración:

- **Fase de campo:** se realizó la descripción del área de estudio con sus características, así como la toma de muestras de tajo a cielo abierto que se utilizaran más adelante para la realización de las pruebas respectivas.
- **Fase de laboratorio:** se llevó a cabo la ejecución de las pruebas de flotación, de finura de molienda, de circuito cerrado, entre otras; las cuales fueron acompañadas por un set de pruebas de laboratorio.
- **Fase de oficina:** en esta fase tiene lugar la planificación del trabajo, donde se recopiló ordenó y analizó toda la información obtenida en cada prueba y los resultados que se obtuvieron.

**5.3.1. Metodología aplicada para el primer objetivo: Evaluar el tipo de materia prima mineral a ser procesada, en base a consideraciones físicas, químicas y mineralógicas que inciden en la trituración y molienda de los minerales cupríferos de la mina Mirador Norte.**

**5.3.1.1. Recopilación teórica:** se contempló una recopilación de información teórica tanto del funcionamiento de la planta de beneficio y sus instalaciones, sitio de ampliación con énfasis en el proceso de flotación.

Se realizaron visitas de campo al tajo Mirador Norte para recolectar la información correspondiente, así como para la toma de muestras y fotografías para el estudio de la teoría de los diseños experimentales para su implementación en la investigación.

**5.3.1.2. Características químicas:** para las características químicas de concentración de cobre de Mirador Norte, la mena en estudio fue analizada mediante muestras para ensayos de difracción de rayos X y absorción atómica, lo que permitió poder definir las concentraciones químicas de minerales metálicos y leyes de minerales cupríferos y auríferos fundamentalmente.

Con la ayuda de la empresa minera Ecuacorriente S.A y tomando las muestras de testigos perforados se ha de ensayar en laboratorios nacionales e internacionales:

- Ley de cobre en mena %

- Ley de concentrado de cobre %
- Tasa de recuperación %

Con la finalidad de obtener el volumen de concentrado en cobre y cantidad de metal de cobre en toneladas.

**5.3.1.3. Uso de muestras:** con la toma muestras previamente realizadas, se obtuvieron las necesarias para ejecutar los ensayos físicos de la mena y caja que aflora en el futuro tajo Mirador Norte.

Dichos ensayos fueron proporcionados por la empresa Ecuacorriente S.A. y se explican a continuación:

- Peso específico de roca y mineral, de tal manera que se pueda saber los pesos que presentan cada una de las muestras y poder definir un valor promedio de los mismos.
- Factor suelto, permitirá saber el valor que presentaran las muestras al momento de determinar las propiedades físicas del mineral crudo.
- Coeficiente de dureza del mineral, con la finalidad de poder conocer la resistencia que tiene el mineral a ser analizado
- Granulometría de alimentación, empleada tanto en el proceso de trituración y molienda, como para el proceso de remolienda en la finura de granulometría en la flotación, y conocer cómo influye dicho ensayo.

**5.3.1.4. Composición mineralógica:** la composición mineralógica ha sido determinada en laboratorios mineralógicos y petrográficos, el principal mineral que contiene cobre de la mina Mirador es la calcopirita, rellena de fisuras diseminadas y pequeñas, la cual es común en la mayoría de depósitos de sulfuros.

Otros minerales metálicos incluyen la pirita y una pequeña cantidad de molibdenita, yaciendo en una mineralización diseminada de cobre porfídico.

**5.3.2. Metodología del segundo objetivo: Valorar el comportamiento de la mena en los procesos de concentración, tratamiento y uso de reactivos para la obtención de los minerales cupríferos, mediante el sistema de flotación.**

**5.3.2.1. Sistema de flotación:** mediante el sistema de flotación se realizaron ensayos de laboratorio tanto en China como en Canadá en Centros Metalúrgicos especializados de investigación, es por ello que, el Centro Técnico de Tongling en China, llevó a cabo una prueba de laboratorio en muestras de núcleos, cabe mencionar que en nuestro país no se realizan este tipo de ensayos a nivel de gran minería debido a la falta de tecnología y personal especializado para la ejecución de los mismos.

**5.3.2.2. Pruebas de flotación del mineral de cobre:** se ejecutaron pruebas de flotación del mineral de cobre del tajo de Mirador Norte, aplicando tres circuitos de flotación Rougher.

Las muestras de prueba de beneficio fueron tomadas de los núcleos de perforación, se envió el 1/4 del núcleo como muestra que tiene una forma de bloque, tanto de la granodiorita con cobre y pórfido de feldespato de hornblenda con cobre con minerales primarios.

De igual manera también se realizaron las siguientes pruebas:

- Pruebas de finura de molienda del mineral primario
- Pruebas de circuito cerrado del mineral primario
- Pruebas de flotación del mineral no primario
- Pruebas del espesador de concentrado

Las mismas se efectuaron con el objetivo de que permitieron definir en base a los costos, energía utilizada y consumo de reactivos en el proceso de molienda-flotación, más pertinente a utilizar, las cuales se muestran detalladamente más adelante en la sección de resultados del presente trabajo.

**5.3.2.3. Pruebas de laboratorio:** Los ensayos realizados anteriormente contemplaron a su vez un set de pruebas de laboratorio incluyendo un barrido con químicos y reactivos, utilizando las condiciones estándar e incorporando los reactivos químicos adicionalmente.

De igual manera, en esta etapa se consideró la realización de los diseños experimentales con las condiciones de pH y espumante definidas previamente, junto con la incorporación de la dosificación óptima para que se pueda efectuar la flotación.

**5.3.2.4. Resultados y comportamiento de la mena:** Se realizó un cálculo de las recuperaciones por elemento tanto de cobre total, soluble y sulfurado como de plata y oro con la finalidad de poder valorar los resultados y el comportamiento de la mena, con un previo ajuste de los balances metalúrgicos, de la misma manera se calculó la recuperación másica o en peso, la cual fue razón de enriquecimiento y de concentración para cada prueba ejecutada.

Se tomaron las respectivas muestras para realizar el balance metalúrgico, también se presentan los cálculos metalúrgicos que se efectuaron en la planta de beneficio para evaluar técnica y económicamente el proceso de concentración por flotación, los datos presentados corresponderán a un balance metalúrgico promedio de la producción de los seis meses, de los productos de la flotación, destacándose la eficacia o recuperación obtenida, calidad de los concentrados, distribución porcentual, los radios de concentración, entre otros.

**5.3.3. Metodología del tercer objetivo: Estructurar la infraestructura necesaria para el funcionamiento de la planta de beneficio mediante flotación de los minerales cupríferos y relaves, para el aumento cuantitativo de producción de esta mina.**

**5.3.3.1. Reuniones especializadas:** se realizaron reuniones especializadas de trabajo con los respectivos técnicos que se relacionan con la planta de beneficio de Ecuacorriente S.A., así como con funcionarios del estado relacionados al control minero, seguridad y ambiental, de tal forma que se pueda sugerir y planificar la nueva infraestructura necesaria para el funcionamiento de la planta de beneficio.

Realizado mediante la flotación de los minerales cupríferos y relaves, para el aumento cuantitativo de producción de esta mina, a través de un análisis de costos.

Estas reuniones contribuyeron a la finalización de este presente trabajo de investigación, de acuerdo a las características anteriores de producción de Mirador; que permitieron concretar la infraestructura necesaria por la ampliación de la planta Mirador Norte, así como los principales equipos a seleccionar, los cuales son en la medida de lo posible de las

mismas especificaciones técnicas que la de los equipos existentes en la planta de beneficio que opera actualmente.

**5.3.3.2. Análisis planta de beneficio Mirador Norte:** Una vez se efectuaron las reuniones antes mencionadas se procedió a analizar la planta de beneficio Mirador que se encuentra actualmente en funcionamiento, y los diferentes sistemas que la conforman, y sus áreas tanto de molienda SABC, de flotación y un sistema de espesadores y filtros prensa para deshidratar el concretado, esto con la finalidad de que se pueda definir de forma más óptima como será la nueva estructura de la infraestructura.

Así mismo, se tendrá en consideración, si los equipos que se emplean actualmente se podrán seguir ocupando en la ampliación, de tal forma que se pueda llevar a cabo un aumento cuantitativo de la producción en esta mina

**5.3.3.3. Planificación de la infraestructura necesaria:** en este punto se procedió a definir que infraestructuras serán las más necesarias para el presente proyecto, así como también la selección de los equipos de muestro y medición, considerando que sean los más adecuados posibles para incrementar la producción, mediante la flotación de los minerales cupríferos y relaves.

Adicional a ello, se determinó cual será la distribución espacial que tendrá cada uno de los equipos que se implementarán en el nuevo diseño, de tal manera, que se garantice un correcto funcionamiento, y también considerar que estaciones ya existentes pueden de igual cumplir adecuadamente con los requisitos del presente diseño.

**5.3.3.4. Actividades de vigilancia y monitoreo:** también cabe mencionar que se deberán realizar durante la vida del proyecto, actividades de vigilancia y monitoreo, las cuales comprenden inspecciones de campo, vigilancia diaria a estructuras, monitoreo topográfico, monitoreo geotécnico, monitoreo meteorológico y monitoreo batimétrico.

El control en la ampliación de la planta de beneficio será automatizado utilizando las nuevas tecnologías de monitoreo basadas en la inteligencia artificial.

## 6. Resultados

### 6.1. Información general del área de estudio

La empresa Ecuacorriente S.A., es una empresa ecuatoriana, constituida en el año de 1999, dedicada a las labores de la minería, en todas sus fases, principalmente a la extracción de yacimientos de cobre, debido a que en el año 2000 esta empresa descubrió una anomalía de cobre y posteriormente un yacimiento del mismo mineral, y en el 2005 se determinó que el proyecto era viable de manera económica, social y ambiental.

Mientras que el año del 2006 tuvo lugar la aprobación de el Estudio de impacto Ambiental y Plan de Manejo Ambiental para la Explotación del proyecto Mirador, por parte del Ministerio de Energía y Minas

Además de eso, en mayo de 2010, el consorcio chino CRCC-Tongguan adquirió Ecuacorriente S.A. y las empresas relacionadas con la misma, en la certeza de que la industria minera y el Ecuador son destino de inversiones, por ende, en marzo de 2012, Ecuacorriente y el Estado Ecuatoriano firmaron el Contrato de Explotación Minera del Proyecto Mirador, verificando que la compañía cuenta con todos los permisos y condiciones necesarias para realizar este proyecto.

La planta de beneficio del Proyecto Minero Mirador se construyó en la cuenca baja del río Wawayme, en la actualidad la planta de beneficio tiene una capacidad productiva de 20 millones de toneladas por año y está conformada por dos líneas paralelas, cada una tiene la capacidad de procesar 10 Mt/pa, esta planta inició operaciones en julio de 2019.

El sistema de producción está compuesto por un área de molienda SABC (molino SAG, un molino de bolas y un molino de guijarros), un área de flotación y un sistema de espesadores y filtros prensa para deshidratar el concentrado.

La mena triturada es molida en los dos molinos hasta obtener un producto apto para el proceso de flotación, el molino SAG descarga a una criba vibratoria, los gruesos que no pasan la criba serán conducidos a través de bandas transportadoras hasta la trituradora de guijarros, ubicada en un edificio independiente cerca a la pila de acopio, y luego ingresarán nuevamente al molino SAG, los finos que atraviesan la criba pasan a los nidos hidrociclones para clasificar el material, el flujo inferior se dirige al molino de bolas, mientras que el flujo superior con partículas de 120  $\mu\text{m}$  o menos, pasan al proceso de flotación. (Jácome, 2014).

**Figura 7.** Proyecto Mina Mirador



*Nota:* (PlanV, 2019)

## **6.2. Resultados del primer objetivo**

### **6.2.1. Estado actual de la producción de la planta de beneficio**

La planta de beneficio de la fase I Mirador fue construida, instalada y se pone en funcionamiento en julio de 2019. Se utiliza dos series de producción, cada serie opera con una capacidad de producción diseñada de 10 millones de t/a. (35.000 ton/día por serie) El sistema de trituración y molienda adopta el proceso SABC, y el sistema de clasificación utiliza el proceso de "molienda, flotación rougher, relaves, remolienda, flotación de limpios y barridos", y el sistema de espesadores adopta el proceso de dos etapas de "concentración + filtración". El producto es el concentrado de cobre (incluidos oro y plata).

Hasta el mes de marzo de 2021, la planta de beneficio de la fase I ha procesado un total de 11.08 millones de toneladas de mineral, con una ley acumulada de concentrado de cobre de 25.15%, la tasa de recuperación de cobre es de 85.54% y se produce acumulativamente 286339 toneladas de concentrado de cobre. Los indicadores de producción mensuales desde el inicio hasta el marzo de 2021 se muestran en la tabla 3.

El mineral procesado en la etapa inicial de producción contiene altas concentraciones de cobre y óxido de cobre, y los indicadores de beneficio varían mucho. Por medio de la mejora del sistema de proceso de beneficio en el sitio, y la optimización de los parámetros del proceso de los equipos de molienda y flotación, los indicadores de beneficio se han mejorado de forma

continua. En el cuarto trimestre de 2019, la producción de beneficio y los indicadores son estables. El concentrado de cobre se envasa y transporta en sacos de dos toneladas (big bags) por vía terrestre.

La gestión de la protección ambiental del proyecto cumple estrictamente con la Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, el Reglamento Ambiental de Actividades Mineras, otras leyes y reglamentos relacionados con el desarrollo de la mina; las normas ambientales se cumplen mediante la adopción de una solución apropiada a las condiciones ambientales del área de construcción. Los contaminantes producidos por el proyecto incluyen principalmente polvo, aguas residuales de producción y domésticas, materiales estériles de los tajos, ruido, entre otros. (Renovables, 2020).

**Tabla 3.** Indicadores de producción mensuales de la planta de beneficio actual de Mirador

Mes	Cantidad de procesamiento Diez mil t	Ley de Cu en Mena %	Ley de concentrado de cobre %	Tasa de recuperación %	Volumen de concentrado de cobre t	Cantidad de metal de cobre t
Diseñado		0.53		89		0
2019.7-8	91.7	0.843	22.36	62.24	21516	4811
2019.9	10.4	0.83	20.80	87.75	3642	757.5
2019.10	41	0.83	28.11	90.98	11014	3096
2019.11	81.2	0.75	29.77	85.34	17457	5197
2019.12	80.1	0.738	27.31	86.61	18748	5120
<b>Total, de 2019</b>	<b>304.4</b>	<b>0.788</b>	<b>26.23</b>	<b>79.13</b>	<b>72377</b>	<b>18981.5</b>
2020.1	74.03	0.672	26.89	82.54	15270	4106
2020.2	80.9	0.695	26.05	84.93	18330	4775
2020.3	37.3	0.605	26.14	87.12	7520	1966
2020.8	13.5	0.632	22.26	84.04	2791	717
2020.9	90.8	0.656	24.33	86.02	19663	5124
2020.10	86.81	0.763	23.63	87.28	25130	5781
2020.11	103.4	0.873	23.84	90.29	33843	8150
2020.12	87.5	0.766	24.54	88.91	27363	5959
<b>Total, de 2020</b>	<b>574.24</b>	<b>0.732</b>	<b>24.40</b>	<b>87.06</b>	<b>149910</b>	<b>36578</b>
2021.1	79.3	0.79	26.43	89.79	21359	5625

2021.2	73.05	0.791	25.97	91.45	20351	5284
2021.3	77.21	0.807	25.20	90.34	22342	5629
<b>Total, de</b>	<b>229.56</b>	<b>0.796</b>	<b>25.82</b>	<b>90.50</b>	<b>64052</b>	<b>16538</b>
<b>2021</b>						
<b>Acumulado desde la puesta en servicio</b>	<b>1108</b>	<b>0.761</b>	<b>25.17</b>	<b>85.54</b>	<b>286339</b>	<b>72098</b>

### 6.2.2. Depósito de relaves

Las relaveras del proyecto Mirador para la fase I Mirador son el depósito de relaves “Tundayme” y el depósito de relaves “Quimi”, de los cuales, el depósito “Quimi” se utilizó para almacenar los relaves generados en la puesta en marcha y pruebas de producción de la fase Mirador.

