

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Evaluación de una Planta de tratamiento de Portovelo, mediante el uso
del simulador matemático MODSIM

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previo la obtención del Título de:

**Magíster en Minas Mención Mineralurgia y Metalurgia
Extractiva**

Presentado por:

Jessica Karina Espinoza Maldonado

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año 2021

DEDICATORIA

El presente proyecto lo dedico a Dios,
por ser mi guía y fortaleza en cada
momento

A mis padres por el apoyo incondicional
que siempre me han brindado

A mi esposo e hijos que siempre han
estado a mi lado, siendo el pilar
fundamental de mi vida.

A mis hermanos por sus consejos y
cariño.

Mis suegros y cuñada que han sido mi
soporte y una gran bendición

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento al tutor Dr. Juan María Menéndez Aguado, por sus consejos impartidos y por ser un guía para el desarrollo del presente proyecto.

A la Dra. Nadia Rosenda Muñoz Agila y Mgs. Nathalie Paulette Muñoz Agila, por compartir sus conocimientos de manera paciente y estar pendientes para que el presente proyecto se desarrolle de la mejor manera.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Jessica Karina Espinoza Maldonado* y doy mi consentimiento para que la ESPOLE realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

Jessica Espinoza

EVALUADORES

.....
Dr. Juan María Menéndez A.

PROFESOR TUTOR

.....
Dra. Dulce Gómez Limón

PROFESOR EVALUADOR

RESUMEN

Ecuador es un país geodiverso, rico en recursos minerales; es por ello que cuenta, en la actualidad, con diferentes distritos considerados como mineros; Portovelo es uno de ellos, donde no solo existen explotaciones mineras, sino alrededor de 90 plantas de beneficio; estas actividades generan fuentes de trabajo y dinamizan la economía del sector. La gran cantidad de plantas de beneficio en esta zona, ha ocasionado que en algunos casos las mismas se construyan de forma empírica, generando inversiones y gastos innecesarios; es por ello la implementación de un software innovador y accesible como el programa MODSIM, permite simular escenarios alternativos que vayan acorde a las necesidades de la empresa.

Para la simulación de la planta de beneficio CAZADEROS 1, se consideró el diagrama de flujo de la planta actual, donde se identificó el sobredimensionamiento de la sección de molienda, específicamente en uno de los molinos. Identificado el equipo sobredimensionado, se procedió a comparar dos escenarios mediante simulación; la primera propuesta fue el uso de un molino, específicamente uno de los molinos que lo denominaremos molino grande, obteniendo resultados favorables; y la segunda simulación donde se consideraron los tiempos de molienda, disminuyendo el tiempo de molienda del molino pequeño de 60 minutos a 45 minutos, y manteniendo el tiempo de 60 minutos en el molino grande, que ayudó a minimizar los gastos energéticos del molino pequeño.

El estudio revela que el uso de un molino en el proceso, genera menores costos y mayores ganancias, manteniendo los mismos valores que requiere la empresa.

Palabras Clave: MODSIM, Plantas de beneficio, Metalurgia, diagrama de flujo

ABSTRACT

Ecuador in a geodiverse country, rich in mineral resources; that is why it currently has different districts considered as mining; Portovelo is one of them, where there are not only mining operations, but around 90 benefit plants, these activities generate jobs and boost the economy of the sector. The large number of benefit plants in this area has caused that in some cases they are built empirically, generating unnecessary investments and expenses; That is why the implementation of an innovative and accessible software such as the MODSIM program allows the simulation of alternative scenarios that are consistent with the needs of the company

For the simulation of the CAZADEROS 1 beneficiation plant, the actual flowsheet of the plant was considered. As a result, the oversizing of one device was identified, specifically one of the two mills. Once the oversized equipment was identified, two scenarios were compared through simulation; the first proposal was the use of a mill, specifically one of the mills that we will call a large mill, obtaining favorable results; and the second simulation where the grinding times were considered, reducing the grinding time of the small mill from 60 minutes to 45 minutes, and maintaining the time of 60 minutes in the large mill, which helped to minimize the energy costs of the small mill

The study reveals that using a mill in the process generates lower costs and higher profits, maintaining the same values that the company requires.

Keywords: MODSIM, Benefit Plants, Metallurgy, flowsheet

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	IX
CAPÍTULO 1	1
1. Introducción.....	1
1.1 Descripción del problema	2
1.2 Justificación del problema	3
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Marco teórico	4
1.4.1 Antecedentes de estudio	4
1.4.2 Trituración.....	5
1.4.3 Molienda	7
1.4.4 Concentradores por Gravimetría.....	9
1.4.5 Flotación	11

1.4.6	Cianuración	13
1.4.7	MODSIM (Modular simulator for ore dressing plants).....	13
CAPÍTULO 2.....		15
2.	Metodología.....	15
2.1	Modelo conceptual teórico.....	17
2.2	Modelo matemático	17
2.3	Análisis económico.....	18
2.4	Construcción de las diferentes simulaciones en el programa MODSIM.....	18
2.4.1	Modelo conceptual.....	19
2.4.2	Análisis de laboratorio.....	22
2.4.3	Mineralogía	23
2.5	Modelo matemático	26
2.5.1	MODSIM.....	27
2.5.2	Modelamiento de la planta actual CAZADEROS 1.....	30
2.5.3	Primer modelamiento de la planta CAZADEROS 1.....	32
2.5.4	Segundo modelamiento de la planta CAZADEROS 1.....	34
2.6	Análisis económico.....	36
2.6.1	Planta Actual	36
2.6.2	Primera simulación (1 molino).....	44
2.6.3	Segunda simulación (tiempos de molienda).....	52
CAPÍTULO 3.....		61

3.	Resultados y análisis	61
3.1	Análisis comparativo entre la simulación de la planta actual vs la primera simulación (1 molino)	61
3.2	Análisis comparativo entre la simulación de la planta actual vs la segunda simulación (cambio en tiempos de molienda del molino pequeño)	65
3.3	Análisis de costo	67
CAPÍTULO 4		70
4.	Conclusiones y Recomendaciones	70
4.1	Conclusiones.....	70
4.2	Recomendaciones.....	71

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICES

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
MODSIM	Modular simulator for ore dressing plants
ASTM	American Society for Testing and Materials
Vs	Versus
ICON	Concentrador de gravedad
%SOL	Porcentaje de sólidos

SIMBOLOGÍA

g	Gramos
t	Tonelada
Kg	Kilogramo
cm	Centímetros
m	Metros
ft o ´	Pie
in o ´´	Pulgadas
m ³	Metro cúbico
h	Hora
d	diario
% Sol	Porcentaje de sólidos
tAu	Toneladas de oro
tonne	Toneladas
Au	Oro
Ag	Plata
Cu	Cobre

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Ubicación del cantón Portovelo	1
Figura 1.2 Trituradora giratorias o cónicas (de campana y de cono)	6
Figura 1.3 Concentrador gravimétrico ICON	10
Figura 1.4 Esquema del Hidroclón	11
Figura 1.5 Imagen de una celda de flotación mecánica.....	12
Figura 1.6 Proceso de lixiviación dinámica por agitación mecánica en tanque.....	13
Figura 2.1 Metodología implementada para el desarrollo del proyecto.....	16
Figura 2.2 Diagrama de flujo de la planta CAZADEROS 1 (Planta Cazaderos 1).....	20
Figura 2.3 Minerales macroscópicos en muestras.....	24
Figura 2.4 Página principal del programa MODSIM	27
Figura 2.5 Barra de inicio	27
Figura 2.6 Edit system data.....	28
Figura 2.7 Edit unit model parameters.....	29
Figura 2.8 Imagen de la taba resumen	30
Figura 2.9 Simulación actual de la planta CAZADEROS 1	31
Figura 2.10 Primer modelamiento de la planta CAZADEROS 1	33
Figura 2.11 Segundo modelamiento de la planta CAZADEROS 1	35
Figura 3.1 Simulación de la planta actual	63
Figura 3.2 Primera simulación	64
Figura 3.3 Segunda simulación	66
Figura 3.4 Rentabilidad del proyecto	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Leyenda de diagrama de flujo de planta CAZADEROS 1	21
Tabla 2.2 Ley de cabeza de los principales procesos	23
Tabla 2.3 Tabla de mineralogía macroscópica de muestras.....	24
Tabla 2.4 Análisis Mineralógico por Difractometría de Rayos X. Muestra veta Negra	25
Tabla 2.5 Análisis Mineralógico por Difractometría de Rayos X. Muestra veta Ruth.	26
Tabla 2.6 Tabla de Granulometría.....	32
Tabla 2.7 Tabla de ley de cabeza en cada proceso	32
Tabla 2.8 Coste equipos principales.....	37
Tabla 2.9 Gastos	38
Tabla 2.10 Ingresos.....	39
Tabla 2.11 Rentabilidad	41
Tabla 2.12 Coste equipos principales.....	45
Tabla 2.13 Gastos	46
Tabla 2.14 Ingresos.....	47
Tabla 2.15 Rentabilidad primera simulación	49
Tabla 2.16 Coste equipos principales.....	53
Tabla 2.17 Gastos	54
Tabla 2.18 Ingresos.....	55
Tabla 2.19 Rentabilidad	58
Tabla 3.1 Equipos principales en la planta de beneficio CAZADEROS 1	61
Tabla 3.2 Costos de inversión	67

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

El cantón Portovelo es conocido a nivel nacional como uno de los distritos mineros más ricos en recursos minerales, también es el cantón donde mayormente se ubican la mayor cantidad de plantas de beneficio; alrededor de 90 plantas se encuentran en el sector El Pache (Tangoy, 2020), lo que da lugar a la generación de fuentes de empleo, dinamizando la economía en el cantón.



