



**UNIVERSIDAD DEL AZUAY**  
**FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA EN MINAS**

**“Análisis de costos de la planta de beneficio mineral perteneciente a  
la empresa minera PRODUMIN S.A.”**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

**INGENIERO EN MINAS**

**Autor:**

**FULVIO RICARDO FEIJOO JARAMILLO**

**Director:**

**ING. FEDERICO AUQUILLA TERAN**

**CUENCA - ECUADOR**

**2023**

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado a Dios principalmente, por permitirme llegar a la culminación de mi formación profesional.

A mi querida hija Irene, quien siempre está en mi corazón y ha sido mi impulso inspirador para alcanzar mis metas.

A mis padres Fulvio y Mónica por creer en mí y darme el apoyo incondicional en los momentos más difíciles.

A mis familiares, amigos y docentes que en todo momento estuvieron presentes en este proyecto de vida; ya que me alentaron a seguir adelante y nunca rendirme.

## **AGRADECIMIENTOS**

Doy gracias a mis padres Fulvio y Mónica, porque han sido los pilares fundamentales en mi vida, con sus enseñanzas, consejos, y alentándome siempre a continuar buscando la excelencia en mis proyectos.

A mis tíos Efrén y Targelia por su apoyo incondicional a lo largo de mis estudios.

Mi agradecimiento imperecedero para los docentes de la carrera de Ing. de Minas por su persistencia, paciencia y motivación que han sido fundamentales para mi formación.

Finalmente, un agradecimiento especial a la Universidad del Azuay por aceptarme y formar parte de ella.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>DEDICATORIA</b> .....	1
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	2
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	3
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	8
<b>RESUMEN</b> .....	10
<b>ABSTRACT</b> .....	11
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	12
<b>CAPÍTULO 1</b> .....	13
<b>MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE</b> .....	13
<b>1. Marco Teórico</b> .....	13
<b>1.1 Minería</b> .....	13
<b>1.2 Procesos mineros de minería subterránea</b> .....	15
1.2.1 Exploración y desarrollo .....	15
1.2.2 Preparación del sitio.....	16
1.2.3 Extracción .....	16
1.2.4 Transporte y manejo de materiales .....	16
1.2.5 Procesamiento .....	16
1.2.6 Cierre y rehabilitación.....	16
1.2.7 Optimización de recursos.....	17
1.2.8 Gestión de riesgos .....	17
1.2.9 Secuencia de operaciones .....	17
1.2.10 Cumplimiento normativo.....	17
1.2.11 Evaluación de viabilidad.....	18
<b>1.3 Procesos de beneficio</b> .....	18

1.3.1 Extracción por gravedad .....	19
1.3.2 Flotación .....	20
1.3.3 Cianuración .....	20
1.3.4 Lixiviación con tiosulfato .....	20
1.3.5 Lixiviación bacteriana.....	20
<b>1.4 Planta de beneficio .....</b>	<b>20</b>
1.4.1 Trituración y molienda.....	21
1.4.2 Concentración por gravedad .....	21
1.4.3 Flotación .....	21
1.4.4 Cianuración .....	21
1.4.5 Fundición y refinación .....	21
<b>1.5 Flotación.....</b>	<b>21</b>
1.5.1 Fundamentos de la flotación .....	22
1.5.2 Elementos de la flotación.....	23
1.5.3 Factores que intervienen en la flotación .....	24
1.5.4 Clasificación de los reactivos.....	28
1.5.5 Tipos de celdas de flotación.....	32
1.5.6 Principios de flotación .....	39
1.5.7 Equipos y circuitos de flotación.....	39
1.5.8 Importancia de la flotación .....	39
<b>1.6 Concentrados.....</b>	<b>40</b>
1.6.1 Tipos de concentración .....	41
<b>1.7 Flujoograma del proceso productivo .....</b>	<b>42</b>
<b>1.8 Contabilidad minera.....</b>	<b>43</b>
1.8.1 Control y gestión financiera: la contabilidad.....	44

1.8.2 Cumplimiento normativo y fiscal .....	44
1.8.3 Evaluación de la rentabilidad.....	44
1.8.4. Análisis de riesgos y gestión de activos.....	44
1.8.5. Costos de producción.....	45
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>46</b>
<b>2. Levantamiento de información .....</b>	<b>46</b>
<b>2.1. Antecedentes de la empresa minera .....</b>	<b>46</b>
<b>2.2 Antecedentes .....</b>	<b>46</b>
<b>2.3 Escombrera .....</b>	<b>47</b>
<b>2.4 Manejo de relaveras.....</b>	<b>47</b>
2.4.1 Área de almacenamiento de combustibles.....	48
2.4.2 Características constructivas.....	49
2.4.3 Tipos de combustibles utilizados .....	49
2.4.4 Capacidad y forma de almacenamiento .....	49
2.4.5 Área de almacenamiento de desechos no peligrosos .....	50
2.4.6 Transporte y disposición final.....	51
2.4.7. Área de almacenamiento de desechos peligrosos .....	52
2.4.8. Abastecimiento de agua potable .....	54
2.4.9 Almacenamiento .....	57
2.4.10 Distribución.....	57
2.4.11 Ubicación .....	57
2.4.12 Geología regional.....	58
2.4.13 Formaciones geológicas.....	59
2.4.14 Periodos geológicos .....	60
2.4.15 Geología local .....	61

<b>2.5 Clima</b> .....	64
<b>2.6 Procesos productivos de la planta PRODUMIN S.A</b> .....	65
2.6.1 Descripción de proceso de tratamiento de minerales de PRODUMIN S.A. ....	66
2.6.2 Trituración y molienda, descripción técnica y costos.....	68
2.6.3 Tipos de plantas .....	72
2.6.4 Molienda .....	74
2.6.5 Flotación, descripción técnica y costos, insumos, reactivos, etc. ....	82
<b>2.7 Costos anuales de los insumos y reactivos utilizados en la planta PRODUMIN S.A</b> .....	84
<b>2.8 Flujograma de trabajo de la planta</b> .....	85
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	86
<b>3. COSTOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO</b> .....	86
<b>3.1 Determinación de costo actual de la tonelada de concentrado</b> .....	86
3.1.1 Energía eléctrica al año.....	86
3.1.2 Costos personal planta al año.....	86
3.1.3 Costos mantenimiento planta al año .....	86
3.1.4 Costos tratamiento de aguas/ gestión de relaves al año .....	87
3.1.5 Costos de laboratorio al año.....	88
3.1.6 Costos de insumos de flotación al año.....	88
<b>3.2 Análisis de la proyección del costo de la tonelada del concentrado si se ampliase la productividad de la planta</b> .....	90
3.2.1 Costos molino de bolas 6'x 8'.....	90
3.2.2 Costo de tonelada procesada.....	93
<b>CAPITULO 4</b> .....	94
<b>4.1 Interpretación de resultados</b> .....	94
<b>CONCLUSIONES</b> .....	98

RECOMENDACIONES..... 99

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 100**



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Evolución de la minería del IV al I milenio.....	14
<b>Figura 2:</b> Fases de procesos productivos .....	15
<b>Figura 3:</b> Diagrama de flujo para beneficio de minerales .....	19
<b>Figura 4:</b> Factores que intervienen en la flotación .....	24
<b>Figura 5:</b> Efectos de los reactivos.....	32
<b>Figura 6:</b> Maquina de Flotación Denver Sub-A .....	35
<b>Figura 7:</b> Máquina de Flotación Agita.....	37
<b>Figura 8:</b> Celda de flotación Columnar .....	38
<b>Figura 9:</b> Esquema Global de un Planta Concentradora de Minerales .....	40
<b>Figura 10:</b> Procesos productivos en la explotación del oro .....	42
<b>Figura 11:</b> Flujograma del proceso de minería.....	43
<b>Figura 12:</b> Mapa de accesibilidad hacia la empresa PRODUMIN S.A.....	47
<b>Figura 13:</b> Cubeto de almacenamiento de combustible 1 .....	48
<b>Figura 14:</b> Cubeto de almacenamiento de combustible 2.....	49
<b>Figura 15:</b> Sitios de disposición de residuos .....	50
<b>Figura 16:</b> Depósito principal de desechos peligrosos y chatarra .....	53
<b>Figura 17:</b> Tanque de recepción de agua de entrada .....	54
<b>Figura 18:</b> Instalación de planta de potabilización de agua.....	55
<b>Figura 19:</b> Ubicación PRODUMIN S.A.....	57
<b>Figura 20:</b> Procesos productivos de la planta PRODUMIN S.A.....	66
<b>Figura 21:</b> Movimiento de la carga de un molino horizontal .....	76
<b>Figura 22:</b> Interior molino chileno.....	78
<b>Figura 23:</b> Celdas flotantes tipo Denver .....	82
<b>Figura 24:</b> Flotación entre los métodos afines de separación.....	83
<b>Figura 25:</b> Flujograma .....	85

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Color y Etiquetas de tachos según el tipo de desecho acorde a norma INEN 2841 .....	50
<b>Tabla 2:</b> Porcentaje de sílice presente en la roca .....	69
<b>Tabla 3:</b> Tamaños típicos de menas para lixiviación de distintos minerales .....	70
<b>Tabla 4:</b> Guía para la selección preliminar de los tipos de trituradoras.....	71
<b>Tabla 5:</b> Costos anuales de los insumos y reactivos .....	84
<b>Tabla 6:</b> Costos de proceso de flotación .....	84
<b>Tabla 7:</b> Consumo de energía .....	86
<b>Tabla 8:</b> Costo personal de Planta.....	86
<b>Tabla 9:</b> Costos de mantenimiento.....	87
<b>Tabla 10:</b> Costos de tratamiento de aguas/gestión de relaves.....	87
<b>Tabla 11:</b> Costos de laboratorio .....	88
<b>Tabla 12:</b> Costos de flotación .....	88
<b>Tabla 13:</b> Costo de tonelada procesada en planta .....	88
<b>Tabla 14:</b> Costo tonelaje .....	89
<b>Tabla 15:</b> Costos de material que no entra a planta .....	89
<b>Tabla 16:</b> Costo de energía .....	90
<b>Tabla 17:</b> Costos personal de planta .....	90
<b>Tabla 18:</b> Costos de Laboratorio.....	91
<b>Tabla 19:</b> Costos de insumos y repuestos .....	91
<b>Tabla 20:</b> Costos de Mantenimiento .....	91
<b>Tabla 21:</b> Costos Tratamiento de relaveras.....	92
<b>Tabla 22:</b> Inversión .....	92
<b>Tabla 23:</b> Suma de los Valores .....	93
<b>Tabla 24:</b> Diferencia de costos con inversión.....	95
<b>Tabla 25:</b> Diferencia de costos después de 5 años pagando toda la inversión.....	96

# ANÁLISIS DE COSTOS DE LA PLANTA DE BENEFICIO MINERAL PERTENECIENTE A LA EMPRESA MINERA PRODUMIN S.A.

## RESUMEN

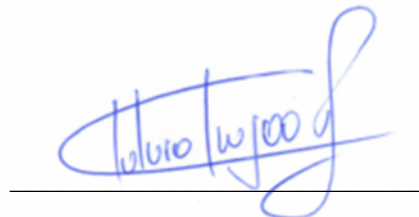
Actualmente las empresas mineras deben seleccionar y optimizar sus procesos para lograr mayor rentabilidad mediante el control de procesamiento mineral, y la reducción de pérdidas durante su tratamiento. Este estudio determinó el valor real por tonelada procesada mediante un análisis costo- beneficio, dando resultados factibles para invertir en mejorar y optimizar la capacidad de procesamiento de la actual planta; en consecuencia, el costo de producción baja generando mayor rentabilidad y maximizando su rendimiento económico. Esta investigación surge debido a que la producción de mina es superior a la capacidad de la planta procesadora, provocando excedentes que son tratados en plantas de alquiler, generando gastos adicionales e incrementando los costos. La metodología empleada implicó la recopilación de datos de la empresa sobre costos, y los resultados respaldaron la propuesta de expansión, que, según una proyección de costos, demostró ser beneficiosa al mejorar la rentabilidad y la eficiencia económica de la empresa.

**Palabras clave:** costos, sobreproducción, planta de beneficio, economía



Ing. Federico Auquilla Teran

**Director del Trabajo de Titulación**



Fulvio Ricardo Feijoo Jaramillo

**Autor**

**“COST ANALYSIS OF THE MINERAL BENEFIT PLANT BELONGING TO THE  
MINING COMPANY PRODUMIN S.A.”**

**ABSTRACT**

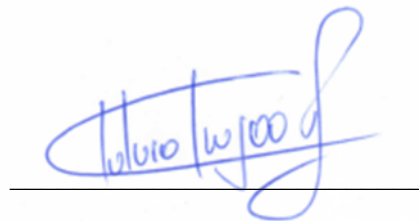
Currently, mining companies must select and optimize their processes to achieve greater profitability by controlling mineral processing and reducing losses during treatment. This study considered the real value per ton processed through a cost-benefit analysis, giving feasible results to invest in improving and optimizing the processing capacity of the current plant; Consequently, the cost of production drops, generating greater profitability and maximizing its economic performance. This investigation arises because mine production is higher than the capacity of the processing plant, causing surpluses that are treated in rental plants, generating additional expenses and increasing costs. The methodology employed involved collecting company data on costs, and the results supported the expansion proposal, which, based on a cost projection, proved to be beneficial in improving the company's profitability and economic efficiency.

**Key words:** Costs, overproduction, processing plant, economy.



Ing. Federico Auquilla Teran

**Director del Trabajo de Titulación**



Fulvio Ricardo Feijoo Jaramillo

**Autor**

Fulvio Ricardo Feijoo Jaramillo

Trabajo de Titulación

Ing. Federico Auquilla

Noviembre, 2023

**“ANÁLISIS DE COSTOS DE LA PLANTA DE BENEFICIO MINERAL  
PERTENECIENTE A LA EMPRESA MINERA PRODUMIN S.A.”**

**INTRODUCCIÓN**

El análisis de costos en la planta de beneficio mineral es una herramienta fundamental para la gestión eficiente de una empresa minera, ya que permite conocer los costos involucrados en el proceso de beneficio mineral y tomar decisiones informadas para optimizar su rendimiento económico. Este trabajo en la planta de beneficio mineral se enfoca en el estudio de los costos directos e indirectos relacionados con la producción de minerales en una empresa minera. Los costos directos incluyen los gastos de materiales, mano de obra, energía y otros insumos utilizados en el proceso de beneficio de mineral. Los costos indirectos incluyen los administrativos, de mantenimiento y de depreciación de la planta de beneficio mineral.

En cuanto al análisis de costos en la planta de beneficio mineral, existen varios factores que pueden influir en los costos de producción en Ecuador. Algunos de estos factores incluyen la calidad de los minerales, la tecnología utilizada, la infraestructura disponible y los costos laborales. La gestión de costos es fundamental en la operación, generando continuas iniciativas para mejorar la eficiencia del proceso.

Este trabajo propone desarrollar un análisis y estimación de costos por tonelada tratada en la planta de beneficio de la empresa Produmin S.A y conocer los gastos que genera el material que no puede ser procesado en la actualidad, debido a que la infraestructura actual se encuentra en su máxima capacidad, lo que conlleva a procesar el mineral en otro lugar.

## **CAPÍTULO 1**

### **MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE**

#### **1. Marco Teórico**

##### **1.1 Minería**

En términos generales, la minería en Ecuador se refiere a la actividad de extracción de recursos minerales en el país. El país es conocido por su riqueza en recursos como oro, plata, cobre entre otros. Sin embargo, el desarrollo de la industria minera en Ecuador ha sido objeto de debates y desafíos debido a preocupaciones ambientales, sociales y económicas. La minería puede realizarse a cielo abierto (extracción en la superficie) o en minas subterráneas (extracción debajo de la superficie).

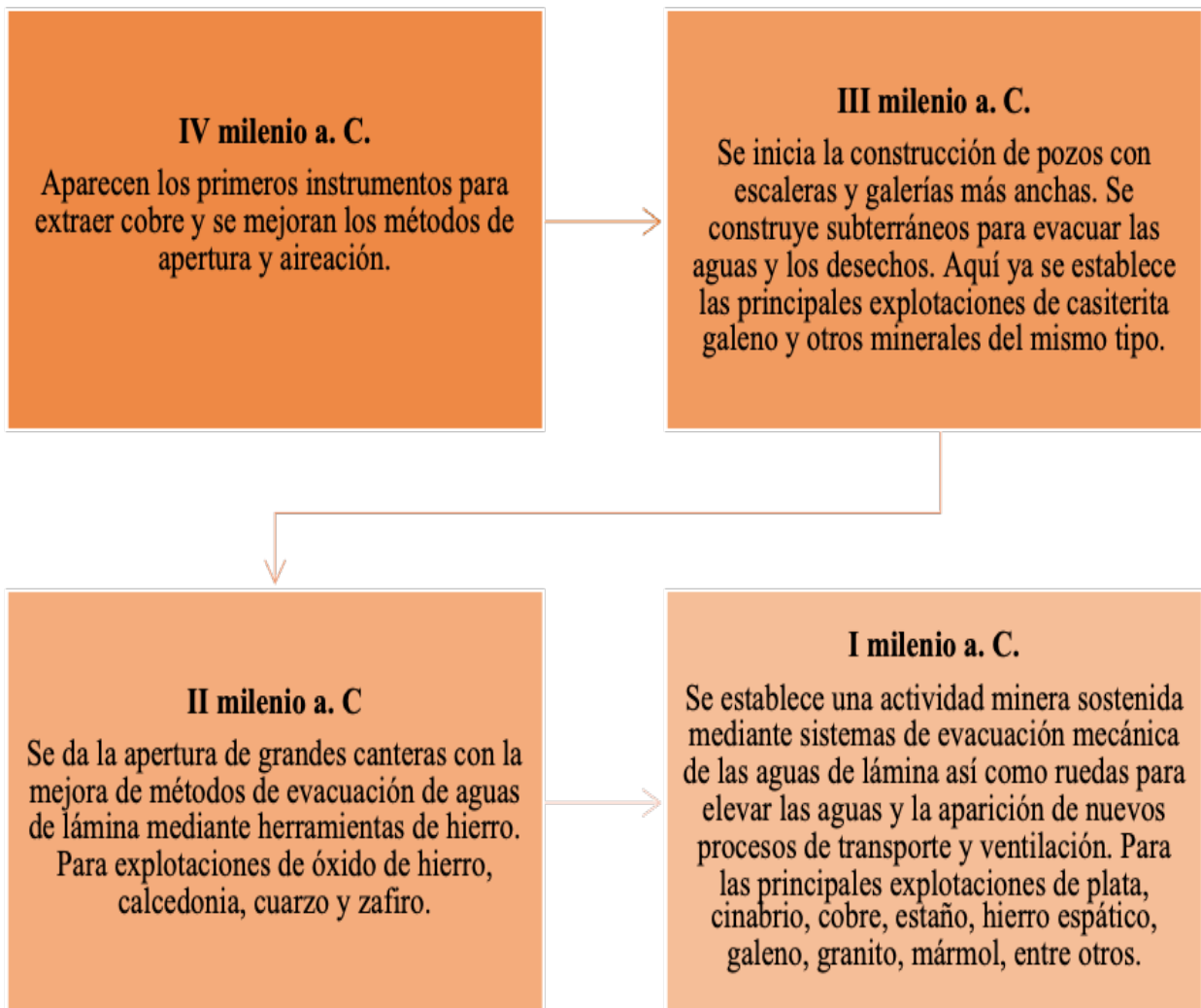
La industria minera desempeña un papel importante en la economía mundial, proporcionando materias primas para diversos sectores industriales. Sin embargo, también plantea desafíos y preocupaciones, como impactos ambientales, degradación del terreno, contaminación del agua, desplazamiento de comunidades locales y cuestiones relacionadas con los derechos humanos. Estos temas son objeto de debate y regulaciones en diferentes países y regiones.

El 13 de febrero del 2015, mediante el Decreto Ejecutivo 578 se creó el Ministerio de Minería en el Ecuador, para apoyar el desarrollo en la industria minera y generar interés a posibles inversionistas. Sujetándose a las políticas públicas y gestionando con los principios de sostenibilidad, precaución, prevención y eficiencia

##### **1.1.2 Breve historia de la minería**

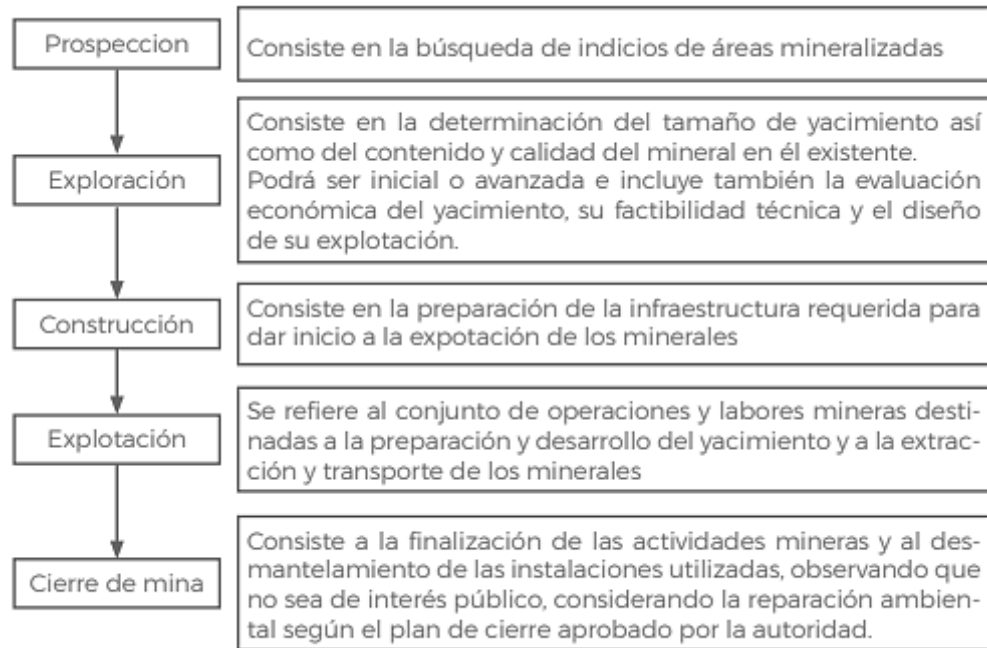
La historia extractiva de minerales en el Ecuador, parte de la minería tradicional o artesanal, que se forjó en pueblos como medio de emprendimiento éntrelas familias; no obstante, esta forma de extracción a largo plazo, represento una afección al medio ambiente; es por ello por lo que, se dio el cierre de muchos de las pequeñas empresas artesanales (Espinoza, 2018).

El impacto de la minería en Ecuador ha sido un ente de progreso y desarrollo; debido a que, el país aparte de ser privilegiado por poseer tierras fértiles para la producción de materia prima, también es considerado un país minero, porque posee espacio e infraestructura de material metálico y minero.

**Figura 1***Evolución de la minería del IV al I milenio***Fuente:** (CurioSfera, 2020)

Según el subsecretario de Calidad Ambiental en la Minería de Ecuador Carlos Velasco, afirmó en una entrevista que el país se encuentra inmerso en un “boom minero” y que, por lo tanto, tiene que precautelar los derechos de la naturaleza (El Comercio, 2019).

Tal es el caso, que se deben cumplir normativas destinadas a la regulación de la minería, es por ello que se hace imprescindible la obtención de una concesión que les permita realizar sus operaciones de exploración y explotación; para lo cual se centran en las siguientes fases:

**Figura 2***Fases de procesos productivos*

Fuente: (Lalangui, et.al., 2018)

## 1.2 Procesos mineros de minería subterránea

La minería subterránea es la minería que se realiza en el interior de la tierra a través de túneles verticales u horizontales. En las minas, el trabajo se lleva a cabo desde los pozos de acceso y los niveles se determinan a intervalos regulares, generalmente separados por 50 metros o más, desde varios túneles de acceso a diferentes alturas o desde rampas de acceso, que conectan diferentes niveles.