Después de la finalizada la construcción de la infraestructura de relavera “Tundayme”, los relaves son transportados hacia la misma; y el depósito de relaves Quimi estará fuera de servicio, solo sirve para la descarga temporal durante la revisión y mantenimiento de la planta de beneficio y el sistema de transporte de relaves, así como en caso de alguna emergencia.

La presa de la relavera Tundayme de la fase I tiene una altura total de 260 m, y su capacidad total de almacenamiento es de 402 millones de m<sup>3</sup>, es una relavera de primera clase.

### 6.2.3. Peso específico de roca y mineral

Ecuacorriente S.A. recopiló los datos de peso específico de los núcleos de perforación utilizando gran cantidad de muestras de aproximadamente 10cm cada 20m. en la tabla 4 se indica el resumen de los valores de peso específico de la roca y el mineral obtenidos.

De igual manera para entender las propiedades físicas y mecánicas de las rocas principales se puede observar el Anexo 2

**Tabla 4.** Resumen de los registros del peso específico

Zona de meteorización	Tipo de roca	Número de muestras (u.)	Valor mínimo (t / m <sup>3</sup> )	Valor máximo (t / m <sup>3</sup> )	Valor promedio (t / m <sup>3</sup> )
Zona de lixiviación y zona de transición	Todos los tipos	137	1.47	3.78	2.19
Área de enriquecimiento	Todos los tipos	55	1.71	2.76	2.26

secundaria	Brecha	45	1.99	2.84	2.63
Área de rocas frescas	Pórfido félsico	208	1.97	2.84	2.59
	Granodiorita de Zamora	935	1.06	3.85	2.61

**6.2.3.1. Procesamiento de la ley extra alta:** Ecuacorriente S.A. definió el límite superior de la ley para controlar la influencia de los valores extra grandes en el plano de distribución del contenido de metal, a fin de lograr un procesamiento de la ley extra alta. Consulte las tablas 5, 6 y 7 para conocer el límite superior de la ley y la correspondiente pérdida de metal.

**Tabla 5.** Resumen del límite superior de la ley de cobre y oro

Nombre de dominio	Cu (%)	Au (g/t)
101	2.0	0.46
102	2.1	1.00
201	2.6	0.32
301	1.7	0.28

**Tabla 6.** Propiedades físicas de la mena del tajo Mirador

Densidad de mineral (t/m <sup>3</sup> )	Factor de suelto	Coefficiente de dureza del mineral	de Granulometría de alimentación (mm)	de Observación
2.65	1.5	6~12	0~300	Productos de trituradora giratoria

**Tabla 7.** Propiedades físicas de la mena del tajo Mirador Norte

Densidad de mineral (t/m <sup>3</sup> )	Factor de suelto	Coefficiente de dureza del mineral	de Granulometría de alimentación (mm)	de Observación
2.56	1.5	6~12	0~300	Productos de trituradora giratoria

Por su parte, cada línea de proceso estará compuesta por:

- Área de molienda: está conformada por un molino SAG, uno de bolas y uno de guijarros para cada línea de procesamiento, dicha área de molienda será común para las dos líneas y en ella se construirán galpones industriales conformados por una estructura metálica, con sus respectivas instalaciones eléctricas, circuitos de agua e instalaciones de seguridad, así como un cuarto de control con todos los servicios necesarios.
- Área de flotación y remolienda: está integrada por tres circuitos de flotación: el primero para gruesos conformado por once celdas, un nido de hidrociclones y un molino

vertical; un segundo vertical contará con siete columnas de flotación y, el tercero estará compuesto por cuatro celdas, además de eso, también se instalará un molino vertical para la remolienda de mineral grueso; esta área estará constituida por galpones de estructura metálica.

- Área de Espesado de Relaves: estará conformada por un tanque espesador, el cual se encontrará al aire libre.
- Área de Espesado Filtración de concentrado: estará conformada por el espesador y los filtros prensa; así mismo cabe mencionar que la construcción y montaje de estos equipos se lo realizará bajo un galpón de igual estructura que los mencionados anteriormente, esta área de igual forma contará con los servicios básicos.
- Área de Almacenamiento de Concentrado y Carga: conformada por un galpón industrial que contendrá el tanque de hormigón donde se almacena el concentrado de cobre hasta su empaque y posterior carga a los camiones encargados de llevarlo hasta el puerto.

Aparte de eso, de manera adicional la planta de beneficio contará también con áreas únicas que sirven para el proceso, las cuales son: el área de almacenamiento y preparación de lechada de cal, de almacenamiento y preparación de reactivos químicos, de almacenamiento de combustibles, dos tanques de aguas de procesos, tanques de agua de retorno, bodegas y talleres de mantenimiento, un laboratorio y oficinas.

**6.2.3.2. Composición Mineral:** En la mina Mirador el mineral, en donde es más evidente la presencia de cobre, es en la calcopirita, la misma que se presenta rellena de unas pequeñas y diseminadas fisuras, así mismo, la presencia de pirita y pequeñas porciones de molibdenita se pueden observar en otros minerales metálicos.

Por ende, el cobre de las muestras que se presenta en la parte profundidad del yacimiento mineral, como ya se mencionó se evidencia en la forma de calcopirita, mientras que los minerales de cobre secundarios como lo son la covelina y calcosina, se evidencian más en la superficie donde se muestran sucesivamente.

El 30% de la cantidad total de los minerales de cobre viene determinado por los minerales de cobre secundarios que se pueden encontrar en la superficie, de igual forma, además de los minerales de sulfuro de cobre, el principal es la pirita, la cual tiene un contenido de manera aproximada de tres veces mayor que el de la calcopirita, mientras que el contenido de los otros minerales de sulfuro es mucho más pequeño.

El cuarzo, el feldespato y la mica son los principales minerales de veta, los mismos que formar parte del 95.4% del total de los minerales no sulfurados, por otra parte, el contenido de los minerales arcillosos es de un 2% y el de carbonato del 1%, ambos de manera aproximada.

Como ya se ha mencionado la calcopirita es el mineral de cobre principal que más se puede encontrar en la mina de Mirador Norte, así mismo se puede apreciar la presencia de tetraedrita en algunas zonas; también los otros minerales metálicos que se pueden evidenciar en mayor cantidad son la pirita, sin embargo, también se pueden encontrar en pequeñas cantidades los minerales de: blenda, molibdenita, magnetita, galena, wolframita, scheelita, hematita, ilmenita, limonita, pirrotita, lilianita, arsenopirita, minerales de tierras raras, entre otros.

El feldespato de potasio, acompañado de plagioclasa y cuarzo, así como de pequeñas cantidades de clorita, biotita, calcita, esfena, barita, ankerita, apatita, rútilo, wollastonita, zircón, entre otros; son los minerales que más se pueden encontrar en las vetillas. Para una mejor comprensión de lo que se acaba de describir se ha realizado la siguiente tabla:

**Tabla 8.** Composición mineral y contenido relativo de la mina Mirador Norte

Nombre del mineral	Contenido (%)	Nombre del mineral	Contenido (%)
Calcopirita	1.44	Plagioclasa	25.81
Tetraedrita	0.08	Cuarzo	17.28
Pirita	1.63	Clorita	6.14
Blenda	0.01	Biotita	5.65
Magnetita	0.14	Calcita	1.00
Esfena	0.69	Barita	0.08
Feldespato de potasio	39.62	Otro	0.43
<b>Total</b>			<b>100.00</b>

**6.2.3.3. Composición química del mineral:** Los elementos reciclables que se pueden evidenciar en el mineral son el cobre, oro y plata; esto se conoció debido al análisis de los elementos múltiples de la mena de la mina Mirador, los cuales se pueden observar en la tabla 9, y al análisis de la composición mineral; también se puede ver el Anexo 1 para tener mejor información.

**Tabla 9.** Resultados del análisis de los elementos múltiples de la mena

Elemento	Cu	S	Fe	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Au (g/t)	Ag (g/t)
Contenido (%)	0.548	3.33	4.06	1.42	1.34	13.31	67.58	0.38	3.1

En la tabla 10 se pueden apreciar los resultados obtenidos del análisis de la composición química de los minerales de la mina Mirador Norte, donde se pudo conocer el cobre es de los elementos más valiosos del mineral, de igual manera se evidenció que el elemento oro cumple con los requisitos de los indicadores de recuperación integral.

**Tabla 10.** Resultados de todo el análisis químico de la mina Mirador Norte

Elemento	Cu	Au (g/t)	Ag (g/t)	Fe	Zn	Pb	S	SiO <sub>2</sub>
Contenido (%)	0.53	0.11	2.46	2.72	0.01	<0.005	1.43	63.90
Elemento	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	C	Ti	-
Contenido (%)	15.50	1.62	1.75	2.36	5.24	0.12	0.17	-

**6.2.3.4. Texturas:** En la parte profunda del yacimiento mineral de la mina Mirador se puede apreciar que el cobre de las muestras se presenta en forma de calcopirita, mientras que los minerales de cobre secundarios como lo son la calcosina y la covelina se presentan en la superficie sucesivamente; en los minerales como la calcopirita, pirita y mineral de veta se puede apreciar la presencia de oro de manera dispersa, el cual se relaciona mucho más con la pirita.

Una textura porfídica o parecida es la que se puede evidenciar en las rocas mineralizadas, las cuales se presentan a manera de trozos con muy pocas estructuras de brechas, dichas brechas son en su mayoría granodioritas o pórfidos de diorita.

Un cuerpo de brecha hidrotermal mineralizado prevalece en la parte central del yacimiento, en donde, dependiendo de la intensidad de la sobreimposición fílica, los clastos pueden conservar parcialmente la alteración potásica con biotita secundaria en menor o mayor grado, dicha intensidad puede bajar o aumentar en gran medida la mineralización de Cu, la cual de igual manera depende del relleno ya sea de pirita o calcopirita que tiene lugar en la parte final de la brechación, en su segundo evento de mineralización específicamente.

**6.2.3.5. Tipo de mineral:** En la mina Mirador y Mirador Norte los tipos de mineral que se pueden encontrar son de pórfido de cobre los cuales también presentan pequeñas cantidades de oro y plata, en su mayoría la litología es granodiorita con cobre (Jzgd) y pórfido de feldespatos con cobre (Jefp), mientras que la litología secundaria es la brecha intrusiva con cobre.

Los tipos de mineral se dividen en dos tipologías siguiendo la naturaleza de la roca, estos son, la granodiorita y la brecha, de igual forma de manera aproximada se puede dividir en mineral superficial (procesos supérgenos), poco profundo (procesos mixtos), central y profundo (procesos hipógenos), de acuerdo a la profundidad de ocurrencia del mineral en el yacimiento.

Las vetillas, grupos de vetillas, redes de vetillas, fracturas, zonas de fractura y cilindros de brechas; son características del control estructural que se aprecian en mayor cantidad, las mismas pueden presentarse en los depósitos de pórfido, específicamente en las zonas periféricas, dichos depósitos tienen características típicas de zonificación por alteración hidrotermal: propilítica, filítica y potásica.

### **6.3. Resultados del segundo objetivo**

#### **6.3.1. Prueba preliminar de flotación del mineral**

El proceso de flotación consiste en utilizar varios tanques y celdas que permiten la recuperación del concentrado de cobre, las columnas de flotación, como equipo de recuperación de cobre, se han utilizado ampliamente en grandes plantas de beneficio extranjeras, y se han obtenido buenos índices técnicos y económicos, sus ventajas son las siguientes:

- Optimización del proceso de flotación. Se forma una gran cantidad de micro burbujas en la parte inferior de la columna de flotación, lo que permite una mezcla uniforme de pulpa y aire, aumentando el área de contacto de los minerales y reduciendo el fenómeno de "fluctuaciones en los niveles", lo que mejora significativamente la ley de concentrado.
- Área de flotación reducida. Cuando la cantidad de pulpa es igual, en comparación con las celdas de flotación, el área cubierta por la columna de flotación se reduce en más del 50%.

- Sin componentes de impulsión, bajo consumo de energía y bajo costo de operación. Dado que la columna de flotación no requiere de grandes componentes de mezcla, la potencia instalada de la columna de flotación es menor que la del tanque de flotación, lo que favorece el ahorro de energía.
- Simple estructura, operación y mantenimiento fáciles. El principal componente de mantenimiento de la columna de flotación es el generador de burbujas, y otros componentes son estructuras de acero, con menos carga de trabajo de mantenimiento.
- Puede simplificar eficazmente el proceso, reducir el consumo de reactivos y realizar un control de automatización de manera fácil. Las columnas de flotación están equipadas con sistemas de control que permiten la medición del nivel del líquido, la regulación de aire, la regulación de agua de aspersion, etc., lo cual permite optimizar el proceso de flotación, mejorar los indicadores y estabilizar la producción.

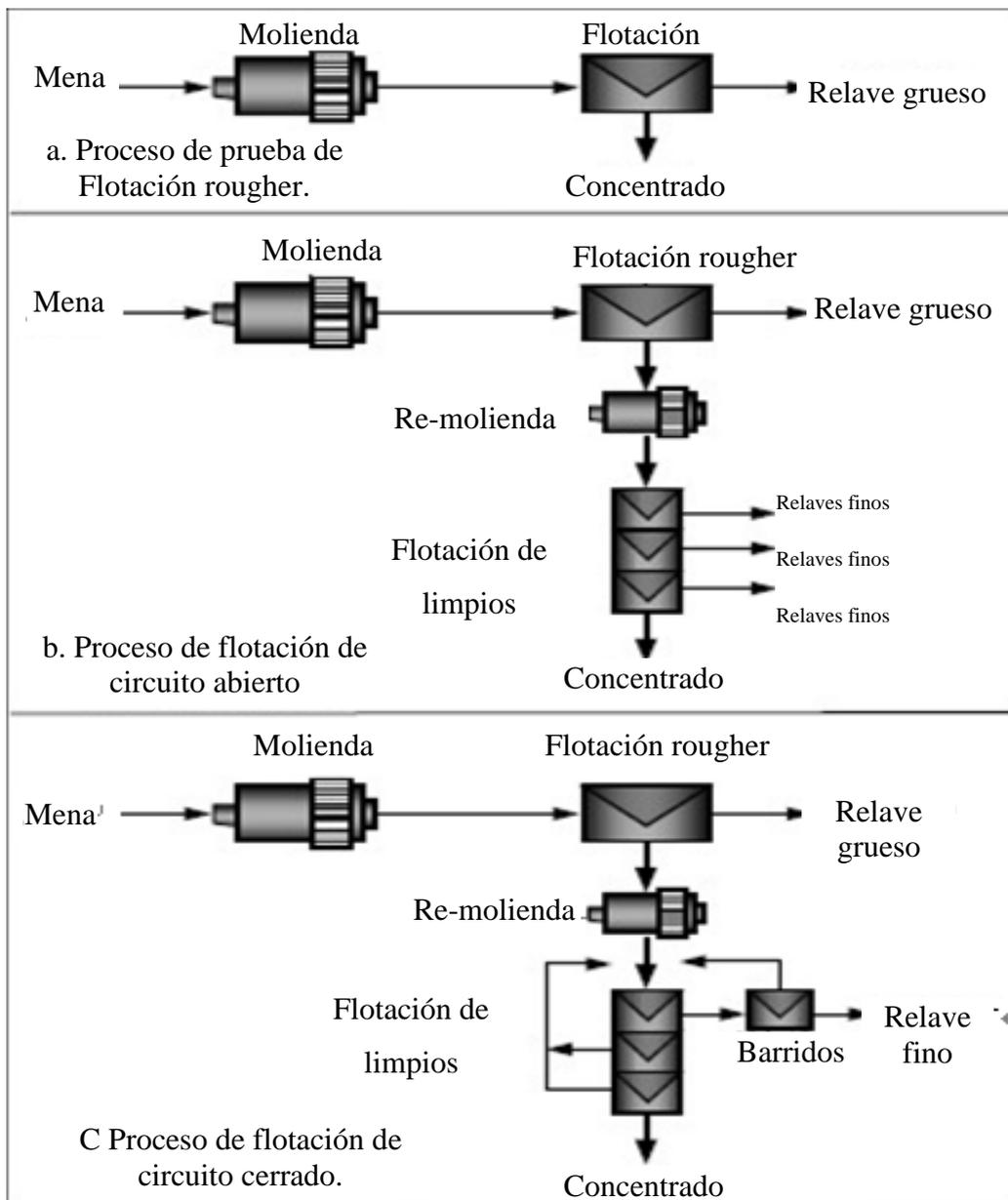
En diferentes períodos de exploración, ECSA encomendó a varias instituciones la realización de pruebas de beneficio de laboratorio a pequeña escala (1 kg - 2 kg / vez) en las muestras del núcleo de roca del yacimiento de Mirador, la mayoría de los estudios experimentales se llevaron a cabo en muestras de un solo núcleo, además, se llevaron a cabo pruebas de circuito cerrado en algunas muestras combinadas.