Figura 1.1 Ubicación del cantón Portovelo

Una de las plantas de beneficio ubicadas en el sector El Pache, es la Planta CAZADEROS 1, fundada en el año 2009; su principal actividad es el tratamiento del material proveniente de la explotación minera, para la obtención de los minerales de interés tales como oro, plata y cobre.

La planta de beneficio CAZADEROS 1, cuenta con equipos modernos, sin embargo, en los últimos años, los técnicos encargados de la producción de la planta, han detectado un sobredimensionamiento en los equipos, debido a que la operatividad de los mismos no se encuentra en su capacidad máxima, ocasionando un gasto energético innecesario y una baja productividad.

El proceso actualmente aplicado en la planta de beneficio CAZADEROS 1, consiste en:

1. Trituración primaria
2. Trituración secundaria
3. Molienda en circuito abierto (molino pequeño)
4. Molienda en circuito cerrado (molino grande)
5. Clasificación por gravedad (ICON e Hidrociclón)
6. Cianuración
7. Flotación
8. Carbón activado

Basándonos en el proceso antes mencionado, se puede definir el diagrama de flujo de la planta de beneficios.

Actualmente existen paquetes de softwares como MODSIM y METSIM, que permiten modelar el esquema de una planta y detectar posibles errores en el proceso.

El software MODSIM es un programa innovador y económico que proporciona información relevante para la toma de decisiones en cuanto a la producción de una planta de tratamiento. Además, uno de los beneficios de MODSIM es que permite crear diferentes escenarios de funcionabilidad, los mismo que se encuentran acordes a las necesidades de la empresa, permitiendo minimizar gastos y generar mayor rentabilidad.

1.1 Descripción del problema

La alta demanda de plantas de beneficio en el cantón Portovelo, ha ocasionado que las mismas sean construidas de forma empírica, sin tener en cuenta aspectos técnicos, que garanticen la sostenibilidad de estas y no generen gastos innecesarios.

La planta de beneficio CAZADEROS 1, se ubica en el sector El Pache, desde su creación en el año 2009 y hasta la fecha, ha venido renovando sus equipos con el objetivo de mejorar su producción. Esta planta fue construida para operar con una

producción diaria de 110 t, sin embargo, a pesar de contar con esta capacidad, se encuentra procesando 58 t/d; ocasionado que la planta no se encuentre operando en su capacidad máxima y eso genere un gasto innecesario de energía y recursos.

1.2 Justificación del problema

Considerando que la planta de beneficio CAZADEROS 1, se encuentra operando al 53% de su capacidad máxima, es importante evaluar las razones por las cuales el rendimiento no es el óptimo, ya que se genera pérdidas económicas para la empresa.

El software MODSIM, al crear simulaciones bajo diferentes escenarios, detecta posibles problemas en el esquema de la planta que afecten a la producción de la misma, estos problemas, por ejemplo, pueden ser el sobredimensionamiento en los equipos; al detectar estos errores el software simula posibles soluciones ante dichos problemas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

- Optimizar la eficiencia de la planta de beneficio ubicada en Portovelo, mediante el uso del simulador matemático (MODSIM), para el incremento en su producción.

1.3.2 Objetivos Específicos

1. Modelar la planta actual y considerar diferentes escenarios, mediante el software MODSIM, para conocer la producción de cada propuesta.
2. Comparar la producción de la planta actual con dos diferentes escenarios a planear y evaluar, identificando en cada caso las propuestas de mejora que se presenten.
3. Definir los equipos sobredimensionados en la planta actual, para proponer maquinaria acorde a las necesidades de producción requeridas por la planta en la actualidad.

4. Analizar la viabilidad económica del escenario que implique menos costos y mayor ganancia.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Antecedentes de estudio

Uno de los principales problemas a las que se encuentran expuestas las plantas de beneficio de minerales a lo largo de los años en su proceso de operación, se encuentra ligado fundamentalmente a la falta de eficiencia de los diferentes equipos y especialmente en el conjunto de la planta, y que afecta a la recuperación de minerales. El problema radica muchas veces a las decisiones incorrectas adoptadas en el momento de diseñar y dimensionar la planta sin utilizar los métodos científicos y técnicos adecuados que garanticen la sostenibilidad de las mismas. Por lo tanto, puede haber un conjunto de variables de operación que no son controladas y que, tienden a generar una gran afectación en la recuperación del mineral de interés (King, 2012).

De acuerdo con Rojas (2019) los métodos de medición para verificar la eficiencia de los equipos de molienda y chancado en las plantas han sido durante años, fuente de debate para poder modernizar y optimizar los recursos para el procesamiento de minerales. De esta manera, las nuevas necesidades del siglo XXI de modernización e innovación han llevado a dar pasos gigantes para obtener una mayor eficiencia en la optimización de la producción de minerales; donde la tecnología juega un rol importante dando un gran impulso a través del uso de softwares, siendo éstos, herramientas fundamentales que ayudan a suprimir procesos y predecir errores futuros. Los softwares, realizan análisis y procesos desde un ordenador, ahorrando tiempo y recursos.

Por tanto, en la mayoría de los casos para la recuperación de oro de un yacimiento, el mineral es triturado (utilizando maquinaria de trituración y molienda hasta el tamaño de liberación), y puede ser enriquecido por flotación de espuma

o por fuerza centrífuga (la gravedad) de concentración, en función de la mineralogía de la mena.

Otra posibilidad es que el iodo mineral alcalino puede ser combinado con una solución de cianuro de sodio, potasio o calcio, sin embargo, muchas operaciones de utilizar el cianuro de calcio ya que esto es a menudo la forma más costo efectiva para el uso industrial.

1.4.2 Trituración

El Proceso de trituración, según Ramirez (2020) constituye la reducción de material, a tamaños más pequeños, es una transformación física de la materia sin alterar su naturaleza, la misma que es de suma importancia en diversos procesos. El procedimiento se fundamenta en que la roca es sometida a fuerzas externas para reducir su tamaño, es importante recalcar que este proceso no separa minerales o componentes sino separa el material a fracciones más pequeñas(EcuRed, 2021b).

En toda operación de reducción de tamaño de los materiales va a existir un roce que puede ser notable, dependiendo del tipo de fuerza aplicada (compresión, abrasión, impacto o cizallamiento) y de la forma en que se aplica, diseño del equipo, entre el material a fragmentar y ciertas partes del equipamiento (Blanco, 2020). Existen dos tipos de trituración, según las cuales son:

- **La trituración primaria.** – Es aquella que reduce normalmente el tamaño del material de los trozos de mineral a un valor comprendido entre 8" a 6". Seguidamente a los productos obtenidos se procede a cribar en un tamiz vibrante con la finalidad de separar las partículas pequeñas de las grandes, puesto que ya son lo suficientemente finas. La trituración primaria se lleva a cabo normalmente en quebrantadoras de mandíbulas o en quebrantadoras giratorias (Hernández, et al., 2015).
- **La trituración secundaria.** – Es aquella que el tamaño de las partículas se reduce a un valor comprendido entre 3" y 2", dejándolo en condiciones de menor granulometría para pasar a las operaciones de molturación o

concentración preliminar. Las quebrantadoras utilizadas son por lo general de tipo giratorio o cónico y se diferencian de las de trituración primaria, debido a que trabajan a velocidades altas(EcuRed, 2021b).

- **La trituración terciaria.** – En esta etapa del proceso de trituración se determina la calidad del producto final. De acuerdo a Miranda (2014) las especificaciones de calidad son exactas para los productos finales, especialmente en la industria de áridos.

1.4.2.1 Tipos de trituradoras

1.4.2.1.1 Trituradora giratoria de campana o cónicas

Es aquella máquina que opera básicamente por la acción de la gravedad, donde el material fluye desde la parte superior hacia la parte inferior. Se la utiliza mayormente en la trituración primaria, secundaria y escasamente en la trituración terciaria. Se realiza la actividad entre una pieza tronco cónica (llamada nuez), que tiene un movimiento excéntrico en el interior de un espacio limitado por una pared también tronco cónica pero invertida. En los cuales el cono triturador y el anillo cónico están en el mismo sentido (Miranda, 2014b). De forma general, este tipo de trituradoras son de dos tipos: de campana y de cono.