Los procesos mineros de minería subterránea implican la extracción de minerales y recursos de la tierra a través de galerías y túneles. Estos son algunos de los pasos comunes en los procesos mineros subterráneos:

### 1.2.1 Exploración y desarrollo

Se realizan estudios geológicos y geofísicos para identificar la ubicación y extensión de los depósitos minerales. Luego se construyen túneles de acceso, como pozos o rampas, para ingresar a la mina.



### **1.2.2 Preparación del sitio**

Se establecen infraestructuras de apoyo, como áreas de acopio de materiales, sistemas de ventilación y suministro de energía, para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente de la mina.

### **1.2.3 Extracción**

Se utilizan métodos de extracción específicos, como el corte y relleno, la explotación por subniveles o la minería de cámaras y pilares, para extraer el mineral de la veta o el yacimiento.

### **1.2.4 Transporte y manejo de materiales**

El mineral extraído se transporta fuera de la mina mediante sistemas de transporte, como cintas transportadoras, vagones mineros o equipos de carga y descarga.

### **1.2.5 Procesamiento**

El mineral se somete a procesos de trituración, molienda y separación para obtener el concentrado de mineral deseado.

### **1.2.6 Cierre y rehabilitación**

Al finalizar la extracción, se llevan a cabo actividades de cierre de mina y rehabilitación del sitio para minimizar los impactos ambientales y sociales. (Hustrulid & Bullock, 2001)

Dentro de los procesos de minería subterránea, hay varios parámetros que son importantes y que pueden variar dependiendo del contexto y los objetivos específicos de la operación minera. Sin embargo, uno de los parámetros clave que se considera fundamental en la minería subterránea es la seguridad.

La seguridad en la minería subterránea es de suma importancia debido a los riesgos asociados con la operación en entornos subterráneos. Algunos de los desafíos comunes incluyen la estabilidad de las galerías, la prevención de inundaciones, el control del polvo, la ventilación adecuada para garantizar la calidad del aire y la protección contra explosiones, entre otros.

Mantener altos estándares de seguridad implica la implementación de políticas y procedimientos adecuados; la capacitación del personal en prácticas de seguras; la adopción de tecnologías y

equipos seguros; la identificación y control de riesgos, así como la promoción de una cultura de seguridad en la operación minera.

La priorización de la seguridad en los procesos mineros subterráneos no solo protege la vida y la salud de los trabajadores, sino que también contribuye a la eficiencia y la productividad a largo plazo de la operación. Además, el cumplimiento de normas y regulaciones de seguridad es fundamental para obtener las licencias y permisos necesarios para operar legalmente. Es importante destacar que la seguridad no es el único parámetro relevante en la minería subterránea, y otros factores como la productividad; la eficiencia económica; la protección ambiental y el cumplimiento de regulaciones. También son consideraciones importantes en la planificación y ejecución de los procesos mineros subterráneos.

También permite organizar y coordinar las diversas actividades y recursos involucrados en la extracción de minerales en entornos subterráneos. Algunas de las razones por las que la planificación es importante en la minería subterránea incluyen:

### **1.2.7 Optimización de recursos**

La planificación adecuada permite optimizar el uso de los recursos disponibles, como la mano de obra, los equipos, los materiales y tiempo. Esto ayuda a maximizar la productividad y minimizar los costos operativos.

### **1.2.8 Gestión de riesgos**

Permite identificar y evaluar los riesgos asociados con la minería subterránea, como la estabilidad del terreno, la seguridad de los trabajadores y las consideraciones ambientales. Al anticipar y abordar estos riesgos, se pueden implementar medidas preventivas y mitigadoras adecuadas.

### **1.2.9 Secuencia de operaciones**

Determina la secuencia lógica de las actividades mineras, desde la construcción de las galerías de acceso, hasta la extracción y el transporte del mineral. Esto garantiza una secuencia de operaciones coherente y eficiente, minimizando el tiempo de inactividad y optimizando el flujo de trabajo.

### **1.2.10 Cumplimiento normativo**

También ayuda a garantizar el cumplimiento de las regulaciones y normativas legales aplicables. Esto incluye aspectos relacionados con la seguridad, el medio ambiente, los derechos de las comunidades locales y la responsabilidad social.

### **1.2.11 Evaluación de viabilidad**

Permite evaluar la viabilidad técnica, económica y ambiental de un proyecto minero subterráneo antes de su implementación. Esto ayuda a tomar decisiones informadas sobre la inversión y el desarrollo de la operación. (Singhal, Adhikari, & Czaplicki, 2014)

### **1.3 Procesos de beneficio**

El procesamiento de minerales auríferos, es una herramienta útil para identificar y evaluar los procesos de distribución y complementa el análisis químico convencional, que por sí solo no puede determinar por completo la causa de las dificultades del procesamiento. Tampoco pueden evitar operaciones innecesariamente costosas (Londoño, et.al., 2010).

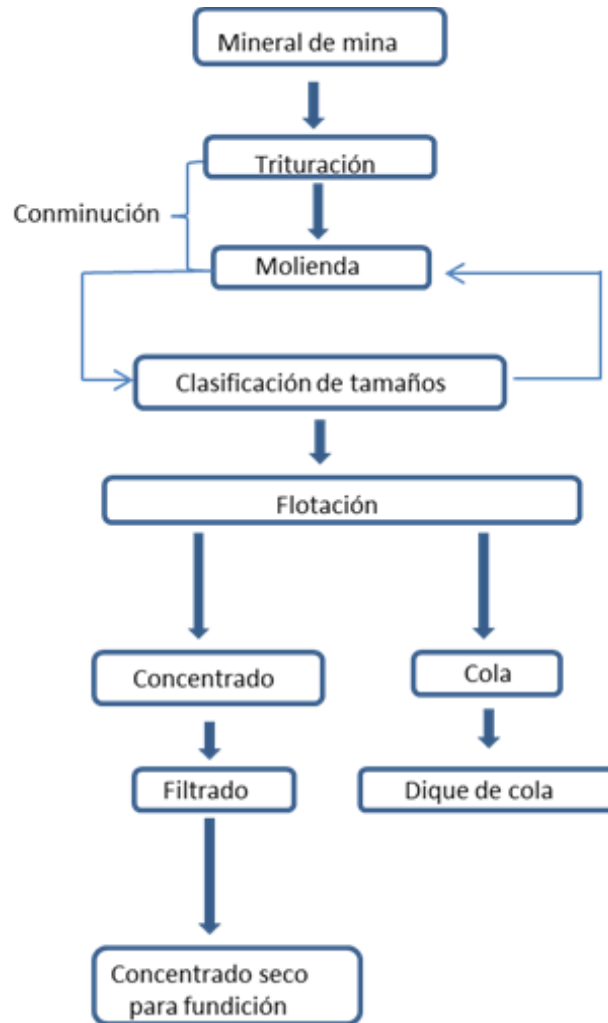
Las materias primas químicas tienen una gran demanda en la extracción de minerales de interés económico en el Ecuador; es importante buscar la mayor rentabilidad en diferentes minas, ya sea de oro, plata o cobre. Por lo tanto, se puede suponer que una mayor extracción por lixiviación con cianuro de sodio en el mineral, reducirá significativamente el consumo de ciertos productos químicos y los costos de procesamiento de minerales, lo que aumenta significativamente el rendimiento (Aguilar, 2021).

Comprender los minerales que componen la mineralización y sus proporciones, especialmente aquellos que pueden interferir con el proceso de extracción, es un aspecto importante de la exploración minera (Londoño, et al., 2010).

Existen varios procesos de recuperación de oro utilizados en la industria minera. A continuación, se presentan algunos de los procesos más comunes:

**Figura 3**

*Diagrama de flujo para beneficio de minerales*



**Fuente:** (Servicio Geológico Mexicano, 2017)

Existen varios procesos de recuperación de oro utilizados en la industria minera. A continuación, se presentan algunos de los procesos más comunes.

### 1.3.1 Extracción por gravedad

Se basa en la diferencia de densidad entre el oro y los otros minerales presentes en el oro. Utiliza técnicas como la concentración en mesas gravimétricas, concentradores centrífugos y separadores de espiral para separar el oro de los otros minerales mediante fuerza gravitacional.

### **1.3.2 Flotación**

Este proceso se basa en la capacidad del oro para formar una película de espuma en presencia de reactivos químicos. Se utilizan reactivos específicos para hacer que las partículas de oro se adhieran a las burbujas de aire, permitiendo así su separación de los otros minerales, presentes en el mineral de oro.

### **1.3.3 Cianuración**

Es uno de los métodos más utilizados para la recuperación de oro. Consiste en la lixiviación del mineral triturado con soluciones de cianuro de sodio o potasio, lo que disuelve el oro presente, en el mineral en forma de complejo de cianuro de oro. Posteriormente, el oro es recuperado de la solución cianurada utilizando adsorbentes como el carbón activado o resinas de intercambio iónico.

### **1.3.4 Lixiviación con tiosulfato**

Es una alternativa más ecológica a la cianuración. En este proceso, se utiliza una solución de tiosulfato en lugar de cianuro para lixiviar el oro. El tiosulfato forma un complejo soluble en el oro, que luego puede ser recuperado utilizando técnicas como la adsorción en carbón activado.

### **1.3.5 Lixiviación bacteriana**

Algunas especies bacterianas tienen capacidad de disolver minerales de sulfuro de oro, liberando así el oro contenido en ellos.

Es importante tener en cuenta que la elección del proceso de recuperación de oro depende de varios factores, como la composición del mineral de oro, su grado de liberación, las consideraciones ambientales y económicas, entre otros.

Cabe destacar que cada proceso de recuperación de oro tiene sus propias ventajas, desventajas y requisitos operativos específicos. La selección del proceso más adecuado para una operación minera en particular se basa en el análisis detallado de estas consideraciones y se adapta a las características específicas del yacimiento de oro.

## **1.4 Planta de beneficio**

Las plantas de beneficio mineral de oro son instalaciones industriales diseñadas para procesar el mineral de oro extraído de la mina y obtener un producto final de alta pureza. Estas plantas están

diseñadas para llevar a cabo una serie de etapas y procesos con el objetivo de maximizar la recuperación de oro y minimizar las pérdidas. Algunas de las etapas comunes en una planta de beneficio mineral de oro incluyen:

#### **1.4.1 Trituración y molienda**

El mineral de oro se reduce de tamaño mediante trituración y molienda, para liberar las partículas de oro y facilitar su posterior recuperación.

#### **1.4.2 Concentración por gravedad**

Se implementa después de la molienda para separar el oro libre, del oro encapsulado que va a flotación; se utilizan concentradores centrífugos que son los más utilizados en la actualidad debido a su eficiencia, pero hay empresas que utilizan mesas gravimétricas, separadores de espiral o canalones con bayetas para atrapar el oro.

#### **1.4.3 Flotación**

Este proceso se basa en la capacidad del oro para formar una película de espuma en presencia de reactivos químicos, lo que permite su separación de otros minerales. Se utiliza ampliamente en la flotación de minerales de sulfurados de oro.

#### **1.4.4 Cianuración**

Es el proceso principal utilizado para la extracción del oro en minerales de baja ley y en minerales refractarios. Consiste en la lixiviación del mineral triturado con soluciones de cianuro de sodio o potasio, seguido de la adsorción del oro disuelto en carbón activado o resinas especiales.

#### **1.4.5 Fundición y refinación**

Una vez que el oro ha sido concentrado o lixiviado, se lleva a cabo la fundición para obtener el doré (una aleación de oro y plata). Luego, el doré se refina mediante procesos como la electrólisis o la precipitación química para obtener oro de alta pureza (Adams, 2016).

### **1.5 Flotación**

La flotación es un proceso fundamental en los procesos metalúrgicos de una planta de procesamiento minero. Es una técnica utilizada para separar selectivamente minerales valiosos de minerales de desecho, basándose en sus propiedades fisicoquímicas diferenciales en una

suspensión acuosa. Este proceso es ampliamente utilizado en la industria minera para la concentración de minerales metálicos y no metálicos.

### **1.5.1 Fundamentos de la flotación**

En el contexto de la minería aurífera, la flotación se utiliza para concentrar partículas de oro finamente diseminadas en minerales de baja ley, permitiendo así su recuperación eficiente. Los fundamentos de la flotación en la extracción de oro involucran la preparación de la pulpa mineral, la adición de reactivos químicos selectivos, y la generación de burbujas de aire para facilitar la adhesión de las partículas auríferas.

#### **1.5.1.1 Flotación de minerales**

La flotación por espumas es un proceso físico-químico de la concentración de minerales finamente molidos. El proceso comprende el tratamiento químico de una pulpa de mineral, a fin de crear condiciones favorables para la adhesión de ciertas partículas de minerales, a las burbujas de aire. Tiene por objetivo la separación de especies minerales, divididos a partir de una pulpa acuosa, aprovechando sus propiedades de afinidad (hidrofílico) o repulsión (hidrofóbico) por el agua. Las especies valiosas o útiles constituyen una fracción menor del mineral, mientras que las especies no valiosas o estériles constituyen la mayor parte.

El carácter hidrofílico o de afinidad hace que estas partículas se mojen, permanezcan en suspensión en la pulpa, para finalmente hundirse. El carácter hidrofóbico o de repulsión evita el mojado de las partículas minerales que pueden adherirse a las burbujas y ascender. Estas propiedades de algunos minerales tienen en forma natural, pero pueden darse o asentarse mediante los reactivos de flotación.

#### **1.5.1.2 Minerales hidrofílicos**

Son mojables por el agua, constituidos por: óxidos, sulfatos, silicatos, carbonatos y otros, que generalmente presentan la mayoría de los minerales estériles o ganga. Haciendo que se mojen, permanezcan en suspensión en la pulpa para finalmente hundirse.

#### **1.5.1.3 Minerales hidrofóbicos**

Son aquellos minerales que no son mojables o son poco mojables por el agua, dentro de ellos tenemos: los metales nativos, sulfuros de metales o especies tales como: grafito, carbón

bituminoso, talco y otros. Evita el mojado de las partículas minerales, que pueden adherirse a las burbujas de aire y ascender.

Además, se puede observar, que los minerales hidrofóbicos son aerofilicos, es decir, tienen afinidad con las burbujas de aire; mientras que los minerales hidrofílicos son aerofóbicos por lo que no se adhieren normalmente a ellas.

#### **1.5.1.4 Proceso de flotación por espumas**

Los minerales hidrofílicos e hidrofóbicos de una pulpa acuosa se pueden separar entre sí; después de ser finamente molidos y acondicionado con los reactivos químicos que hacen más pronunciadas las propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas. Permiten pasar burbujas de aire a través de la pulpa. Las partículas hidrofílicas se mojan y caen en el fondo de la celda de flotación. De esta forma, se puede separar un mineral que contiene, en los casos más simples, dos componentes un útil y otro estéril, en dos productos: un concentrado de la parte valiosa y un relave que contiene parte estéril.

#### **1.5.2 Elementos de la flotación**

##### **Fase sólida**

Está representada por los sólidos a separar (minerales) que tienen generalmente una estructura cristalina. Esta estructura es una consecuencia de la comparación química de las moléculas, iones y átomos componentes que son cada uno, un cuerpo completo. Los factores de importancia en el proceso de flotación, en lo que se refiere a los sólidos, son los siguientes:

- a) Carácter de la superficie aireada en la ruptura del sólido (tipo de superficie, fuerzas residuales de enlaces).
- b) Imperfecciones en la red cristalina.
- c) Contaminantes provenientes de los sólidos, líquidos y gases.

##### **Fase líquida**

El agua debido a su abundancia y bajo precio y también debido a sus propiedades específicas, constituye un medio ideal para dichas separaciones. La estructura de una molécula de agua investigada por espectroscopia es bastante compleja; aparece que aproximadamente el 46% de los enlaces es covalente y 54% es iónico.



Finalmente hay que subrayar la importancia de las impurezas y contaminaciones que tiene toda agua natural o industrial. Hay que mencionar la dureza del agua es decir, la contaminación natural causada por sales de calcio, magnesio y sodio. Estas sales y otro tipo de contaminaciones no solo pueden cambiar la naturaleza de la flotabilidad de ciertos minerales, sino también son casi siempre causa de un considerable consumo de reactivos de flotación con los cuales a menudo forman sales solubles. Aparte de la contaminación inorgánica también la contaminación orgánica que puede ser mucho más importante y peligrosa, particularmente si se trata de aguas servidas

### Fase gaseosa

Es el aire que se inyecta en la pulpa neumática o mecánicamente para poder formar las burbujas, que son los centros sobre los cuales, se adhieren las partículas sólidas. La función del aire en la flotación tiene distintos aspectos de los cuales los principales son:

- a) El aire influye químicamente en el proceso de flotación.
- b) Es el medio de transporte de las partículas de mineral hasta la superficie de la pulpa.

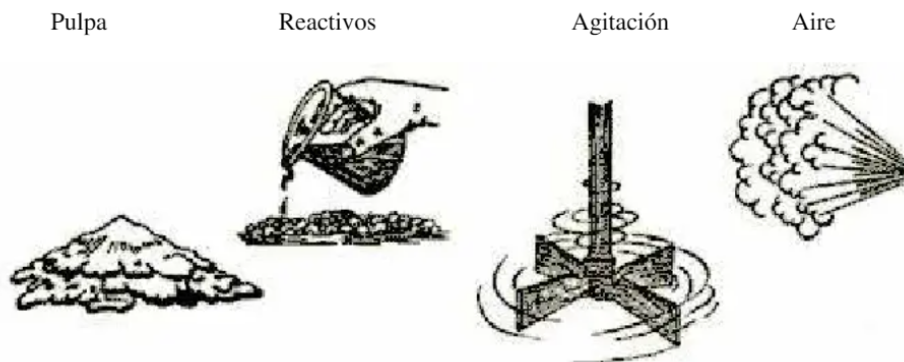
El aire es una mezcla de nitrógeno (78.10%) y oxígeno (20.96%) con pequeñas cantidades de dióxido de carbono (0.04%) y gases inertes como argón y otros.

### 1.5.3 Factores que intervienen en la flotación

En toda operación de flotación intervienen cuatro factores principales, que son:

#### Figura 4

*Factores que intervienen en la flotación*



Fuente: (Payta, 2011)

### 15.3.1 Pulpa

Es una mezcla del mineral molido con agua, y viene a constituir el elemento básico de la flotación, ya que contiene todos los elementos que forman el mineral. La pulpa debe reunir ciertas condiciones, es decir, que el mineral debe estar debidamente molido a un tamaño no mayor de la malla 48, ni menor a la malla 270. Dentro de este rango de tamaño de partículas, se podrá recuperar de una manera efectiva las partículas de sulfuros valiosos (esto depende básicamente de la mineralogía de tipo de mineral)

Cuando la pulpa contiene partículas gruesas, debido a una mala molienda, estas tienden a sentarse en el fondo de las celdas de flotación y pueden llegar a plantar el impulsador de la celda, atorar la tubería y causar más trabajo que de costumbre (rebasarían los canales, se atorarían las bombas etc.).

Si la pulpa contiene partículas muy finas (menores a malla 270), la recuperación de los sulfuros valiosos no va a ser efectiva ya que se perderían en forma de lamas. Al estar la pulpa aguada, el flotador debe cuidar de que las espumas salgan normalmente de los bancos de limpieza y que no bote mucha espuma en el banco scavenger. Si la pulpa está muy fina, a la vez, debe estar muy diluida; esto significa que estamos pasando menos tonelaje, por lo tanto, estamos perdiendo capacidad.

**Pulpa:** el circuito de molienda nos entrega, el overflow de los ciclones; un producto al que se le chancado y molido y que contiene sulfuros valiosos, ganga y agua. A esto nosotros llamamos pulpa. Esta debe cumplir ciertas condiciones como: densidad y pH correcto según se requiera

**Pulpa espesa:** una pulpa espesa (densidad muy alta) nos indicará molienda gruesa. Si esta pulpa ingresa a los circuitos de flotación, veremos que no flota o flota muy poco, debido a que los reactivos y el aire no pueden levantar granos muy grandes aun cuando se agregan cantidades enormes de reactivos. Además, se perderían también los sulfuros valiosos en los relaves, por falta de liberación.

**Pulpa fina:** implica una pulpa de densidad baja y significa que está pasando menos tonelaje. Si bien la cantidad de pulpa que llega a las celdas es igual, contiene menos sólidos, ya que es una pulpa aguada. Esto quiere decir que hay fuertes pérdidas de tonelaje. Además, cuando

la pulpa es muy fina, hay exceso de lamas que dificultan la flotación; ensuciando los concentrados, unas veces y los relaves, en otras.

**pH:** indica la cantidad de cal que contiene el circuito de flotación; esto es, su alcalinidad; a más cal, la pulpa es más alcalina; a menos cal, menos alcalina. En otras palabras, el pH no es sino la forma de medir la cal en la pulpa. El factor pH se mide de 0 a 14, con un aparato llamado Potenciómetro; de 0 a 6 es ácido y de 8 a 14 es alcalino. El pH 7 es neutro (ni alcalino ni ácido) y corresponde al agua pura.

### **El aire**

Es un factor importante que sirve para la formación de las burbujas (el conjunto de burbujas acompañadas de partículas de sulfuros que forman las espumas) que se necesita en las celdas. Por tanto, el aire ayuda a agitar la pulpa.

Las espumas se encargan de hacer subir o flotar los elementos valiosos hacia la superficie de la pulpa, en cada celda o circuito.

- El aire se obtiene a través de los ventiladores (Blowers) que ingresa a baja presión al interior de las celdas de flotación llenas de pulpa. O también la aeración en los tipos de celdas Sub-A, es en forma natural o del medio ambiente que ingresan a baja presión al interior de la celda.
- Si se usa mucho aire, se está haciendo una excesiva agitación, provocando que las espumas se revienten antes de rebosar por los labios de la celda o salgan conjuntamente con la pulpa, rebalsando las celdas, llevándose consigo a la ganga, que no es necesaria.
- Cuando se usa poco aire, la columna de espumas es baja e insuficiente y no puede recuperar los elementos valiosos, que se pierden en el relave general. La cantidad de aire se regula de acuerdo con las necesidades requeridas en el proceso.

En conclusión, no se debe usar ni mucho ni poco aire. El correcto control del aire y la altura de las compuertas nos darán siempre una buena espuma (con un espumante bien regulado).

### **1.5.3.2 Los reactivos**

Son sustancias químicas que sirven para la recuperación de los sulfuros valiosos, despreciando o deprimiendo a la ganga e insolubles. Mediante el uso de reactivos podemos seleccionar los

elementos de valor a sus respectivos concentrados. Para un mayor conocimiento de la función específica de cada reactivo, los podemos clasificar en tres grupos: espumantes, colectores y modificadores, que posteriormente lo estudiaremos en forma muy detallada, todo lo referente a los reactivos químicos. Sabemos que en cualquier celda de flotación encontramos agua, aire, mineral molino y reactivos. Estos reactivos son sustancias que gustan y se asocian a uno o más de los elementos valiosos, pero no a los otros.

### 1.5.3.3 La agitación

La agitación de la pulpa nos permite la formación de las espumas de aire para la flotación, y además nos sirve para conseguir la mezcla uniforme de los reactivos con los elementos que constituyen el mineral de la pulpa, dentro de la celda. Además, la agitación, nos evita el asentamiento de los sólidos contenidos en la pulpa.

La agitación hace los siguientes trabajos:

No dejar que las partículas se asienten, manteniéndose suspendidos.

- Permite una mayor mezcla de los reactivos con la pulpa.
- La agitación en una celda de flotación debe ser moderada. Si es excesiva rebalsa pulpa en lugar de espumas; también hace que se rompan las burbujas y, si es insuficiente se achica a espuma y no alcanza a rebalsar.
- Cuando la agitación es insuficiente, se disminuye la columna de espuma y no alcanza a renvalsar; las espumas se achican y esto ocurre cuando los impulsores están gastados o cuando hay poco aire (tubos de aire atorados).

Por otro lado, hay deficiencia de agitación de la pulpa en una celda, cuando:

- El impulsor de la celda está gastado.
- El estabilizador está malogrado.
- Las fajas en “v” del sistema de movimiento (polea motriz y polea del árbol de agitación) están demasiado flojas, lo cual hace que la velocidad del impulsor disminuya.