Los procesos utilizados en las pruebas son básicamente iguales. La finura de molienda del mineral es  $P_{80}=97\ \mu\text{m}$  (el contenido de mineral de  $-0.074\ \text{mm}$  en esta prueba es 72.5%), y la finura de la remolienda es  $P_{80}=43\sim 22\ \mu\text{m}$ . Originalmente, el proceso era molienda, flotación rougher, remolienda y flotación de limpios y de barridos. Ver figura 6.

Según la estadística de profundidad de ocurrencia de las muestras, hay 3 muestras "superficiales", 13 "poco profundas", 15 "medias" y 10 "profundas", la ley y la recuperación de Cu en concentrados aumentan con el aumento de profundidad, y la ley y la recuperación de Au en la "capa superficial" son máximas., hay dos muestras "superficiales", las leyes de cobre de los concentrados son 17.8% y 21.5%.

El análisis muestra que el ion de cobre producido por el mineral de cobre secundario en la pulpa activa la pirita y el contenido de pirita en los concentrados es demasiado alto, el aumento adecuado del valor de pH de la flotación rougher puede inhibir esta activación y mejorar el grado del concentrado. (ECSA, 2021)

**Figura 8.** Flujo de proceso principal de la prueba preliminar en el tajo



*Nota:* (ECSA, 2021)

Los resultados de la prueba preliminar de beneficio de minerales en el tajo muestran que el mineral principal es cobre, y los minerales secundarios son oro y plata, se utilizó el proceso de molienda gruesa, flotación rougher, re-molienda, flotación de limpios y barridos para obtener concentrado de cobre rico en oro y plata.

La finura de molienda de la mena y la finura de la remolienda del concentrado varían en diferentes pruebas, lo que no corresponde completamente a la identificación de granularidad de diseminación del mineral, el rango de fluctuación de los índices de beneficio es muy variable.

### 6.3.2. Prueba de flotación de minerales realizada por el Centro Técnico de Tongling

Se debe indicar que este tipo de ensayos de flotación no se realizan en nuestro país, por lo que la empresa mando a ensayar en el Centro Técnico de Tongling en China, llevó a cabo una prueba de laboratorio en muestras de núcleos sobre esta base.

**6.3.2.1. Recolección y preparación de muestras de prueba:** Las muestras de prueba de beneficio del depósito se toman de núcleos de las perforaciones realizadas desde mayo de 2015, básicamente se toma el 1/4 del núcleo como muestra que tiene una forma de bloque.

En la tabla 11 se indica detalles sobre la profundidad de muestreo y el tipo de mineral, y en la siguiente tabla se puede ver los resultados de mezcla de minerales.

**Tabla 11.** Información de muestras del yacimiento Norte para pruebas de flotación

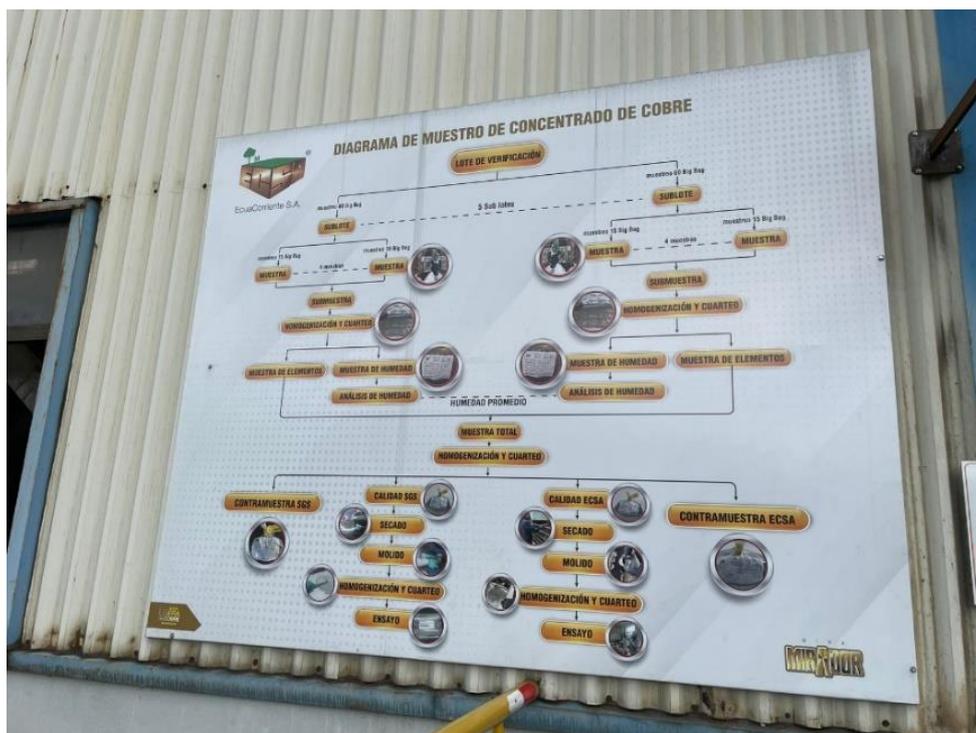
No. de muestra	Profundidad de muestreo (m)	Tipo de mineral		
		Nombre del mineral		Oxidabilidad
YP1	80~116	Granodiorita con cobre	Jzgd	Mineral primario
	279~300	Granodiorita con cobre	Jzgd	Mineral primario
YP2	147~171	Pórfido de feldespato de hornblenda con cobre	Jefp	Mineral primario
	167~173	Pórfido de feldespato de hornblenda con cobre	Jefp	Mineral primario
YP3	92~101	Granodiorita con cobre	Jzgd	Mineral primario
YP4	172~175	Pórfido de feldespato de hornblenda con cobre	Jefp	Mineral primario
	181~184			
YP5	154~169	Granodiorita con cobre	Jzgd	Mineral primario
YP6	242~257	Pórfido de feldespato de hornblenda con cobre	Jefp	Mineral primario
YP7	74~82	Granodiorita con cobre	Jzgd	Mineral no primario
YP8	65~77	Granodiorita con cobre	Jzgd	Mineral no primario
YP9	90~96	Pórfido de feldespato de hornblenda con cobre	Jefp	Mineral no primario
				Capa mixta

<b>YP10</b>	74.6~93	Pórfido de feldespato de Jejp hornblenda con cobre	Mineral no primario	Capa de minerales secundarios y primarios
-------------	---------	--	---------------------	---

*Nota:* (ECSA, 2021)

En la figura 9 se puede apreciar el sistema y el diagrama de muestreo detallado que lleva la planta de beneficio para su concentrado de cobre

**Figura 9.** Diagrama de muestreo de concentrado de cobre



**Tabla 12.** Composición de muestras compuestas para pruebas de flotación de Mirador Norte

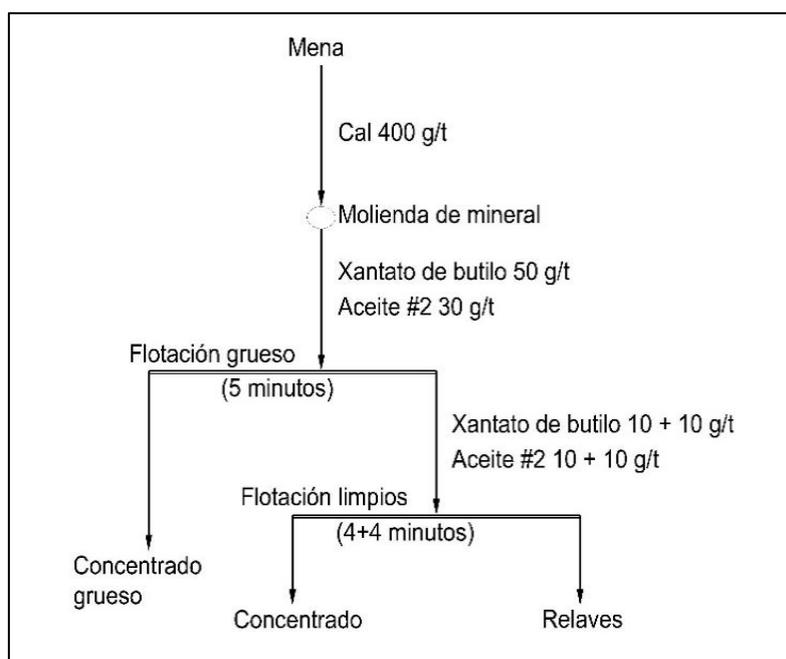
No	No. origen	Tipo de mineral	Peso real (kg)	Peso de mezcla (kg)	Ley de cobre (%)		Ley de azufre (%)	Porcentaje (%)	
					Estimada	Analizada			
1	YP1	Granodiorita con cobre	Minera l	65.8	65.8	0.512	0.461	1.50	64
	YP5	Granodiorita con cobre	primario	16.4	6.2	0.762	0.882	1.35	6
	YP2	Pórfido de feldespato de		44.7	26.7	0.486	0.468	1.38	26

		hornblenda con cobre							
	YP6	Pórfido de feldespato de hornblenda con cobre		15.8	4.1	0.795	0.738	2.98	4
		Muestra de prueba de mineral primario			102.8	0.532	0.499	1.52	100
							Calculada		
							0.53		
							Analizada		
2	YP7	Granodiorita con cobre	Capa mixta	5.5		0.839			49.5
	YP9	Granodiorita con cobre		5.6		1.145			50.5
		Muestra de prueba de mineral de capa mixta			7.5	0.992	1.06	0.93	100
							Analizada		
3	YP8	Pórfido de feldespato de hornblenda con cobre	Minerales secundarios y primarios	10		0.891			55.6
	YP10	Granodiorita con cobre	primarios	8		0.621			44.4
		Muestra de prueba de mineral secundario y primario			12.5	0.771	0.757	2.08	100
							Analizada		

*Nota:* (ECSA, 2021)

**6.3.2.2. Prueba de finura de molienda del mineral primario:** Para la prueba se utilizó el proceso de flotación rougher de tres etapas diseñado para la fase I de la planta de beneficio, consulte la figura 10 para ver el proceso de prueba y sus condiciones y la tabla 13 para ver los resultados de prueba.

**Figura 10.** Diagrama de flujo del proceso de la prueba de finura de molienda



**Tabla 13.** Resultados de prueba de finura de molienda

No	Finura de molienda -0.074mm, contenido	Producto	Productividad (%)	Ley de Cu (%)	Recuperación de Cu (%)
1	59.8%	Concentrados gruesos de cobre	4.08	10.81	84.25
1	59.8%	Minerales intermedios	3.29	1.38	8.67
1	59.8%	Relaves	92.63	0.040	7.08
1	59.8%	Total	100.00	0.524	100.00
2	64.4%	Concentrados gruesos de cobre	6.25	7.78	92.09
2	64.4%	Minerales intermedios de cobre	2.74	0.66	3.43
2	64.4%	Relaves	91.01	0.026	4.48
2	64.4%	Total	100	0.528	100.00
3	68.0%	Concentrados gruesos de cobre	6.16	7.99	93.50

<b>3</b>	68.0%	Minerales intermedios de cobre	3.26	0.41	2.54
<b>3</b>	68.0%	Relaves de cobre	90.58	0.023	3.96
<b>3</b>	68.0%	Total	100	0.526	100.00
<b>4</b>	73.8%	Concentrados gruesos de cobre	7.86	6.28	93.86
<b>4</b>	73.8%	Minerales intermedios de cobre	3.35	0.38	2.42
<b>4</b>	73.8%	Relaves	88.79	0.022	3.72
<b>4</b>	73.8%	Total	100	0.526	100.00
<b>5</b>	77.4%	Concentrados gruesos de cobre	6.72	7.36	93.33
<b>5</b>	77.4%	Minerales intermedios de cobre	3.17	0.49	2.93
<b>5</b>	77.4%	Relaves	90.11	0.022	3.74
<b>5</b>	77.4%	Total	100.00	0.53	100.00

*Nota:* (ECSA, 2021)

Los resultados de prueba muestran que el mineral de cobre tiene una buena flotabilidad y una rápida velocidad de flotación, a medida que aumenta la granulometría de la molienda, aumentará la tasa de recuperación de cobre.

- Cuando la finura de molienda es -0.074 mm y el contenido es 64.4%, el concentrado grueso contiene un 7.78% de cobre, la tasa de recuperación de cobre es 92.09% y la tasa de pérdida de cobre en los relaves es 6.81%.
- Cuando la finura de molienda es -0.074 mm y el contenido es 73.8%, el concentrado grueso contiene un 6.82% de cobre, la tasa de recuperación de cobre es 93.86%, la amplitud de aumento de la tasa de recuperación de cobre es pequeña.

La finura de molienda temporalmente definido es -0.074 mm y el contenido es del 64.4%. (Centro Técnico Tongling Nonferrous Metals Group Holdings Co., 2017).

Con la finalidad de validar los resultados de la empresa ECSA, se han realizado ensayos de laboratorio que se explican en las tablas 14 y 15, las cuales también se las puede visualizar en los anexos 9 y 10 respectivamente.

La Tabla 14, muestra los análisis de oro y plata contenidos en el concentrado de cobre

**Tabla 14.** Análisis oro, plata

No de muestra	Nombre de la muestra	Número de lote de muestra	Au (g/t)	Ag (g/t)
1	Concentrado de cobre	2023-05-31 D/ 2023-06-09 N	6,30	63,27
2	Mineral primaria -L1	2023-05-31 D/ 2023-06-09 N	0,23	2,58
3	Mineral primaria -L2	2023-05-31 D/ 2023-06-09 N	0,23	2,60

*Nota:* FRANROMEC, CIA. LTDA.

La Tabla 15 muestra el número de malla en el que se obtiene mayor recuperación de cobre.

**Tabla 15.** Análisis Cu, S, humedad, tamizaje

No de muestra	Nombre de la muestra	Número de lote de muestra	Cu (%)	S (%)	H2O (%)	TAMIZ (%)
1	Material primaria -1	2023-06-12 D	0,7273	2,569	20,92 +	56,44 +
					# 100	# 200
2	Relaves grueso -1	2023-06-12 D	0,0615	0,1832		
3	Relaves concentrado -1	2023-06-12 D	0,1152	21,35		
4	Mineral concentrado grueso -1	2023-06-12 D	4,721	21,43		69,72 - # 325
5	Concentrado limpieza 1-1	2023-06-12 D	20,89	27,26		
6	Concentrado de espuma -1	2023-06-12 D	24,57	27,68		

7	Mineral primaria -2	2023-06- 12 D	0,7255	2,668	20,44 + # 100	57,44 - # 200
8	Relaves grueso -2	2023-06- 12 D	0,0611	0,2805		
9	Relaves concentrado -2	2023-06- 12 D	0,1063	23,09		
10	Mineral concentrado grueso -2	2023-06- 12 D	4,9840	24,19		75,4 - # 325
11	Concentrado limpieza 1-2	2023-06- 12 D	22,52	29,37		
12	Concentrado espuma -2	de 2023-06- 12 D	26,32	28,88		
13	Concentrado cobre -2	de 2023-06- 12 D	24,28	28,55	8,19	87,04 - # 200

**Nota:** FRANROMEC, CIA. LTDA.

De igual manera los resultados de prueba muestran que el mineral de cobre tiene una buena flotabilidad y una rápida velocidad de flotación, a medida que aumenta el número de tamiz. En este caso se tiene que con el tamiz #325 se tiene una recuperación de cobre del 4.7% en concentrado grueso, con el tamiz #200 se tiene 0.7% en mineral primario y con el tamiz #325 se tiene 4.9 % en concentrado grueso 2.