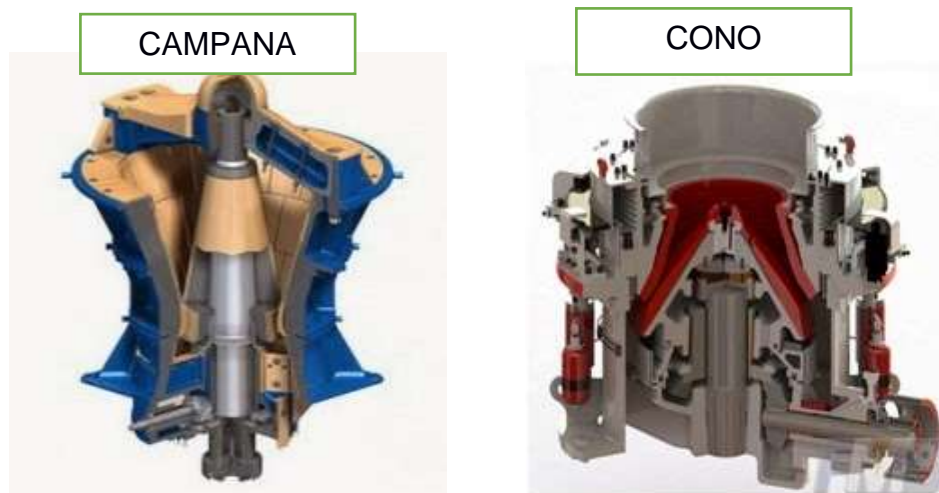


Figura 1.2 Trituradora giratorias o cónicas (de campana y de cono)

1.4.2.1.2 Trituradora de mandíbula

Esta trituradora se destina a la trituración de materiales gruesos y medios; consta de una mandíbula fija y una móvil que está articulada en su parte superior y que por oscilación sobre este eje, se puede acercar y alejar de la mandíbula fija, comprimiendo la roca entre ambas en este movimiento (Blanco, 2020).

El funcionamiento de la trituradora, se basa en que la fuerza para la compresión se comunica a la mandíbula móvil mediante el giro de un segundo eje excéntrico, con un gran volante de inercia, que mueve una biela y esta acciona dos placas o tejas entre la mandíbula móvil y un punto fijo. Para garantizar el retroceso de la mandíbula móvil y mantener unido todo el conjunto de piezas móviles existe un vástago con un muelle de presión que es comprimido al cerrarse la mandíbula y fuerza la apertura en la fase de abertura (Blanco, 2020).

Las principales características de la trituradora de mandíbula de acuerdo a QuimiNet (2011) son:

- Alto rendimiento para triturar.
- Uniformidad en la granulometría.
- Estructura sencilla.
- Fácil reparación y mantenimiento.
- Fácil de controlar y operar.
- Reducidos costos de operación.
- Puertos de alimentación y descarga ajustables.
- Tiene aplicaciones en minería, construcción, extracción entre otras.

1.4.3 Molienda

Es aquella operación unitaria de transformación física de la materia sin alterar su naturaleza, la cual es de suma importancia en diversos procesos industriales., reduciendo el volumen promedio de las partículas de una muestra sólida a un tamaño granulométrico fino (EcuRed, 2021a). El objetivo es por tanto dar al

material un tamaño de fino, casi de polvo (acondicionamiento granulométrico), y lo más importante obtener un tamaño que consiga alcanzar el tamaño de liberación de la especie mineral valiosa, y cuyo objetivo es que se encuentre por tanto bajo forma libre para posteriormente concentrar por procesos físicos (concentración gravimétrica, magnética, electrostática) físico-químicos (flotación) o químicos (hidrometalurgicos).

Según las características de la actividad productiva, se determina algunos tipos de moliendas, los equipos empleados a nivel industrial son:

1.4.3.1 Molino de bolas

Para la ejecución del trabajo dentro de la molienda se emplea molinos de diferente tipo, el más utilizado es el molino de bolas. Este tipo de molino, se ha usado por muchos años en las plantas de procesamiento de minerales metálicos y no metálicos. Este produce la reducción de tamaño de los minerales hasta un tamaño adecuado para poder efectuar el proceso de concentración (flotación, gravimétrica o magnética) y/o de lixiviación (cianuración de minerales auríferos) (911Metallurgist, 2021).

Se encuentra constituido por un recipiente cilíndrico relleno de bolas de un determinado diámetro. Después de que la muestra se ha colocado en su interior junto con las bolas, se las somete a un movimiento giratorio, por giro de los rodillos acoplados a un motor, lo que provoca que las bolas tienden a rodar y elevarse en su interior provocando la trituración de la muestra por abrasión e impacto. Este molino puede conseguir que la trituración del material, genere partículas menores de una micra, equivalente aproximada de 10-50 μm . Los materiales utilizados para los tornos son porcelana, acero inoxidable, plástico y vidrio (Hernández et al., 2015) .

1.4.4 Concentradores por Gravimetría

Antes de entrar a describir los diferentes tipos de concentradores gravimétricos, se comenzará definiendo lo que es este método. Según Zurita (2013) la concentración gravimétrica es un proceso en él se consigue la separación entre las partículas minerales basándose en la diferencia de densidad de las partículas, de manera que se consigue la separación de las densas respecto a las ligeras. Este proceso se realiza dentro de un fluido que puede ser agua o aire, en minería estos procesos de concentración gravimétrica son normalmente vía húmeda ya que la diferencia de densidad relativa entre denso y ligero es mayor que cuando el fluido es aire debido a su menor densidad. Se pueden utilizar fuerzas gravitatorias o fuerzas centrífugas en la separación lo que da lugar a diferentes equipos. La separación centrífuga permite trabajar con tamaños granulométricos menores.

A continuación, se detallará los concentradores gravimétricos que emplean la fuerza centrífuga que son los más utilizados en esta zona minera de Ecuador

1.4.4.1 *ICON*

El concentrador ICON está diseñado para capturar todos los minerales pesados como el oro, plata y otros pesados metálicos. Utiliza un campo centrífugo para concentrar muy finos, minerales libres que no son recuperables mediante las técnicas tradicionales de pequeña escala y de minería artesanal.

La tecnología se basa en el lote-tipo concentrador Falcon y fue diseñado por los mismos ingenieros de Falcón que diseñaron los concentradores de las minas más grandes del mundo.

En la operación, el material se alimenta como una mezcla de minerales y agua en un recipiente giratorio que incluye ranuras especiales fluidizadas o rifles para la captura de los pesos pesados. Periódicamente, un concentrado rico se enjuaga y requiere aún más mejoramiento para convertirse en un producto de oro final

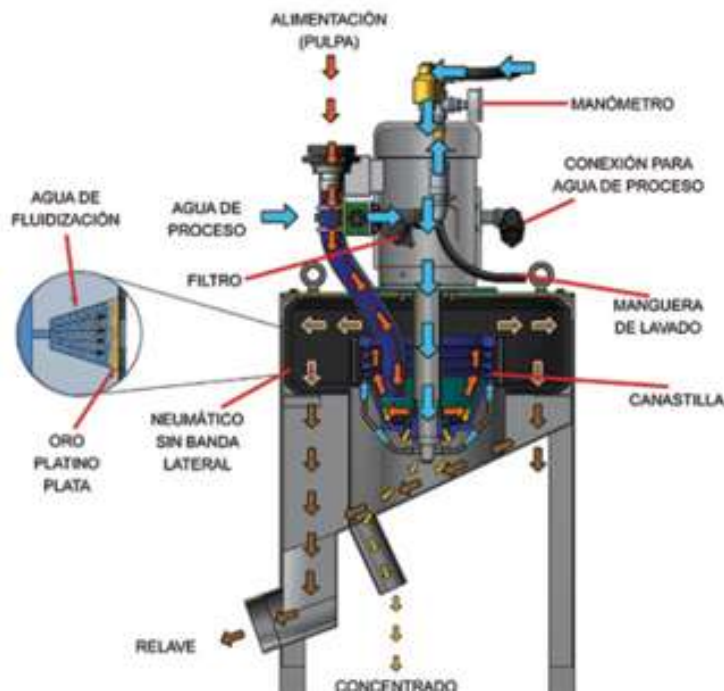


Figura 1.3 Concentrador gravimétrico ICON

1.4.4.2 HIDROCICLON

De acuerdo con Acherman (2014) el hidrociclón es un equipo que tiene como función el tratamiento de minerales (pulpa) sólido-líquido. El funcionamiento de este equipo se basa en que mediante cierta presión la pulpa entra a la parte cilíndrica, de forma que hace que los sólidos densos a través de una fuerza centrífuga giren alrededor de la pared del hidrociclón y descendan hasta que se produzca una baja de presión en donde las partículas más livianas o ligeras fluyen hacia arriba.