### 1.5.3.4 Reactivos de flotación

Los reactivos de flotación juegan un papel importante en este proceso. Estos al ser añadidos al sistema cumplen determinadas funciones que hacen posible la separación de los minerales valiosos

de la ganga. Sin embargo, la aplicación adecuada de estos reactivos no siempre resulta una tarea fácil debido a una serie de dificultades técnicas que se presentan durante el proceso. En flotación el rendimiento de los reactivos, sean colectores o espumantes, depende mucho de la composición y constitución mineralógica de la mena.

Los reactivos utilizados para el acondicionamiento favorable del proceso constituyen los llamados Agentes de flotación. La selección y combinación apropiada de los mismos para cada tipo de mineral particular, constituye precisamente el principal problema del metalurgista a cargo de la operación.

#### 1.5.4 Clasificación de los reactivos

Los reactivos o agentes de flotación se clasifican en:

- a) **Espumante:** tiene como propósito la creación de una espuma capaz de mantener las burbujas cargadas de mineral hasta su extracción de la máquina de flotación (celdas).
- b) **Colector:** es el reactivo fundamental del proceso de flotación, puesto que produce la película hidrofóbica sobre la partícula del mineral.
- c) **Modificadores:** actúan como depresores, activadores, reguladores de pH, dispersores, etc. Facilitan la acción del colector para flotar el mineral de valor y evitan su acción a todos los otros minerales como es la ganga.

##### 1.5.4.1 Clasificación de los espumantes

En dependencia de la eficiencia de acción de los espumantes con diversos valores del pH de la pulpastos se dividen en:

- **Básicos:** los que poseen una propiedad espumígena máxima en pulpas alcalinas. A los que espumantes principales pertenecen las bases de piridina pesadas, que poseen una elevada propiedad espumígena en medios muy alcalinos.
- **Ácidos:** los que disminuyen sus propiedades espumígenas a medida que se incrementa la alcalinidad de la pulpa. A los espumantes ácidos pertenecen los reactivos fenólicos (cresol, xilenol, aceites de madera que contienen fenol y otros) y los alquilarilsulfonatos (detergentes y azolatos). Puesto que la flotación de los minerales se efectúa generalmente en pulpa alcalina, en la práctica de

enriquecimiento los agentes espumas ácidos se conocen como débiles, pero en su mayoría son reactivos bastante selectivos.

En la actualidad todos los espumantes fenólicos (cresoles, xilenoles y otros) están excluidos de la práctica de flotación de las menas de los metales no ferrosos, debido a su alta toxicidad.

**Neutro:** su empleo en la flotación no depende prácticamente del pH de la pulpa. Es el grupo más considerable de agentes espumantes por su cantidad e importancia, es racional subdividirlos en tres grupos:

- Los reactivos que constituyen alcoholes aromáticos y alicíclicos; corresponden las sustancias que contienen terpineol, las que se hallan en diversos aceites de madera (aceite de pino) y algunos espumantes sintéticos del tipo ciclohexanol, dimetilfenilcarbinol, terpineol sintético (aceite de terpinoleno) y otros.
- Reactivos que contienen alcoholes alifáticos: que son sustancias individuales o mezclas de alcoholes, que se obtiene como productos secundarios durante el procesamiento de diversos compuestos químicos o de una producción especial.
- Reactivos que contienen sustancias con enlaces éteres, le corresponden los monoéteres de polipropilenglicoles, polialcoxialcanes y dialquifitalatos.

La combinación de los reactivos da unos excelentes resultados, sobre todo cuando uno de los reactivos aumenta la solubilidad del otro. La función más importante del espumante es de mantener una espuma estable que permite remover el concentrado de las celdas de flotación; también tienen valiosos efectos en los circuitos de flotación tales como:

- La formación de burbujas finas que mejora la dispersión de las burbujas de aire en la celda de flotación.
- Previene la coalescencia: fusión o unión de las burbujas de aire separadas.
- Disminuye la velocidad de la burbuja hacia la superficie de la pulpa.
- Aumenta la resistencia de la película de la burbuja y la estabilidad de la espuma formada, cuando las burbujas mineralizadas salen hacia la superficie.
- Afecta la acción del colector.

#### 1.5.4.2 Colectores

Son compuestos químicos orgánicos, cuyas moléculas contienen un grupo polar y uno no polar. El anión o catión del grupo polar permiten al ión del colector quedar adsorbido a la superficie también polar, del mineral. Por el contrario, el grupo no-polar o hidrocarburo queda orientado hacia la fase acuosa hidrofugando el mineral, ya que tal orientación resulta en la formación de una película de hidrocarburo hidrofóbico en la superficie mineral.

Las partículas de mineral hidrofobadas por una película del colector se adhieren a las burbujas de aire que van subiendo, arrastrando consigo, el mineral a la superficie de la pulpa. Estos reactivos se asocian más a los sulfuros y al aire, pero muy poco a la ganga. En los acondicionadores y celdas de flotación actúan rápidamente sobre los sulfuros, a los que rodean con una película que se pegan a las burbujas de aire que salen a la superficie de la pulpa formando las espumas de los concentrados. Por tanto, actúan de enlace, como ganchos entre las burbujas de aire y el sulfuro que queremos recuperar. El colector se constituye, por tanto, en el factor principal de circuito de flotación. De allí, que es necesaria la combinación más apropiada del colector y modificadores para obtener los mejores resultados metalúrgicos.

**Poder colector y selectividad:** el poder colector de cualquier agente de flotación es medido por la dosis y lo compleja que resulta la flotación del mineral, por una unidad de colector empleado. La selectividad en un colector se refiere a su habilidad para recubrir en forma preferente o selectiva, y, en consecuencia, flotar el mineral o minerales sin flotar también los no deseados.

La selectividad de los colectores, pueden controlarse fácilmente mediante el uso de agentes modificadores adecuados lográndose una separación exitosa de la mayor parte de las combinaciones de minerales.

**Xantatos:** los Xantatos son sales de ácido xantogénico, y se encuentran entre los primeros colectores orgánicos solubles en agua y de aquí que su adopción fuera inmediata y amplia. Pueden oxidarse, convirtiéndose, en este caso, en dialquil xantogenurs. Las soluciones acuosas de los Xantatos se hidrolizan formando los ácidos xantogénicos. La hidrólisis de los Xantatos aumenta con la reducción del pH del medio; mientras que las soluciones acuosas de Xantatos en medios alcalinos son bastantes estables

#### 1.5.4.3 Modificadores


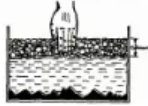
La función específica de los reactivos modificadores es, precisamente, preparar las superficies de los minerales para la adsorción o desorción de un cierto reactivo sobre ellas y crear en general en la pulpa condiciones propicias para que se pueda efectuar una flotación satisfactoria. Cambia o modifica la superficie de los sulfuros o de la ganga, para favorecer o impedir que los reactivos colectores actúen sobre ellos, evitando de esta manera que floten.

Se ha mencionado dos clases de reactivos: los espumantes que gustan del aire más que el agua y los colectores que gustan de los sulfuros y del aire. Hay, además, otra clase de reactivos que se llaman modificadores, porque cambian o modifican la superficie de los sulfuros o de la ganga. Hay reactivos modificadores que cambian la superficie de la ganga, formando una capa alrededor de los granos de roca, lo que impide que estas partículas entren en contacto con los colectores a fin de que no se vuelvan flotables.

- a. **Depresores:** la función específica de los depresores es disminuir la flotabilidad de un mineral haciendo su superficie más hidrofílica o impidiendo la adsorción de colectores que pueden hidrofobizarla (inhibe de colección).
- b. **Activadores o reactivadores:** estos aumentan la flotabilidad de ciertos minerales, mejorando o ayudando a la adsorción de un colector. Los reactivos reactivadores, restablece la flotabilidad de un mineral oxidado o que ha sido reprimido.
- c. **Reguladores de pH:** son los reactivos que controlan la acidez o alcalinidad de la pulpa. Es un reactivo que cambia la concentración del ión de hidrógeno de la pulpa, que tiene como propósito incrementar o decrecer la adsorción del colector como se desee salvo raras excepciones.



**Figura 5:***Efectos de los reactivos*

REACTIVOS	EXCESO	DEFECTO
<b>ESPUMANTES</b> Aceite de Pino Frother 70, MIBC Dowfroth 250	Gran cantidad de espumas Rebalsan los canales y cajones Tendencia a ensuciar los concentrados	Muy baja la columna de espuma Los sulfuros valiosos se pasan al relave
<b>COLECTORES</b> Xantato Z – 11 Xantato Z – 6 Aerofloat 25 Ditiofosfatos Reactivo 301	Flotan todo tipo de sulfuros No hay selección Se ensucian los concentrados Flota pirita e insolubles Produce carga circulante	Espumas muy pobres con concentrado limpio Espumas muy frágiles Los sulfuros valiosos se pasan al relave
<b>MODIFICADORES</b> <b>Sulfato de Zinc y Bisulfito de sodio</b>  (Deprime sulfuros de zinc, ZnS)	Despilfaro, consumos muy altos Aumenta consumo de $\text{CuSO}_4$ Peligro de envenenar la pulpa Depresión de sulfuros de plomo Activación de sulfuros de hierro al bajar el pH	Flotan los sulfuros de zinc en el circuito de plomo o bulk 
<b>Cianuro de Sodio</b> (Deprime Pirita y sulfuro de zinc)	Un exceso en el circuito de Pb o bulk, deprime los sulfuros de Pb y Ag Activa los sulfuros de Zn al subir pH	Flotarían mucho hierro y se ensuciaría el concentrado
<b>Bicromato de Sodio</b> (Deprime sulfuros de plomo) Se usa para separar plomo de cobre	Despilfaro consumo alto inútil Aumenta consumo de colectores Peligro de envenenar la pulpa Aguas con alto contenido de iones Cr	Flota mucho plomo con el cobre en la separación 
<b>Sulfato de cobre</b> (Reactiva los sulfuros de zinc que han sido deprimidos por el sulfato de zinc)	Se espesan las espumas de los concentrados de zinc, y los concentrados se ensucian con pirita Producen pérdida de sulfuros en el relave Producen carga circulante innecesaria	No se reactivan completamente los sulfuros de zinc que vienen de la flotación bulk. Además, se suavizan las espumas y los sulfuros valiosos se pasan al relave (espumas muy frágiles)

Fuente: (Calvo, 2004)

### 1.5.5 Tipos de celdas de flotación

Desde que se desarrolló por primera vez la flotación como un método de concentración, se han introducido muchos diseños de máquinas de flotación. Todas ellas pueden considerarse comprendidas en dos categorías: Las máquinas de flotación mecánicas, que han sido las de mayor uso hasta la actualidad y las máquinas de flotación neumáticas. Dentro de cada categoría existen dos tipos: las que trabajan como un solo tanque y las que trabajan como una batería de tanques. La mayor parte de la flotación se lleva a cabo en bancos de celdas de flotación. Aunque existen muchos diseños diferentes de máquinas de flotación, todas ellas tienen la función primaria de hacer que las partículas, que se han convertido en hidrofóbicas, entren en contacto y se adhieran a

las burbujas de aire, permitiendo así que dichas partículas se eleven a la superficie y formen una espuma, la cual es removida. Para lograr esta función, una buena máquina de flotación debe:

- Mantener todas las partículas en suspensión.
- Asegurar que todas las partículas que entren en la máquina tengan la oportunidad de ser flotadas.
- Dispersar burbujas finas de aire en el seno de la pulpa.
- Promover el contacto partícula-burbuja.
- Minimizar el arrastre de pulpa hacia la espuma.
- Proporcionar suficiente espesor de espuma

Los factores principales para calificar el rendimiento de la máquina son:

- Rendimiento metalúrgico, representado por la ley y la recuperación.
- Capacidad, en TMH y por unidad de volumen.
- Costos de operación por tonelada de alimentación
- Facilidad de operación (que puede bien ser subjetiva).

Según el método de introducción del aire a la pulpa, podemos distinguir diferentes tipos de máquinas:

- Máquinas mecánicas, en la que el aire se introduce por agitación mecánica y en cuya distribución es de fundamental importancia un agitador. (Empresa de Zenith de Shanghai, 2019).
- Máquinas neumáticas, la inyección de aire se produce a elevada presión (compresoras) no se cuenta con agitación mecánica.

Una buena máquina de flotación debe tener facilidades para:

- Alimentación de la pulpa en forma continuada.
- Mantener la pulpa en estado de suspensión.
- Evitar las sedimentaciones.
- Separación apropiada de la pulpa y de la espuma mineralizada.
- Evacuación de la última en forma ordenada.
- Fácil descarga de los relaves.

### 1.5.5.1 Mecánicos

#### Celdas Denver Sub-A

Las máquinas Denver Sub-A consisten en celdas cuadradas hechas, cada una con su propio agitador, solas o reunidos en grupos o baterías de 2, 4, 6, 8 o más celdas, según las necesidades. Se alimentan mediante un tubo lateral y descargan el relave por otro situado en un nivel más bajo, de modo, que el movimiento de la pulpa, dentro de la máquina, se efectúa por gravitación.

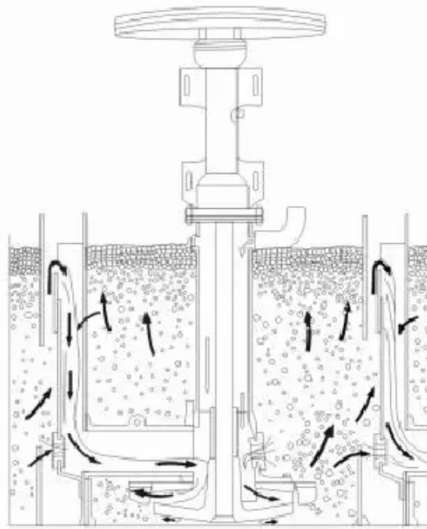
El concentrado se retira de la parte superior de las celdas a una canaleta por medio de paletas giratorias o bien, por lavado con agua. La alimentación se introduce por un tubo lateral inclinado, que descarga la pulpa directamente sobre un agitador, que es un disco de seis o más paletas, orientadas hacia arriba. Se encuentra situado debajo de un difusor estacionario con orificios que sirven para la mejor dispersión de las burbujas de aire y con paletas orientadas hacia abajo, para la mejor dispersión de la pulpa. El agitador se hace funcionar por un motor que transmite su movimiento rotatorio, mediante un eje central, que se encuentra en un tubo que sirve para hacer llegar el aire exterior hasta la pulpa. Al hacer funcionar el agitador, con una velocidad periférica, que puede variar entre 500 y 600 m por minuto, empieza a succionar el aire por un orificio situado en la parte superior del tubo. El aire toma contacto con la zona del agitador que lanza lateralmente la mezcla, que se dispersa con la ayuda del difusor. Las burbujas mineralizadas suben a la superficie y los relaves, junto con las partículas no recuperadas, siguen su camino por gravedad, bajo la presión de la pulpa nueva, que llega a la celda, a través, de una compuerta ajustable, para entrar por un tubo inclinado a la próxima celda.

Para los minerales de una molienda gruesa o para los que flotan con gran velocidad y donde, no es necesario o contraproducente una agitación intensa, se usan máquinas con difusores planos. Esto disminuye la fricción en la pulpa y el consumo de energía eléctrica. Para los minerales poco flotables o con los cuales se necesita una mayor cantidad de aire, este último se puede agregar bajo pequeña presión. Finalmente, si se necesita mayor agitación de la pulpa, esta se puede obtener al reemplazar el agitador de seis paletas por una de doce. Estas celdas tienen una pieza metálica fija situada sobre el agitador, que lo protege de la sedimentación de las arenas, en el caso que se detenga su funcionamiento y que permite su posterior puesta en marcha sin necesidad de vaciarlas y limpiarlas.

Normalmente están revestidas con goma en sus partes vitales para disminuir su desgaste. Esto se refiere a la parte inferior de las celdas. El agitador, las paletas, el difusor y sus revestimientos protectores se hacen de hierro fundido. Las celdas Denver Sub – A son ideales para operar circuitos de flotación cleaner y re cleaner, donde la selectividad del producto es indispensable con estas celdas. Se obtienen buenas leyes de concentrados manteniendo recuperaciones también interesantes.

### Figura 6

*Máquina de Flotación Denver Sub-A*



**Fuente:** (Calvo, 2004)

#### 1.5.5.2 Celdas Agitair

Al igual que otras máquinas, dispone de un agitador por medio del cual se introduce el aire y se efectúa la agitación de la pulpa y de un cuerpo estacionario llamado estabilizador, que sirve para su dispersión y estabilización. La diferencia fundamental entre ésta y otras máquinas reside en el hecho de que las Agitair para la aireación usan aire comprimido a baja presión.

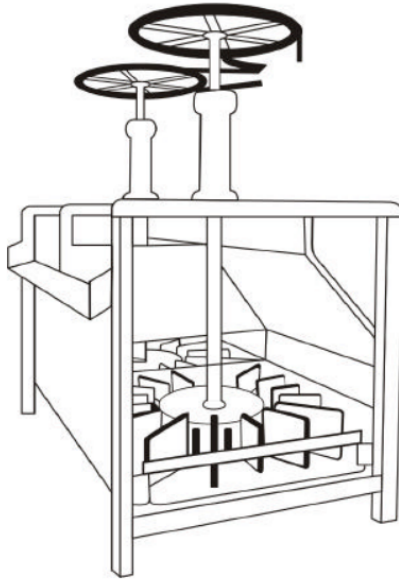
El agitador es un tubo hueco de acero revestido de goma que descansa sobre rodillos. Tienen un disco duro parte inferior, con dientes orientados hacia abajo que sirven para la dispersión de la pulpa aireada. La velocidad periférica de este aparato es baja y varía entre 330 y 470 m/min. Su parte inferior se puede separar del eje hueco y no requiere cuidado especial, que cuando se deteriora se reemplaza.

El estabilizador está constituido por planchas de acero, también revestidas de goma, distribuidas en forma radial. No tocan el fondo, sino que están suspendidas a una altura de más o menos de algunos centímetros para poder dejar circular libremente la pulpa. Su función es la de evitar las turbulencias dentro de la zona inferior de la máquina, que se encuentra fuertemente agitada, y asegurar la distribución pareja de las burbujas, a través, de toda la superficie de la celda.

El sistema de aireación artificial, bajo presión, tiene la ventaja sobre la aireación por succión que se puede regular con gran sensibilidad y de puede, también, ser muy abundante cuando lo requieren las condiciones. Además, como el aire es suministrado a la celda a la misma presión 19, independientemente de la altura a la que se encuentra la planta, la velocidad del agitador y el control de la operación, son iguales a cualquier altura. El aire llega a la máquina por una cañería de 6" y a las celdas individuales, por una cañería de 2", a través del eje hueco del agitador. Hay válvulas que regulan la cantidad de aire que se deja entrar.

Las máquinas Agitair se usan en unidades de dos, cuatro y más celdas, según las necesidades. Su alimentación y descara se efectúan a través de compartimentos especiales, situados en la cabeza y cola de la máquina respectivamente. El nivel de la pulpa es regulado en cada límite de celdas y en el rebalse de descarga mediante vertederos de acero de altura variables. La altura de la espuma, sin embargo, se puede regular separadamente en cada celda, ajustando la altura del rebalse por medio de tablillas removibles, mientras que el volumen de la espuma se puede controlar con la válvula de aire. Para cada tipo de operaciones, tales como flotación colectiva, de limpieza o de recuperación de los productos medios, se usan distintos bancos de máquinas.

Las celdas Agitair son muy usados en los circuitos de flotación rougher y scavenger donde es importante la alta recuperación metalúrgica para evitar que las partículas valiosas se desplacen a los relaves, lógicamente, que esta pequeña deficiencia en selectividad deberá ser corregida en las siguientes etapas de flotación y / o remolienda. Una variante muy utilizada actualmente son las celdas de grandes volúmenes como la Wenco y Outokumpo que reemplaza a baterías completas de celdas, principalmente de los circuitos rougher. Estas celdas tienen gran capacidad y son completamente automáticas y programables, con las que se pueden obtener productos más uniformes, para ser tratados en las siguientes etapas de flotación

**Figura 7***Máquina de Flotación Agita*

**Fuente:** (Calvo, 2004)

**1.5.5.3 Celdas de columna**

Las celdas de columna se pueden considerar integrante de la familia de reactores químicos denominados de burbujas. Estos reactores presentan una eficiencia intrínsecamente mayor que los mezcladores perfectos, ya que los procesos de transferencia tienen lugar bajo condiciones de flujo pistón. De acuerdo con este mismo criterio de clasificación, las celdas de flotación pertenecen a la familia de los reactores de mezclamiento perfecto.

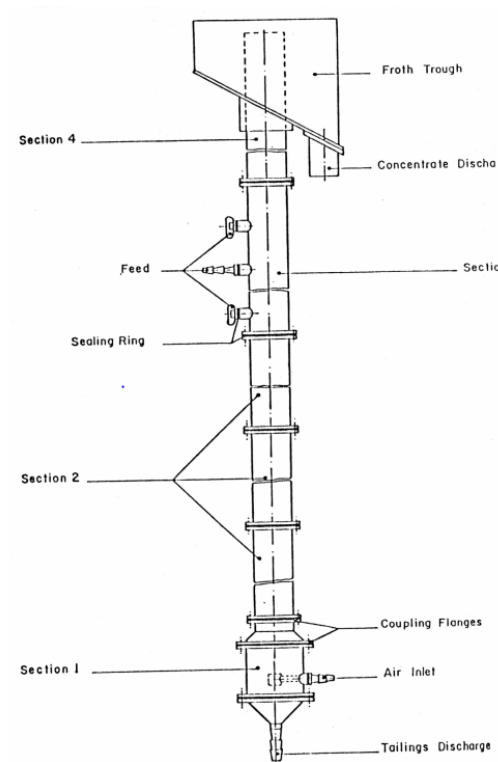
En la columna de flotación ideal, el flujo de pulpa y el flujo de burbujas de aire cruzan la columna en direcciones opuestas, flujos en contracorriente y ambos pueden ser considerados flujos pistón. En la celda columna se pueden distinguir dos zonas o secciones que presentan diferentes condiciones de proceso y flujos internos. La primera ocurre inmediatamente debajo del nivel de alimentación de pulpa y se conoce con el nombre de sección de recuperación. Los eventos básicos de la flotación, colisión, adhesión y levitación entre el sistema de partículas y el sistema de burbujas tienen lugar en esta zona. El flujo descendente de partículas contenidas en la pulpa se enfrenta con un flujo ascendente de pequeñas burbujas. A diferencia de la situación que ocurre en las celdas, donde la colisión se ve favorecida por una fuerte agitación de tipo mecánico, en la

columna el sistema, prácticamente, carece de turbulencia. La colección de las partículas hidrofóbicas se fomenta mediante un adecuado tiempo de residencia (tránsito) de la pulpa en la zona de recuperación.

La segunda zona de la columna, ubicada por sobre el nivel de alimentación de la pulpa y hasta el nivel de rebalse de concentrados, situado en la parte superior de la columna, se denomina sección de lavado. En esta zona, las burbujas, que transportan material particulado, se enfrentan a un flujo de agua que avanza en sentido contrario. La misión de este flujo consiste en des adherir de las burbujas aquellas partículas no suficientemente hidrofóbicas y que, eventualmente, contaminarían el concentrado. De esta manera la columna de flotación minimiza el efecto de arrastre mecánico, que es bastante común en las celdas mecánicas

### Figura 8

*Celda de flotación columnar*



**Fuente:** (Calvo, 2004)

### **1.5.6 Principios de flotación**

La flotación se basa en la propiedad de los minerales de adherirse a las burbujas de aire, lo que permite flotar en una pulpa acuosa. El proceso implica la adición de reactivos químicos conocidos como colectores y modificadores, que modifican las propiedades superficiales de los minerales y facilitan su adherencia a las burbujas de aire. Estos minerales flotan hacia la superficie, donde se recogen como concentrado, mientras que los minerales de desecho se quedan en la pulpa y se eliminan como relaves.