**6.3.2.3. Prueba de circuito cerrado del mineral primario:** Se realiza la prueba de circuito de cerrado de la siguiente manera cuando la finura de molienda es -0.074 mm con un contenido de 64.4%:

El proceso de diseño para la fase I de la planta beneficio fue flotación rougher de circuito abierto de tres etapas, re-molienda y flotación de limpios y de barridos, consulte la figura 11 para ver la prueba de circuito cerrado del proceso de diseño y el flujo cantidad - calidad.

Se usa el proceso de flotación semiselectiva y semicolectiva más mezcla de concentrado grueso y mena, re-molienda y flotación de limpios y de barridos combinadas de minerales gruesos y concentrados, se utiliza el flujo cantidad-calidad de flotación semiselectiva y semicolectiva, combinación de minerales gruesos y concentrados.

De igual manera se usa el proceso de flotación semiselectiva y semicolectiva más mezcla de concentrados y minerales gruesos, re-molienda y flotación de limpios y de barridos

separadas de minerales gruesos y concentrados, se utiliza el flujo cantidad-calidad de flotación semiselectiva y semicolectiva, combinación de minerales gruesos y concentrados.

Los resultados de prueba indican que en la prueba de circuito cerrado del proceso de diseño de la obra de fase I de la planta de beneficio, el contenido de cobre en el concentrado es 27,27%, la recuperación de cobre es del 90,69%, y los contenidos de oro y plata en el concentrado de cobre son: 2,06 g/t Au y 1,36 g/t Ag, y las recuperaciones de oro y plata son 31.57% y 35.65% respectivamente.

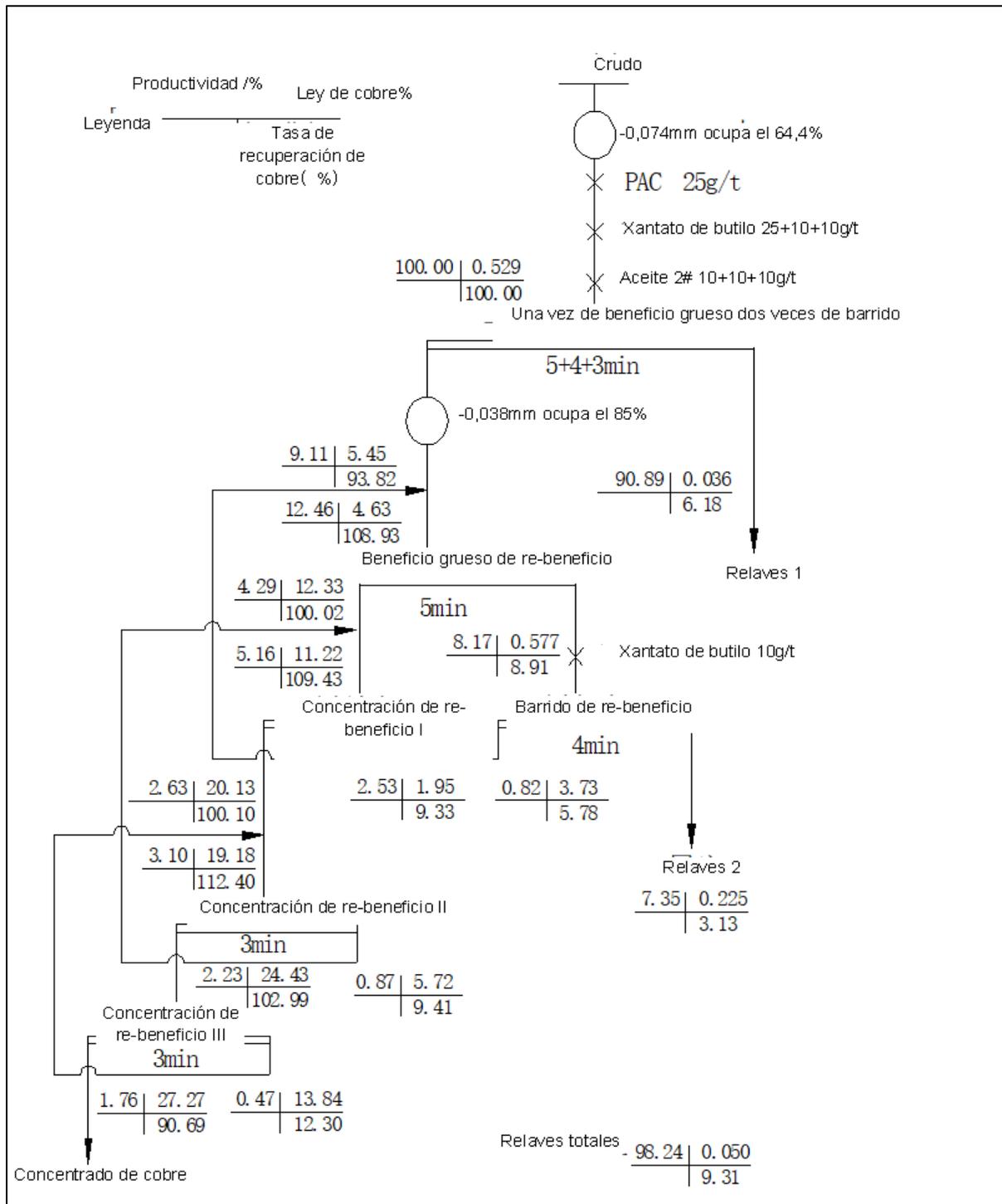
En el concentrado de cobre obtenido por el proceso de flotación semiselectiva y semicolectiva más flotación rougher y concentración combinada, el contenido de cobre es del 25.88%, la recuperación de cobre es 90.90%, los contenidos de oro y plata en el concentrado son 1.96 g/t y 41.6 g/t, y las recuperaciones de oro y plata son 27.48% y 34.49% respectivamente.

En el concentrado de cobre obtenido por el proceso flotación semiselectiva y semicolectiva más concentración separada de minerales gruesos y concentrados, el contenido de cobre es del 26.34%, la recuperación de cobre es 91.15%, los contenidos de oro y plata son 1.97 g/t y 43.66 g/t, y las recuperaciones de oro y plata son 27.02% y 35.48% respectivamente.

Es ligeramente mayor la ley de cobre del concentrado obtenido por el proceso de diseño, mientras que la recuperación de cobre en el proceso de flotación semiselectiva y semicolectiva más concentración separada de minerales gruesos y concentrados es ligeramente mayor, por lo tanto, el proceso de diseño sigue siendo el preferido para el procesamiento de mineral de cobre en el área minera norte.

La mayor parte del oro y plata del concentrado son partículas finas de -10 $\mu$ m envueltas en minerales de ganga, y la recuperación de oro y plata es baja (ECSA, 2021).

**Figura 11.** Diagrama de flujo cantidad-calidad de prueba de circuito cerrado del proceso de diseño



**6.3.2.4. Prueba de flotación de mineral no primario:** Se utilizó el proceso de diseño (flotación rougher de circuito abierto, re-molienda, flotación de limpios de concentrados gruesos más concentración) para la muestra de mineral de capa mixta No.2, se realizó la prueba de circuito abierto integral y se adicionó sulfuro de sodio con xantato de butilo y KM109 como colectores, considerando la finura de molienda de -0.074mm y el contenido de 63.2%; los resultados de la prueba fueron los siguientes:

- La ley de cobre de la mena es 0.98%
- El contenido de cobre en el concentrado es 20.85%
- La recuperación de cobre es 78.10%.

Se utilizó el proceso de diseño para la muestra de prueba de mineral secundario y primario No.3, se realiza la prueba de circuito cerrado adicionando sodio con xantato de butilo y KM109 como colectores, considerando la finura de molienda de -0.074mm y el contenido de 63.2%; los resultados de la prueba fueron los siguientes:

- La ley de cobre de la mena es 0.605%
- El contenido de cobre en el concentrado es 13.59%
- La recuperación de cobre es 76.58%.

**6.3.2.5. Características del producto:** Se llevó a cabo el análisis de los múltiples elementos en los productos de la prueba de circuito cerrado del proceso de diseño del mineral primario, en las tablas 16, 17 y 18 se presentan los resultados.

**Tabla 16.** Análisis de los múltiples elementos del concentrado de cobre (%)

Elemento	Cu	S	Fe	Mo	Au(g/t)	Ag(g/t)
Contenido	27.27	31.22	28.12	0.128	2.06	45.6
Elemento	As	F	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
Contenido	0.039	0.025	0.67	0.28	2.14	6.54

*Nota:* (ECSA, 2021)

**Tabla 17.** Análisis de los múltiples elementos de relave grueso (%)

Elemento	Cu	S	Fe	Au(g/t)	Ag(g/t)
Contenido	0.036	0.082	1.63	0.08	1.44
Elemento	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	
Contenido	1.63	1.60	13.64	67.68	

*Nota:* (ECSA, 2021)

**Tabla 18.** Análisis de los múltiples elementos de relave fino (%)

Elemento	Cu	S	Fe	Au(g/t)	Ag(g/t)
Contenido	0.225	9.44	10.65	0.08	1.90
Elemento	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	
Contenido	1.92	1.96	12.35	50.03	

*Nota:* (ECSA, 2021)

**6.3.2.6. Prueba del espesador de concentrado:** SGS (Société Générale des Surveillances) llevó a cabo una prueba del espesador del concentrado de cobre, los resultados de prueba indican que cuando el contenido de humedad del concentrado es del 12.1%, el concentrado tiene fluidez, y para que pueda ser transportado el contenido de humedad del concentrado debe ser inferior al 10.89%.

Cuando se agrega 10 g/t de floculante de poliacrilamida al concentrado de cobre con una concentración del 15%, la velocidad de sedimentación es muy rápida y el espesamiento final del concentrado es del 64%.

Se realizaron pruebas de filtración con filtro al vacío y filtro de cerámica en la pulpa con una concentración del 30%-40%, los resultados de prueba muestran que el filtro al vacío difícilmente cumple con los requisitos de humedad para el transporte del concentrado.

Los resultados de la prueba con filtro prensa vertical Larox muestran que cuando la capacidad de filtración es de 381kg/m<sup>2</sup>h y el tiempo de circulación es de 10.5 min, el contenido de agua del concentrado es del 9%.

**Figura 12.** Control remoto del proceso de flotación



### **Conclusión de pruebas:**

Los informes de prueba de beneficio son bases con un buen nivel de relevancia para el diseño del proceso de beneficio, así mismo, tienen un impacto directo en la selección de equipos, la alternativa del producto y los indicadores técnicos y económicos, y son bases sobre las cuales la planta de beneficio puede alcanzar con mayor éxito los indicadores de diseño y generar beneficios económicos mientras la misma se encuentre en funcionamiento.

### **Para minerales del tajo Norte:**

Los resultados de la prueba de flotación indican que el mineral primario es de fácil recuperación, de igual manera se utiliza el proceso y las condiciones diseñados en la fase I de la planta de beneficio para los minerales primarios, secundarios y el mineral de la capa mixta, sin embargo, el índice de recuperación es bajo, mientras que con el proceso de adición de sulfuro de sodio, xantato de butilo y KM109 como colectores, se puede mejorar la recuperación del cobre, pero su calidad se vería disminuida.

También se puede revisar el Anexo 4 correspondiente a las pruebas de flotación, así como los tipos de dosis y concentración de reactivos.

### **6.3.3. *Proceso de flotación***

El proceso de flotación y remolienda está integrado por tres circuitos de flotación.

- El primer circuito es la flotación de gruesos, compuesto por 11 celdas de flotación de 200 m<sup>3</sup>, el flujo inferior es relave, el cual es recolectado y bombeado a la relavera; el flujo superior es concentrado grueso de cobre, el cual es recolectado y bombeado al nido de hidrociclones, el mismo en donde el flujo inferior pasa al molino vertical para la remolienda de mineral grueso y nuevamente ingresa al nido de hidrociclones, mientras que el flujo superior es recolectado y pasa al siguiente circuito de flotación.
- El segundo circuito es la flotación de limpios (finos), compuesto por siete columnas verticales de flotación de 12 m de altura, donde el flujo superior de las columnas es concentrado de cobre, el cual es recolectado y va al espesador de concentrado y el flujo inferior es recolectado y pasa al siguiente circuito de flotación.
- El tercer circuito es la flotación de barridos, compuesto de cuatro celdas de 130 m<sup>3</sup>, el flujo superior de este circuito es recolectado y bombeado al circuito de flotación de limpios (finos), mientras que el flujo inferior es relave, el cual es recolectado y bombeado a la relavera. (ECSA, 2021).

### **6.3.3.1. Disposición de alimentadores de mena en la base de la pila de acopio:**

El proyecto se ubica en la amazonia ecuatoriana, esta región se caracteriza por ser una zona con altos porcentajes de humedad y de precipitaciones, dichas condiciones influyen directamente en la pila de acopio de mena, ya que tiene un gran impacto en el ángulo de reposo del material, especialmente cuando hay muchos minerales finos en la etapa inicial del proyecto, lo que reduce significativamente el volumen efectivo de la pila de acopio.

Hay muchos factores que afectan la capacidad del molino SAG, entre los cuales el más importante es la granulometría del material que lo alimenta ya que en la pila de acopio es variable, generalmente se usa un alimentador de placa vibratorio con regulación de velocidad de frecuencia variable en la base, varios alimentadores llevan material a diferentes puntos al mismo tiempo, asegurando que sea estable la alimentación del molino SAG, y que la granulometría del material que ingresa sea estable.

La pila de acopio de mena considera un ángulo de reposo de 40° y un ángulo de hundimiento de 60° del mineral, aparte de eso, en el presente diseño, está equipado con 6 alimentadores, que se disponen simétricamente a lo largo de la banda transportadora de alimentación al molino SAG.

### **6.3.4. Descripción de los principales equipos seleccionados**

De acuerdo al diseño del proyecto Mirador de fase II, los principales equipos a seleccionar deben ser en la medida de lo posible de la misma especificación que la de los equipos existentes en la planta de beneficio que opera actualmente.

- La Fase II, la escala total de la planta de beneficio será de 46,2 millones de t/a, es decir, de 60000 t/d pasará a 140000 t/d, contará con 4 series de producción de molienda y flotación, y cada serie tiene una capacidad de producción de 11.55 millones de t/a y 35000 t/d.
- En la planta de beneficio, se utiliza el "proceso de molienda, flotación, descarga, remolienda y flotación de limpios y de barridos", se utiliza el proceso de espesadores de dos etapas: "concentración + filtración" para la deshidratación del concentrado de cobre, el cual se embala en sacos de big bags (2t).
- Alimentador de minerales: en el presente diseño, para la fase II de la planta de beneficio se seleccionan 12 alimentadores de placa pesado de 2000mm×9000mm de la misma especificación que la de los alimentadores de la fase 1, 6 que puedan estar en funcionamiento y otros 6 que estén de reserva, en la base de la pila de acopio de mena.

- Trituradora de guijarros: Se usarán las 2 trituradoras cónicas de multi cilindro de HP500 de la fase I de la planta de beneficio, de acuerdo con la producción real y los resultados de cálculo, los equipos existentes pueden satisfacer las demandas de expansión de la fase II, por lo tanto, no es necesario agregar este tipo de equipo.
- Equipo de molienda gruesa: la fase I está conformada por 2 molinos SAG de  $\Phi 10.97 \times 5.4$  m y 2 molinos de bolas de  $\Phi 7.9 \times 13.6$  m, todos los molinos son de accionamiento dual, en cada serie, un molino SAG le corresponde un molino de bolas, por ello, para la fase II según la revisión y el cálculo, también se emplearán 2 molinos SAG de  $\Phi 10.97 \times 5.4$  m y 2 molinos de bolas de  $\Phi 7.9 \times 13.6$  m.
- Equipo de re-molienda de concentrados gruesos: la granulometría de los productos de re-molienda de concentrados en el presente diseño es  $P_{80}=30 \mu\text{m}$ , igual a la de la fase I, por ende, para este diseño también se requerirán 2 molinos verticales VTM-3000-WB.
- Equipo de flotación: actualmente, se usan 16 celdas de flotación de  $320 \text{ m}^3$  para la flotación rougher, 18 celdas de flotación de  $70 \text{ m}^3$  para el barrido-limpieza, y 8 columnas de flotación de  $5.0 \times 12$  para la concentración, este mismo sistema seguirá siendo requerido para la fase II.
- Equipo de espesador de concentrados: teniendo en consideración la producción actual, los dos espesadores de alta eficiencia de  $\Phi 45$  m que se usan actualmente pueden satisfacer sin ningún tipo de inconveniente las demandas de expansión de la fase II, por lo que, no es necesario adquirir nuevos equipos.
- Equipo de filtración de concentrados: en este diseño, se planifica usar los dos filtros prensas VPA1540-54 de la fase I para este proyecto, y también se añadirá un equipo de la misma especificación según sea la necesidad del caso.