Así mismo Doroteo (2010) argumenta que el hidrociclón (Figura 1.4) es un cilindro vertical el cual opera mediante suspensiones de sólidos con agua que funciona a una velocidad y presión alta ya que utiliza fuerza centrífuga para acelerar la precipitación de las partículas.

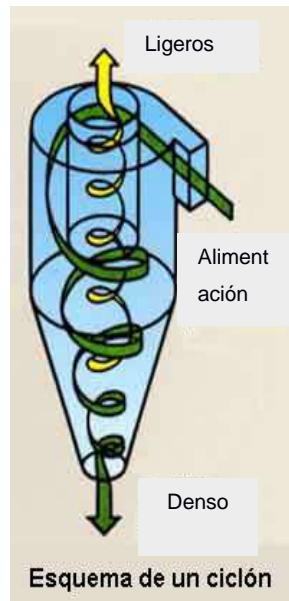


Figura 1.4 Esquema del Hidroción

1.4.5 Flotación

La flotación ha adquirido un papel destacado en el procesamiento de minerales debido no solo a la gran necesidad de tratar minerales de baja ley, sino también debido a que estos se encuentran cada vez más diseminados en tamaños mucho menores, lo cual complica de manera significativa la aplicación de procesos que puedan resultar económicamente más asequibles. Es importante, además, el hecho de que a través de la flotación se consiguen tanto leyes como recuperaciones elevadas.

La flotación consiste en un proceso de separación de minerales basado en la química-física interfacial de las partículas minerales en suspensión en agua y que diferencia partículas hidrófilas de hidrófugas. Como existen pocos minerales con propiedades hidrófobas, se emplean reactivos llamados “colectores” que transforman de forma selectiva los minerales hidrófilos en hidrófobos. Este proceso se ayuda a su vez de reactivos activantes y depresores, y de reactivos espumantes que mantienen en suspensión el mineral hidrófobo que ha flotado hasta su evacuación. En este proceso es necesaria la presencia de burbujas de

aire y una agitación del medio que favorece el ascenso de las partículas hidrófobas colectadas.

Es decir, toma en consideración las propiedades superficiales de los minerales, las cuales pueden ser modificadas según los requerimientos con la ayuda de distintos reactivos, dado que la heterogeneidad de los minerales puede tener un efecto significativo sobre ellas.

Así pues, tal y como se observa en la siguiente imagen de una celda de flotación mecánica (Figura 1.5) con este método consiste en llevar a cabo una distinción acertada de partículas de carácter hidrófilo e hidrófobo. Considerando un medio acuoso en el cual se encuentran partículas hidrófilas e hidrófugas de ambas características, es posible adicionar al mismo partículas burbujas de aire a la vez que se agita el medio, de manera que, las partículas de carácter hidrófobo se adhieran a las partículas de aire y asciendan con ellas hasta la superficie del fluido mientras que, las partículas de carácter hidrófilo permanezcan en el interior llevando a cabo así una separación selectiva

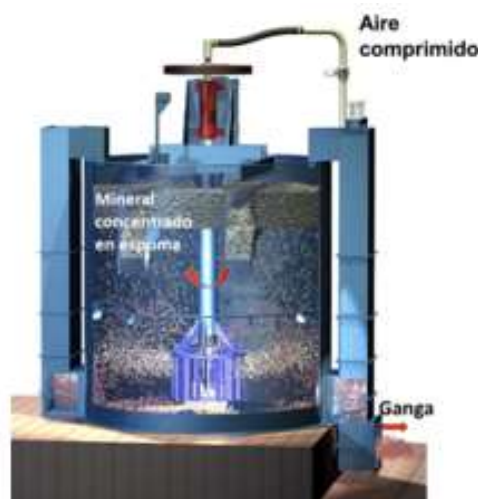


Figura 1.5 Imagen de una celda de flotación mecánica

1.4.6 Cianuración

La cianuración es un proceso metalúrgico para la extracción de oro de mineral baja calidad, que busca convertir el oro (insoluble en agua) en aniones metálicos complejos de aurocianida, solubles en agua, mediante un proceso denominado lixiviación. Es el proceso más comúnmente utilizado para la extracción de oro. Debido a la naturaleza venenosa del cianuro, el proceso es muy controvertido y su uso está prohibido en varios países y territorios

En otras palabras, la cianuración es un proceso de percolación y agitación con una solución de cianuro, sustancia que tiene como finalidad disolver minerales como el oro y la plata ya sea de forma libre o haciendo uso molecular de sulfuros que traen consigo la recuperación de metales nobles los cuales a su vez son resultado del uso de precipitantes como zinc, viruta, carbón activado, aluminio y electrodeposición. Posteriormente estos metales recuperados se purifican por medio del secado, fusión y afinación (Vásquez, 2015).

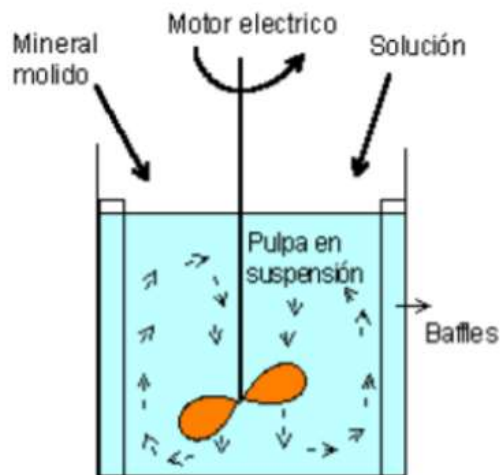


Figura 1.6 Proceso de lixiviación dinámica por agitación mecánica en tanque

1.4.7 MODSIM (Modular simulator for ore dressing plants)

La tecnología juega un rol fundamental en la actualidad para acelerar los procesos productivos en diferentes ámbitos, dentro de ello MODSIM es un software de simulación de plantas de procesamiento de minerales, éste fue desarrollado tomando en cuenta los exitosos resultados logrados por la creación de un

simulador de plantas de flotación durante un programa de Investigación del Mintek's Chemical Engineering Research Group del Departamento de Ingeniería Química de la Universidad de Natal, Durban, Sudáfrica, (Torres Rúbilar, 2006).

El uso de herramientas como el software MODSIM constituye un alto grado de importancia, puesto que permiten ayudar a mejorar la eficiencia en la recuperación de una planta de beneficio, de acuerdo a sus exigencias y a los equipos que esta puede manejar. Además, otorga grandes ventajas, debido a que permite predecir con simples simulaciones los resultados que se obtendrán o se pretende obtener; como también, consigue tener control en caso de detectar variables erróneas en alguna operación, para poder corregir a tiempo y no genere una mayor afectación en la recuperación (Bustamante et al., 2016).

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA

Para desarrollar el presente proyecto se consideró una metodología a desarrollar en cinco fases:

1. La primera fase se basó en la información del diagrama de flujo enviado por la planta CAZADEROS 1.
2. La segunda fase consistió en la visita técnica realizada a la planta para la obtener la información de los procesos y resultados de los ensayos mineralógicos realizados a las muestras.
3. La tercera fase consistió en ingresar la información de la plata CAZADEROS 1, al programa MODSIM, creando así la simulación de la planta actual, donde se detectó el sobredimensionamiento de los equipos.
4. La cuarta fase considerando la simulación actual de la planta, se modeló en el programa MODSIM, la primera y segunda alternativa de mejora para la planta.
5. Finalmente, en la quinta fase, se realizó el análisis económico donde se enfoca la inversión y ganancia, que generó la planta actual y en las dos simulaciones creadas.

En la siguiente Figura 2.1, se presenta un esquema de las fases a seguir en el proyecto de actuaciones