### **1.5.7 Equipos y circuitos de flotación**

En una planta de procesamiento minero, se utilizan diferentes tipos de equipos y circuitos de flotación, dependiendo de las características de los minerales y los requisitos de producción. Los equipos más comunes incluyen celdas de flotación, donde se lleva a cabo la separación de minerales y espesores, que se utilizan para espesar la pulpa y recuperar el agua. Los circuitos de flotación pueden ser en serie, en paralelo o combinaciones de ambos, para lograr una recuperación óptima de los minerales valiosos.

### **1.5.8 Importancia de la flotación**

La flotación es un proceso clave en el procesamiento de minerales, ya que permite la concentración eficiente de minerales valiosos, a partir de una gran cantidad de material de desecho. Esto tiene varias implicaciones:

- Maximiza la recuperación de minerales valiosos y mejora la eficiencia del proceso de extracción y procesamiento.
- Permite la producción de concentrados de alta ley, lo que facilita la posterior extracción de metales valiosos.
- Reduce la cantidad de material que se envía a los relaves, lo que contribuye a la gestión ambiental y a la reducción de residuos.
- Ayuda a optimizar los costos de producción, al mejorar la eficiencia energética y el uso de reactivos químicos.

En la empresa Produmin S.A. el mineral luego de pasar por el proceso de trituración y molienda llega hasta las piscinas de sedimentación, lo que es considerado como relaves, en la misma área.



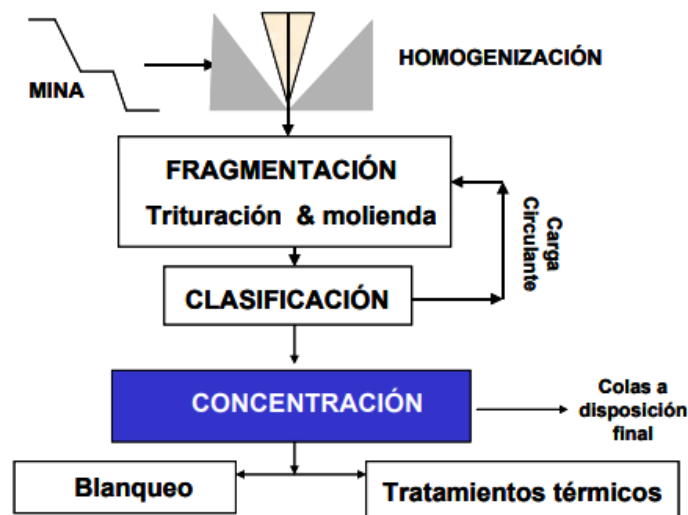
Llegan a las piscinas con la finalidad de sedimentar todas las arenas, para luego ser enviadas como lodos hacia los tanques de repulpitación, donde son almacenados y sirven como alimentación de los tanques de flotación. El sector de tanques de flotación cuenta con cuatro tanques conectados entres sí, en un sistema a contracorriente, donde el tanque 1 es el primordial ya que envía a flote la espuma, con mayor concentración hacia las celdas Denver, que limpian mucho más las espumas y aumentan así la concentración de oro. Las espumas recolectadas son enviadas hacia los tanques concentradores para almacenar el concentrado, para luego ser enviado hacia los filtros, que recogen el material en forma de pulpa, para guardar en bolsas grandes llamadas “big bags” y dejándolo listo para su comercialización.

### 1.6 Concentrados

La concentración de minerales es un paso intermedio en la metalurgia extractiva y, a veces, el paso final en algunas plantas, principalmente minerales industriales. Como se puede apreciar en la figura, el material recibido en la etapa de minado obtuvo un buen desprendimiento, incrementó su contenido y lo transfirió a las etapas posteriores - procesos pirometalúrgicos o hidrometalúrgicos, utilizando una determinada solución acuosa de algunos minerales industriales (Bustamante, et.al., 2008).

**Figura 9**

*Esquema Global de una Planta Concentradora de Minerales*



**Fuente:** (Bustamante, 2008)

La naturaleza del proceso de concentración, que produce placer, significa que este tipo de mina produce material denso y es liberado de las rocas circundantes. Esto hace que el proceso de minería sea relativamente simple y se limite al movimiento del suelo y al uso del sistema. Los métodos son de reciclaje físicos, no químicos, para recuperar contenido valioso. A medida que avanza la mina, el material extraído puede depositarse en áreas que ya han sido minadas, mientras se repavimenta la superficie. Las minas terrestres utilizan equipos similares a otras minas a cielo abierto. Sin embargo, muchas minas son operadas por dragado (UNMS, 2009).

Los métodos de extracción son costosos, principalmente porque el proceso siempre requiere procesar grandes cantidades de mineral para lograr pequeños resultados. La energía requerida para procesar metales es tan costosa, como los productos químicos utilizados (Rojas, 2021). El proceso de beneficio del oro tiene lugar tanto en la superficie de la tierra como en el interior de la tierra. En la superficie es oro aluvial afectado por corrientes de agua, generalmente en ríos. Las vetas de oro subterráneas están asociadas con depósitos de varios metales, incluidos sulfuros y pirita. El oro puede concentrarse a medida que otros minerales se eliminan con el tiempo (Rojas, 2021)

### 1.6.1 Tipos de concentración

Método que depende de la diferencia de resistencia entre dos partículas en un medio fluido de densidad media.

Métodos basados en la inercia por densidad y tamaño:

- Tamaño
- Densidad
- Viscosidad (fuerza líquida)
- Forma de partícula

La separación gravitacional, por otro lado, depende en gran medida de la tasa de caída libre (Bustamante, et.al., 2008).

$$RG = \frac{P_{\text{mineral pesado}} - P_{\text{fluido}}}{P_{\text{mineral liviano}} - P_{\text{fluido}}}$$

**Concentrado por gravedad:** muy adecuado para zonas corrosivas por la diferencia de densidad (se humedece fácilmente). La razón es que la diferencia de densidad se produce al entrar tamiz o colador (4x5) en un recipiente que contenga una solución acuosa. Aplique estos tamices para remover el material, el más denso estará en el fondo para permitir que repose inmediatamente. Las capas minerales se separan magnéticamente. Otro enfoque involucra una masa que se mueve rápidamente, donde los minerales más livianos continúan moviéndose lentamente y permiten que los minerales más pesados permanezcan en el otro lado (Aguilar, 2021).

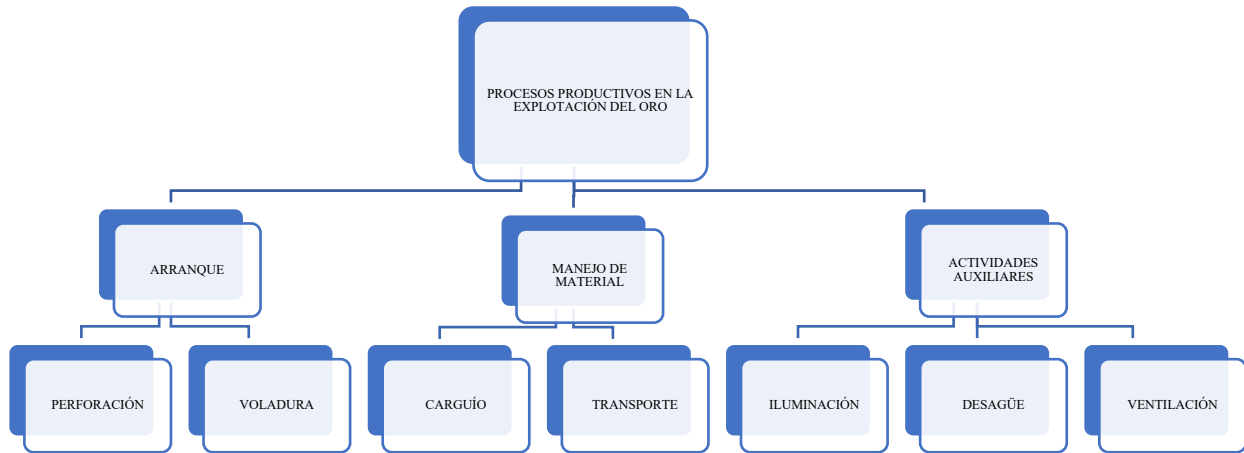
**Concentración de flotación:** particularmente adecuado para minerales sulfurados que pueden soportar la lixiviación de minerales más finos. El remojo es más difícil y el proceso consiste esencialmente en aumentar la tensión superficial del mineral molido. Después de que el mineral sale del proceso de clasificación, se agrega una sustancia llamada agente espumante, como el aceite de pino, para darle más tensión superficial al mineral. Luego se coloca el mineral en un recipiente rectangular, se agrega agua hasta cubrir el mineral, se introduce aire, se forma espuma y se deja el sulfuro (mineral sulfurado) (Aguilar, 2021).

### **1.7 Flujograma del proceso productivo**

El proceso de fabricación de la minería aurífera se convierte en el conjunto de acciones, operaciones o trabajos necesarios para separar físicamente el mineral (en este caso, el oro) de su medio natural y transportarlo a una planta de procesamiento. Como tal, consiste en la ejecución secuencial de operaciones básicas, procesamiento de materiales y operaciones auxiliares (Rojas, 2021).

### **Figura 10**

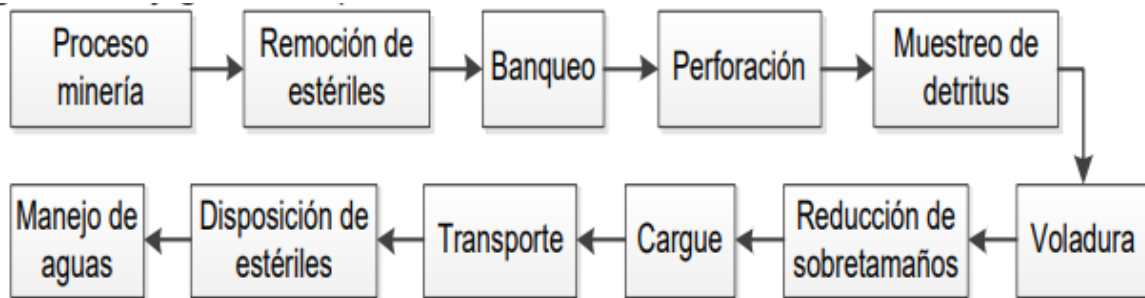
*Procesos productivos en la explotación del oro*



Fuente: (Rojas, 2021)

**Figura 11**

*Flujograma del proceso de minería*



Fuente (Aza y Camargo, 2015)

### 1.8 Contabilidad minera

La contabilidad minera es una rama especializada de la contabilidad que se enfoca en la gestión y control financiero de las actividades relacionadas con la industria minera. Esta disciplina se ocupa de registrar, analizar y reportar, de manera precisa y oportuna, las transacciones financieras y operativas específicas de la industria minera.

La contabilidad minera es de suma importancia debido a las características particulares de la industria minera, que incluyen inversiones significativas, ciclos de producción prolongados,

riesgos geológicos y ambientales, así como regulaciones y normativas específicas. Algunos de los aspectos clave de la importancia de la contabilidad minera son los siguientes:

### **1.8.1 Control y gestión financiera: la contabilidad**

Minera permite llevar un control detallado de los costos de producción, gastos de exploración, inversiones en activos, depreciación, amortización y otros aspectos financieros. Esto facilita la toma de decisiones informadas en la gestión financiera de la empresa minera.

### **1.8.2 Cumplimiento normativo y fiscal**

La industria minera está sujeta a regulaciones y normativas específicas, tanto a nivel nacional como internacional. La contabilidad minera ayuda a cumplir con los requisitos legales y fiscales, incluyendo la presentación de informes financieros, declaraciones de impuestos y cumplimiento de estándares contables.

### **1.8.3 Evaluación de la rentabilidad**

La contabilidad minera proporciona información financiera y operativa para evaluar la rentabilidad de la operación minera. Permite calcular métricas claves, como el costo por tonelada extraída, el margen de beneficio, el retorno de la inversión y el valor presente neto, entre otros indicadores utilizados en la evaluación económica de los proyectos mineros.

### **1.8.4. Análisis de riesgos y gestión de activos**

Contribuye al análisis y gestión de los riesgos asociados a la industria minera, como los riesgos geológicos, los riesgos de precios de los metales, los riesgos ambientales y los riesgos de seguridad. Además, ayuda a gestionar los activos mineros, incluyendo la valoración de las reservas mineras y la contabilización de la degradación de los activos.

La contabilidad minera es un sistema de contabilidad industrial relacionado con la minería que permite la visualización de todos los costos mineros en las diferentes etapas de la operación minera. Todos los procesos por los que pasan los materiales están asociados a costos de mercadeo y costos administrativos (Domínguez, 2010). Según Castro (2015) es una técnica de registro de las actividades administrativas, financieras, de exploración, extracción, ingresos y comercialización que realiza una empresa minera, en el curso de sus negocios u operaciones.

En el proceso de participación en los ingresos se asignan cuatro partidas de asignación: costos de operación; capital financiero, que es el monto devuelto para la continuación de la operación minera, y también como capital de trabajo; pago de impuestos y utilidades para la constitución de la empresa. Nos permite obtener la capacidad financiera para mantener la operación de la operación minero-metalúrgica y estar al tanto de la reserva de ciertos fondos, para posibles imprevistos que puedan ocurrir durante la operación de la mina; en caso de falta de liquidez, se utilizará financiamiento externo, que se utilizará en el futuro (Ruiz, 2020).

### **1.8.5. Costos de producción**

Según Auquilla, et al., (2022) los costos de procesamiento son aquellos en los que se incurre para procesar los minerales de cabeza y convertir dichos recursos en concentrado de mineral o metal fino.

La ocurrencia de los costos en esta etapa del proyecto incluye

- Planilla de remuneraciones y servicios de la planta.
- Desembolsos para la actividad de chancado, trituración, molienda, bombeo.
- Transporte en fajas.
- Costo de reactivos.
- Lixiviación, fundición y refinación.
- Costo de laboratorio de recursos químicos.
- Consumo energético.
- Gestión de relaves.
- Costos vinculados con el procesamiento del mineral que realiza la empresa minera.

## CAPÍTULO 2

### 2. Levantamiento de información

#### 2.1. Antecedentes de la empresa minera

Productos Mineros (PRODUMIN S.A) es una empresa minera dedicada a la exploración en interior mina, extracción y explotación de minerales metálicos, siendo su principal objetivo el oro. La empresa minera PRODUMIN S.A pertenece al Régimen de Pequeña Minería y se encuentra ubicada en la provincia del Azuay, cantón Camilo Ponce Enríquez. Cuenta con un área de planta de procesamiento, en donde se realizan diariamente actividades para la obtención de oro libre, para luego fundirlo y presentarlo como lingote, y generar un concentrado de oro.

PRODUMIN S.A., posee, además, con una planta de beneficio que utiliza aguas crudas, tomadas del estero Barbita y la quebrada Jabón, circundantes al proyecto minero. Estas, luego de ser utilizadas en el proceso extractivo de minerales, son evacuadas conjuntamente con lodos y arenas residuales, a unas piscinas de relaves para su almacenamiento.

Los relaves provenientes del proceso de flotación se almacenan en una piscina de relaves que sirve como de piscina de sedimentación y clarificación del agua, ya que, debido al peso de las arenas y lodos, estos se sedimentan y el agua queda libre de sólidos sedimentables, en su gran mayoría.

#### 2.2 Antecedentes

La planta industrial se asienta en una zona con topografía irregular, con pendientes leves a moderadas, entre las cotas 600 y 750 msnm. Los vértices referenciales de la propiedad donde se encuentra la planta industrial, piscinas de relaves, campamento y y el resto de la infraestructura complementaria, se ubican en las siguientes coordenadas UTM. X: 642503 E y Y: 9657524 N

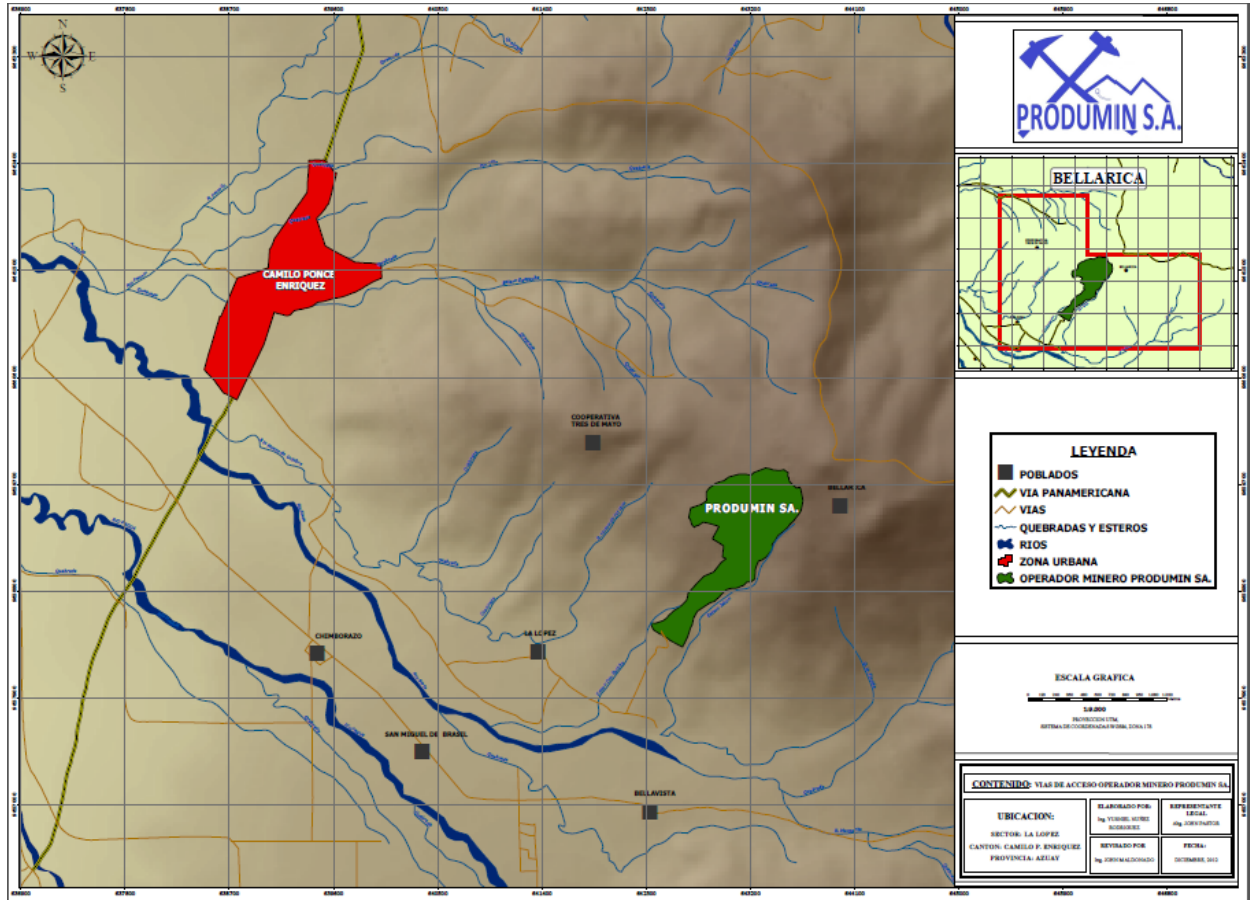
El acceso a la planta industrial puede realizarse desde Machala, siguiendo por la Panamericana hasta el sitio conocido como Pontazgo, para continuar por la vía de segundo orden Chimborazo – San Miguel de Brasil - La López y, de ahí, a la planta de beneficio PRODUMIN S. A.; en un recorrido de aproximadamente 7 km. de distancia.

La planta cuenta con una vía interna principal y algunas vías secundarias, que comunican las diferentes áreas dentro de la misma; existen accesos peatonales que permiten el desplazamiento del personal y vehículos dentro de las instalaciones.

En el mapa siguiente se observa la accesibilidad hacia la Empresa PRODUMIN S.A.

**Figura 12**

*Mapa de accesibilidad hacia la empresa PRODUMIN S.A.*



Fuente: Empresa Minera

## 2.3 Escombrera

El área destinada para el depósito de los estériles tiene 1200 m<sup>2</sup>. Este sitio es una escombrera de transferencia, ya que el material que sale de la mina es evacuado diariamente en volquetes hacia una cantera que se encuentra en el sector de Río Bonito, cantón El Guabo. Esto se hace debido a que la zona donde se encuentra el campamento presenta alto riesgo de deslizamiento, consecuentemente no se puede tener almacenado el material en grandes volúmenes. Las coordenadas de la escombrera son: X: 642940; Y: 9659075.

## 2.4 Manejo de relaveras



PRODUMINSA cuenta con dos relaveras ubicadas en el sector de Bellavista, cantón El Guabo ubicadas en las siguientes coordenadas: X: 642294 y Y: 9657190. En general, de acuerdo con los análisis de geotecnia y los ensayos de laboratorio, los suelos donde se encuentran las relaveras corresponden a limo areno arcillosos de alta comprensibilidad. En la parte superficial se tiene material sedimentario menos compacto de consistencia baja a media. La piscina 1 tiene una capacidad volumétrica de 95000 m<sup>3</sup>, mientras que la piscina 2 tiene una capacidad de 477674.96m<sup>3</sup>.

Las arenas de relave se transportan por gravedad mediante 1700 m de tubería HDPE de 3" hacia la piscina 1, en donde son acopiados con la ayuda de retroexcavadoras, de tal forma, que se deshidraten y sequen, para posteriormente ser ubicados en la relavera 2, donde son almacenados.

#### 2.4.1 Área de almacenamiento de combustibles

La superficie total de las áreas de almacenamiento de combustible comprende 55 m<sup>2</sup> de área. Teniendo dos tanques de almacenamiento: tanque de almacenamiento de combustible para generación de electricidad, ubicado en la parte superior del campamento junto al cuarto de máquinas y tiene un área de 35.5 m<sup>2</sup>

#### Figura 13

*Cubeto de almacenamiento de combustible 1*



**Fuente:** Empresa Minera

El segundo ubicado en la parte baja del campamento, tiene un área de 21.6 m<sup>2</sup>

## Figura 14

### *Cubeto de almacenamiento de combustible 2*



Fuente: Empresa Minera

### 2.4.2 Características constructivas

Los materiales de construcción de los tanques son metálicos y los combustibles se almacenan en áreas adecuadas, de cemento, con cubierta, señalización y medidas de seguridad apropiadas.

### 2.4.3 Tipos de combustibles utilizados

Los combustibles empleados en la empresa son: diésel que se utiliza para el funcionamiento del generador eléctrico, vehículos y excavadora y gas doméstico (GLP) el cual es utilizado en los procesos de fundición (hornos), secadores de muestras y horno, de fabricación nacional, usado en el laboratorio.

### 2.4.4 Capacidad y forma de almacenamiento

Los tanques de almacenamiento tienen una cavidad del 110% de su capacidad de almacenamiento, con cunetas perimetrales y cajas de retención, con sistemas de recolección de material absorbente en caso de derrames, todo en cumplimiento de las normativas existentes en el RAOH e INEN.

Tanque parte alta (Suministro generadores) tiene una capacidad de 2,537.00 galones.

Tanque parte baja (Suministro para vehículos) tiene una capacidad de 4,224.00 galones.

### 2.4.5 Área de almacenamiento de desechos no peligrosos

**Generación:** en la empresa se generan dos tipos de residuos no peligrosos: orgánicos e inorgánicos. Los residuos inorgánicos como el papel, cartón, plástico, manguera y chatarra son generados en las oficinas, interior mina y el campamento por las actividades de los trabajadores de la empresa. Mientras que los residuos orgánicos se generan en el comedor y bar generalmente. Asimismo, se tiene la generación de residuos no peligrosos, que, por sus características, no pueden ser reciclados y consecuentemente se consideran como basura.