### **6.3.5. Equipo de flotación**

En el proceso general de procesamiento de minerales, la máquina de flotación es un equipo importante para la flotación por espuma, después de que la pulpa esté completamente aireada y agitada, los minerales útiles como el cobre se enriquecen para completar la operación de flotación.

El excelente rendimiento de la celda de flotación circular mejora en gran medida la tasa de recuperación de flotación de partículas gruesas y finas, la operación es relativamente simple, el consumo de energía y el consumo de aire son muy bajos y se permite el diseño modular.

La flotación Rougher es una etapa primaria de concentración, por tanto, su objetivo principal está orientado a obtener la máxima recuperación de contenidos metálicos (finos) manteniendo una ley razonable de concentrado Rougher, para mayor detalle de lo explicado ver la tabla 19.

**Tabla 19.** Celdas de flotación rougher

No.	Etapa de diseño	Especificación	Cantidad de celdas	Volumen (m <sup>3</sup> /celda)	Comparación del volumen (Plano de construcción / diseño preliminar)
1	Diseño preliminar	KYF-200	22	200	
2	Plano de construcción	KYF-320	16	320	1.16

**6.3.5.1. Primer circuito de Flotación Rougher:** El volumen de pulpa de cada serie es  $Q_v = 61.11$  (m<sup>3</sup>/min), y el tiempo de flotación de diseño es  $t=10$  min., se planifica usar celdas de flotación KYF-320 con un volumen efectivo de 320 m<sup>3</sup>, el factor de utilización del volumen efectivo es de 0.80, y el factor de desequilibrio es de 1,1.

Cada serie está equipada con 3 celdas y se disponen en total 12 celdas.

$$n = \frac{KQ_v t}{kv} = \frac{1.1 \times 61.11 \times 10}{0.80 \times 320} = 2.63 \text{ celdas}$$

**6.3.5.2. Segundo circuito de Flotación Rougher:** El volumen de pulpa de cada serie es  $Q_v=59.02$  (m<sup>3</sup>/min), y el tiempo de flotación de diseño es  $t=10$  min., se planifica usar celdas de flotación KYF-320 con un volumen efectivo de 320 m<sup>3</sup>, el factor de utilización del volumen efectivo es de 0.80, y el factor de desequilibrio es de 1,1.

$$n = \frac{KQ_v t}{kv} = \frac{1.1 \times 59.02 \times 10}{0.80 \times 320} = 2.54 \text{ celdas}$$

Cada serie está equipada con 3 celdas y se disponen en total 12 celdas.

**6.3.5.3. Tercer circuito de Flotación Rougher:** El volumen de pulpa de cada serie es  $Q_v=57.44$  (m<sup>3</sup>/min), y el tiempo de flotación de diseño es  $t=8$  min., se planifica usar celdas de flotación KYF-320 con un volumen efectivo de 320 m<sup>3</sup>, el factor de utilización del volumen efectivo es de 0.80, y el factor de desequilibrio es de 1,1.

$$n = \frac{KQ_v t}{kv} = \frac{1.1 \times 57.44 \times 8}{0.80 \times 320} = 1.97 \text{ celdas}$$

Cada serie está equipada con 2 celdas y se disponen en total 8 celdas.

Los tres circuitos de flotación rougher requieren 32 celdas de flotación KYF-320 para las dos fases, por lo que se agregarán 16 celdas nuevas, (ver tabla 20).

**Tabla 20.** Celdas de flotación barridos

No.	Etapa de diseño	Especificación	Cantidad de celdas	Volumen (m <sup>3</sup> /celda)	Comparación del volumen (Plano de construcción / diseño preliminar)
1	Diseño preliminar	KYF-70	16	70	
2	Plano construcción	de KYF-70	18	70	1.13

**6.3.5.4. Primer circuito de Flotación de barridos:** El volumen de pulpa de cada serie es  $Q_v = 18.12$  (m<sup>3</sup>/min), y el tiempo de flotación de diseño es  $t=12$  min., se planifica usar celdas de flotación KYF-70 con un volumen efectivo de 70 m<sup>3</sup>, el factor de utilización del volumen efectivo es de 0,80, y el factor de desequilibrio es de 1.2.

$$n = \frac{KQ_v t}{kv} = \frac{1.2 \times 18.12 \times 12}{0.80 \times 70} = 4.66 \text{ celdas}$$

Cada serie está equipada con 5 celdas y se disponen en total 20 celdas.

**6.3.5.5. Segundo circuito de Flotación de barridos:** El volumen de pulpa de cada serie es  $Q_v= 14.83$  (m<sup>3</sup>/min), y el tiempo de flotación de diseño es  $t=10$  min, se planifica usar celdas de flotación KYF-70 con un volumen efectivo de 70 m<sup>3</sup>, el factor de utilización del volumen efectivo es de 0,80, y el factor de desequilibrio es de 1.2.

$$n = \frac{KQ_v t}{kv} = \frac{1.2 \times 14.83 \times 10}{0.80 \times 70} = 3.18 \text{ celdas}$$

Cada serie está equipada con 4 celdas y se disponen en total 16 celdas.

Los dos circuitos de flotación de limpios requieren 36 celdas de flotación KYF-70 para las dos fases, por lo que se agregarán 18 celdas nuevas, (ver tabla 21).

**Tabla 21.** Celdas de flotación de limpios

No.	Etapa de diseño	Operación	Especificación	Cantidad	Volumen (m <sup>3</sup> /unidad)	Comparación del volumen (Plano de construcción / diseño preliminar)
1	Diseño preliminar	Circuito 1	φ4.5×12.0 m	10	191	
		Circuito 2	φ3.5×12.0 m	4	115	
2	Plano de construcción	Circuito 1	φ5.0×12.0 m	6	236	0.74
		Circuito 2	φ5.0×12.0 m	2	236	1.02

**6.3.5.6. Primer circuito de Flotación de limpios:** El volumen de pulpa de cada serie es  $Q_v = 18.71 \text{ (m}^3/\text{min)}$ , y el tiempo de flotación de diseño es  $t=20 \text{ min.}$ , se planifica usar la columna de flotación de  $\phi 5.0 \times 12 \text{ m}$ , el factor de utilización del volumen efectivo de la columna de flotación es de 0.75, y el factor de desequilibrio es de 1,2.

Volumen efectivo de la columna de flotación:

$$V = 3.14 \times (5/2)^2 \times 12.0 \times 0.75 = 176.625 \text{ m}^3$$

Cantidad de columna de flotación calculada:

$$1.2 \times (20 \times 18.71) \div 176.625 = 2.54$$

Se seleccionan 3 columnas de flotación de  $\phi 5.0 \times 12 \text{ m}$ , que pueden cumplir con los requisitos de tiempo de flotación.

Verificación de la capacidad de carga:

El factor efectivo de la sección transversal es de 0.65 y la capacidad de carga unitaria es de  $2.0 \text{ tph/m}^2$ .

Área efectiva real total en la parte superior de 3 columnas de flotación:

$$3.14 \times (5/2)^2 \times 3 \times 0.65 = 38.27 \text{ m}^2$$

Capacidad de carga total de 3 columnas de flotación para la concentración I

$38.27 \times 2.0 = 76.54 > 44.34$  t/h (cantidad de concentrados de la concentración I en el proceso)

Se seleccionan 3 columnas de flotación de  $\phi 5.0 \times 12$  m, que pueden cumplir con los requisitos de capacidad de carga.

Cada serie está equipada con 3 columnas de flotación, en total se disponen 12 columnas de flotación de  $\phi 5.0 \times 12$  m.

**6.3.5.7. Segundo circuito de Flotación de limpios:** El volumen de pulpa de cada serie es  $Q_v = 5.19$  (m<sup>3</sup>/min), y el tiempo de residencia de diseño de la pulpa es  $t = 20$  min., se planifica usar la columna de flotación de  $\phi 5.0 \times 12$  m, el factor de utilización del volumen efectivo de la columna de flotación es de 0.70, y el factor de desequilibrio es de 1.2.

Volumen efectivo de la columna de flotación:

$$V = 3.14 \times (5/2)^2 \times 12.0 \times 0.75 = 176.625 \text{ m}^3$$

Cantidad de columna de flotación calculada:

$$1.2 \times (20 \times 5.19) \div 176.625 = 0.71$$

Se selecciona 1 columna de flotación de  $\phi 5.0 \times 12$  m, que puede cumplir con los requisitos de tiempo de flotación.

Verificación de la capacidad de carga:

El factor efectivo de la sección transversal es de 0.65 y la capacidad de carga unitaria es de 2.0 tph/m<sup>2</sup>.

Área efectiva real total en la parte superior de 1 columna de flotación:

$$3.14 \times (5/2)^2 \times 1 \times 0.65 = 12.76 \text{ m}^2$$

Capacidad de carga total de 1 columna de flotación para la concentración I

$12.76 \times 2.0 = 25.52 > 23.77$  t/h (cantidad de concentrados de la concentración II en el proceso)

Se seleccionan 1 columna de flotación de  $\phi 5.0 \times 12$  m, que puede cumplir con los requisitos de capacidad de carga.

Cada serie está equipada con 1 columna de flotación, en total se disponen 4 columnas de flotación de  $\phi 5.0 \times 12$  m.

Los dos circuitos de flotación de limpios requieren 16 columnas de flotación de  $\phi 5.0 \times 12$  m, y se agregan 8 columnas de flotación nuevas.

### 6.3.6. *Espesador del concentrado de cobre*

En la tabla 22 se evidencia el espesador del concentrado de cobre, para poder entender de mejor manera este punto.

**Tabla 22.** Espesador del concentrado de cobre

No.	Etapa de diseño	Especificación	Cantidad	Capacidad nominal (t/m <sup>2</sup> h)		Observación
				Diseñado	Peso	
1	Estudio de factibilidad	$\phi 38$ m	2	0.6	0.5	Se considera un factor de 1.2
2	Diseño preliminar / plano de construcción	$\phi 45$ m	2	0.7	0.66	Se considera un factor de 1.3

### 6.3.7. *Equipo de mezcla antes de la flotación rougher*

El volumen de pulpa de cada serie es  $Q_v = 61.11$  (m<sup>3</sup>/min), y el tiempo de mezcla de diseño es  $t = 3$  min., se selecciona el tanque de mezcla de  $\Phi 7.5 \times 7.5$  m con un volumen de 331m<sup>3</sup>, el factor de utilización del volumen es de 0.80 y el factor de desequilibrio es de 1.2.

$$n = \frac{KQ_v t}{kv} = 0,8 \cdot \frac{1,2 \times 61,11 \times 3}{0,80 \times 331}$$

Cada serie está equipada con 1 tanque, se disponen en total 4 tanques de mezcla de  $\Phi 7.5 \times 7.5$  m.

### ➤ **Dosificación, preparación y almacenamiento de reactivos**

El sistema de trabajo en la sala de dosificación de reactivos para beneficio corresponde al sistema de trabajo de flotación de 330 d/a, 2 turnos/d, 12 h/turno, habrá un sistema de dosificación de reactivos independiente para cada fase.

Se construirá una sala de dosificación de reactivos en el área de flotación, con la utilización de una máquina dosificadora de pulso que procede a administrar cuantitativamente reactivos en cada punto según la fluctuación de la capacidad de procesamiento de minerales y de las propiedades del mineral.

El proceso de adición de reactivos consiste en el hecho de agregar aceite No.2 como agente espumante, la solución madre de PAC como colector y preparar y agregar xantato de butilo al 10%.

La lechada de cal se gradúa mediante válvulas de bombeo y ramales de circulación, estos forman un control de circuito cerrado y mediante el medidor de pH se realiza la dosificación cuantitativa de reactivos en cada punto de adición.

➤ **Almacenamiento y preparación de xantato de butilo, Policloruro de Aluminio (PAC) y aceite No. 2**

La planta de beneficio estará conformada por una sala dosificadora independiente encargada del almacenamiento de los reactivos de beneficio: xantato de butilo, PAC y aceite No. 2.

De la misma manera la planta contará con una sala de preparación de xantato de butilo independiente, dicho reactivo es diluido a una concentración del 10% a través del tanque de mezcla de reactivo, este proceso será el mismo que se lleva aplicando en la actualidad.

➤ **Preparación y almacenamiento de la lechada de cal**

La fase I de la planta de beneficio tiene un taller independiente de preparación de lechada de cal, con una capacidad de procesamiento de diseño de 20 t/h, la cal viva con una granulometría  $\leq 120$  mm se prepara con una concentración al 10% y luego se agita para su almacenamiento, dicho taller está ubicado al este de la pila de acopio de mena.

La lechada de cal preparada fluye por gravedad a los dos tanques de mezcla de  $\Phi 9.0 \times 9.5$  m frente al área de molienda para su correspondiente almacenamiento.

En el presente diseño, se planifica utilizar el sistema de preparación de lechada de cal ya existente, además de eso, se agregarán dos nuevos tanques de mezcla de  $\Phi 9.0 \times 9.5$  m frente al área de molienda, con el fin de suministrar lechada de cal a la fase II de la planta de beneficio.

Para mejor comprensión del tipo, dosis y concentración de reactivos se podrá observar la siguiente tabla:

**Tabla 23.** Tipo, dosis y concentración de reactivos

No.	Nombre de reactivo	Dosis unitaria (g/t minera crudo)	Dosis diaria (t/d)	Propósito	Concentración (%)	Propiedades y formas d materias primas	Observación
-----	--------------------	-----------------------------------	--------------------	-----------	-------------------	--	-------------

		Fase I	Fase II	Fase I	Fase II				
1	Cal	2000	2000	140	140	Agente modificador	10	Masivo	A granel
2	Xantato de butilo	30	55	2.10	3.85	Colector	10	Sólido	En barril
3	PAC	20	25	1.40	1.75	Colector	100	Líquido	En barril
4	Aceite No.2	10	30	0.70	2.10	Agente espumante	100	Líquido	En barril

En la figura 13 se puede apreciar la empacadora del concentrado desde donde se carga el concentrado de cobre a los camiones que por vía terrestre lo llevan hasta el puerto cobre.

**Figura 13.** Empacadoras de concentrado de cobre



## 6.4. Resultados del tercer objetivo

### 6.4.1. Planta de beneficio Mirador Norte

La planta de beneficio Mirador Norte se basará en la planta de beneficio Mirador que se encuentra actualmente funcionando, el sistema de producción está compuesto por un área de molienda SABC (molino SAG, molino de bolas y molino de guijarros), un área de flotación y un sistema de espesadores y filtros prensa para deshidratar el concentrado.

La mena triturada será molida en los dos molinos hasta obtener un producto apto para el proceso de flotación., el molino SAG descargará a una criba vibratoria, los gruesos que no pasan la criba serán conducidos a través de bandas transportadoras hasta la trituradora de guijarros, ubicada en un edificio independiente cerca a la pila de acopio, y una vez realizado eso, ingresarán nuevamente al molino SAG.

Los finos que atravesarán la criba pasarán a los nidos hidrociclones para clasificar el material, en donde el flujo inferior se dirige al molino de bolas, mientras que el flujo superior con partículas de 120  $\mu\text{m}$  o menos, pasan al proceso de flotación.

En la figura 14 se puede observar las instalaciones de la planta de beneficio de su flotación.