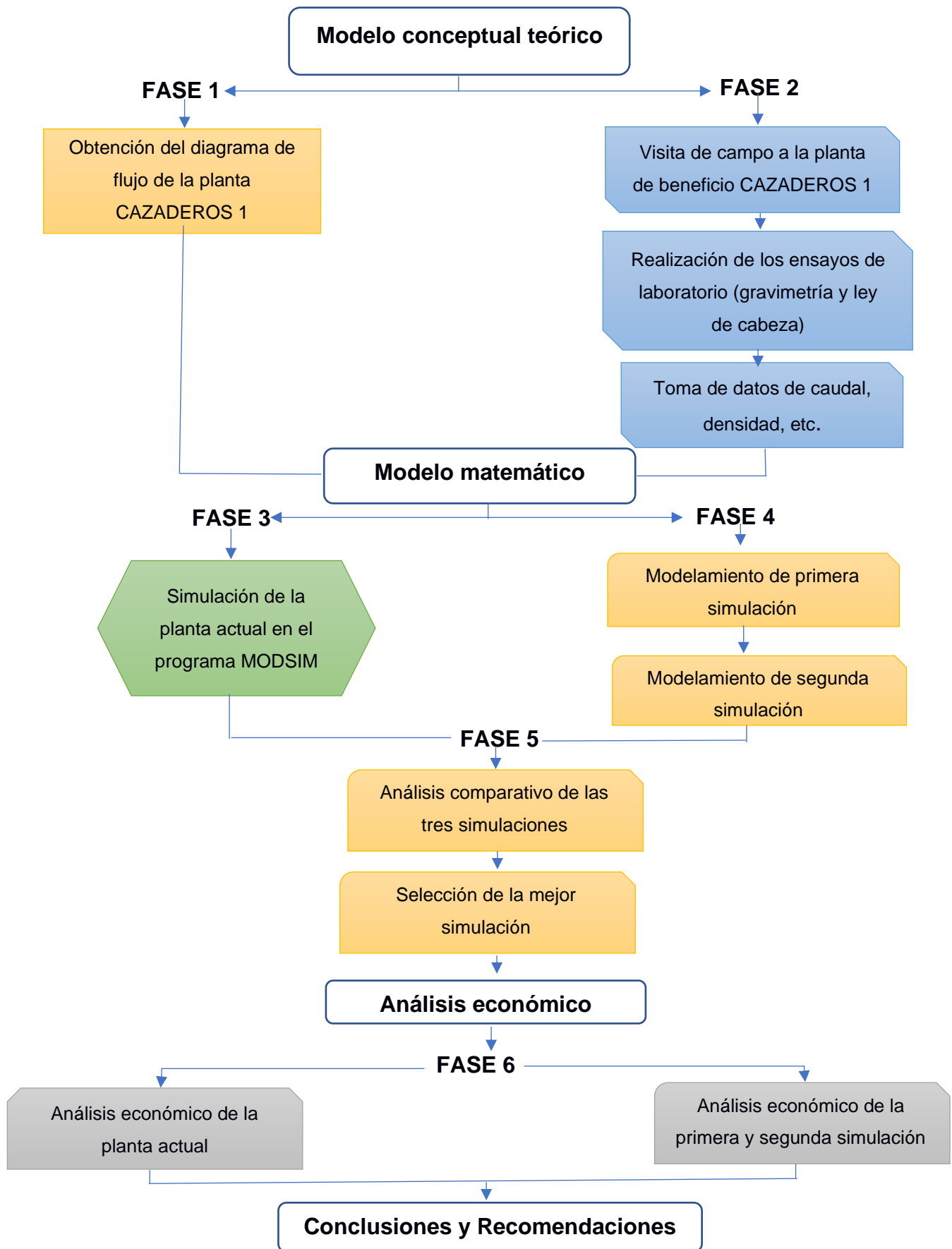


Figura 2.1 Metodología implementada para el desarrollo del proyecto

2.1 Modelo conceptual teórico

El modelo conceptual desarrolla esquemáticamente el proceso de elaboración del proyecto, con la finalidad de recopilar información que ayude con el desarrollo del mismo, es por ello que para la elaboración del proyecto se tomó en cuenta, como requisito principal, los diagramas de flujo que maneja la Planta de Beneficio CAZADEROS 1; información que sirvió como guía para tener un enfoque del funcionamiento de la planta actual.

Después de analizar el diagrama de flujo de la planta, se realizó una visita de campo con el objetivo de corroborar la implementación del diagrama de flujo y realizar la toma de muestras para los diferentes ensayos de laboratorio como: caudal, pH, densidad y otros, con la finalidad de realizar la simulación con información real y actual.

2.2 Modelo matemático

Con el modelo matemático se identifican y solucionan posibles problemas encontrados en un proyecto específico, implementando softwares que ayuden con la solución de errores de dicho proceso; es por ello que tras obtener la información enviada por la planta CAZADEROS 1, y conjuntamente con la información resultante de la visita de campo; se procedió a ingresar los datos en el software MODSIM para crear la simulación de la planta actual, donde se identificó un sobredimensionamiento en los equipos.

En esta primera simulación del estado actual de la planta CAZADEROS 1, se identificó el primer sobredimensionamiento en uno de los molinos utilizado en el proceso, específicamente el molino pequeño.

Posteriormente a este primer análisis de simulación, se crearon dos simulaciones que resultaron ser posibles soluciones al problema de sobredimensionamiento.

Para el desarrollo de las dos simulaciones se consideró factores que no deben ser alterados en el proceso como el caudal, ley de cabeza y concentrado obtenido; con

el objetivo de mantener los mismos resultados, pero con menos recursos como energía y tiempo.

Obtenidas las tres simulaciones, se hizo un proceso comparativo determinando la mejor opción, y teniendo en cuenta el número de equipos a implementar en el proceso, inversión, gasto de energía y tiempo de recuperación del capital.

2.3 Análisis económico

El análisis económico proyecta una idea de inversión y determina si el proyecto es o no rentable para los inversionistas y/o dueños.

Para seleccionar la opción más rentable para el proyecto, se ingresó la información de los principales equipos utilizados en la planta, el costo de los mismos en el mercado; pagos que tiene la empresa como: mano de obra, gastos de energía, prestamos, entre otros; dando como resultado tres análisis económicos donde se enfoca la mejor opción de inversión y tiempo de recuperación del capital.

2.4 Construcción de las diferentes simulaciones en el programa MODSIM

Ecuador es considerado como un país rico en recursos minerales; los mismos que son extraídos de las diferentes minas a nivel nacional, el material explotado requiere de un proceso que extraiga el mineral valioso o de interés; es por ellos que el material en bruto es llevado a las plantas de beneficio, donde es sometido a procesos de trituración, molienda, separación por gravimetría y centrifugación, cianuración y lixiviación.

Algunas plantas de beneficio en la actualidad se encuentran construidas de forma empírica con poco control técnico, y sin la implementación de métodos que permitan diseñar una planta acorde a las necesidades de las empresas; esto ha generado sobredimensionamiento en los equipos, gasto de energía y mano de obra innecesaria. El desarrollo del presente proyecto fue gracias a detectar ciertos errores en la construcción de las plantas de beneficio.

2.4.1 Modelo conceptual

2.4.1.1 *Diagrama de flujo de la planta actual*

Actualmente la planta de beneficio CAZADEROS 1, cuenta con un diagrama de flujo determinado que ayuda a llevar un control esquemático de las operaciones que tiene la planta (Figura 2.2)

El diagrama de flujo muestra de forma detallada el proceso con el que opera la planta CAZADEROS 1. El proceso que inicia en cancha mina donde se almacena el material proveniente de la explotación minera; el material pasa por una tolva con precrivadora que clasifica el material grueso de diámetro mayor a 1", para pasar a la primera trituradora y posteriormente a la segunda trituradora, el material pasante es igual o menor a 1/2". El siguiente proceso es la operación de molienda donde el material pasante, se coloca en el primer molino de dimensiones 4`x4`, la pulpa resultante va a un segundo molino de dimensiones 6`x6`, que trabaja en circuito cerrado con un ICON (concentrador gravimétrico centrífugo) y el Hidrociclón. El oro pesado de mayor tamaño es recolectado por gravimetría en un concentrador ICON para su posterior refinamiento. La pulpa que pasa al hidrociclón y que controla que se cumpla el tamaño granulométrico de liberación del mineral de oro de menor ley, es posteriormente sometido a procesos de cianuración y flotación; finalmente dichos concentrados pasan por el proceso de carbón activado y de igual forma es procesado para la formación de lingotes de oro. Existe una recirculación de los efluentes líquidos del circuito.

A continuación, se muestra el esquema de tratamiento de la planta CAZADEROS 1:

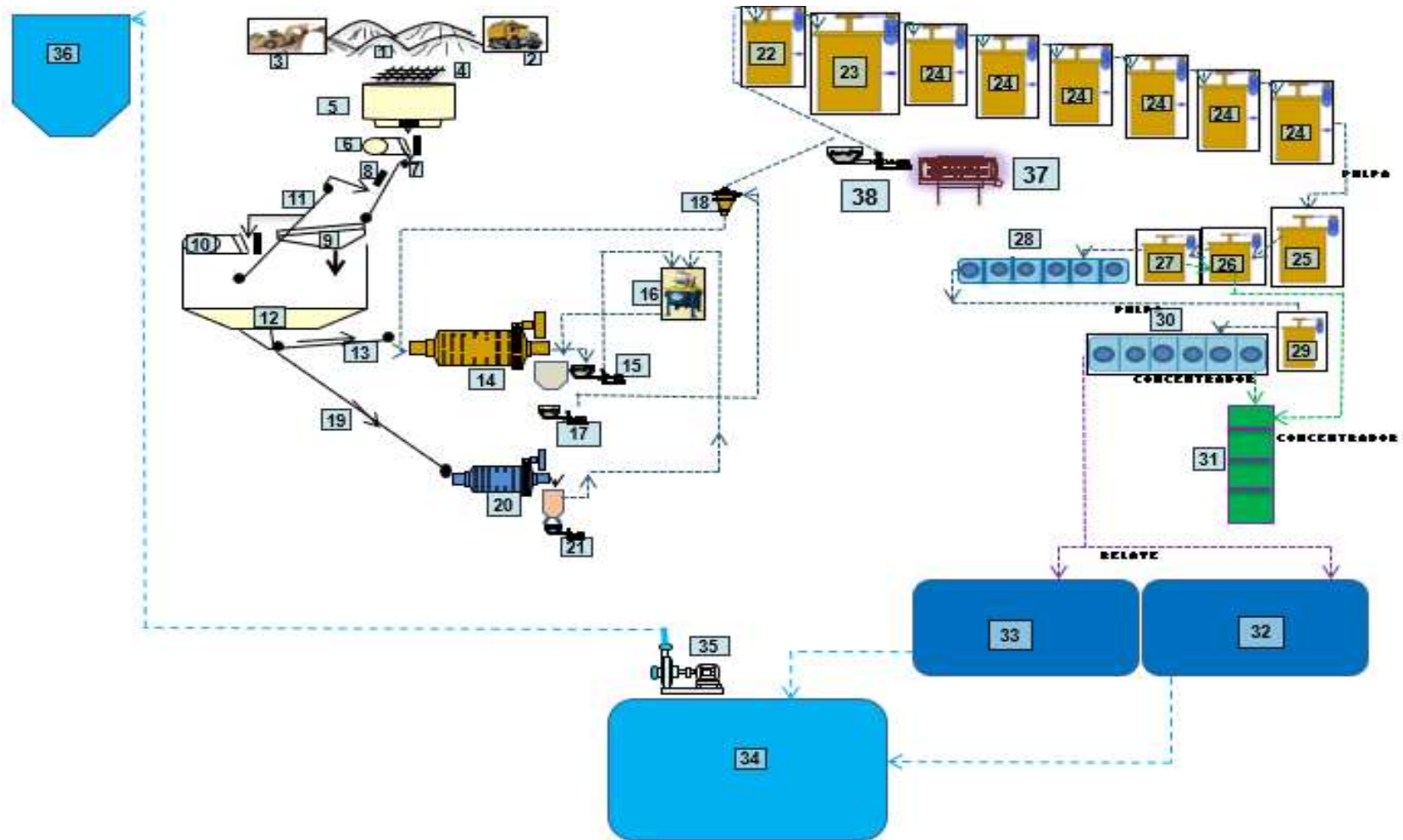


Figura 2.2 Diagrama de flujo de la planta CAZADEROS 1 (Planta Cazaderos 1)

Tabla 2.1 Leyenda de diagrama de flujo de planta CAZADEROS 1

MAQUINAS Y EQUIPOS DE PLANTA			
1	CANCHA DE MINERL	20	MOLINO DE BOLAS
2	VOLQUETAS DE CARGA	21	BOMBA DE PULPA
3	CARGADOR FRONTAL	22	TANQUE DE LIXIVIACIÓN
4	PARRILA DE TOLVA	23	TANQUE DE LIXIVIACIÓN
5	TOLVA DE GRUESOS	24	6 TANQUES CARBONEROS
6	CHANCADORA PRIMARIA (QUIJADA)	25	ACONDICIONADOR #1
7	FAJA TRANSPORTADORA # 1	26	CELDA SERRANO #1
8	ELECTROIMAN	27	CELDA SERRANO #2
9	ZARANDA GRIZZLY	28	CELDA DENVER #1
10	CHANCADORA SECUNDARIA (QUIJADAS)	29	ACONDICIONADOR #2
11	FAJA TRANSPORTADORA # 2	30	CELDA DENVER #2
12	TOLVA DE FINOS	31	4 CAJONES DE CONCENTRADO
13	FAJA TARNSPORTADORA # 3	32	RELAVERA #1
14	MOLINO DE BOLAS	33	RELAVERA #2
15	BOMBA DE PULPA	34	POZA DE RECIRCULACION
16	CONCENTRADOR GRAVIMETRICO	35	BOMBA DE AGUA
17	BOMBA DE PULPA	36	TANQUE DE RECIRCULACIÓN
18	HIDROCICLON	37	COSECHADOR DE CARBON ACTIVADO
19	FAJA TRANSPORTADORA # 4	38	BOMBA DE PULPA

2.4.2 Análisis de laboratorio

La planta de beneficio CAZADEROS 1, cuenta con un laboratorio donde se realizó el análisis de las muestras tomadas de planta, con objeto de determinar ley de cabeza, granulometría, mineralogía macroscópica, caudal, pH, densidad, etc.; algunos de estos parámetros son tomados como información necesaria para ingresar en el software MODSIM, y proceder con el modelamiento.

La planta de beneficio procesa materiales de diferentes frentes de explotación o composición mineralógica, por lo que cada proceso se categoriza por campañas. Durante la inspección en planta, las muestras analizadas se tomaron durante una de estas campañas, analizando en el laboratorio sus características físicas, químicas y mineralógicas (granulometría, ley de cabeza, pH, etc.).

2.4.2.1 Granulometría

Las muestras para el ensayo de granulometría en esta campaña, se tomaron de la banda de trituración secundaria y de los molinos pequeño y grande. En la muestra tomada en la banda, los clastos tenían un tamaño igual o menor a 1" y en la muestra tomada en los dos molinos la granulometría era igual o menor a 0.0059".

2.4.2.2 Ley de cabeza

Se tomaron 10 g de muestra pulverizada y homogenizada del material de cabeza para ser analizado mediante el método de absorción atómica y determinar la ley de cabeza, obteniendo una ley en oro de 13 g/t; de igual forma se analizó la muestra tomada del ICON (concentrador gravimétrico centrífugo) que fue equivalente a 1.500 g/t y finalmente se analizó la muestra del hidrociclón que dio como resultado 4 g/t. En la Tabla 2.2 se muestran dichos análisis químicos.

Tabla 2.2 Ley de cabeza de los principales procesos

Muestra	Cantidad de muestra (g)	Ley de cabeza (g/t)
Banda	10	13
ICON	10	1500
Hidrociclón	10	4

2.4.2.3 pH

El pH ayuda a determinar las medidas idóneas para que el proceso de flotación puede desarrollarse con la máxima recuperación del mineral de interés sea el adecuado, para ello se hacen mediciones con las tiras de pH donde las muestras tienen que mantenerse en un pH 10 (básico).

2.4.3 Mineralogía

Para el análisis mineralógico realizado en la planta de beneficio CAZADEROS 1, se utilizaron dos tipos de metodología, el primero fue el análisis macroscópico con la finalidad de tener una idea de los minerales existentes y el segundo fue el análisis microscópico o de difracción de Rayos X, que determinan los minerales predominantes en la muestra.

2.4.3.1 Mineralogía Macroscópica

Las muestras analizadas se obtuvieron de la zona de cancha mina o zona de stock, donde llega el material del frente de explotación; se analizaron muestras en su forma nativa de tamaños entre 10 a 80 cm. En la Tabla 2.3, se muestra una composición media de estas muestras de cabeza, así como imágenes del aspecto de visu de estos minerales

Tabla 2.3 Tabla de mineralogía macroscópica de muestras

Muestra	Minerales	Formula	%
1	Pirita	FeS ₂	5
	Calcopirita	CuFeS ₂	70
	Galena	PbS	5
	Arsenopirita	FeAsS	20
2	Galena	PbS	30
	Cuarzo	Qz	60
	Pirita	FeS ₂	10