**Almacenamiento:** los residuos orgánicos e inorgánicos son separados de acuerdo con su clase en la fuente generadora, para esto se colocan fundas y recipientes metálicos y plásticos apropiados para cada uno de ellos, que están identificados por color, como se observa a continuación:

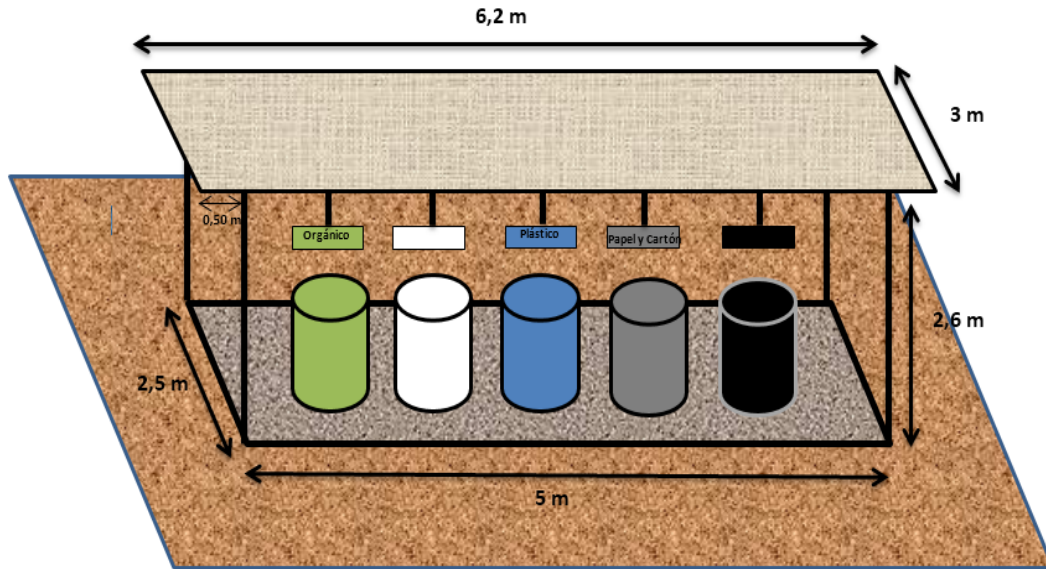
**Tabla 1**

*Color y etiquetas de tachos según el tipo de desecho acorde a norma INEN 2841*

Tipo de desecho	Color de contenedor y etiqueta
Desechos orgánicos (restos de comida)	VERDE ●
Chatarra (metales, latas)	BLANCO ○
Plástico (botellas, envases)	AZUL ●
Papel y cartón	GRIS ●
Desechos (basura)	NEGRO ●

### Figura 15

*Sitios de disposición de residuos*



**Fuente:** El autor

*Nota:* los sitios de disposición de residuos no peligrosos dentro de las instalaciones de la empresa están adecuados de tal manera que el piso donde se asientan los recipientes de depósito de residuos es de cemento, con bordillos para evitar que los lixiviados se depositen en el suelo. Además, cada sitio cuenta con señalética adecuada y cubierta metálica que evite que el sol incremente la temperatura de los desechos (en especial los orgánicos) y se emanen malos olores.

#### 2.4.6 Transporte y disposición final

Los residuos orgánicos son almacenados en los recipientes verdes para luego ser transportados diariamente, a una finca propiedad de la empresa, en donde sirven de alimento para animales de crianza doméstica, propiedad de la misma empresa. A futuro se prevé implantar un programa de abonos orgánicos; para ello se deberá adecuar un área correspondiente. Los residuos de madera procedentes del interior de la mina son enterrados, con la finalidad de que se descompongan dentro del subsuelo y se conviertan en nutrientes que ingresen nuevamente a la cadena trófica.

Las piezas metálicas (chatarra) que ya no se utilicen en la empresa son recolectadas de los recipientes rojos y almacenadas en el depósito de chatarra, el mismo que es un lugar cubierto, señalizado y con volumen considerable para almacenar el residuo que es vendido a recicladoras autorizadas.

Los residuos de plástico, cartón, papel y manguera son almacenados dentro del campamento en los sitios correspondientes, para luego ser llevados al depósito de desechos, junto al depósito de chatarra para ser vendidos a una recicladora autorizada. Los residuos desechables o basura son trasladados al relleno sanitario del cantón Camilo Ponce Enríquez, en donde reciben su disposición final.

#### **2.4.7. Área de almacenamiento de desechos peligrosos**

Se denomina residuo peligroso a aquel que por exhibir una o varias de las características y/o propiedades que confieren la calidad del residuo que pueda causar daño a la salud humana o al medio ambiente. Las propiedades peligrosas son toxicidad, inflamabilidad, reactividad química, corrosividad, explosividad, reactividad, radioactividad o de cualquier otra naturaleza que provoque daño a la salud humana y al medio ambiente.

##### **2.4.7.1 Generación**

Los residuos peligrosos que se generan en los procesos de la empresa son los siguientes:

- Aceites minerales usados
- Diesel usado
- Escorias de fundición de plomo
- Baterías usadas de plomo
- Baterías usadas de Hg, Ni y Cd
- Envases contaminados con materiales peligrosos
- Filtros usados de aceite mineral.
- Material absorbente contaminado con hidrocarburos: guaipes, paños, trapos.
- Residuos de tintas, pinturas, resinas que contengan sustancias peligrosas.
- Luminarias, lámparas, tubos fluorescentes ahorradores usados.
- Objetos cortopunzantes del dispensario médico.
- Desechos biopeligrosos resultantes de atención médica.
- Desechos electrónicos
- Equipo de protección personal usado

##### **2.4.7.2 Almacenamiento**

El almacenamiento de los desechos peligrosos se lo realizará de acuerdo a las características del mismo. Es así que, los desechos de hidrocarburos se depositarán dentro del campamento en la bodega de hidrocarburos y en el área del dispensador de combustible. Además, en el campamento existe una bodega pequeña en la que se almacenarán temporalmente desechos peligrosos de menor tamaño. Una vez que en ambas bodegas se ha copado su capacidad, los desechos serán transportados a la bodega principal de desechos peligrosos (ver figura abajo), ubicada en el exterior del campamento, en donde los desechos serán acopiados, de acuerdo a sus características, hasta que sean transportados por una empresa gestora, autorizada por el Ministerio del Ambiente.

Todas las bodegas en donde se almacenen los desechos peligrosos cuentan con la señalética correspondiente, así como también los pisos están acondicionados con cunetas y cajas de retención, para evitar que, en caso de derrames, los residuos líquidos no se depositen en el suelo.

### Figura 16

*Depósito principal de desechos peligrosos y chatarra*



**Fuente:** Empresa Minera

#### 2.4.7.3 Transporte

Antes y durante la carga se deberán inspeccionar todos los recipientes y envases. Los residuos peligrosos deberán ser transportados en depósitos seguros y con su respectiva identificación. Se revisará cuidadosamente su contenido y envases, guardando normas de estricta seguridad

establecidas en las claves de manifiesto de los desechos contempladas en la normativa vigente. Se manipularán con cuidado los productos peligrosos, para evitar la ruptura de los recipientes que los contienen.

Se debe recalcar que el transporte de los desechos peligrosos es interno, desde los sitios de generación hasta el depósito principal. El traslado hacia un sitio donde reciban un tratamiento y disposición final adecuada, lo realizarán empresas gestoras calificadas para dicho fin, las mismas que son contratadas por la empresa PRODUMIN S.A

#### **2.4.7.4 Disposición final**

Los desechos peligrosos se recolectarán y almacenarán en recipientes de acuerdo a las características del tipo de desecho, los cuales deberán estar bien sellados e identificados, y cuando se tenga un volumen considerable, serán entregados a un gestor autorizado por el Ministerio del Ambiente conforme lo estipulado. De la misma forma los guaipes o trapos contaminados de hidrocarburos, copelas y escorias que son generados en el mantenimiento de las máquinas, laboratorio de planta y área de fundición serán almacenados en canecas de 20 galones de color negro, debidamente tapados e identificados para su posterior traslado y disposición final.

Actualmente, la empresa se está calificando como generador de desechos peligrosos, con la finalidad de que cumplir con el acuerdo ministerial 026 y enmarcarse en las normas establecidas para el manejo de los desechos peligrosos. Asimismo, se debe asegurar una disposición final adecuada, a través de la entrega de los desechos peligrosos a empresas gestoras autorizadas y calificadas por el Ministerio del Ambiente y Agua para dicho fin.

### **2.4.8. Abastecimiento de agua potable**

#### **2.4.8.1 Sistema de captación**

La captación de agua para potabilización se hace desde interior mina, en donde mediante tubería de 2 pulgadas se la extrae por gravedad hasta la parte exterior en un caudal de 1,3 l/s.

#### **Figura 17**

*Tanque de recepción de agua de entrada*





Fuente: Empresa Minera

### 2.4.8.2 Conducción de agua

Las conducciones desde el desarenador hasta la planta de potabilización se hacen a través de tubería de alta presión de PVC, con diámetro de 2" a 1" ½.

### Figura 18

*Instalación de planta de potabilización de agua.*



Fuente: Empresa Minera



### 2.4.8.3 Dosificación de desinfectante y floculante

Para el proceso de purificación microbiológica se inyecta al agua cruda hipoclorito de sodio al 10% y para el proceso de floculación, se inyecta policloruro de aluminio. Estos dos productos se alimentan al agua cruda con dos bombas dosificadoras de regulación graduable manualmente.

### 2.4.8.4 Floculación - sedimentación

Es una unidad (tanque) en donde el agua cruda ingresa por la canaleta parshall, que se encuentra seguida de una torre de aireación, que está conformada por tres platos. Esto permite que el agua circule generando una mezcla lenta que conduce el proceso de floculación (reacción de las partículas indeseadas del agua cruda con el coagulante para la formación de grumos que por su peso son fácilmente sedimentables). Estas estructuras tienen como función principal propiciar la sedimentación de los flocs creados en el agua proveniente de la floculación.

**Filtro de grava y arena:** la planta potabilizadora tiene en sus instalaciones un filtro lento, el mismo que se lo describe a continuación:

**Filtros lentos o de gravedad:** es aquel que tiene un lecho de grava y arena y el agua fluye a través de este lecho, por el solo efecto o acción de la gravedad y, por tal motivo, se les conoce también como filtros de gravedad.

**Filtro de carbón activado:** está compuesto de grava, arena silícica y carbón activado. El carbón activado se lo utiliza en la potabilización del agua por sus características de eliminar olores y sabores indeseables del agua. El carbón activado granular se distingue por la estructura muy arrugada del grano.

**Ablandador:** el ablandador está compuesto por una capa de grava, arena silícica y resinas. El proceso de ablandamiento por resinas, también conocido como intercambio catiónico en el ciclo de sodio, intercambia iones de sodio, por todos los cationes de dos o más cargas positivas, cuando opera en el ciclo de ablandamiento. El propósito principal del ablandamiento es eliminar los iones incrustantes del calcio y magnesio, reemplazándolos con una cantidad equivalente de iones de sodio. Al eliminar los iones de calcio y magnesio, que normalmente constituyen la dureza del agua, esta queda adecuada para la alimentación de calderos, lavanderías, varios procesos industriales, etc.

**Filtros pulidores:** la función de estos filtros es de detener las impurezas pequeñas (sólidos hasta 5 micras). Después de este paso se puede tener un agua brillante, cristalina y realmente purificada.

#### **2.4.9 Almacenamiento**

El almacenamiento del agua tratada tiene la función de compensar las variaciones horarias del consumo, y almacenar un volumen estratégico de agua potable para el uso diario de las diferentes actividades, tanto de aseo personal y para la cocción de los alimentos. La planta tiene cinco tanques de 5m<sup>3</sup> y 1 tanque de 20m<sup>3</sup>, los que distribuyen el agua por todo el campamento.

#### **2.4.10 Distribución**

La distribución del agua se la realiza por gravedad y es conducida desde la planta potabilizadora hacia los diferentes grifos del campamento en tubería de PVC de alta presión (Departamento Ambiental, 2015).

#### **2.4.11 Ubicación**

Productos Mineros, PRODUMIN S.A está ubicada en la provincia del Azuay, cantón Camilo Ponce Enríquez, sector La López, a un kilómetro de la parroquia llamada por el mismo nombre. El campamento de PRODUMIN S.A se encuentra, a su vez, ubicada al suroeste del Ecuador en la parte más baja de la cordillera de los Andes en las coordenadas UTM X: 642993.8 E, Y:9659075.7 N y Z: 375, también en la provincia del Azuay, cantón Camilo Ponce Enríquez, Sector la López a una distancia de 4.5 km en línea recta al cantón.

### **Figura 19**

*Ubicación PRODUMIN S.A*



Fuente: Google Earth

### 2.4.12 Geología regional

La empresa se asienta en la unidad Pallatanga anteriormente llamada como Piñón de la Sierra. En esta zona predominan las rocas volcánicas del cretácico; además, comprende basaltos toleíticos lávicos, masivos y almohadillas, con intrusiones básicas y cantidades subordinadas de volcanoclásticas, sedimentos pelágicos y rocas ultramáficas. (Carrión, 2010).

El campo mineral de Ponce Enríquez está situado en la Unidad Pallatanga del Cretácico Medio temprano (pre - Senoniense), que forma una banda casi continua, limitada por fallas a lo largo de las estribaciones occidentales de la Cordillera Occidental. La unidad comprende basaltos toleíticos lávicos masivos y almohadillados con intrusiones básicas y cantidades subordinadas de volcanoclásticas, sedimentos pelágicos y rebanadas tectónicas de rocas ultramáficas. La base de esta unidad no está expuesta y hacia el este, está cubierta discordantemente por las rocas volcánicas subaéreas, de composición intermedia a silíceo calco – alcalina del Grupo Saraguro (Eoceno Medio tardío ó Mioceno Inferior). El espesor de esta unidad ha sido estimado en más de 1 Km al este de Ponce Enríquez.

Las rocas volcánicas basálticas se encuentran ampliamente distribuidas en toda la zona de Bella Rica, con el porfido hornbléndico y feldespático delimitando las zonas de mineralización. Cabe indicar que la brecha magmática hidrotermal y el pórfido feldespático indican la existencia de un pórfido mineralizado en profundidad. Además, se caracteriza por los depósitos superficiales

ubicados en los márgenes de las quebradas Guanache, Tres de Mayo, La Florida y el Paraíso, constituidos de gravas, arenas y clastos rocosos semi-redondeados, cuyos tamaños varían de centímetros a metros. De acuerdo a observación directa, los basaltos incluyen lavas, hialoclastitas e intrusiones de doleritas subvolcánicas, aparentemente la secuencia buza hacia el este.

La base de la Cordillera de los Andes en el Ecuador, especialmente la parte sur, consiste en gran parte de rocas volcánicas del Cretáceo hasta Paleoceno (lavas, tobas y piroclastos de composición intermedia: andecítica principalmente) con grandes batolitos de granodiritas, dioritas y gabros de edad Cenozoica. La base de la Cordillera Real está compuesta por rocas metamórficas de edad Paleozoico hasta Jurásico. Son principalmente esquistos, gneiss, cuarcitas y localmente mármol. Estas rocas afloran en las vertientes externas de la sierra; en la cordillera Real; el Valle Interandino y El Oro. Consisten principalmente en flujos de andesitas a riolitas y piroclastos, pero también incluyen arcillas, tobas, areniscas y conglomerados. Con las tobas, conglomerados y brechas de la formación Turi del Plioceno, terminó el volcanismo en el Sur del Ecuador (Debajo de 2° S).

#### **2.4.13 Formaciones geológicas**

El cantón Camilo Ponce Enríquez se localiza dentro de las siguientes unidades:

- Unidad Macuchi (>2000m.s.n.m.) con lavas andesíticas, tobas, volcanoclastos y pertenecen al Eoceno – Paleoceno.
- Unidad de Apagua (2000m.s.n.m.) con lutitas, grauwacas y pertenecen al Eoceno.
- Fm. Piñon. con lavas basálticas, tobas, brechas y pertenece al Cretácico.
- Volcánicos Saraguro (300m.s.n.m.) formado de lavas andesíticas a riolíticas, piroclastos y pertenecen al Oligoceno.
- Volcánicos Pisayambo (1000-2000m.s.n.m) con flujos de lava y piroclastos de composición andesítica a riolítica y pertenecen al Plioceno – Mioceno.

Ahora bien, la cercanía de Camilo Ponce Enríquez hacia el perfil costanero, confirma la presencia de arcillas marinas de estuario, ya que en gran parte del territorio se encuentra la presencia de este tipo de formación. Las características de estos suelos son francos, permitiéndose en ellos desarrollar de buena forma la agricultura. Dentro de esta área se encuentra la cabecera cantonal de Camilo Ponce Enríquez y las comunidades de Shumiral, Nueva Esperanza, San Alfonso, La Independencia y Santa Martha.

Por otro lado, las lavas andesíticas son rocas volcánicas de grano fino, equivalente extrusivo de la diorita, y de colores casi siempre muy oscuros. La Granodiorita, diorita, pórfido y otras son minerales de formación intrusiva que afloran desde el magma formando vetas cuarcíticas conteniendo en ellas trazas de metales preciosos. Constituyen un 7,56 % del territorio. La lava basáltica es la variedad más común de roca volcánica. Se compone casi en su totalidad de silicatos oscuros de grano fino, sobre todo en el cantón y constituyen el segundo mayor porcentaje, 29,94 % de la superficie y contempla las comunidades de San Francisco de Muyuyacu y La López. Está formada también de feldespato, piroxeno y plagioclasas, y magnetita. Asimismo, las tobas volcánicas son rocas piroclásticas, se forman por la cementación de piroclastos, ya sean cenizas, puzolanas o lapilli. Dentro de esta formación se encuentra precisamente el asentamiento minero de Bella Rica.

Las fallas regionales que localmente marcan el límite entre terrenos tienen, predominantemente, direcciones SE – SW y NNE – SSW. El campo mineral de Ponce Enríquez está fragmentado por fallas de dirección NW; el sector Gaby – Bella Rica está bordeada por las fallas Margarita por el SW y Río Tenguel por el NE. Estas fallas son esencialmente de edad Cenozoica, pero han sido reactivadas periódicamente y dan lugar a pronunciadas expresiones geomorfológicas.

#### **2.4.14 Periodos geológicos**

**Cretácico.** En el ámbito de la geología, último periodo del mesozoico, que comenzó hace unos 145,6 millones de años y finalizó hace unos 65 millones de años. El nombre alude a la abundancia de estratos de creta depositados durante el final del periodo en Inglaterra y Francia, hoy expuestos en lugares como Dover.

**Cuaternario.** En geología, es el periodo más moderno del Cenozoico. Comenzó al final del periodo terciario, hace 1,64 millones de años, y comprende hasta nuestros días. El cuaternario se divide en Pleistoceno, que es la primera y más larga parte del periodo, que incluye los periodos glaciales, y la época reciente o postglacial, también llamada holoceno, que llega hasta nuestros días.

**Eoceno.** Segunda división del Cenozoico, es la era de la escala de tiempos geológicos, que comenzó hace unos 56,5 millones de años y finalizó hace unos 35,4 millones de años. Al igual que el paleoceno, que lo precedió y el oligoceno, que lo siguió; el Eoceno (del griego eos 'alba' y kainos

'vida') fue definido en el siglo XIX por el geólogo británico Charles Lyell, sobre la base del porcentaje de especies modernas de moluscos y crustáceos, presentes en los estratos rocosos del cenozoico.

En el hemisferio occidental, el eoceno marcó la última fase de la orogénesis de las cordilleras y el episodio de alzamiento de las grandes cadenas montañosas que se extienden hacia el norte y el sur en el oeste de las Américas.

**Paleoceno.** En geología, es la primera y más corta de las cinco divisiones del periodo terciario dentro del cenozoico en la escala de tiempos geológicos. Abarca el intervalo transcurrido entre 65 y 56,5 millones de años atrás, y es definida, como en las épocas posteriores, según la proporción de especies modernas de moluscos encontradas en los registros fósiles.

**Oligoceno.** Tercera división del periodo terciario del cenozoico, que se inició hace unos 35,4 millones de años y finalizó hace unos 23,3 millones de años. Al igual que el Eoceno, que lo precedió, y que el mioceno, que vino a continuación, el Oligoceno (del griego, 'poca vida') fue definido en función del porcentaje de especies modernas de moluscos y crustáceos (10-15%), presentes en los estratos correspondientes a esta era.

**Plioceno.** En geología, quinta y última división del periodo terciario dentro del cenozoico en la escala de tiempos geológicos. Se extiende desde hace 5,2 millones de años hasta 1,64 millones de años atrás. Como el Mioceno precedente, el Plioceno fue denominado y definido por el geólogo británico Charles Lyell basándose en el porcentaje de moluscos y crustáceos modernos encontrados en los registros fósiles de esta época.

**Mioceno.** Cuarta división del periodo terciario del cenozoico, que comenzó hace 23,3 millones de años y finalizó hace 5,2 millones de años. El conjunto de la composición geológica de Ponce Enríquez está corroborando el potencial mineralógico del mismo.

#### **2.4.15 Geología local**

En el campo mineral, se exhibe un conjunto preponderante de rocas volcánicas, andesitas y basaltos, presentado unas exposiciones muy típicas en los frentes de trabajo como basaltos de coloración verde y Stockworks de epidota, cuarzo y clorita de una manera irregular. En el sector Bella Rica existe una alteración con clorita, calcita, epidota y actinolita +/- esfena, encontramos

también alteraciones hidrotermales locales, estructuralmente controladas, frecuentemente en forma de vetillas que crean “Stockworks” de epidota, actinolita, pirita, albita, cuarzo, clorita, calcita. (López R, 2017)

Dentro del sector donde se llevan a cabo las labores mineras, existe la presencia de dos fallas de carácter dominantes:

- Ubicando un rumbo de N65°E, con buzamiento de 60° en dirección NW.
- Ubicando un rumbo EW, con buzamiento de 45° en dirección N.

Ambas fallas crean un desplazamiento siniestral de carácter normal, que desplazan desde los 0.2 a 12 m. Las formaciones geológicas que afloran en la zona de estudio, de acuerdo con el mapa de la Cordillera Occidental entre 3ª y 4ª grados sur, del cual fue tomado con su respectiva corrección actual, tienen las siguientes secuencias estratigráficas.

- **Depósitos aluviales (recientes)**

Son depósitos de material aluvial que se encuentran en ambos márgenes de la quebrada La Florida, Paraíso, Guanache y Tres de Mayo. Están formados de arena, grava, limos, arcillas y conglomerados. Durante el levantamiento de campo se observó la presencia de pequeñas terrazas en el margen izquierdo y derecho de las quebradas. En las coordenadas X= 645.120 y Y= 9'558.600, se documentó arrastre de sedimentos y rocas de diferentes dimensiones, en el margen derecho de la quebrada Paraíso. En consecuencia, los clastos varían de tamaño de 0.20 cm a 1 metro.

- **Depósitos coluviales (Cuaternarios)**

Estos depósitos fueron ubicados en el flanco Sur de la cooperativa Bella Rica; se encuentran constituidos de grava, arena, arcilla y sedimentos, los mismos que han sido transportados de las partes altas. Además, fueron documentados en el sector Tres de Mayo, Pueblo Nuevo y el Paraíso, en donde se observa perfiles con potencias de 3-4 metros. Estos depósitos son pequeños y se encuentra cubriendo a las rocas basálticas de la Unidad Pallatanga.

- **Unidad Pallatanga (Cretácico)**

Esta unidad se encuentra aflorando en Bella Rica; está constituido por una franja de flujos volcánicos y piroclastos de composición basáltica a andesítica. Localmente, este tipo de rocas han sido propilitizadas y actinolizadas y su textura es fina de color gris verde oscura. La alteración es del tipo silicato potásico, silicato cálcico sódico y propilitización, que está afectando a toda la superficie del depósito; pero es más intensa en la zona central de fracturación. Se destaca, superficialmente por la presencia de altos farallones, resistentes a la erosión en Bella Rica, debido a la mayor silicificación. La alteración potásica se caracteriza por la existencia de biotita y flogopita y se incrementa a profundidad.