**Figura 14.** Celdas e hidrociclones de flotación



*Nota:* (El Universo, 2018)

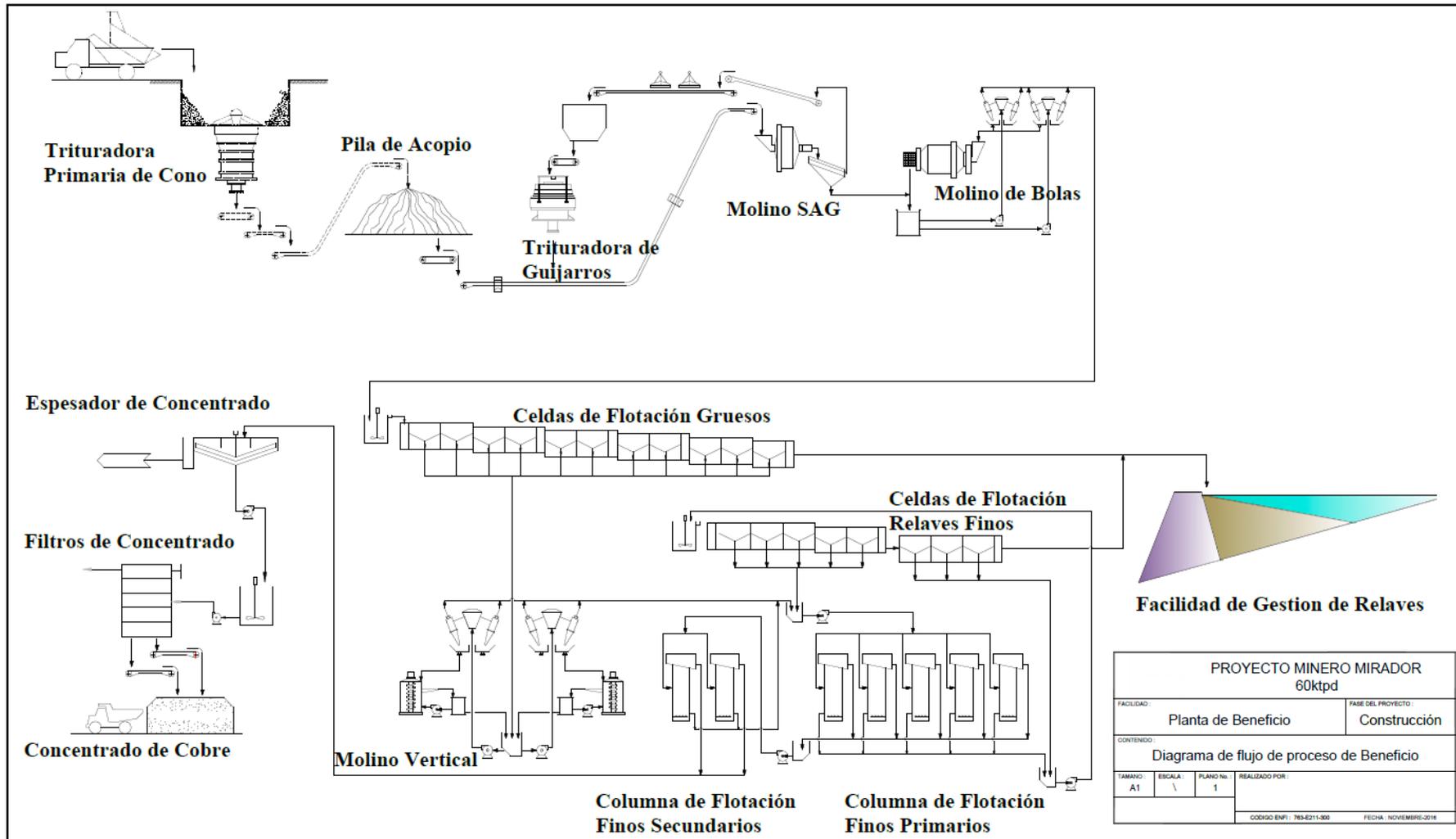
Finalmente debe pasar por el sistema de espesador y filtración de concentrado.

En la figura 15 se observa el diagrama de flujo del proceso de beneficio diseñado para la fase I de la planta de beneficio.

Para cumplir con la producción de 140 toneladas/día (Mirador Norte), se instalarán dos líneas adicionales, las mismas que estarán emplazadas en la plataforma de la actual planta de beneficio, estas dos líneas se integran y conforman un solo sistema de procesamiento de minerales en el Proyecto Minero Mirador, las cuales, utilizarán las mismas instalaciones secundarias y los servicios ya instalados.

La nueva capacidad de la planta de beneficio para la fase II será de 140.2 Ton/día y la operación será de 140 ton/día., la vida útil estimada del tajo Mirador Norte será de 17.2 años.

**Figura 15.** Diagrama de Flujo Planta de Beneficio



Durante la construcción de la fase I de la mina, se había proyectado una expansión de la planta de beneficio, es decir, se consideró compartir un conjunto de instalaciones, de acuerdo al desarrollo del área minera en las etapas iniciales y posteriores, junto a la actual planta de beneficio se reservó el espacio en la zona norte de la plataforma para la expansión en la fase II.

La planta de beneficio instalada para la fase I y fase II, incluyendo las obras auxiliares y complementarias ocuparán la plataforma de 50 ha aproximadamente que fue licenciada en la fase de beneficio para una producción de 60 ktpd. (CRCC-Tongguan Investment Co., 2010)

Los componentes de planta de Mirador Norte se distribuyen a lo largo de la plataforma en sentido este a oeste y son los siguientes:

- La pila de acopio de mena
- El área de molienda
- El área de flotación
- Filtración de concentrados.

El taller de preparación de lechada de cal y la sala de preparación de reactivos se ubicarán al este de la plataforma en una cota superior permitiendo el flujo por gravedad de la lechada de cal y el reactivo hacia los tanques de almacenamiento respectivamente. La pila de acopio de mena se conectará con el área de molienda de la planta de beneficio mediante una banda transportadora.

#### **6.4.2. Infraestructuras complementarias de la Planta de Beneficio Mirador Norte**

- Estación de inspección técnica: esta estación tiene como objetivo principal el análisis y procesamiento de diversas muestras, la inspección y supervisión de la cantidad y calidad de la mena seleccionada y del concentrado a exportar de la planta de beneficio, así mismo, la inspección y supervisión frecuentes al sistema de dosificación, a los parámetros de funcionamiento de los equipos y otras condiciones técnicas.
- La selección de equipos de muestreo y medición se definirá en base a los siguientes principios: ahorro de energía, nuevos modelo, velocidad y precisión; la mena será medida en línea mediante una báscula de correa, de igual forma, se disponen el analizador de granulometría, el medidor de concentración, el medidor de flujo, el medidor de pH y otros instrumentos en los diferentes procesos para medir cada uno de los productos de producción en línea, las máquinas de muestreo automáticos se disponen en cada punto de muestreo respectivamente.

- Laboratorio de ensayo (químico) y estación de procesamiento de muestras: la fase I de la planta de beneficio ya cuenta con un laboratorio que puede cumplir los requisitos del presente diseño.
- Capacidad de la pila de acopio y tiempo de almacenamiento: para garantizar una producción continua y estable de la planta de beneficio, y a su vez aprovechar al máximo las capacidades de los equipos, las instalaciones de almacenamiento de mena de la fase II incluirán una pila de acopio de mena nueva, el silo del concentrado, etc.

Para entender las instalaciones de almacenamiento de mena se ha realizado la tabla de a continuación:

**Tabla 24.** Instalaciones de almacenamiento de mena

Instalación	Densidad aparente	Volumen efectivo (m <sup>3</sup> )	Volumen geométrico (m <sup>3</sup> )	Capacidad de almacenamiento efectiva (t)	Capacidad de almacenamiento geométrica (t)	Tiempo de almacenamiento efectivo (d)	Observación
<b>Pila de mena de la fase I</b>	2.65/1.5	35000	79500	60000	140000	0.86	
<b>Pila de mena de la fase II</b>	2.56/1.5	41000	79500	70000	136000	1	El cálculo se basa en la descarga de un solo punto
<b>Silo de concentrados de la fase I</b>	3		7500	12000		10	Diseño de la fase I
<b>Silo de concentrados de la fase II</b>	3		18480	30000		25	Nuevo en la fase II

*Nota:* (ECSA, 2021)

- Instalaciones de suministro de bolas de acero: se construyeron los silos de bolas de acero # 1 y # 2 para la fase I de la planta de beneficio, encargadas de suministrar bolas

de acero a los molinos SAG; mientras el silo de bolas de acero #3 suministra bolas de acero al molino de bolas.

- En el presente diseño, se tiene pensado construir dos nuevos silos de bolas de acero, que suministrarán bolas de acero al nuevo molino SAG, así mismo, se considera modificar el silo de bolas de acero # 3 y las bandas transportadoras #7 y # 8 para el suministro de bolas de acero hacia los nuevos molinos de bolas.
- Las bolas de acero se suministrarán regularmente de acuerdo a la producción normal.
- Soplador y compresor de aire: para la fase I se construyó la estación del compresor de aire y la sala de sopladores para suministrar aire de alta y baja presión a la planta de beneficio, por ende, en el presente diseño, se planifica instalar equipos que presenten las mismas especificaciones en el área reservada en la estación de compresor de aire y la sala de sopladores, a su vez, se añadirán dos sopladores de 700 m<sup>3</sup>/min y tres compresores de aire, dicho soplador se usará para la inyección de aire en los correspondientes tanques de flotación.
- El compresor de aire tiene la función de suministrar aire directamente a la columna de flotación, el embrague de aire del molino, la compuerta neumática, entre otros., por otro lado, los instrumentos y medidores reciben aire a través del liofilizador, el aire a alta presión para el filtro prensa se suministra por el compresor de aire adjunto.
- El sistema de recolección de polvo o el sistema de eliminación de polvo por aspersión: se colocará en todos los lugares donde sea evidente la generación del polvo, como lo es el punto de transferencia de la banda transportadora de la planta de beneficio.
- Las salas de preparación y dosificación de reactivos para beneficio: están equipadas con ventiladores que puedan garantizar una ventilación continua, de igual manera, el laboratorio de prueba, el laboratorio químico y la estación de procesamiento de muestras están equipados con instalaciones de ventilación, extracción y recolección de polvo.

Partes de equipos en movimiento, tales como la polea de la banda y el acoplador, están equipadas con cubiertas protectoras que puedan garantizar que la producción sea lo más segura posible.

### **6.4.3. Sala de control centralizado**

En la planta de beneficio de la fase I ya está construida una sala de control centralizado, esta sala es la encargada de monitorear en tiempo real los parámetros tecnológicos del proceso de producción, también configura los circuitos de ajuste automático que sean necesarios para los parámetros importantes del proceso de producción, y establece alarmas de parámetros o control de enclavamiento para las condiciones de trabajo que podrían causar ya sea fallas del equipo o algún tipo de accidente personal.

Las condiciones de funcionamiento de la pila de acopio de mena, de la banda transportadora, de los principales equipos en las áreas de molienda y flotación y los parámetros del proceso se envían a la sala de control centralizado, ahí es donde se realiza un ajuste y control automático de cada uno de los parámetros del proceso y del flujo de procesos según la producción y los requisitos, de esta manera la gestión y operación de la planta se realiza de forma centralizada.

## 7. Discusión

En el valle del río Quimi, al sur del río Wawayme, se encuentra la planta de beneficio Mirador actualmente en plena producción, el área industrial auxiliar (incluyendo el área de almacenamiento de combustibles, báscula de vehículos y sala de pesaje, subestación de reducción de energía), zona de oficinas, campamentos y otros, en la superficie de esta planta de beneficio, se reserva la zona industrial para la ampliación de la planta de beneficio del proyecto Mirador Norte, en base a esta investigación se corrobora que dicha ampliación de la planta de beneficio es la más conveniente para beneficiar la producción de Mirador Norte.

Hasta fines de diciembre de 2020, se ha extraído un total de 8.89 millones de toneladas de mineral (incluyendo el mineral extraído durante la etapa de construcción) en el tajo “Mirador”, la ley promedio de Cu es 0.782%, la ley promedio de Au es 0.26 g/t, y la ley promedio de Ag es 2.97 g/t.

Se ha realizado el retiro de 54.26 millones de toneladas de suelo superficial y rocas (incluyendo el suelo superficial y roca estéril en la construcción de infraestructura), las reservas minerales de Mirador Norte, es de 599 Mt, la ley promedio de Cu es de 0.42%, promedio de Au 2.06 g/t y de plata de 45.68 g/, aunque hay variación en los promedios de estos tres minerales; se comprueba que la geología y mineralización de los dos yacimientos es parecida, de igual manera, la empresa: “China ENFI Engineering Co., Ltd”, obtuvo datos similares y se completó leyes promedio en su informe de estudio de factibilidad del proyecto Mirador en octubre de 2010.

El mineral procesado en la etapa inicial de producción contiene altas concentraciones de cobre y óxido de cobre, y los indicadores de beneficio varían mucho; en base a la mejora del sistema de proceso de beneficio en el sitio, y la optimización de los parámetros del proceso de los equipos de molienda y flotación, se espera que los nuevos indicadores de beneficio sean estables en Mirador Norte cuando entre en funcionamiento su producción.

La ampliación del proyecto Mirador Norte incluye el incremento de capacidad de producción del tajo Mirador fase I y la construcción de nueva infraestructura para fase II Mirador Norte:

- Explotación
- Beneficio y manejo ambiental
- Instalaciones auxiliares de producción

➤ Oficinas y campamentos.

Después de la construcción y ampliación de Mirador Norte, la mina de cobre Mirador tendrá una capacidad de producción total de 46.2 millones de t/a. es decir 140.000ton/día.

Las últimas pruebas de verificación de beneficio del mineral y pruebas de optimización son completadas por el centro técnico de Tongling Nonferrous Metals Group Holdings Co., Ltd. De la república de China en agosto de 2010, esta empresa ha completado la investigación de mineralogía del proceso de la mina Mirador Norte y el estudio experimental de beneficio metalúrgico en noviembre de 2017, lastimosamente en nuestro país todavía no existen aún estos centros experimentales metalúrgicos para minería y plantas de beneficio a gran escala.

La tecnología de trituración y molienda adopta el proceso SABC "molienda semiautomática + molienda de bolas + trituración de roca dura", para el beneficio, mineralógico y metalúrgico se utiliza el "proceso de molienda, flotación, descarga, re-molienda y flotación de limpios y de barridos", así mismo, se utiliza el proceso de espesadores de dos etapas: "concentración + filtración" para la deshidratación del concentrado de cobre.

Esta tecnología ha sido aplicada para la obtención de cobre en la Planta Concentradora Xstrata Tintaya S. A. de Perú; basada en las experiencias realizadas en la sección de operación y flotación, teniendo en cuenta con el apoyo de las diferentes áreas que conforma la unidad minera donde se reportan que ha dado excelentes resultados para yacimiento cobre porfídicos.

En base a la prueba de finura de molienda del mineral primario se utilizó el proceso de flotación rougher de tres etapas similar al utilizado en la planta de beneficio Mirador, los resultados de prueba indican que el mineral de cobre tiene una buena flotabilidad y una rápida velocidad de flotación, adicional a eso, a medida que aumenta la granulometría de la molienda, aumentará también la tasa de recuperación de cobre.

Cuando la finura de molienda es -0.074 mm y el contenido es 64.4%, el concentrado grueso contiene un 7.78% de cobre, la tasa de recuperación de cobre es 92.09% y la tasa de pérdida de cobre en los relaves es 6.81%, la finura de molienda temporalmente definido es -0.074 mm y el contenido es del 64.4%.

El presente trabajo tiene por objetivo realizar una correlación conceptual y de campo de la eficiencia de la planta de flotación selectiva de cobre de Colón Bajo de la división, el Teniente (Codelco), de tal forma de identificar oportunidades de mejora y/o soluciones a las problemáticas presentes en la operación.

La prueba de circuito cerrado del mineral primario utilizó una finura de molienda es - 0.074 mm con un contenido de 64.4%, los resultados de prueba indican que en el concentrado de cobre obtenido por el proceso de flotación semiselectiva y semicolectiva más flotación rougher y concentración combinada, el contenido de cobre es del 25.88%, la recuperación de cobre es 90.90%, los contenidos de oro y plata en el concentrado son 1.96 g/t y 41.6 g/t, y las recuperaciones de oro y plata son 27.48% y 34.49% respectivamente.

La mayor parte del oro y plata del concentrado son partículas finas de -10 $\mu$ m envueltas en minerales de ganga, y la recuperación de oro y plata es baja, estos resultados de recuperación son similares entre Mirador y Mirador Norte.