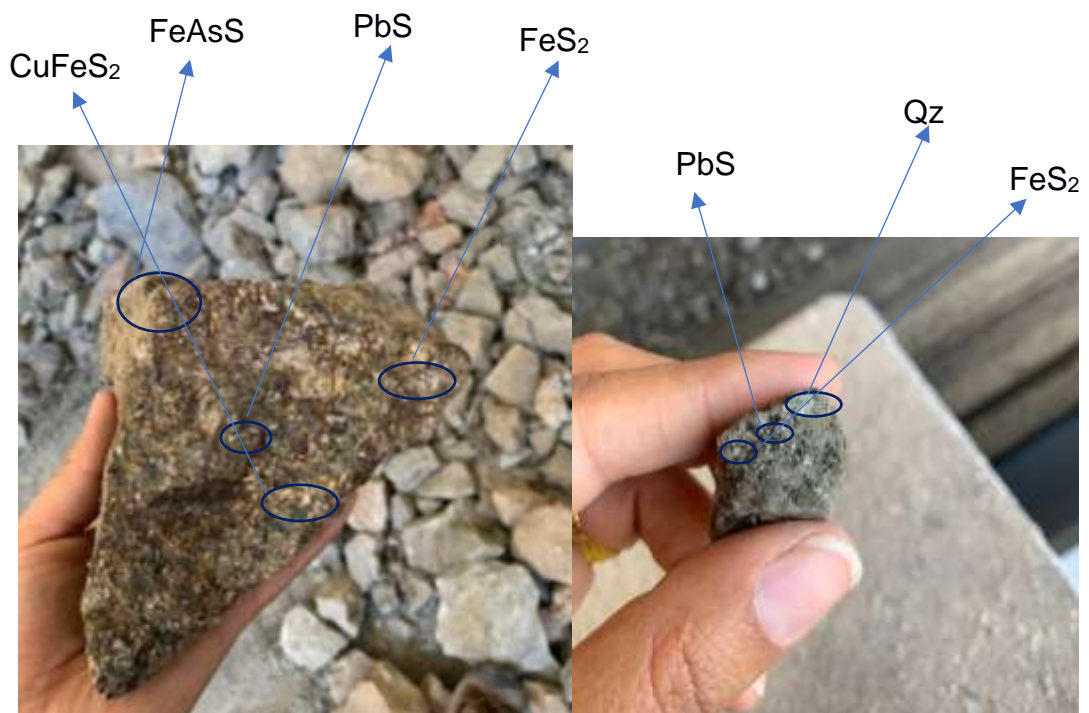


Figura 2.3 Minerales macroscópicos en muestras

2.4.3.2 Mineralogía Microscópica

La planta de beneficio CAZADEROS 1, con el objetivo de mantener un control de los minerales que cuenta el frente de explotación, ha realizado con fecha mayo 2021, en el Laboratorio de caracterización Mineralógica-Metalúrgica Aplicados a la Minería, Geotecnia y Medio Ambiente, a cargo del Ingeniero Fanny Blas Rodríguez; el análisis de dos muestras denominadas *Veta Negra* y *Veta Ruth*, las mismas que fueron analizadas mediante difracción de Rayos X (DRX), y cuyos resultados se detallan a continuación:

Tabla 2.4 Análisis Mineralógico por Difractometría de Rayos X. Muestra veta Negra

Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Pirrotita	$\text{Fe}(1-X)\text{S}$ ($X=0 - 0.17$)	27.9
Cuarzo	SiO_2	24.9
Carbonatos (Calcita)	CaCO_3	11.5
Mica(Flogopita)	$\text{KMg}_3(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{F},\text{OH})_2$	10.2
Clorita (Clinocloro)	$(\text{Mg},\text{Fe}^{+2})_5\text{Al}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	7.3
Arsenopirita	FeAsS	4.8
Calcopirita	CuFeS_2	3.2
Pirita	FeS_2	2.8
Magnetita	$\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2\text{O}_4$	2.3
Carbonatos (Dolomita)	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	2.2
Marcasita	FeS_2	2.1
Vermiculita	$(\text{Mg},\text{Fe}^{+2},\text{Al})_3(\text{Al},\text{Si})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4(\text{H}_2\text{O})$	< L.D.
Esfalerita	ZnS	< L.D.
Pentlandita	$(\text{Ni}, \text{Fe})_9\text{S}_8$	< L.D.
Tetraedrita	$(\text{Cu},\text{Fe})_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$	< L.D.

Tabla 2.5 Análisis Mineralógico por Difractometría de Rayos X. Muestra veta Ruth

Nombre del mineral	Fórmula general	Resultado Aproximado (%)
Cuarzo	SiO ₂	56.0
Carbonatos (Calcita)	CaCO ₃	12.0
Arsenopirita	FeAsS	8.5
Moscovita (Sericita)	KAl ₂ (Si ₃ Al)O ₁₀ (OH,F) ₂	5.0
Clorita (Clinocloro)	(Mg,Fe ⁺²) ₅ Al(Si ₃ Al)O ₁₀ (OH)	4.5
Hidromica (Illita)	(K,H ₃ O)(Al,Mg,Fe) ₂ (Si,Al) ₄ O ₁₀ [(OH) ₂ .(H ₂ O)]	3.7
Mica(Flogopita)	KMg ₃ (Si ₃ Al)O ₁₀ (F,OH) ₂	3.2
Esfalerita	(Zn,Fe)S	2.6
Espesartina	Mn ₃ ²⁺ Al ₂ (SiO ₄) ₃	2.3
Magnetita	Fe ³⁺ 2Fe ²⁺ O ₄	1.0
Pirocroita	Mn ²⁺ (OH) ₂	< L.D.
Carbonato (Rodocrosita)	MnCO ₃	< L.D.
Vermiculita	(Mg,Fe ⁺² ,Al) ₃ (Al,Si) ₄ O ₁₀ (O	< L.D.

2.5 Modelo matemático

Se realizó un modelamiento de la planta actual con el programa MODSIM, donde se evidenció la situación actual de la planta, pudiendo identificar los sobredimensionamientos en los equipos.

El software MODSIM, es un programa que puede presentar ciertas limitaciones, una de ellas es que el modelamiento lo realiza solo para el primer proceso que es el adecuamiento del material para que este se encuentre en las condiciones idóneas para cianuración y flotación; por los que los modelamientos desarrollados a continuación pertenecen al primer proceso que corresponden a la trituración y molienda.

2.5.1 MODSIM

Para el manejo del programa MODSIM, se debe analizar las herramientas que nos sirven de apoyo para poder ingresar la información y así ejecutar el programa.



Figura 2.4 Página principal del programa MODSIM

2.5.1.1 Barra de inicio

El programa MODSIM, cuenta con una barra de inicio, la misma que nos permitió ingresar la información y de esta manera ejecutar el programa


The image shows a close-up of the menu bar from the MODSIM software. It contains five menu items: 'File', 'Edit', 'View', 'Run', and 'Help', each separated by a small space. A horizontal line is positioned below the menu items.

Figura 2.5 Barra de inicio

File: esta función nos ayuda a guardar la información ingresada, así como exporta alguna simulación ya desarrollada

Edit: esta función es elemental ya que toda la información de la simulación se la ingresa aquí.

Edit diagrama de flujo: es el primer paso para desarrollar el diagrama, donde mediante gráficos se simula paso a paso el proceso a seguir en la planta

Edit system data: luego de montado el diagrama, el siguiente paso es ingresar los datos al sistema, como cantidad de material que se ingresa diario, número de minerales a procesar, caudal y por defecto en la tabla automáticamente ya se visualiza los equipos ingresados para el proceso

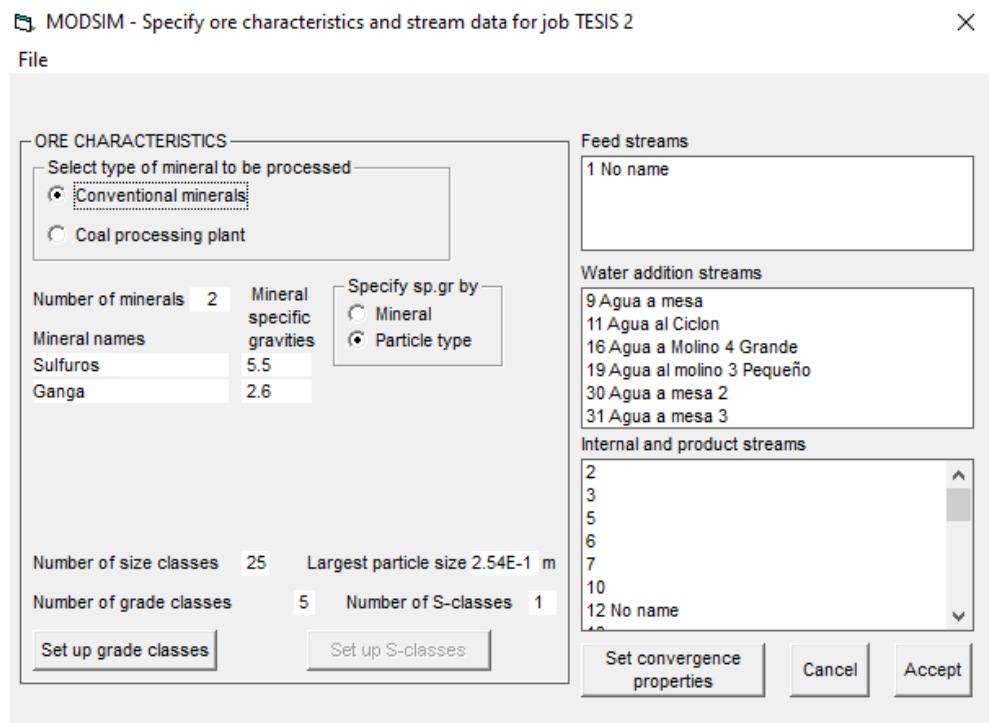


Figura 2.6 Edit system data

Edit unit model parameters: en esta herramienta se ingresa el modelo de los equipos ingresados en el diagrama de procesos de la planta