La alteración calco-sódica, tiene la presencia de actinolita, epidota y clorita, asociándose con piritita y pirrotina. La alteración propilitica es ampliamente distribuida y caracterizada por clorita y epidota, acompañada de piritización. Estas rocas fueron observadas y documentadas en la base de los farallones de Bella Rica y están cubiertas, superficialmente, por depósitos coluviales. La mineralización está principalmente alojada en las volcanitas basálticas Pallatanga, en donde el principal enjambre de vetas tiene un rumbo N a NW y, puntualmente, WNW a E- W,, especialmente cerca de las fallas río Guanache, Tres de Mayo, la Florida y Paraíso.

- **Intrusivos**

Estos cuerpos se encuentran instruyendo a rocas volcánicas y basálticas de la Unidad Pallatanga. Litológicamente están constituidos de diorita-granodiorita, posiblemente controlados por la reactivación de las grandes suturas. En el mapa geológico de Bella Rica, al norte del área se indican pequeños cuerpos o diques de microcuarzodiorita, de 20 a 100 m de espesor (Misión Belga 1996). El pórfido hornblendico, presenta una variación muy amplia y se superpone al porfido feldespático. Se encuentra constituido de fenocristales de hornblenda y microfenocristales de plagioclasa. Esta fase lleva magnetita; los fenocristales tienen formas euhedrales a subhedrales; se localiza al norte de la quebrada Guanache y al norte de Bella Rica.

El pórfido feldespático forma cuerpos aislados y diques dentro de las volcanitas Pallatanga, en el sector de Guanache alto y bajo. Las mismas que cortan también al pórfido hornblendico. Se encuentra emplazado a lo largo de fracturas y fallas extensionales de dirección WNW. Puntualmente se ubican al oeste de Bella Rica, pequeños diques y constituyen la matriz de varias brechas magmáticas, que presentan una propilitización penetrativa y una silicificación y alteración



potásica. La mineralización se encuentra en el contacto de la brecha, mayoritariamente dentro del pórfido.

El pórfido Gaby delimita la zona de influencia del proyecto y origina, en la parte superior una aureola externa de vetas y vetillas auríferas 220 de cuarzo- pirita- pirrotina- calcopirita- oro y abundantes sulfuros respectivamente; que, actualmente, continúan explotando las sociedades mineras. Además, las brechas existentes al norte de Bella Rica se encuentran asociadas al pórfido de Papagrande. Estas delimitan al pórfido hornblendico y está bisecada por un cuerpo intrusivo plagioclástico.

La brecha existente en el sector presenta fragmentos angulares a sub-redondeados, con tamaños de unos pocos centímetros a varias decenas de metros. Los contactos son muy empinados a verticales y bastante bruscos. El contacto entre pórfido y brecha indica que la brecha se superpone al pórfido, que tiene geometría de embudo. La brecha intrusiva se encuentra cementada por pórfidos finos, dentro del pórfido hornblendico al norte de la falla Guanache.

La zona minera es conocida por sus depósitos de Cu – Au – Mo en pórfidos y en vetas, brechas y stockwork epi – mesotermales, desarrollados dentro de rocas de caja volcánica y que están relacionados principalmente con pórfidos.

La geología responde a la descripción litológica de las formaciones Macuchi y Piñon. La zona central de las concesiones se encuentra formada por Granodiorita, diorita y porfido, presentes en el periodo Cenozoico. Alrededor de las concesiones, se desarrolla, como resultado de esfuerzos transpresivos, presentes a partir del periodo Paleoceno/Eoceno, la formación Macuchi que se conforma por lavas, andesitas, tobas y volcanoclastos. Encontramos también en la zona de Camilo Ponce Enríquez, pero fuera de las concesiones y más aproximadas al nivel del mar, formaciones del periodo Cuaternario con arcillas, marinos de estuario y, al este, presenta formaciones del periodo Cretáceo con lavas, basálticas, tobas y brechas.

## **2.5 Clima**

El clima de Camilo Ponce Enríquez, por encontrarse en una zona cercana a las costas del Pacífico, y a su vez, en la Cordillera Occidental; presenta un clima tropical húmedo, predominante, que le da las características propias a su vegetación; con temperaturas que van desde los 22, hasta los 30°C; aunque existen algunos meses del año que pueden variar.

Según el Mapa Bioclimático del Ecuador (Cañadas, 1983) el área del proyecto pertenece a una región bioclimática subtropical, con temperaturas que oscilan desde 22° a 30°C. Además, la información de la estación más cerca y a 8 msnm. “PAGUA”, confirma con datos de temperaturas de 23° a 26°C. La más alta se registra entre los meses de diciembre a Julio, que llega a 35°C y la temperatura más baja, se registra entre agosto y noviembre, aproximadamente, con 21°C.

La precipitación promedio anual es de 1455.3 mm. La zona se caracteriza por presentar una temporada invernal bien definida, entre los meses de enero a junio, y una temporada seca, en los meses de julio a diciembre. La información indica que los meses de mayor precipitación, son enero, febrero, marzo y abril. A su vez, hay una fuerte variación de las precipitaciones anuales y mensuales. Las máximas precipitaciones registradas corresponden a 1982 (3871,5 mm), ligadas a la presencia del fenómeno de El Niño. Entre los años 2000 a 2005, el comportamiento de las precipitaciones ha sido normal, con inviernos más bien moderados.

La hidrografía de Camilo Ponce Enríquez es muy significativa; el territorio ocupa parte de las tres cuencas hidrográficas independientes: río Gala, río Tenguel y río Siete, que van en forma paralela hasta en Océano Pacífico, en el Golfo de Guayaquil, del cual son tributarias. En la temporada seca, se establece que, en verano los drenajes tienen escaso caudal, lo que afecta a la minería, agricultura y a la precaria ganadería.

**Estaciones meteorológicas.** El lugar en donde se realiza la evaluación de uno o varios elementos meteorológicos se denomina estación meteorológica. Las estaciones meteorológicas se clasifican en varios tipos, según los objetivos y los parámetros que se desee medir. Entre las principales podemos citar las siguientes: climatológicas, agrometeorológicas, sinópticas (de superficie y en altitud), aeronáuticas y especiales.

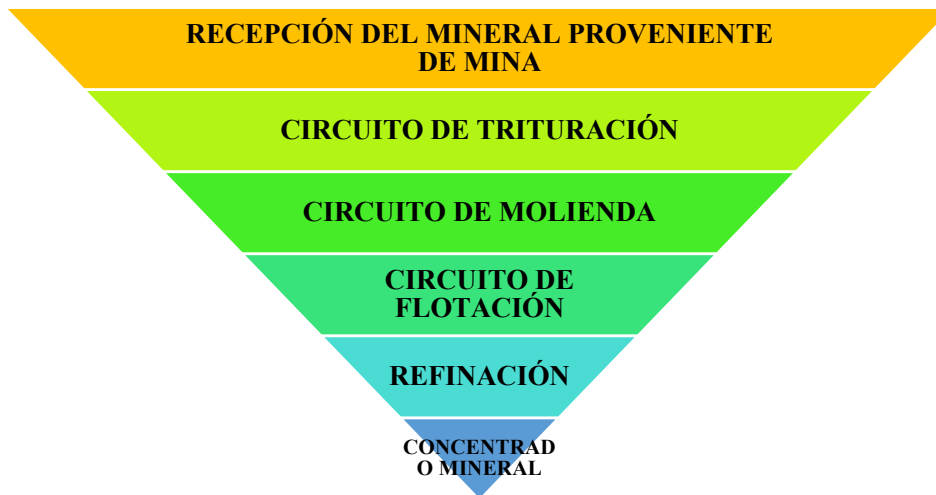
Las estaciones meteorológicas se establecen en la superficie de la tierra y el mar y deben estar espaciadas, de tal manera, que sea representativa del sector y garantice una cobertura meteorológica adecuada. La distancia entre estaciones sinópticas principales, en la superficie, no debe ser superior a los 150 km. Entre estaciones de altitud no debe sobrepasar los 300 K.

## **2.6 Procesos productivos de la planta PRODUMIN S.A**

Los procesos productivos de la planta PRODUMIN S.A. involucran varias etapas, que se detallan a continuación:

**Figura 20**

*Procesos productivos de la planta PRODUMIN S.A.*



**Fuente:** Empresa Minera

### **2.6.1 Descripción de proceso de tratamiento de minerales de PRODUMIN S.A.**

La planta de proceso de tratamiento de minerales de la empresa, se inicia con la recepción del mineral proveniente de mina. Para esto, cuenta con un circuito de trituración y un circuito de molienda, que se describen a continuación:

#### **2.6.1.1 Circuito de trituración**

Consta de una tolva metálica con parrillas en la parte superior, para clasificar mineral de tamaños que superen las 7". En la parte inferior tiene un chute que se descarga en un alimentador recíprocante, que, a su vez, alimenta a un grizzly vibratorio; este clasifica material fino, que descarga en una faja transportadora. El grueso ingresa a una trituradora primaria de 10" x 16"; el material proveniente de los finos del grizzly y de la descarga de la trituradora primaria son alimentadas a una zaranda vibratoria el cual tiene una malla de 1"x1". El material pasante es almacenado en la tolva de finos y los gruesos pasan a una trituradora secundaria de 6"x 30". La descarga se junta con el material proveniente de trituración primaria, lo que hace que se produzca el circuito cerrado de trituración.

#### **2.6.1.2 Circuito de molienda (molinos de ruedas)**

Esta etapa consta de una tolva de finos con dos chutes de descarga los que alimentan en forma constante mediante fajas transportadoras a seis molinos de cuatro ruedas cada uno. La capacidad de molienda es 120 TMS/Día. El producto de molienda, en forma de pulpa, pasa por unos canalones para la concentración gravimétrica mediante bayetas. El material, que no es captado por las bayetas, se deposita en unas piscinas, para su almacenamiento y posterior tratamiento en la siguiente etapa.

### **2.6.1.3 Circuito de flotación**

El mineral, proveniente de las piscinas de almacenamiento, es enviado a cinco repulpadores de 10"x 10" y, de estos pasan a cinco celdas, tipo torre de 6' x 6'. Estos trabajan en un circuito en contracorriente; el concentrado rougher obtenido es bombeado a un banco de celdas Denver sub-A #18, para realizar el cleaner del concentrado y obtener un producto comercial. El concentrado obtenido es enviado a tanques de almacenamiento para su posterior separación en sólido y líquido, en un filtro prensa de 57 paneles. El concentrado obtenido con una humedad que oscila entre 14 y 16% es enviado a llenado en BIG BAG de, aproximadamente, 1.3 tonelada de capacidad para su posterior comercialización.

En el proceso de beneficio dentro de la empresa PRODUMIN S.A. no se usa cianuración ni amalgamación; al contrario, la empresa busca otras alternativas más viables tanto económicas como ambientales.

### **2.6.1.4 Refinación**

Las arenas provenientes de concentración gravimétricas son tratadas mediante una digestión ácida (ácido nítrico), para aumentar su valor comercial. Posteriormente, se hace una fundición para obtener un oro metálico apropiado para su exportación.

### **2.6.1.5 Insumos (reactivos) utilizados**

- Xantato amílico de potasio.
- Espumante ER370.
- Aerofloat 1242 "ditiofosfao de sodio".
- Silicato de sodio.
- Metabisulfito de sodio.

- Sulfuro de sodio.
- Floculante “Profloa”.
- Colector MT-4320.

## **2.6.2 Trituración y molienda, descripción técnica y costos**

En el esquema general del proceso, el mineral derivado debe ser ligeramente preparado en una planta de trituración o chancado. Luego, si es necesario, de aglomeración, para conseguir una granulometría controlada, que permita asegurar un coeficiente de permeabilidad de la solución.

La trituración y molienda son dos procesos fundamentales en una planta de procesamiento minero. Estos procesos tienen como objetivo reducir el tamaño de los minerales extraídos de la mina, facilitando su posterior tratamiento y liberación de los minerales valiosos contenidos en ellos.

### **2.6.2.1 Trituración**

La trituración es el proceso inicial en el tratamiento de los minerales. Consiste en la reducción del tamaño de los minerales mediante la aplicación de fuerzas mecánicas, como la compresión, el impacto o la abrasión. Las etapas de trituración pueden incluir: trituración primaria, secundaria y terciaria, dependiendo del tamaño objetivo del producto final. Se utilizan diferentes tipos de trituradoras: de mandíbulas, giratorias, cono y triturados de impacto, para llevar a cabo este proceso. El proceso de trituración se realiza en dos grandes etapas, que requieren de equipos específicos para lograr la granulometría adecuada:

- Trituración o chancado primario o grueso.
- Trituración o chancado fino: proceso que comprende las etapas de chancado secundario, terciario y cuaternario.

### **2.6.2.2 Tipos de Trituradoras**

La selección del tipo y tamaño del equipo de trituración, para cada etapa, se determina según los siguientes factores:

- Volumen de material o tonelaje a triturar.
- Tamaño de alimentación.
- Tamaño del producto de salida.

- Dureza de la roca matriz: este índice es de suma importancia y se expresa normalmente por la escala de Mohs, que tiene implicancia en el momento de seleccionar el tipo de equipo a utilizar.
- Tenacidad de la roca a triturar: se compara con el de la caliza, a la que se le asigna el índice 1.
- Abrasividad: debida fundamentalmente al contenido de sílice, principal causante del desgaste de los equipos.

Según el índice de abrasividad medido experimentalmente, a través del porcentaje de sílice presente en la roca, se clasifican en:

**Tabla 2**

*Porcentaje de sílice presente en la roca*

<b>Clasificación</b>	<b>Porcentaje de sílice (%)</b>
<b>Porcentaje de sílice (%)</b>	< 0,05
<b>Abrasiva</b>	0,05 - 0,50
<b>Muy abrasiva</b>	0,5 - 1
<b>Extremadamente abrasiva</b>	> 1

Por otro lado, encontramos:

- Humedad del material en el yacimiento y en la planta, según las condiciones climatológicas del lugar.
- Contenido de finos y lamas: los materiales lamosos o pegajosos pueden disminuir la permeabilidad, originando dificultades en la percolación posterior.

Para cada una de estas etapas, existen equipos apropiados, cuyas características principales de abertura de alimentación, capacidad de distintos cierres, tamaños de productos, potencia, etc. Suelen ser tabuladas por los fabricantes de trituradoras, en función de una densidad y dureza media.

### **2.6.2.3 Tamaño del mineral triturado**

Se recomienda no moverse en los extremos límites de trituración (máxima razón de reducción), sino considerar los valores medios propuestos por las tablas de los fabricantes de equipos. Para lixiviación en pilas, el mineral se suele triturar a tamaños entre 100 y 250 mm; para lixiviación en depósitos o tanques, entre 50 y 1 mm y para lixiviación dinámica, chancado y molienda a tamaños inferiores a 1mm. Independientemente de otras variables, el tamaño de partícula de mineral o metal a lixiviar, define la velocidad de disolución y, por consiguiente, el porcentaje de recuperación en un tiempo determinado.

Según prácticas industriales, los tamaños típicos de menas para lixiviación de distintos minerales pueden ser los siguientes:

**Tabla 3**

*Tamaños típicos de menas para lixiviación de distintos minerales*

<b>Mineral</b>	<b>Tamaño mm (malla ASTM)</b>
<b>Cobre oxidado</b>	-12.00
<b>Oro</b>	-0.25 a (-60 mallas)
<b>Concentrado de oro (sulfuros)</b>	-0.044 a (-325 mallas)
<b>Uranio</b>	-2 a -0.15 (-10 a -100)
<b>Bauxita</b>	-0.15 a (-100)
<b>Ilmenita</b>	-0.074 a (-200 mallas)
<b>Laterita (níquel)</b>	-0.841 a -0.074 (-20 a -200 mallas)
<b>Concentrado de níquel (sulfuros)</b>	-0.074 a (-200 mallas)
<b>Calcinados de Zinc</b>	-0.074 a (-200 mallas)

*Nota.* Por sobre los 2 mm (10 mallas), el tamaño de las partículas impide efectuar una lixiviación dinámica operativa (agitación). Si se desea una molienda más fina debe considerarse, además del

incremento en costo de energía, la posible producción de lamas, sobre todo, en el caso de minerales friables, como lo son el estaño o el tungsteno.

De manera general, según el método que se aplique, pueden considerarse los siguientes tiempos de lixiviación:

La siguiente tabla es una guía para la selección preliminar de los tipos de trituradoras que se recomienda utilizar, dependiendo del material que sea necesario triturar (según Neuhoff).

**Tabla 4**

*Guía para la selección preliminar de los tipos de trituradoras*

	<b>Método de lixiviación</b>	<b>Método de lixiviación</b>	<b>Tiempo aproximado</b>
	En sitio	Grandes y variable	Variable
<b>Estática</b>	En vacíos	Hasta 1500	Años
	En pilas	Hasta 150	1 a 6 meses
	En tanques	Hasta 12	15 a 30 días
<b>Abrasiva</b>	Con agitación	Hasta 2	2 a 24 horas
	Con agitación	Hasta 0.010	1 a 10 horas

#### **2.6.2.4 Diseño de la trituración o chancado**

Antes de que el material llegue al proceso de trituración, se recomienda el cribado de este, operación que consiste en la selección del tamaño previo, segmentado en diferentes granulometrías. Este proceso tiene ventajas, tales como el aumento de la capacidad del equipo; evitar las dificultades que provocan los finos en las cámaras trituradoras (atascos) y la reducción del consumo de energía, permitiendo la obtención de un producto final, con menos finos.

En el diseño de una trituración y en la perspectiva de reducir los costos de operación, principalmente de la trituración primaria, se debe tener en cuenta los siguientes factores:



- **Localización:** dada la ubicación de la mina y la planta, la trituradora (chancador) se emplaza en el lugar en que la distancia económica, entre esos dos puntos, sea la mínima. Además, por aspectos de seguridad de tronaduras, el chancador primario se ha mantenido hasta hoy, relativamente alejado de la mina. Sin embargo, se debe tener presente que el transporte del material ya triturado es menos costoso, debido a su menor volumen y menor impacto en las cajas de camiones. Asimismo, es más continuo que el material que viene de la mina. Por ello, sería más conveniente ubicar el chancador primario, lo más cerca posible del yacimiento e incluso dentro de él.
- **Transporte del mineral a la trituración o chancado:** generalmente se afirma que un 40% del costo minero en una explotación a cielo abierto, corresponde a las operaciones de perforación, tronadura y carguío, y que el 60% restante, se asigna al transporte del material a la planta. Está demostrado que el transporte en camiones, a pesar de su flexibilidad, es más costoso, que el que se realiza por cintas transportadoras. Sin embargo, se debe tener presente que este último tipo de transporte encuentra su limitante, en el tamaño del material. Por lo tanto, un transporte por cintas requiere la trituración o chancado en el yacimiento.

### 2.6.3 Tipos de plantas

- **Planta fija o estacionaria**

Las plantas fijas o estacionarias de trituración permanecen en el lugar de la instalación durante gran parte de la vida del yacimiento. En estos casos, y en lo posible, estas deben localizarse cerca del yacimiento y, en un nivel inferior respecto de la zona de extracción, para contar con un transporte descendente de los camiones cargados.

- **Planta semifija o semi estacionaria**

Se instalan en faenas de períodos largos en las que se prevé la reubicación de la planta de trituración o chancado. De este modo, sus equipos y bases se construyen para ser individualmente desmantelados y transportados al nuevo lugar, aun cuando se pueda perder parte de los cimientos de apoyo. La nueva localización requiere de un acondicionamiento del lugar, incluyendo la construcción de nuevas fundaciones, lo que puede ocupar algún tiempo y provocar el cese temporal de producción.

- **Planta semimóvil o semiportátil**

Este tipo de plantas se construyen por unidades (tolvas, trituradoras, cribas, etc.), que se montan sobre plataformas o bases metálicas, para ser trasladadas con transportes especiales, a los que se les acoplan estas unidades móviles. La planta semimóvil o semiportátil, requiere de cierta preparación del terreno y origina paralizaciones breves de producción (del orden de semanas).

- **Planta móvil o portátil**

Estas plantas van equipadas con un sistema de transporte integral. La mayoría son autotransportables y montadas sobre ruedas con cubierta de goma, zapatas de orugas o railes. Debido a su excelente maniobrabilidad y su aceptable movilidad de traslado, se localizan junto al rajo de la mina, para ser alimentadas directamente por el equipo de carga. Como se mueven frecuentemente, necesitan de un sistema adicional de transportadores flexibles, que les permitan acoplarse al transporte general de la planta de concentración.

Hasta hace algo más de una década, el incremento de la movilidad del sistema estaba limitado por el tamaño de los equipos. Las primeras unidades móviles fueron pequeñas trituradoras para la producción de áridos en canteras. La gran masa que poseen chancadores de cierta capacidad; la altura y las grandes fuerzas desarrolladas por las excéntricas, hacían difícil su adaptación a unidades móviles. Sin embargo, los avances obtenidos en los diseños y en las nuevas técnicas de construcción, han hecho posible que hoy en día, existan grandes trituradoras móviles.

En la mina de Chuquicamata (Chile) hay dos unidades semi-estacionarias de trituración gigantes, que tienen la mayor capacidad del mundo. Cada una consta de una trituradora giratoria 89/109" con capacidad media de 8200 t/h. Estas trituran material estéril (montera) para sacarlo de la mina, por medio de cintas transportadoras, que tienen pendientes de 17/18°.

### **2.6.3.1 Seguridad en plantas de trituración**

En casi la totalidad de las faenas mineras de gran tamaño, las plantas de Chancado y Molienda ocupan el mayor espacio y requieren de mayor consumo de energía que las demás etapas del proceso productivo. Por lo tanto, existen mayores potencialidades de accidentes producto de malas prácticas por parte de los trabajadores.

Recomendaciones generales que siempre deben ser consideradas:

- Siempre usar gafas de seguridad, sobre todo cuando el chancador se encuentra trabajando, ya que existe material en suspensión, que puede penetrar en los ojos.
- Usar protectores de polvo cuando los chancadores y molinos estén trabajando, ya que hay material fino, que es más liviano que el aire, y que puede ingresar por vías nasales y boca. En el caso de las minas de cobre, puede contener sílice.
- Mantenerse siempre detrás de las barreras de seguridad o llevar un cinturón de seguridad cuando se trabaja alrededor de chancadores (con cable cola). En zonas elevadas deben sujetarse a objetos firmes que prevengan ante una eventual caída.
- Nunca tomar alguna pieza o equipo en movimiento, especialmente cintas transportadoras, que pueden atrapar dedos, manos o brazos por su velocidad.
- El transporte de minerales pesados representa un peligro. Con frecuencia, los operadores de estos equipos tienen un campo de visión muy limitado, hay muchos puntos ciegos. Por eso es necesario quedarse donde los operadores puedan ver. (CODELCO EDUCA CHILE, 2018).

#### **2.6.4 Molienda**

La molienda es el proceso posterior a la trituración y se encarga de reducir aún más el tamaño de las partículas de mineral. En esta etapa, se utilizan equipos como molinos de bolas, molinos de barras, molinos SAG (Semi- Autogenous Grinding) y molinos autógenos para realizar la molienda. Esta se lleva a cabo mediante la acción de impacto y abrasión de los medios de molienda (bolas o barras) dentro del molino, liberando así los minerales valiosos y separándolos de los minerales de desecho.

Luego de triturado el mineral, es introducido en varios molinos de bolas, que contienen unas bolas de hierro en su interior, que se encargan de pulverizar las piedras de mineral durante una hora y media aproximadamente. Se obtiene así, mineral pulverizado, para posteriormente ser transportado a la zona de aglomeración. En esta etapa, se debe liberar completamente las partes valiosas del mineral de la parte estéril, antes de proceder a la siguiente etapa. Las operaciones de molienda normalmente, se efectúan en etapa primaria en los molinos de barras y secundaria en los de bolas.

Generalmente la descarga de los molinos de barras es a 991 micras (16 mallas). Esta operación se logra con alta eficiencia cuando los molinos son operados en condiciones normales en cuanto a uniformidad del tamaño de alimentación, dilución y si satisfacen además las siguientes constantes: velocidad crítica y velocidad de trabajo, carga de bolas y potencia del motor. Las velocidades del sistema son calculadas mediante ecuaciones. (Cavadid y Gómez, 1983).