La prueba de flotación de mineral no primario utilizó el proceso de diseño (flotación rougher de circuito abierto, re-molienda, flotación de limpios de concentrados gruesos más concentración) para la muestra de mineral de capa mixta No.2, se realizó la prueba de circuito abierto integral y se adicionó sulfuro de sodio con xantato de butilo y KM109 como colectores, considerando la finura de molienda de -0.074mm y el contenido de 63.2%, los resultados de la prueba fueron los siguientes:

- La ley de cobre de la mena es 0.98%
- El contenido de cobre en el concentrado de cobre es 20.85%
- La recuperación de cobre es 78.10%.

La utilización de aditivos químicos para flotación no será impedimento en la ampliación de la planta al beneficiar la mena proveniente de Mirador Norte.

La prueba del espesador de concentrado fue realizada por SGS (Société Générale de Surveillance) empresa suiza, llevó a cabo una prueba del espesador del concentrado de cobre, los resultados de prueba muestran que cuando el contenido de humedad del concentrado es del 12.1%, el concentrado tiene fluidez, y para que pueda ser transportado el contenido de humedad del concentrado debe ser inferior al 10.89%; cuando se agrega 10 g/t de floculante de poliacrilamida al concentrado de cobre con una concentración del 15%, la velocidad de sedimentación es muy rápida y el espesamiento final del concentrado es del 64%.

Los informes de prueba de beneficio son bases importantes para el diseño del proceso de beneficio utilizando el proceso de flotación, adicional a eso, tiene un impacto directo en la selección de equipos, la alternativa del producto y los indicadores técnicos y económicos y son bases sobre las cuales la planta de beneficio puede alcanzar con éxito los indicadores del

sistema de flotación; esta discusión ha sido consensuada entre técnicos de la empresa y técnicos del estado ecuatoriano que laboran en el sector minero-metalúrgico.

## 8. Conclusiones

- Los indicadores de mena de cobre de la planta de beneficio de Mirador Norte proyectados son: 0,51% de Cu, 0,17 g/t de Au y 1,36 g/t de Ag.; con recuperación del 89% de Cu; 0,17 g/t de Au y 1,36 g/t.
- Se utilizó el proceso de molienda gruesa, flotación rougher, re-molienda, flotación de limpios y barridos para obtener concentrado de cobre rico en oro y plata.
- El área de flotación y remolienda: estará integrada por tres circuitos de flotación: el primero para gruesos compuesto por once celdas, un nido de hidrociclones y un molino vertical; un segundo circuito de flotación vertical contará con siete columnas de flotación y, finalmente, el tercer circuito de flotación contará con cuatro celdas.
- La finura de molienda es el factor clave que afecta la tasa de recuperación del concentrado de cobre, los minerales requieren una molienda fina para obtener concentrado de cobre de alta calidad, sin embargo, la tasa de recuperación de Au es indirectamente proporcional a la ley del concentrado de cobre.
- Los resultados de la prueba de flotación muestran que el mineral primario es de fácil recuperación, se utiliza el proceso y las condiciones diseñados en la planta de beneficio en producción para los minerales primarios, secundarios y el mineral de la capa mixta, pero el índice de recuperación es bajo.
- Se realizó la prueba de circuito abierto integral y se adicionó sulfuro de sodio con xantato de butilo y KM109 como colectores, considerando la finura de molienda de - 0.074mm y el contenido de 63.2%, los resultados de la prueba fueron los ya mencionados anteriormente: la ley de cobre de la mena es 0.98%, el contenido de cobre en el concentrado de cobre es 20.85% y la recuperación de cobre es 78.10%.
- El área de espesado filtración de concentrado, estará conformada por el espesador y los filtros prensa; la construcción y montaje de estos equipos se lo realizará bajo un galpón de estructura metálica, esta área cuenta con los servicios básicos.
- Se realizaron pruebas de filtración con filtro al vacío y filtro de cerámica en la pulpa con una concentración del 30% - 40%, los resultados de prueba muestran que el filtro al vacío difícilmente cumple con los requisitos de humedad para el transporte del concentrado.

- El costo total de trituración y molienda incluye principalmente la tarifa de energía eléctrica, el consumo de acero, banda transportadora y malla y el costo de mano de obra, el costo de operación integral de la alternativa del (proceso SABC), es el más bajo.

## 9. Recomendaciones

- Se recomienda tomar cuenta tanto los aspectos técnicos como económicos, seleccionar la finura de molienda obtenida en la prueba es de  $-0.074$  mm, lo que representa el 70.5%. y la finura de la remolienda de  $-0.037$  mm con un porcentaje de 70.2%.
- Se recomienda que, para poder mejorar la ley de concentrados de cobre, es necesario mejorar aún más el proceso de prueba preliminar y la dosificación del sistema de reactivos.
- En el presente diseño se recomienda aplicar el proceso de trituración y molienda SABC, es decir, el proceso de molienda semi-autógena, molienda de bolas y un molino de guijarros en la ampliación de Mirador Norte.
- Se recomienda permanentemente realizar ajustes en el sistema de flotación y control automático de los parámetros del proceso y del flujo de procesos de la planta de beneficio según la producción y los requisitos; de esta manera la gestión y operación de la planta será en una sala de control centralizado.
- La selección de infraestructura complementaria y equipos de muestreo y medición se basará en los siguientes principios: ahorro de energía, nuevos modelo, velocidad y precisión, sitios de escombreras y relaveras para el confinamiento.

## 10. Bibliografía

- Alexander, S. (1963). *Flotación de minerales*. Concepción: Instituto de Investigaciones Tecnológicas.
- Antimilla, S. (2018). *Estrategias de coordinación óptimas de la etapas de molienda y flotación*. Concepción- Chile: Universidad de Concepción.
- Arkema. (2022). *Reactivos y Colectores de Flotación*. Florida: Arkema.
- Arroyo, N. C. (2021). *Análisis del desarrollo y experiencias del manejo de espuma en celdas de flotación*. Guanajuato: Universidad de Guanajuato.
- Blacio Aguirre , Robert Paúl. (1 de Noviembre de 2021). El Tributo en el Ecuador. *Ambito Jurídico*(214). Recuperado el 19 de Noviembre de 2021, de <https://ambitojuridico.com.br/revista-ambito-juridico/revista-ambito-juridico-no-214-ano-xxiv-novembro-2021/amp/>
- Centro Técnico Tongling Nonferrous Metals Group Holdings Co., L. (2017). *Informe de Estudio Experimental de Beneficio del Mineral de Cobre del Depósito Norte Mirador*. Tongling - China: Centro.
- Cordero, m. F. (2015). *El proyecto minero Cobre Mirador y su relación con el plan de ordenamiento territorial de la municipalidad de El Pangui*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Cortázar Velarde, J. C. (Junio de 2020). Estrategias educativas para el desarrollo de una cultura tributaria en América Latina. Experiencias y líneas de acción. *CLAD Reforma y Democracia*(17), 130-131. Obtenido de <https://www.yumpu.com/es/document/read/31434867/estrategias-educativas-para-el-desarrollo-de-una-siare-clad>
- CRCC-Tongguan Investment Co., L. (2010). *Informe de Estudio de Factibilidad del Proyecto de la Mina de Cobre Mirador de Ecuador*. ECSA. Vancouver: Empresa.
- D.R., C. (2013). *Evaluación de un cambio tecnológico para el procesamiento de minerales de alta pureza*. Santiago: Universidad de Chile.
- ECSA, T. N. (2021). Acta de la Reunión Changchun del Diseño Preliminar del Proyecto Mirador de la Fase II. Quito: ECSA.

- Elgueta, H. (2021). *Proceso de flotacion de minerales* . Santiago: Minería y refinación de metales.
- Elgueta, H. (2022). *La importancia del proceso de flotación* . Santiago: Metso Chile.
- Enami. (2019). *Boletín Informativo. Empresa Nacional Minera ENAMI*. Quito: Banco Central Ecuador.
- FIBESA. (2022). *Reactivos para flotación*. Zaruma: Fibesa.
- Font, A. (2010). *Circuit Rougher*. Santiago: Universidad de Chile.
- Giovanna, S. C. (2005). *Flotación en columna como técnica de beneficio para minerales finos*. Bogotá: Universidad José de Caldas.
- internacional, C. f. (2008). *Guía general sobre el Medio Ambiente, Salud y Seguridad* . Washington: Banco mundial.
- Jácome, M. (2014). *Diseño de una planta de 5 000 ton/día de capacidad para la obtención de concentrado de cobre comercial por flotación de sulfuros a partir del mineral del Proyecto Mirador*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Metallurgist, 9. (2016). *Colectores y química de flotacion* . Santiago: 911 Metallurgist.
- Meza, L. (2019). *Evaluación metalúrgica en el circuito de flotación*. Lima: UNDAC.
- Michaud, D. (2015). *Pruebas de ciclo cerrado y su procedimiento*. Langley,BC: 911 Metallurgist.
- Quiroz et al, V. L. (2016). Implementación de Estrategia para fomentar la Cultura Tributaria en Comerciantes Minoristas de la Bahía del Cantón Guayaquil y garantizar el Cumplimiento Normativo para evitar sanciones de ley. 12. Guayaquil, Ecuador. Obtenido de <http://repositorio.ulvr.edu.ec/handle/44000/686>
- Quispe et al, G. (06 de Agosto de 2020). La cultura tributaria y su efecto en la evasión fiscal en Ecuador. *Revista Espacios*, 41(29), 153. Obtenido de <https://ww.revistaespacios.com/a20v41n29/a20v41n29p12.pdf>
- Renovables, M. d. (2020). *Instucciones Licenciamiento Proyectos y Mantenimiento Relaveras de Minas*. Quito: Ministerio.

- Rodríguez Avello-Sanz, Á. (2013). *Evolución de los equipos de decantación para estériles de mina*. Madrid: upm.es.
- Salager, J. (2007). *Fundamentos de Flotación*. Merida: Universidad de Merida.
- Servicio de Rentas Internas. (Mayo de 2021). *Servicio de Rentas Internas*. Obtenido de <https://srienlinea.sri.gob.ec/sri-en-linea/inicio/NAT>
- Tecnologica, D. d. (2018). *Sistemas de medición para celdas de flotación en minería*. Santiago: DGT.
- UNEP-ONU. (2020). *Estándar Global de la Industria sobre Gestión de Relaves (UNEP, PRI, ICMM)*. New York: ONU.
- Valdebenito, M. (2008). *Implementacion sistema de control de flotacion Rougher*. Calama: Codelco Chile.
- Vianna. (2004). *The Effect of Particle Size, Collector Coverage and Liberation On the Floatability of Galena Particles in an Ore*. . Australia.
- Xinhai. (2018). *El Proceso de Flotación Selectiva de Mineral de Cobre*. Beijing: Xinhai.

## 11. Anexos

### Anexo 1: Análisis químico de Mena Mirador Norte

#### Composición química del mineral

El análisis de los elementos múltiples del mineral crudo de la mina Mirador se muestra en la Tabla 4.2-2., a partir del análisis de los elementos múltiples y el análisis de la composición mineral, se sabe que los elementos actualmente reciclables en el mineral son cobre, oro y plata.

**Tabla 4.2-2.** Resultados del análisis de los elementos múltiples del mineral crudo

Elemento	Cu	S	Fe	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Au (g/t)	Ag (g/t)
Contenido (%)	0.548	3.33	4.06	1.42	1.34	13.31	67.58	0.38	3.1

Los resultados del análisis de la composición química de los minerales de la mina Mirador Norte se muestran en la Tabla 4.2-3., los elementos valiosos del mineral son principalmente cobre y el elemento oro cumple con los requisitos de los indicadores de recuperación integral.

**Tabla 4.2-3** Resultados de todo el análisis químico de la mina Mirador Norte

Elemento	Cu	Au (g/t)	Ag (g/t)	TFe	Zn	Pb	S	SiO <sub>2</sub>
Contenido (%)	0.53	0.11	2.46	2.72	0.01	<0.005	1.43	63.90
Elemento	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	C	Ti	
Contenido (%)	15.50	1.62	1.75	2.36	5.24	0.12	0.17	

## Anexo 2: Análisis física mecánica de rocas

### Propiedades físicas y mecánicas de las rocas principales

División de masa rocosa		Valor medio de los parámetros de resistencia del macizo rocoso				
Código	Nom bre	Peso Volumétrico (kV/m <sup>3</sup> )	Resistencia del macizo rocoso intacto (MPa)	RM R	Cohesión (MPa)	Ángulo de fricción (
<b>Brecha central</b>	CBx	25.6	30.4 (21.4)	55.6 (43.6)	0.561 (0.371)	39 (30)
<b>Granodiorita noreste</b>	NEC	25.8	25.1 (18.7)	42.5 (32.4)	0.422 (0.292)	33 (25)
<b>Pórfido sureste</b>	SEP	25.8	30.8 (20.7)	59.7 (44.6)	0.635 (0.385)	42 (31)
<b>Granodiorita noroeste</b>	NwG	25.8	23.2 (14.3)	49.5 (36.5)	0.482 (0.297)	36 (25)
<b>Granodiorita suroeste</b>	swG	25.8	28.8 (19.1)	56.9 (45.1)	0.618 (0.411)	42 (32)
<b>Granodiorita sureste</b>	SEG	25.8	24.0 (16.3)	46 (35.2)	0.465 (0.311)	35 (26)
<b>Cuarcita Hollin</b>	HOL <sup>7</sup>	25.9	100 (68)	69 (52.8)	1.477 (0.700)	55 (45)

**Anexo 3:** Indicadores de concentrado de cobre

Índices de diseño de la planta de beneficio de la fase II Mirador Norte

Año	Ítem	Productividad (%)	Ley (%)			Tasa de recuperación (%)		
			Cu	Au(g/t)	Ag(g/t)	Cu	Au	Ag
<b>1-5</b>	100.00	0.594498	0.068096	0.146	100.00	100.00	100.00	100.00
	2.571.78	1824.00	0.7941.618	2.461	7886.00	30.00	30.00	2.571.78
	97.4398.22	0.134071	0.049068	0.104	2214.00	70.00	70.00	97.4398.22
<b>26-</b>	Crudo	100.00	0.516438	0.079094	0.209	100.00	100.00	100.00
<b>16</b>	Concentrado	2.061.47	20.0026.30	1.15918	4.265	8088.00	30.00	30.00
	Relaves	97.9498.53	0.106053	0.057067	0.148	2012.00	70.00	70.00

#### Anexo 4: Pruebas de flotación

Tipos de dosis y concentración de reactivos.