La eficiencia del proceso de molienda depende en gran medida de una serie de factores como:

- Distribución de tamaños en la alimentación del mineral.
- Velocidad y tamaño del molino.
- Tamaño del cuerpo moedor.
- Diseño de los revestimientos del molino.
- Cambios en las características del mineral.
- Distribución de tamaños del producto del molino.
- Volumen de carga moedora y su distribución de tamaño.
- Eficiencia de la clasificación.

#### **2.6.4.1 Etapas de la molienda**

En las plantas de molienda hay diferentes etapas para la liberación del mineral valioso y estas son:

- Molienda primaria: en la cual se utilizan molinos de barras
- Molienda secundaria: se utilizan bolas de acero
- Molienda terciaria: se utilizan bolas de acero, como medio de molienda y se denominan “molinos de bolas”.

Las razones de reducción son más altas en molinos, que en trituradoras. En efecto, en los molinos primarios son del orden de 5:1; mientras que en molinos secundarios y terciarios aumenta a valores de hasta 30:1. Los molinos son cilindros rotatorios horizontales forrados, interiormente, con material resistente, cargados en unos 50% de su volumen con barras de acero, bolas de acero o trozos de roca. Dentro de esta masa rotatoria, se alimenta, continuamente, el mineral fresco proveniente de la etapa de trituración y la carga de retorno o carga circulante del clasificador (u/f) y agua suficiente, para formar la masa de mineral de una plasticidad adecuada, de manera que la

mezcla fluya bajo una ligera cabeza hidráulica, hacia el extremo de descarga del molino. (Chávez, 2011)

#### 2.6.4.2 Mecanismo de molienda

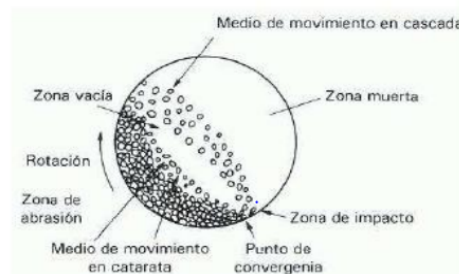
Los molinos de bolas tienen una gran variabilidad en las condiciones de funcionamiento, varían en tamaño, proporciones y forma de la cubierta. Los cuerpos moledores difieren en cuanto a forma, tamaño, peso individual y total, dureza. El movimiento de la carga moledora, determinado por su forma, por la configuración de la cubierta y por el diámetro y velocidad del molino, varía con un cambio en los factores descritos anteriormente. El análisis del funcionamiento de un molino y el movimiento de los cuerpos moledores en un cilindro en rotación, comprende dos variedades diferentes las cuales son:

- Rotación de los cuerpos moledores alrededor de su propio eje situados paralelamente al eje del molino.
- Cascada: movimiento de rodadura sobre la superficie de la carga y/o catarata, caída libre parabólica de los cuerpos moledores sobre la carga.

Cuando el molino se pone en movimiento, los cuerpos moledores ascienden por el lado que sube del tambor, hasta que la masa adquiere una posición de equilibrio dinámico, en la que los cuerpos, que están en contacto con la pared del tambor o en las capas próximas a esta, se muevan en la dirección del tambor, mientras las que se encuentran en las capas más alejadas de la pared lo realizan en sentido opuesto. El resultado es el movimiento general rotatorio de la masa alrededor de un núcleo horizontal semi estacionario, como se puede observar en la siguiente figura.

#### Figura 21

*Movimiento de la carga en un molino horizontal.*



**Fuente:** Deuman Limitada, (2011).

### 2.6.4.3 Tipos de molinos cilíndricos

- **Molinos de barras**

Se utilizan generalmente para molienda primaria. Aceptan alimentos tan grandes como 2" y producen descargas constituidas por arenas que pasan generalmente la malla 4. La molienda es producida por barras que originan frotamiento o impacto sobre el mineral. Este por su mayor tamaño en la alimentación respecto a la carga, origina que las barras ejerzan una acción de tijeras, produciendo molienda por impacto en las zonas cercanas a la entrada y por fricción en las cercanías de la descarga.

Las dimensiones de los molinos de barras deben tener una relación Longitud/ Diámetro entre 1.3 a 2.0 y nunca menor a 1.25; de este modo se evita que las barras puedan enredarse.

- **Molino de bolas**

Los molinos de bolas se caracterizan por utilizar bolas de acero forjadas o fundidas para la reducción de tamaño del mineral, que ingresa junto con un caudal de agua, generando así una pulpa para seguir con su proceso. En su interior, este genera un giro a una velocidad establecida; en su interior las bolas y el material van generando una cascada con una caída la cual genera golpe entre ellos y el revestimiento interior pulveriza el mineral.

Trabajan en circuito cerrado con un clasificador, aunque pueden igualmente operar en circuito abierto. La molienda en circuito cerrado disminuye el tiempo de residencia de las partículas en cada paso por el molino y también la proporción de material fino, comparado con molienda en circuito abierto. El tamaño de la alimentación que pueden recibir es variable y depende de la dureza del mineral. Los productos igualmente dependerán de las condiciones de operación y pueden ser tan gruesos como de malla 35 o tan finos, que se encuentran en un 100% por debajo de la malla 325 con radios de reducción de 30 o mayores. Los molinos de bolas se cargan normalmente entre el 40 al 45% de su volumen. Los principales tipos de molinos de bolas son los molinos de descarga por rebalse y molinos de descarga por parrilla. (Shanghai Zenith Company, 2010).

- **Molino chileno**

**Figura 22**

*Interior molino chileno*



**Fuente:** PRODUMIN.SA

Estos molinos son utilizados en minería artesanal y pequeña minería, debido a que procesan un tonelaje muy bajo; los molinos chilenos pueden ser de dos o más ruedas, las cuales fracturan la roca contra el piso. Están desactualizados, debido a que su reducción del material no es muy eficiente y afecta a la recuperación de los minerales.

#### **2.6.4.4 Variables operativas de los molinos**

Se denominan variables o parámetros de operación a todo lo que se puede controlar, existen muchas en molienda, las más importantes son:

- **Carga de mineral:** la alimentación de carga del mineral debe ser constante y uniforme. Normalmente los molinos trabajan con 70% a 78% de sólidos, dependiendo del peso específico del mineral. La cantidad de mineral que se puede cargar en un molino de bolas oscila de 0.45 toneladas por metro cubico de capacidad.
- **Suministro de agua:** la alimentación de agua a los molinos se controla mediante la densidad de pulpa en la descarga de este. Cuando el mineral y el agua ingresan al molino,

en su interior, forman un barro liviano que tiene tendencia de pegarse a las bolas. Por otro lado, el agua ayuda a avanzar a la carga en el interior del molino.

- **Carga de medios de molienda:** Los medios de molienda usados son las barras y las bolas. Las barras son de acero fundido y/o aleado y las bolas son de acero forjado o fundido. Es necesario que el molino siempre tenga su carga normal de medios moledores.
- **Tiempo de molienda:** la permanencia del mineral dentro del molino determina el grado de finura de las partículas liberadas. El tiempo de permanencia se regula por medio de la cantidad de agua añadida al molino. El tiempo será mayor cuando ingrese al molino menor cantidad de agua y será menor, cuando ingrese al molino mayor cantidad de agua.
- **Velocidad de operación de los molinos:** la velocidad de operación de un molino ( $V_o$ ) se especifica por un porcentaje obtenido al relacionar la velocidad angular  $N$  del molino en RPM, con la velocidad crítica del molino ( $V_c$ ); también en RPS, como se indican en las ecuaciones 1 y 2 propuestas anteriormente. La velocidad de operación ( $V_o$ ) del molino, se encuentra generalmente entre el 60% a 80% de la velocidad crítica; rango en el que produce la mayor energía cinética de la bola o barra durante el impacto.
- **Carga circulante:** el tonelaje de material grueso que retorna al molino, es definido como carga circulante. La determinación de esta en un circuito cerrado de molienda se efectúa por varios métodos:
  - En función de las densidades de pulpa.
  - En función de porcentaje de sólidos.
  - En función del análisis granulométrico de los principales productos del circuito.

#### 2.6.4.5 Descripción del molino de bolas

El molino de bolas es una herramienta eficiente para la pulverización de muchos materiales en polvo fino. Este es usado para moler o seleccionar muchos minerales y es ampliamente usado para la minería, materiales de construcción e industria química. Cuenta con dos tipos de pulverización: el proceso en vía seca y el proceso en vía húmeda. En la parte interna del molino de bolas se da el desplazamiento de las partículas bajo la presión aplicada, provocando la pulverización por fricción, mecanismo dominante en este proceso de reducción de tamaños. La capa granular comprimida



tiene una influencia amortiguadora, que reduce la efectividad de la molienda y disminuye drásticamente la velocidad de desgaste de los elementos moledores.

#### **2.6.4.6 Operación de molinos de bola**

- **Operación en circuito abierto**

La molienda en circuito abierto puede llamarse también molienda con pasada simple del material, es decir, cuando todo el material es molido hasta la finura deseada, en un solo recorrido por el molino. El molino no solo muele el material, sino que lo reduce a un tamaño determinado, descargándolo solo cuando satisfaga los requisitos del producto terminado. La cantidad de material que entra al molino debe ser igual a la que salga porque un exceso de carga produce que la molienda sea muy gruesa y el material resulte más fino de lo necesario.

- **Operación en circuito cerrado**

Con este método se incrementa el rendimiento del molino, acoplando a este un clasificador, que trabaja en un circuito cerrado con el molino. El tamaño deseado no deberá obtenerse en una sola pasada. En el clasificador, se generan dos corrientes de materiales: una fina con el tamaño adecuado para la etapa siguiente y una gruesa que regresa al molino, por no tener el tamaño requerido.

- **Operación de molienda en vía seca**

La operación de molienda en vía seca es muy resistente al flujo, debido a su fricción interna. Las cargas de bolas suben, más cuando se trabaja en seco, que cuando se trabaja en húmedo; por esta razón los molinos de bolas se trabajan a más baja velocidad periférica, en seco que en húmedo.

- **Operación de molienda en vía húmeda**

Con la molienda en vía húmeda se incrementa la eficiencia con respecto a la molienda en seco. Esta consiste en agregar agua, tanto al material que entra al molino proveniente del clasificador o de una nueva alimentación, como al material que está dentro del molino; a esta mezcla de material y agua se le llama pulpa. El agua asegura el paso rápido del material por el molino y facilita la descarga. Una pulpa apropiada es la de 67% de sólido por peso.

#### **2.6.4.7 Variables y parámetros de control**

En los procesos de trituración y molienda, existen diversas variables y parámetros que influyen en su eficiencia y rendimiento. Estos incluyen el tamaño y la dureza del mineral; la velocidad de alimentación; el tamaño de los medios de molienda; el tiempo de residencia en el molino; la carga circulante y la granulometría del producto final. El control adecuado de estas variables es crucial para optimizar el rendimiento y la eficiencia de la planta de procesamiento.

En esta zona se recibe el material extraído del interior de la mina, preparándolo para reducir su tamaño y realizar una concentración gravimétrica, para pasar a la siguiente zona de flotación. Dentro de la zona de trituración, a su vez, se pueden observar los siguientes equipos para poder realizar el proceso:

- Dos trituradoras de mandíbulas: una para trituración primaria que reduce el tamaño de lo que sale de la mina a 2 pulgadas aproximadamente, y otra para trituración secundaria que reduce de 2 pulgadas hasta 1 o  $\frac{3}{4}$  de pulgada.
- Una zaranda vibratoria: que se cambia de malla de 1 x 1 pulgada o 1  $\frac{1}{2}$  x 1  $\frac{1}{2}$  pulgada, dependiendo de la humedad, con la que se reciba el material.
- Cintas transportadoras.
- Seis molinos chilenos: cada uno procesa un promedio de 20 Ton/día. Se usa este tipo de molino por ser una pequeña minería. Ayuda a una concentración casi autónoma del oro dentro del mismo molino y además su lavado es más fácil. Este proceso se lo realiza cada mes o cada cambio de material del sector. También porque se considera que las vetas tienen un alto grado de oro libre. Estos molinos degradan el material hasta el tamaño de malla #60.
- Un molino de bola: este no se encuentra en operación al momento, pero se lo está implementando para aumentar su capacidad a futuro.
- Una tolva de gruesos con capacidad para 64 toneladas, que sirve de alimentación a la trituradora primaria.
- Una tolva de finos con capacidad para 140 Toneladas, que sirve de alimentación a los molinos.

### 2.6.5 Flotación, descripción técnica y costos, insumos, reactivos, etc.

#### Figura 23

*Celdas de flotación tipo Denver*



**Fuente:** PRODUMIN.SA

La flotación con espuma es un proceso fisicoquímico basado, en la unión selectiva de burbujas de aire, a la superficie de las partículas de carbón, en lugar de las partículas de desecho. Este proceso requiere el uso de medios adecuados para crear una superficie hidrófoba (resistente al aceite agua) y flota sobre los sólidos. Se forman burbujas en el tanque (o batería) y, a medida que suben a la superficie, se adhieren a las burbujas finas partículas de carbón recubiertas de reactivo, dejando residuos en el fondo de las células. Los residuos de carbono se eliminan de la superficie con palas y luego se deshidratan mediante filtración o centrifugación. Los desechos (o relaves) se transportan a un estanque de relaves, en donde se concentran y luego se bombean a un tanque de almacenamiento de desechos (Amstrong y Menon, 2022).

Los surfactantes se utilizan en el proceso de flotación para cambiar la humectabilidad de los minerales. En general, se pueden dividir en tres tipos: colectores, skimmers y acondicionadores. En la elección del reactivo de flotación, se considera el comportamiento superficial de los minerales involucrados en la suspensión de la curva de potencial zeta, correspondiente a comportamiento de la carga superficial, bajo diferentes condiciones de pH (Bustamante, 2008).

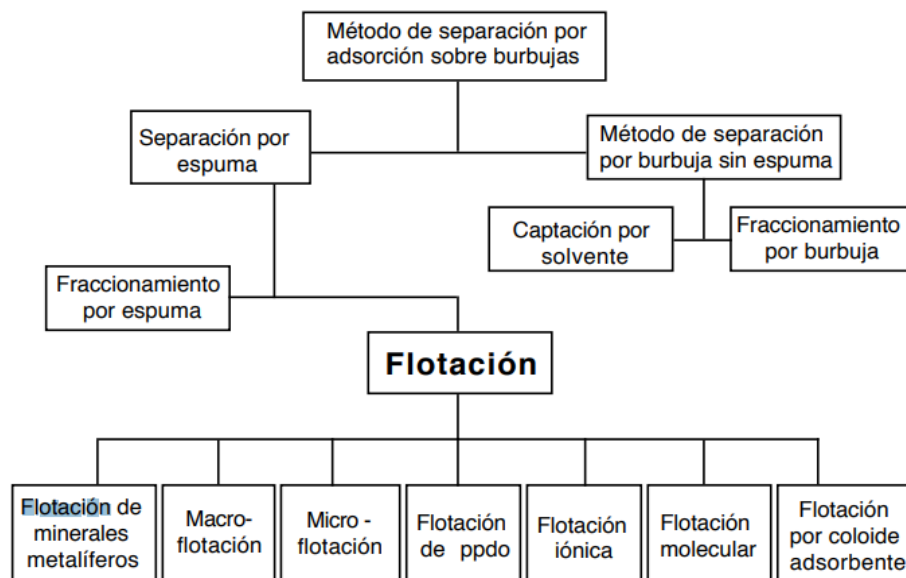
Según Salger y Forgiarini (2007) la clasificación de los métodos de separación por adsorción de burbujas se muestra en la figura, de los cuales la flotación es un método muy aplicable, que incluye

varias subsecciones, especialmente la flotación de minerales que es un tema muy candente especializado. Sobre los tipos de flotación tenemos:

- La macro flotación se refiere a la extracción de partículas macroscópicas, mientras que la micro flotación se refiere a la extracción de partículas finas, especialmente microorganismos y coloides. Durante la flotación de sedimentos, el sedimento se extrae en presencia de un precipitante, que no es un tensioactivo.
- La flotación de iones separa los iones libres en la superficie utilizando surfactantes, que forman un producto insoluble, que se adsorbe en una superficie, de la que se puede quitar la espuma.
- La flotación molecular elimina moléculas sin actividad superficial, utilizando tensioactivos que forman un precipitado con las primeras.
- La flotación coloidal por adsorción es la separación de solutos que primero se adsorben en partículas coloidales utilizando un transportador. Esta liberación de gases disueltos se utiliza en el tratamiento de aguas residuales, para hacer flotar partículas sólidas adheridas a burbujas.

**Figura 24**

*Flotación entre los métodos afines de separación*



**Fuente:** (Salger y Forgiarini, 2007)

## 2.7 Costos anuales de los insumos y reactivos utilizados en la planta PRODUMIN S.A

**Tabla 5**

*Costos anuales de los insumos y reactivos*

<b>Reactivos</b>	<b>Total gastos anual (\$)</b>
Ácido Nítrico	10609.2
Bisulfito de sodio	768
Cal P - 24	30
Ditioosfato de sodio	534
Espumante ER- 370	12945.6
Floculante	267.84
MT-4320	1211.4
Silicato de sodio	599.76
Sulfuro de sodio	180
Xantato amilico de potasio (Z- 6)	26676
<b>Total general</b>	<b>53821.8</b>

**Tabla 6**

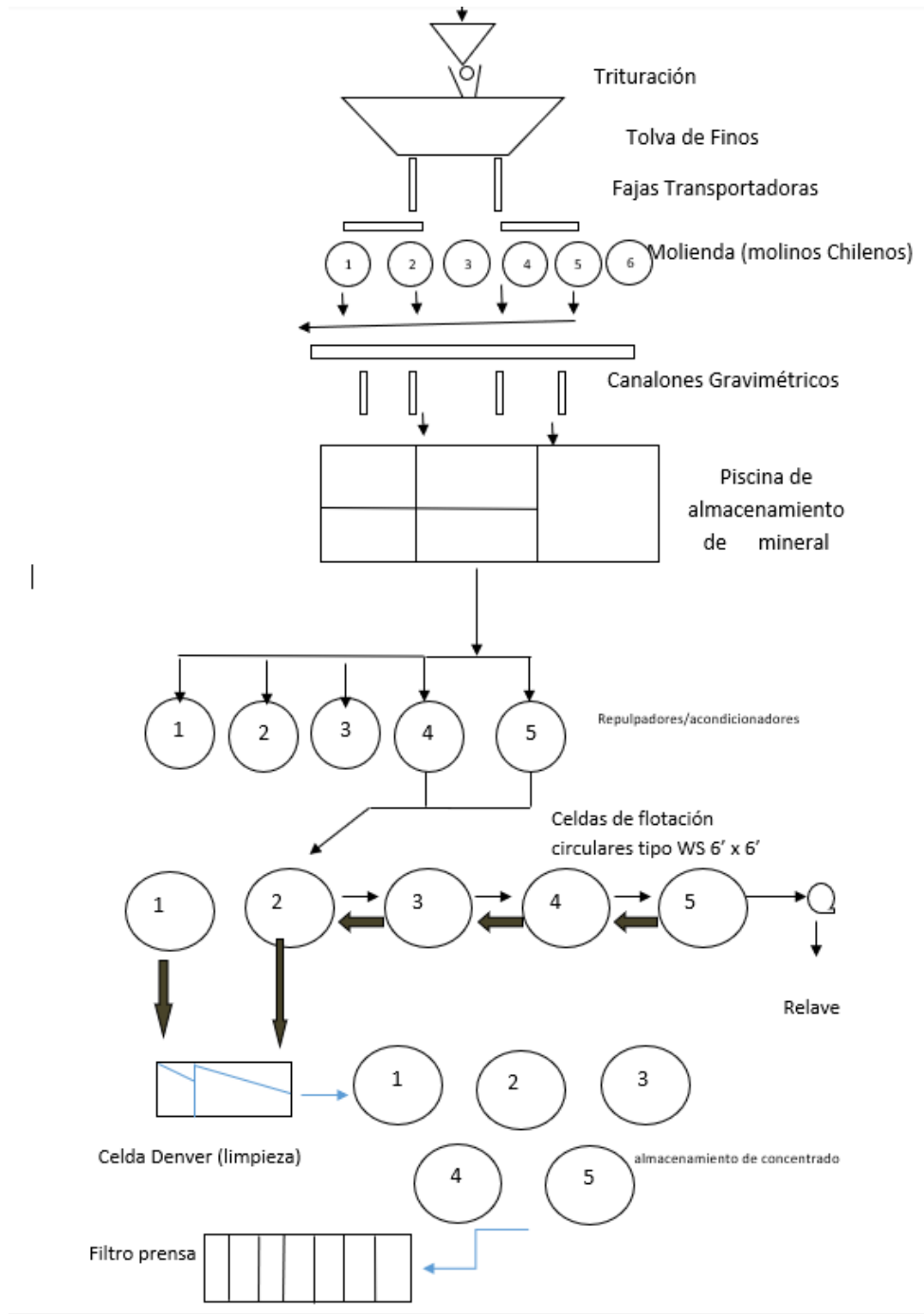
*Costos de proceso de flotación*

<b>Costo proceso de flotación</b>	
Insumos (\$)	161108.32
Reactivos (\$)	53821.8
<b>Costo total (\$)</b>	<b>214930.12</b>

2.8 Flujograma de trabajo de la planta

Figura 25

Flujograma



Fuente: PRODUMIN.SA

## CAPÍTULO 3

### 3. COSTOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

#### 3.1 Determinación de costo actual de la tonelada de concentrado

Para determinar el costo actual de tonelada de concentrado en la Planta de Tratamiento de la Empresa PRODUMIN S.A., se consideraron los siguientes costos:

##### 3.1.1 Energía eléctrica al año

Para el cálculo del valor de consumo de energía eléctrica en planta, se tomó en cuenta la información proporcionada por la empresa, al valor total de la planilla de consumo eléctrico y también como consumo de trituración y chancado.

**Tabla 7**

*Consumo de energía*

Descripción	Monto
Consumo de energía en planta	\$ 180,000.00

##### 3.1.2 Costos personal planta al año

La información de costos de personal planta fue proporcionada por la empresa PRODUMIN S.A.

**Tabla 8**

*Costo personal de planta*

Descripción	Monto anual
Salarios personal de planta	\$ 218.807,85
Alimentación de personal	\$41.580,00
<b>Total</b>	<b>\$260.387,85</b>

##### 3.1.3 Costos mantenimiento planta al año

La información de costos de mantenimiento planta fue proporcionada por la empresa PRODUMIN S.A.

**Tabla 9***Costos de mantenimiento*

<b>Descripción</b>	<b>Monto anual</b>
Sueldos personal de mantenimiento	\$107.400,00
Insumos de mantenimiento	\$167.533,59
Alimentación personal mantenimiento	\$17.820,00
<b>Total</b>	<b>\$292.753,59</b>

**3.1.4 Costos tratamiento de aguas/ gestión de relaves al año**

La información de costos de ambiente y gestión de relaves fue proporcionada por la empresa PRODUMIN S.A.

**Tabla 10***Costos de tratamiento de aguas/gestión de relaves*

<b>Descripción</b>	<b>Monto</b>
Ampliación de piscina de relaves 2	\$206,399.99
Cierre de piscina de relaves antigua	\$15,000.00
Remodelación de estaciones de reciclaje en campamento y relavera	\$5,200.00
Ampliación de planta potabilizadora de agua	\$10,950.00
Ampliación de planta de tratamiento de aguas residuales	\$44,800.00
Entrega de desechos peligrosos a gestor	\$3,000.00
Potabilización de agua	\$23,178.96
Monitoreos de agua potable	\$4,000.00
Monitoreos de aguas residuales de relavera	\$1,000.00
Adquisición de equipo multiparámetro	\$1,500.00
Monitoreo de ruido	\$1,500.00
Monitoreo de material particulado	\$500.00
Tratamiento de aguas residuales de relavera	\$33,264.00



Compra de resina catiónica para ablandador de ptari	\$5,000.00
Mantenimiento de cisterna de refinación	\$1,000.00
Construcción de torre para precipitación de gases de refinación	\$13,500.00
Arreglo de piscinas de fitorremediación	\$2,700.00
Limpieza y extracción de lodos de pozo séptico 2	\$2,500.00
Insumos a bodega	\$50,400.00
<b>Costo total tratamiento de aguas / gestión de relaves</b>	<b>\$425,392.95</b>

### 3.1.5 Costos de laboratorio al año

La información de costos de laboratorio fue proporcionada por la empresa PRODUMIN S.A.