.	Nombre de reactivo	Dosis				Propósito	Concentración (%)	Propiedades y formas de materias primas	Observación
		Dosis unitaria (g/t mineral crudo)		Dosis diaria (t/d)					
		Fase I	Fase II	Fase I	Fase II				
<b>1</b>	Cal	200 0	200 0	140	140	Agente modificado	10	Masivo	A granel
<b>2</b>	Xantato de butilo	30	55	2.1 0	3.8 5	Colector	10	Sólido	En barril
<b>3</b>	PAC	20	25	1.4 0	1.7 5	Colector	100	Líquido	En barril
<b>4</b>	Aceite No.2	10	30	0.7 0	2.1 0	Agente espumante	100	Líquido	En barril

**Anexo 5:** Ensayos de humedad de transporte de concentrado de cobre y medición de análisis metalúrgico

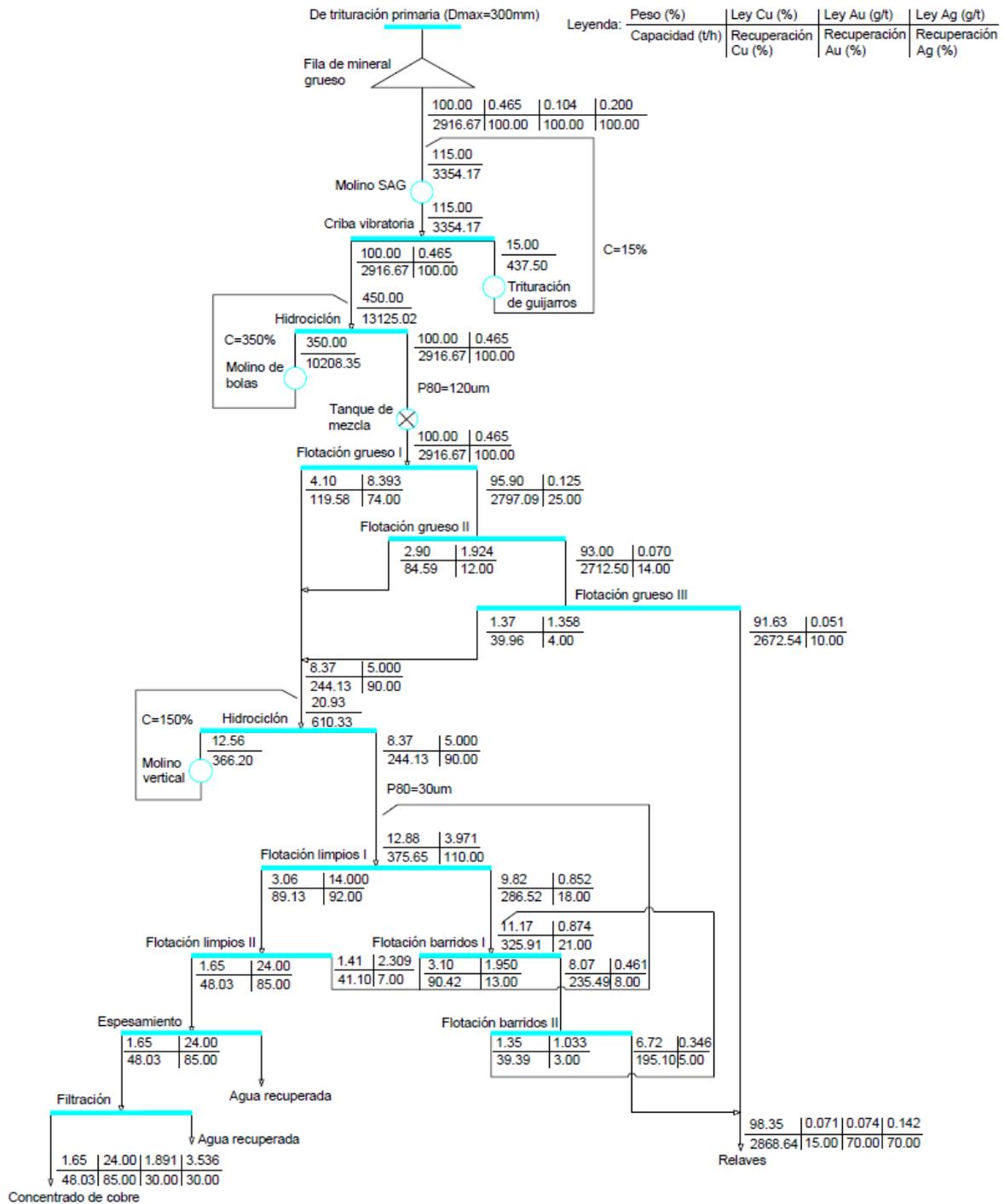
Informe de resultados calidad SGS Lote 23-03, sublote 12 ( A237945)

<b>REGISTRO SELLOS DE MUESTRAS</b>	
<b>LOTE</b>	<b>23-03</b>
<b>SUB LOTE</b>	<b>12</b>
<b>CALIDAD ECSA</b>	<b>A-237943</b>
<b>CONTRAMUESTRAS ECSA</b>	<b>A-237944</b>
<b>CALIDAD SGS</b>	<b>A-237945</b>
<b>CONTRAMUESTRAS SGS</b>	<b>A-237946</b>

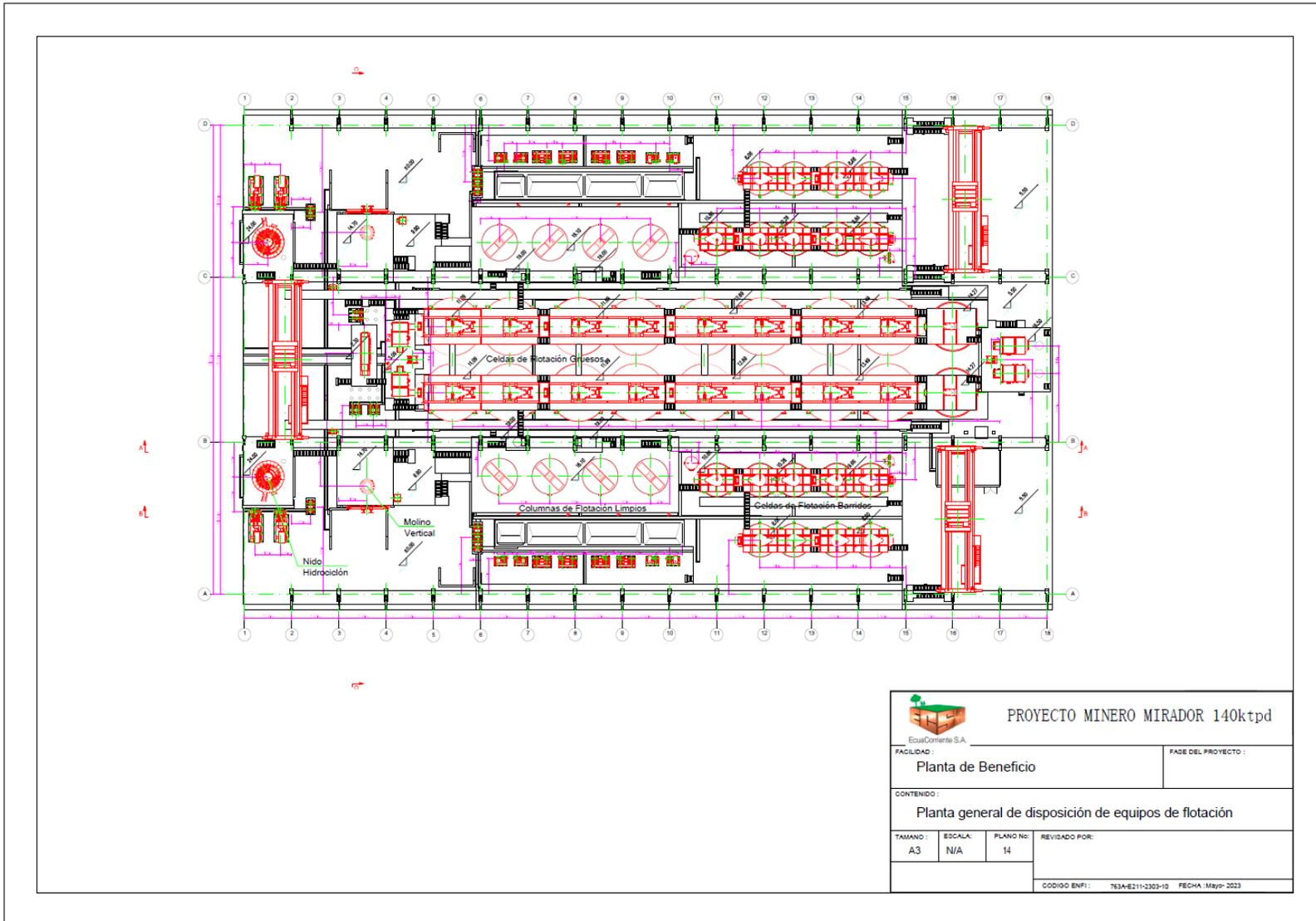
**Análisis de humedad**

<b>A-237929</b>	<b>8.78%</b>
<b>A-237930</b>	<b>8.45%</b>
<b>A-237931</b>	<b>6.06%</b>
<b>A-237932</b>	<b>8.39%</b>
<b>A-237933</b>	<b>8.15%</b>
<b>A-237934</b>	<b>8.08%</b>
<b>A-237935</b>	<b>8.73%</b>
<b>A-237936</b>	<b>8.75%</b>
<b>A-237937</b>	<b>6.18%</b>
<b>A-237938</b>	<b>8.65%</b>
<b>A-237947</b>	<b>8.61%</b>

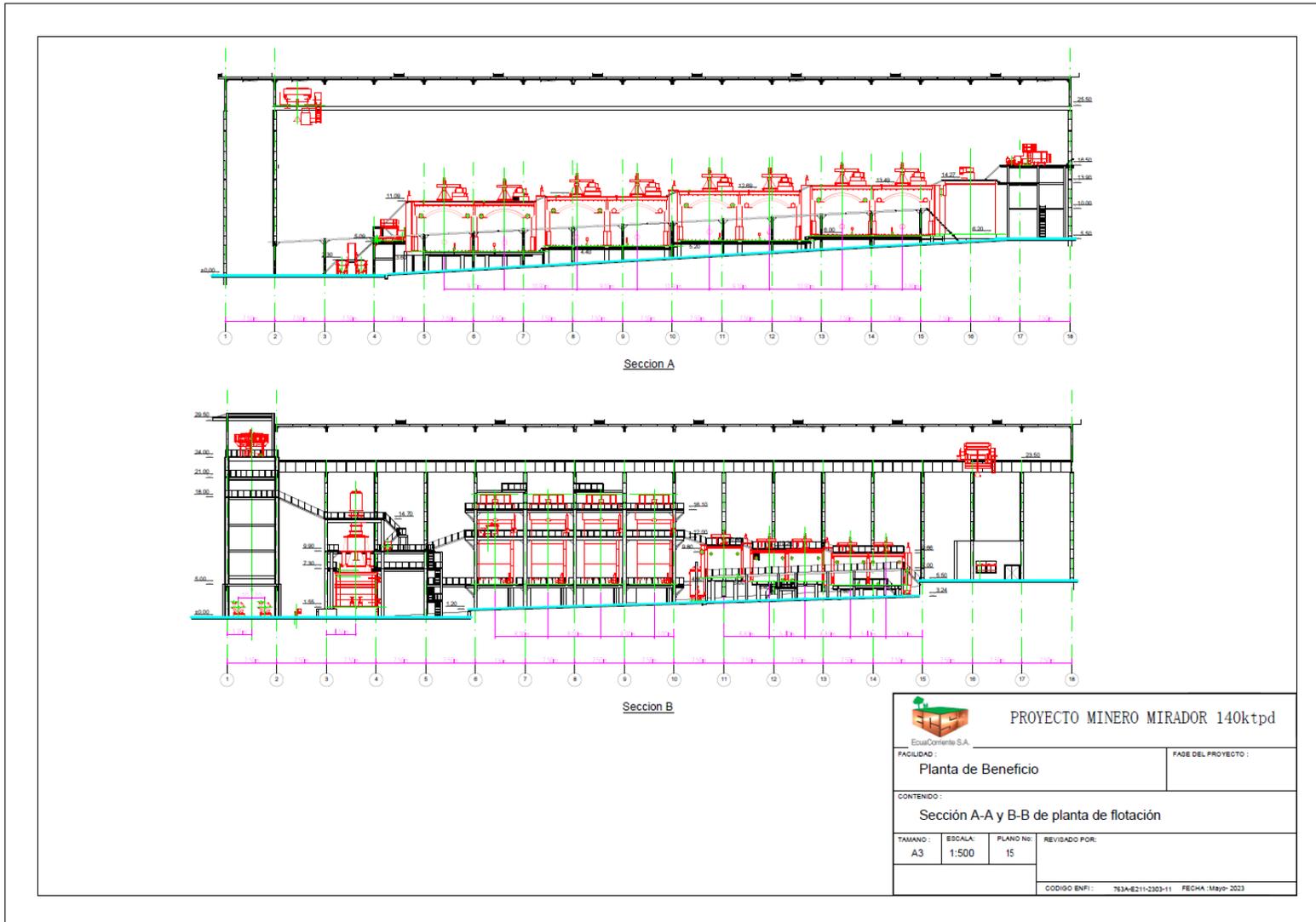
## Anexo 6: Diagrama de flujo del proceso de beneficio



**Anexo 7: Ubicación de equipos en ampliación de la planta de beneficio**



**Anexo 8:** Ubicación de equipos en la planta de beneficio



**Anexo 9:** Análisis oro, plata

Logo of FRANROMEC CIA. LTDA. and company name: **COMPAÑIA MINERA FRANCO ROMERO & CASTRO FRANROMEC CIA. LTDA.**

**COMPAÑIA MINERA FRANROMEC LABORATORIO QUIMICO**

CLIENTE: Ing Francisco Gaona  
FECHA DE RECEPCION: 10-jun-23  
TIPO DE MINERAL: arenas  
CANTIDAD DE MUESTRAS: 3  
TIPO DE ANALISIS: oro,plata  
RESPONSABLE DEL ANALISIS: Ing Jéssica Armijos

No de muestra	Nombre de muestra	Número de lote de muestra	Au (g/t)	Ag (g/t)
1	Concentrado de cobre	2023-05-31 D/ 2023-06-09 N	6,30	63,27
2	Mineral primaria -L1	2023-05-31 D/ 2023-06-09 N	0,23	2,58
3	Mineral primaria -L2	2023-05-31 D/ 2023-06-09 N	0,23	2,60

RESPONSABLE DE LABORATORIO

**Nota:** FRANROMEC, CIA. LTDA.

**Anexo 10:** Análisis Cu, S, humedad, tamizaje

**COMPAÑÍA MINERA FRANROMEC  
LABORATORIO QUIMICO**

**CLIENTE** Ing Francisco Gaona  
**FECHA DE RECEPCION** 10-jun-23  
**TIPO DE MINERAL** arenas  
**CANTIDAD DE MUESTRAS** 13  
**TIPO DE ANALISIS** Cu, S, humedad, tamizaje  
**RESPONSABLE DEL ANALISIS** Ing Jéssica Armijos

No de muestra	Nombre de muestra	Número de lote de muestra	Cu (%)	S (%)	H2O (%)	TAMIZ (%)	
1	Mineral primaria -1	2023-06-12 D	0,7273	2,569		20,92 + # 100	56,44 + #200
2	relaves grueso-1	2023-06-12 D	0,0615	0,1832			
3	relaves concentrado -1	2023-06-12 D	0,1152	21,35			
4	mineral concentrado grueso -1	2023-06-12 D	4,721	21,43			69,72 - # 325
5	Concentrado Limpieza 1-1	2023-06-12 D	20,89	27,26			
6	Concentrado de espuma -1	2023-06-12 D	24,57	27,68			
7	Mineral primaria -2	2023-06-12 D	0,7255	2,668		20,44 + # 100	57,44 - # 200
8	relaves grueso -2	2023-06-12 D	0,0611	0,2805			
9	relaves concentrado -2	2023-06-12 D	0,1063	23,09			
10	mineral concentrado grueso -2	2023-06-12 D	4,9840	24,19			75,4 - # 325
11	Concentrado Limpieza 1-2	2023-06-12 D	22,52	29,37			
12	Concentrado de espuma -2	2023-06-12 D	26,32	28,88			
13	Concentrado de cobre -2	2023-06-12 D	24,28	28,55	8,19		87,04 - # 200

**RESPONSABLE DE LABORATORIO**

**Nota:** FRANROMEC, CIA. LTDA.

## Anexo 11: Autorización de empresa ECSA



**Zamora, 09 de enero de 2023.**

La empresa Ecuacorriente SA. Operadora de la Mina Mirador, autoriza utilizar información para fines netamente académicos y con el carácter de reserva al Sr Ing. Francisco Rodrigo Gaona Salinas, para que desarrolle su tesis de maestría en el siguiente tema: **“Determinación del diseño de beneficio para el aumento cuantitativo de producción de la Mina Mirador, en su sistema de flotación”.**

El interesado podrá hacer uso de la información según lo mencionado.

Muy Atentamente.



Vilma Pazmiño Q.

**GERENTE DE GESTION AMBIENTAL  
ECUACORRIENTE S.A**

Oficina Principal: Campamento Mirador, Vía al Valle del Quimi Parroquia Tundayme, El Pangui - Zamora Chinchipe

Oficina Quito: Av. Naciones Unidas E1044 y Av. República del Salvador, Edif. CitiPlaza, Séptimo Piso, Oficina 703

PBX: (593-2)397-2000 EXT. 4000

 [www.ecsa.com.ec](http://www.ecsa.com.ec)

    Ecuacorriente S.A

**Anexo 12: Certificado de traducción del resumen**

**MGS. MARIA MAGDALENA SARAGURO T.  
PROFESORA DE INGLES**

**CERTIFICA:**

Que ha realizado la traducción del resumen de su tesis de maestría al Ing. Francisco Rodrigo Graona Salinas; en calidad de profesora de Educación Media en la especialidad de Inglés, cuyo registro del Senescyt corresponde a número 1008-2017-1913044.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

Loja, 28 de abril 2023.

  
Mgs. María Magdalena Saraguro T.  
1102452800