**Tabla 11**

*Costos de laboratorio*

<b>Descripción</b>	<b>Monto</b>
Insumo de laboratorio	\$14.889,68
Salario laboratoristas	\$19.923,16
<b>Costo total laboratorio</b>	<b>\$34.812,84</b>

### 3.1.6 Costos de insumos de flotación al año

La información de costos de insumos de flotación fue proporcionada por la empresa PRODUMIN S.A.

**Tabla 12**

*Costos de flotación*

<b>Descripción</b>	<b>Monto</b>
Insumos de flotación	\$ 214.930,12

**Tabla 13**

*Costo de tonelada procesada en planta*

<b>Descripción</b>	<b>Monto</b>
Total Anual	\$1.408.277,34

*Nota.* La planta tiene una capacidad 2500ton al mes, pero nuestra producción proveniente de mina es de 4000ton al mes

**Tabla 14**

*Costo Tonelaje*

<b>Descripción</b>	<b>Monto</b>
Costo anual	\$1.408.277,34
Tonelaje mes	2500
Costo de operación	\$ 46,94

*Nota.* Las 1500ton que no se procesan en la planta tiene un costo más elevado el cual se detallara a continuación.

**Tabla 15**

*Costos de material que no entra a planta*

<b>Descripción</b>	<b>Monto</b>
Costo de transporte/volquetada	\$300,00
Costo de transporte/ton	\$15,00
Total mensual transporte	\$22.500,00
Costo de procesamiento en otra planta	\$38,00
Costo total de proceso de material mensual	\$ 57.000,00
Costo total anual	\$ 954.000,00
Ton procesadas al mes que no entra a planta	1500
Costo de ton procesada en otra planta/mes	\$79.500,00
<b>Costo por ton en otra planta</b>	<b>\$53,00</b>

### 3.2 Análisis de la proyección del costo de la tonelada del concentrado si se ampliase la productividad de la planta

Se analizó el costo de tonelada procesada mediante una proyección de costos, implementando un molino de bolas de 180ton/día para alcanzar a procesar toda la producción proveniente de interior mina.

#### 3.2.1 Costos molino de bolas 6'x 8'

**Tabla 16**

*Costo de energía*

		<b>Costo Unitario</b>	<b>Cantidad Total</b>	<b>Costo Total</b>
		<b>\$</b>	<b>mensual</b>	<b>\$</b>
<b>Energía</b>	Trituración	\$10,01	720,00	\$7.207,20
	Molienda	\$12,87	720,00	\$9.266,40
	Flotación	\$5,72	720,00	\$4.118,40
				<b>\$ 20.592,00</b>

**Tabla 17**

*Costo personal de planta*

		<b>Costo Unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Total</b>
		<b>\$</b>	<b>Total</b>	<b>\$</b>
<b>Personal</b>	Ing. Jefe de Área	\$4.500,00	1,00	\$4.500,00
	Ing. Asistente	\$3.790,00	1,00	\$3.790,00
	Flotadores	\$1.040,00	11,00	\$11.440,00
	Ayudantes	\$950,00	4,00	\$3.800,00
	Filtroprensa	\$825,00	4,00	\$3.300,00
	Alimentación	\$7,50	21,00	\$157,50
				<b>\$ 26.987,50</b>

**Tabla 18***Costos de laboratorio*

		<b>Costo unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo total</b>
		<b>\$</b>	<b>total</b>	<b>\$</b>
	Ing. jefe de área	\$1.800,00	1,00	\$1.800,00
	Ing. asistente	\$ 800,00	1,00	\$ 800,00
<b>Laboratorio</b>	Análisis muestras banco n°1	\$16,84	25,00	\$421,00
	Análisis muestras banco n°2	\$16,84	25,00	\$421,00
	Análisis muestras acond.	\$16,84	5,00	\$84,20
				<b>\$3.526,20</b>

**Tabla 19***Costos de insumos y repuestos*

		<b>Costo unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo total</b>
		<b>\$</b>	<b>total</b>	<b>\$</b>
	Reporte bodega general	\$19.800,00	1,00	\$ 19.800,00
<b>Insumos y repuestos</b>	Reactivos de flotación	\$202,13	30,00	\$ 6.064,02
	Consumo de acero	\$1,50	4.000,00	\$ 6.000,00
				<b>\$31.864,02</b>

**Tabla 20***Costos de mantenimiento*

		<b>Costo unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo total</b>
		<b>\$</b>	<b>total</b>	<b>\$</b>
<b>Mantenimiento</b>	Ing. Jefe de área	\$1.850,00	1,00	\$1.850,00
	Ing. Asistente	\$1.385,00	1,00	\$1.385,00

	Mecánicos	\$950,00	8,00	\$ 7.600,00
	Equipos	\$2,20	4.000,00	\$8.800,00
	Iluminación	\$0,70	4.000,00	\$2.800,00
	Estructura	\$2,00	4.000,00	\$8.000,00
				<b>\$30.435,00</b>

**Tabla 21***Costos tratamiento de relaveras*

		<b>Costo unitario</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo total</b>
		<b>\$</b>	<b>total</b>	<b>\$</b>
<b>Tratamiento de h2o</b>	Ing. Jefe de área	\$2.400,83	1,00	\$2.400,83
	Ing. Asistente	\$1.537,91	1,00	\$1.537,91
	Operadores	\$1.120,83	5,00	\$5.604,15
	Agua potable	\$1,11	12.960,00	\$14.385,60
	Agua residual	\$ 0,27	194,40	\$52,49
<b>Relavera</b>	Almacenamiento de relaves	\$1,00	4.000,00	\$4.000,00
				<b>\$27.980,98</b>

**Tabla 22***Inversión*

		<b>Equipos</b>	<b>Costo unitario</b>
			<b>\$</b>
		Molino de bolas	\$120.000,00
		Trituradora cónica	\$170.000,00
<b>Inversión</b>		Banco de celdas	\$18.000,00
		Celdas serrano	\$12.000,00
		Celdas serrano	\$12.000,00
		Icon	\$25.000,00

Total	\$357.000,00
Intereses 5 años al 8%	\$142.800,00
Mensual 5 años	\$ 8.330,00

### 3.2.2 Costo de tonelada procesada

La capacidad del molino es de 180ton al día y nuestra producción es de 4000ton al mes. Por lo tanto, nuestra producción de planta cumpliría con el proceso de todo el material proveniente de mina.

La suma de los valores anteriores mencionados da un total de \$149.558

#### **Tabla 23**

*Suma de los valores*

<b>Descripción</b>	<b>Monto</b>
Costo sin inversión	\$141.228,20
Costo por inversión (5 años)	\$149.558,20
Tonelaje mes	4.000,00
Costo operación tonelada	\$37,39
Costo operación tonelada desde 5 años	\$35,31

## CAPITULO 4

### 4.1 Interpretación de resultados

Los resultados obtenidos en este análisis han sido gracias a la colaboración de la empresa, aportando con los datos necesarios para hacer posible el proyecto.

Este proyecto de investigación se realizó por los problemas que tiene la empresa, ya que el volumen de producción de interior mina, es mayor a la capacidad de procesamiento de la planta. Debido a esta problemática se procedió a realizar un análisis financiero del costo de procesamiento actual, recopilando datos semana a semana, para contabilizar los gastos de todo un año y así, poder analizar valores reales y determinar nuestro costo de tonelada procesada.

La mina produce 4000ton al mes y la capacidad de la planta es de 2500ton. Debido a este problema, 1500ton son llevadas a otra planta fuera de la empresa, elevando en consecuencia el costo de procesamiento de ese exceso a \$53,00.

Se ha determinado que la implementación de un molino de bolas con una capacidad de molienda de 180ton al día, cubre con toda la producción que sale de la mina; evitando así que 1500ton de exceso, salgan de la empresa y generen gastos más elevados.

El costo actual de ton procesada es de \$46,94 y el costo proyectado es de \$37,39 en los primeros 5 años. Se tiene una mejoría de nuestra rentabilidad del 20%, aproximadamente, ahorrando \$9,55 por tonelada.

En la siguiente tabla, podemos observar la diferencia de los valores a ser considerador y podemos distinguir que los costos de producción con los molinos de bolas son un poco más elevados; sin embargo, la capacidad de procesamiento aumenta significativamente generando ahorros y mejoras técnica muy importante.

**Tabla 24***Diferencia de costos con inversión*

	<b>Molinos chilenos</b>	<b>Molino de bolas</b>
Personal de planta	\$260.387,85	\$321.960,00
Mantenimiento	\$292.753,59	\$365.220,00
Energía eléctrica	\$180.000,00	\$247.104,00
Tratamiento de aguas y relavera	\$425.392,95	\$335.771,74
Laboratorio	\$34.812,84	\$42.314,49
Insumos y reactivos	\$214.930,12	\$382.368,24
Inversión + intereses	\$0,00	\$99.960,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$1.408.277,35</b>	<b>\$1.794.698,47</b>
TONELAJE MENSUAL	2500	4000
TONELAJE ANUAL	30000	48000
Costo ton procesada	\$46,94	\$37,39
Ahorro por tonelada		\$9,55
Aumento de rentabilidad		20%
Ahorro anual		\$458.545,29

*Nota.* Después de los 5 años, el costo ton procesada baja de \$37,39 a \$35,31, lo que genera una rentabilidad del 25%, con un ahorro de \$11.63. Esto podría generarnos un ahorro de \$558.505,29 anual. La diferencia de valores la podemos observar en la tabla 25



**Tabla 25***Diferencia de costos después de 5 años pagando toda la inversión*

	<b>Molinos chilenos</b>	<b>Molino de bolas</b>
Personal de planta	\$260.387,85	\$321.960,00
Mantenimiento	\$292.753,59	\$365.220,00
Energía eléctrica	\$180.000,00	\$247.104,00
Tratamiento de aguas y relavera	\$425.392,95	\$335.771,74
Laboratorio	\$34.812,84	\$42.314,49
Insumos y reactivos	\$214.930,12	\$382.368,24
<b>TOTAL</b>	<b>\$1.408.277,35</b>	<b>\$1.694.738,47</b>
Tonelaje mensual	2500	4000
Tonelaje anual	30000	48000
Costo ton procesada	\$46,94	\$35,31
Ahorro por tonelada		\$11,64
Aumento de rentabilidad		25%
Ahorro anual		\$558.505,29

*Nota.* Esta inversión en equipos para una ampliación de la planta sería factible, ya que sus mejoras benefician técnica y económicamente a la empresa.

Los beneficios de operar con un molino de bolas son varios, no solo porque baja el costo de producción. La capacidad de procesamiento sube y se puede procesar toda la producción proveniente de interior de la mina. Esto ayuda a una mayor recuperación de mineral, obteniendo un mejor concentrado y relaves, con valores muy bajos de mineral. Esto genera mayor rentabilidad y utilidad a la empresa. La implementación de este molino y de equipos de recuperación gravimétrica, superan la efectividad de procesamiento del circuito actual.

La experiencia de nuevos técnicos que ha contratado la empresa ha llevado a tomar decisiones muy importantes, para mejorar técnicamente el proceso de recuperación con estas ampliaciones y nuevos equipos. Por tanto, este análisis se ha planteado con el fin de darle una solución técnica y

económica a una problemática que ha afectado a la empresa económicamente durante algunos años.

Siempre es importante realizar análisis financieros de los procesos para poder optimizarlos o hacer mejoras importantes para generar una mayor rentabilidad a la empresa. Es importante hacerlos periódicamente, ya que así se puede determinar las debilidades y así, realizar cambios a tiempo y no tener problemas económicos, que pueden llevar a la quiebra, si no se los gestiona de la manera correcta.

## CONCLUSIONES

Esta tesis se realizó con el objetivo de conocer el costo de ton procesada en la planta de la empresa PRODUMIN S.A, ya que la empresa tiene problemas financieros y busca dar soluciones técnicas para mejorar la rentabilidad.

Los resultados de este trabajo realizado podemos concluir lo siguiente:

Se realizó un análisis exhaustivo económico y técnico y, se determinó que el costo de procesamiento es elevado y, en algunos casos, ineficiente técnicamente hablando; ya que los molinos chilenos con los que se trabaja, son tecnologías antiguas que no tienen un porcentaje elevado de producción. La introducción de los molinos de bolas en el mercado ecuatoriano ha permitido a los mineros mejorar sus procesos de molienda y recuperación de mineral, haciendo rentable muchos proyectos mineros que antes no eran lucrativos por la baja recuperación mineral.

Con esta tesis se ha demostrado que los costos de ton procesada, con la ampliación de la planta de procesamiento de la compañía, disminuyen mejorando la rentabilidad y la recuperación del mineral.

Esta investigación nos permite actualizar los procesos con nuevas tecnologías que dan resultados positivos y demuestran que periódicamente, se deben realizar análisis de costos e integrar la economía de la empresa una mejor tecnología.

Cabe recalcar, que los molinos chilenos son equipos antiguos que, en la actualidad, están siendo desplazados y la mayoría de empresas, debería reemplazar por molinos de bolas, para obtener mejores resultados en su producción y recuperación de minerales.

## RECOMENDACIONES

Con la finalización de esta tesis, se recomienda lo siguiente:

- Es recomendable hacer actualización de costos periódicamente; ya que el mercado es cambiante y siempre habrá mejores productos y equipos o pueden variar precios de insumos. Esto puede generar ahorros significativos para la rentabilidad de la empresa.
- Asimismo, se recomienda subir producción de mina para aprovechar la capacidad máxima de molienda del molino de bolas. Esto generaría un costo más bajo de producción y mayor rentabilidad.
- Hacer mejoras en equipos, ya que en la industria minera la tecnología mejora permanentemente en sus procesos.
- Realizar análisis técnicos periódicamente del proceso de recuperación mineral, para optimizar la eficiencia de equipos y procesos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adams, M. D. (2016). *"Gold Ore Processing: Project Development and Operations"*. Elsevier Science.
- Aguilar, B. (2021). *Aplicación de pre-aireación en lixiviación con cianuro de sodio en el mineral de interés de la mina Cristhian David, Pasaje-El Oro*. Universidad del Azuay. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/10715/1/16262.pdf>
- Armstrong, J., & Menon, R. (2022). Minería y explotación de canteras. En *Industrias Basadas en Recursos Naturales*. <https://www.iloencyclopaedia.org/es/part-xi-36283/mining-and-quarrying>
- Aquilla, F., López, M., Tonón, L. (2022). *Contabilidad minera , aplicación a la pequeña minería del Ecuador*. Casa Editora Universidad del Azuay. [https://www.researchgate.net/publication/362168323\\_Contabilidad\\_Minera\\_Aplicacion\\_a\\_la\\_pequena\\_mineria\\_del\\_Ecuador](https://www.researchgate.net/publication/362168323_Contabilidad_Minera_Aplicacion_a_la_pequena_mineria_del_Ecuador)
- Aza, D., y Camargo, I. (2015). *Elaboración de un manual de operaciones mineras y trituración Hazemag Mina Belencito, Municipio de Nobsa, Departamento de Boyacá*. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/001/1532/1/TGT-270.pdf>
- Bardahl. (2020). *Breve Historia de la Minería y sus Máquinas*. Bardal Industrias. <https://www.bardahlindustria.com/breve-historia-de-la-mineria-y-sus-maquinas/>
- Banco Central del Ecuador (2019). *La minería* Cartilla Informativa.ecuatoriana. <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/cartilla00.pdf>
- Banco Central del Ecuador. (s.f.). *Sector minero*. Cartilla informativa. <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/cartilla00.pdf>
- Bravo, A. (2003). *Manual de Molienda y Clasificación*. (99+) Manual molienda y clasificacion minerales | Jairo Alvarez - Academia.edu

- Bustamante, O., Gaviria, A., y Restrepo, O. (2008). *Concentración de minerales*. Universidad Nacional de Colombia. file:///C:/Users/USER/Downloads/CONCENTRACIONminerales.pdf
- Cadavid Velez, C., y Gómez Velasquez, L. (1983). *Diseño de un molino de bolas*. Universidad Nacional de Colombia . Medellín.
- Calvo, J. (2004). *Planta Concentradora Manual de Flotación*. Casapalca: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Carrión Gonza, G. A. (2010). Estudio mineralógico para la determinación de oro refractario en los distritos mineros de Portovelo, Bella Rica y San Gerardo [Tesis de Pregrado]. Universidad Técnica Particular de Loja.
- Chaparro, E. (2004). La pequeña minería y los nuevos desafíos de la gestión pública. <https://hdl.handle.net/11362/6436>
- Chávez, A. (2011). *Aplicaciones de molienda fina*. Repositorio Institucional IUE.
- Cañadas, L. (1983). El Mapa Bioclimático y Ecológico del Ecuador El Mapa Bioclimático y Ecológico del Ecuador - Sección Nacional del Ecuador del I.P.G.H. ([ipgh.gob.ec](http://ipgh.gob.ec))
- Codelco Educa Chile. (2018). Minería del futuro: Codelco Educa. [https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/artic/20190109/asocfile/20190109004934/chancado\\_media\\_tecnico\\_060119.pdf](https://www.codelcoeduca.cl/codelcoeduca/site/artic/20190109/asocfile/20190109004934/chancado_media_tecnico_060119.pdf)
- CurioSfera. (2020). Historia de la minería; origen y evolución. CurioSfera. de <https://curiosfera-historia.com/historia-de-la-mineria/>
- Domínguez, L. (2010). *Propuesta de implementación de un sistema de costos para la empresa minera Bira Bines Raices SA ubicada en la ciudad de Zaruma*. Universidad Tecnológica Equinoccial. [http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/18785/1/71186\\_1.pdf](http://repositorio.ute.edu.ec/bitstream/123456789/18785/1/71186_1.pdf)
- El Comercio. (04 de Julio de 2019). Ecuador reconoce que vive ‘boom minero’ y promete proteger el medioambiente. *Ecuador reconoce que vive ‘boom minero’ y promete proteger el medioambiente*, párr. 3.

- Espinoza, E. F. (2018). *Determinación de ley de oro de la relavera de la empresa "Produmin S.A."*. Facultad de Ciencia y Tecnología. Universidad del Azuay de <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/8596/1/14263.pdf>
- Estupiñan, R., Romero, P., García, M., Garcés, D., y Valverde, P. (2021). La minería en Ecuador. Pasado, presente y futuro. *Igme*, 132 (4) 533-549. doi:DOI: 10.21701/bolgeomin.132.4.010
- Herrera, J. (2020). *Introducción a la Minería Subterránea. Vol. IV: Métodos de explotación de interior*. Universidad Politécnica de Madrid. [https://oa.upm.es/62726/1/METODOS\\_MINERIA\\_INTERIOR\\_LM1B4T4R0-20200406.pdf](https://oa.upm.es/62726/1/METODOS_MINERIA_INTERIOR_LM1B4T4R0-20200406.pdf)
- Hustrulid, W. A., & Bullock, R. L. (2001). *Underground Mining Methods: Engineering Fundamentals and International Case Studies. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration*. [https://www.researchgate.net/publication/49184337\\_Underground\\_Mining\\_Methods-Engineering\\_Fundamentals\\_and\\_International\\_Case\\_Studies?t](https://www.researchgate.net/publication/49184337_Underground_Mining_Methods-Engineering_Fundamentals_and_International_Case_Studies?t)
- Kuschick, I., y Parejo, R. (2019). El Pasado. *Bizkaia*. [https://www.bizkaia.eus/fitxategiak/04/ondarea/Kobie/PDF/6/etnografia\\_zona\\_minera\\_kobie\\_10\\_CAP%C3%8DTULO%20I%20EL%20PASADO.pdf?hash=38a1d6e5183bc05dd18ee2b2dabc588e](https://www.bizkaia.eus/fitxategiak/04/ondarea/Kobie/PDF/6/etnografia_zona_minera_kobie_10_CAP%C3%8DTULO%20I%20EL%20PASADO.pdf?hash=38a1d6e5183bc05dd18ee2b2dabc588e)
- Lalangui, M., Eras, R. d., y Burgos, J. (2018). *Costos de producción: estimación y proyección de ingresos*. Utmach. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/14419/1/Cap.6%20Estimaci%C3%B3n%20de%20los%20costos%20de%20explotaci%C3%B3n%20minera.pdf>
- Londoño, J., Mojica, J., Molano, J., y Cañon, Y. (2010). *Técnicas mineralógicas, químicas y metalúrgicas para la caracterización de menas auríferas*. Colombia: Ingeominas. <https://www2.sgc.gov.co/Publicaciones/Cientificas/NoSeriadas/Documents/Tecnicas-mineralogicas-quimicas-metalurgicas.PDF>
- Menco Padilla, D. A., & Valencia Pino, J. F. (2011). *Biblioteca Digital*. [http://bibliotecadigital.iue.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12717/427/1/iue\\_rep\\_pre\\_ele\\_menco\\_2011\\_molienda.pdf](http://bibliotecadigital.iue.edu.co/jspui/bitstream/20.500.12717/427/1/iue_rep_pre_ele_menco_2011_molienda.pdf)
- Minem, M. (2008). *Plan Nacional de Desarrollo Mineo*. Quito: Gobierno Constitucional de la República de Ecuador. <https://historico.mineria.gob.ec/plan-nacional-de-desarrollo-del-sector-minero/>

- Molina, J. M., Coronado, C. I., y Rivera, G. V. (2008). Aproximación al impacto económico local de la minería . *Boletín de ciencias de la tierra*, (24), 19-27. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169516254003>
- Payta, D. J. (2019). Tipos de celdas de flotación. LinkedIn <https://www.scribd.com/document/434081005/TIPOS-DE-CELDAS-DE-FLOTACION-docx>
- Rea, A. (2017). Política minera y sostenibilidad ambiental en Ecuador. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, 4 (2)41-52. <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/RevFIG/article/view/68/48>
- Rojas, D. (2021). *Precios unitarios en la explotación aurífera subterránea de pequeña minería en el distrito Camilo Ponce Enríquez*. Universidad del Azuay. <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/11144>
- Ruiz, A. (2020). *Economía Minera*. Universidad Nacional de Ancashas. <https://es.slideshare.net/herbertjhordic/economiaminera-unsaac-ing-alarcon>:
- Salger, J., y Forgiarini, A. (2007). *Fundamentos de la Flotación*. Cuaderno FIRP S335-A. <https://es.firp-ula.org/wp-content/uploads/2019/06/S335A.Flotation.pdf>
- Sandoval, F. (2001). *La Pequeña Minería en el Ecuador*. MMSD. <https://www.iiied.org/sites/default/files/pdfs/migrate/G00721.pdf>
- Servicio Geológico Mexicano. (2017). *Beneficio y transformación de minerales*. Servicio Geológico Mexicano [https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones\\_geologicas/Beneficio-y-transformacion--minerales.html](https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Aplicaciones_geologicas/Beneficio-y-transformacion--minerales.html)
- Singhal, R. k., Adhikari, B., y Czaplicki, J. M. (2014). *La planificación en la minería subterránea es crucial para garantizar una operación* . CRC Press.
- UNMS. (2009). Minería. <http://biblioteca.unmsm.edu.pe/redlieds/proyecto/publicacioneselectro/monografias/mineria.pdf>
- Vásconez, M., y Torres, L. (2018). Minería en el Ecuador: sostenibilidad y licitud. *Estudios del Desarrollo Social: Cuba y América Latina*, 6 (2) 83-103. <http://scielo.sld.cu/pdf/reds/v6n2/reds06218.pdf>



Zúñiga, B. (2012). *Costos y beneficios de a pequeña minería: un estudio de caso en la mina "El corazón"*. Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales sede Ecuador. <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/9174/2/TFLACSO-2012BFZT.pdf>

Zuñiga, B. F. (2015). *Costos y beneficos de la pequeña minetria: Un casode la mina "El corazon"*. Flacso.<https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/9174/2/TFLACSO-2012BFZT.pdf>