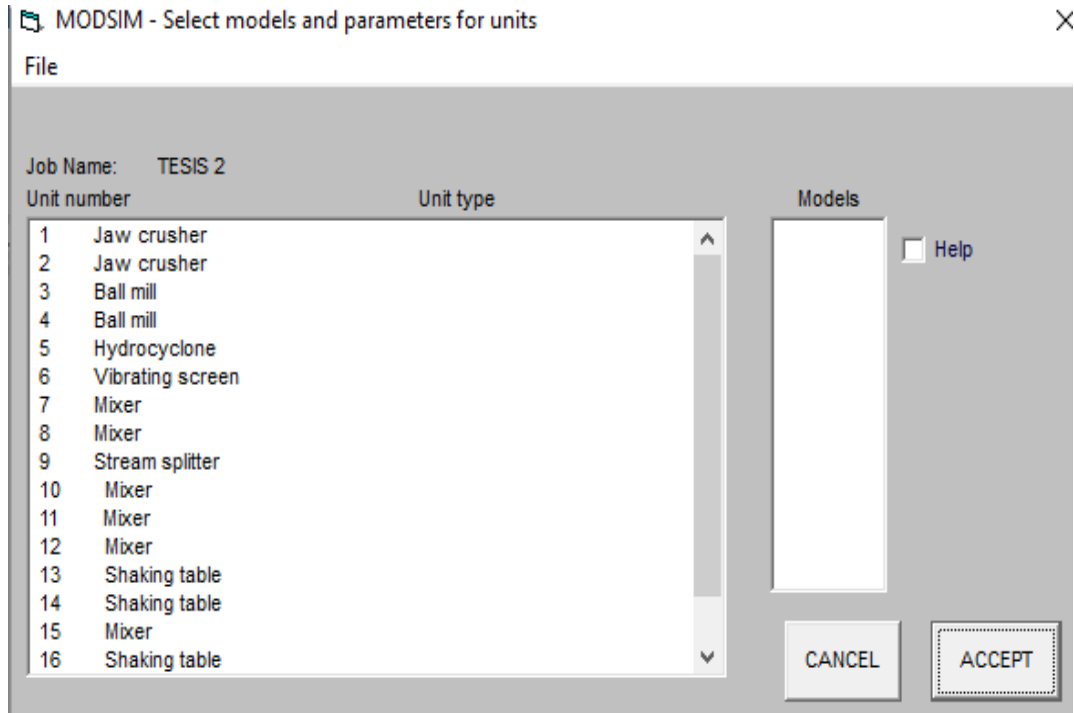


Figura 2.7 Edit unit model parameters

View: esta herramienta nos ayuda a visualizar el diagrama de flujo ya en su diseño final

Run: esta opción sirva para que se actualice el diagrama de flujo luego de algún cambio ingresado ya sea en los datos o en el diseño del diagrama

Help: si existe alguna dificultad o se desconoce la función de alguna aplicación, esta opción nos ayuda a resolver dudas

2.5.1.2 *Tabla resumen*

Luego de ingresar la información como datos y maquinaria, en la pantalla se visualiza la tabla resumen, donde se detalla, en sentido de las manecillas del reloj, información de t/h, % Sol, g/tAu, y m³/h, esta tabla se actualiza automáticamente si se hace algún cambio en los datos y material procesado, ley de cabeza o el caudal. (Figura 2.8)

Cabe indicar que cada proceso del flujograma contiene esta tabla de información.

tonne/hr	% Sol
m ³ /hr	g/tAu

Figura 2.8 Imagen de la tabla resumen

Luego de una breve introducción del programa, se procede a diseñar los diferentes flujogramas. Se comenzó con el primer flujograma de la planta actual y posterior los dos diseños

2.5.2 Modelamiento de la planta actual CAZADEROS 1

Para modelar el estado actual de la planta, se consideró el diagrama de flujo enviado por la planta CAZADEROS 1, así como datos de ley de cabeza, material ingresado en el proceso y caudal. (Figura 2.2)

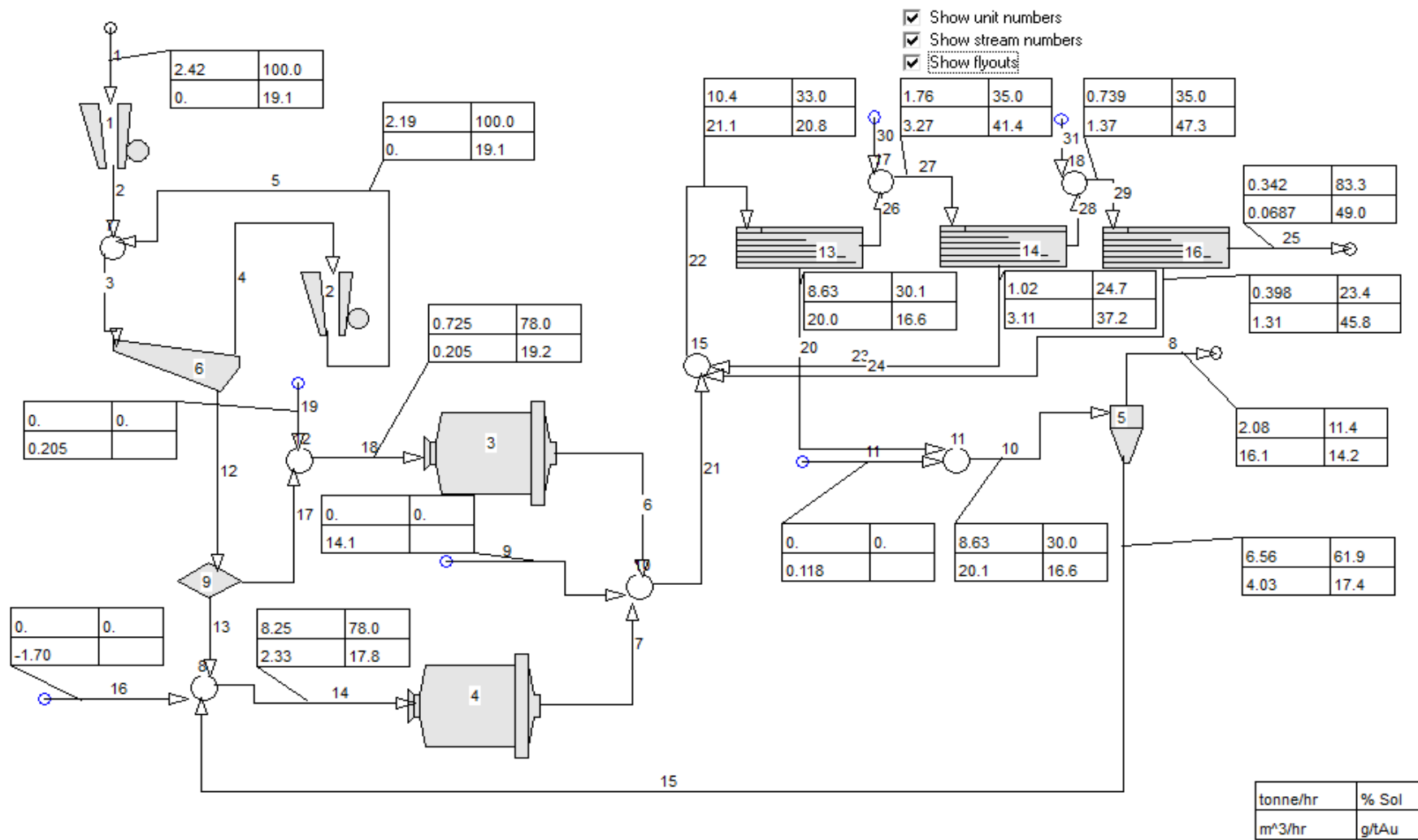


Figura 2.9 Simulación actual de la planta CAZADEROS 1

2.5.3 Primer modelamiento de la planta CAZADEROS 1

Para simular la primera alternativa, se realizó una visita de campo donde se tomó la muestra de la campaña que en ese momento la planta se encontraba tratando. Para ellos se tomó datos como granulometría, ley de cabeza y pH, donde este último se mantiene en un valor igual a 10 con la finalidad de mantener un ambiente alcalino.

Tabla 2.6 Tabla de Granulometría

EQUIPO	GRANULOMETRIA (# mala)						TOTAL DE MUESTRA
	10	50	100	140	200	<200	
Banda de Trituración Secundaria	1731.8	255.1	69.8	26.2	26.6	46.0	2155.5
Molino Pequeño	-	-	88.20	52.91	42.47	15.13	198.71
Molino Grande	-	-	129.19	126.06	50.2	18.78	324.23
Hidrociclón Material gruesos	-	-	227.51	124.64	72.35	30.40	454.90
Hidrociclón Material fino	-	-	28.05	97.91	57.22	25.01	208.19

Tabla 2.7 Tabla de ley de cabeza en cada proceso

Muestra	Cantidad de muestra (g)	Ley de cabeza (g/t)
Banda	10	13
ICON	10	1500
Hidrociclón	10	4
Flotación	10	2.30
Carbón activado	10	1.72 g/kg

Para la simulación, se analizó el estado actual de la planta, donde se detectó el sobre dimensionamiento en el molino pequeño; la simulación consistió en la eliminación del molino sobredimensionado; los resultados no cambiaron significativamente entre las dos simulaciones.

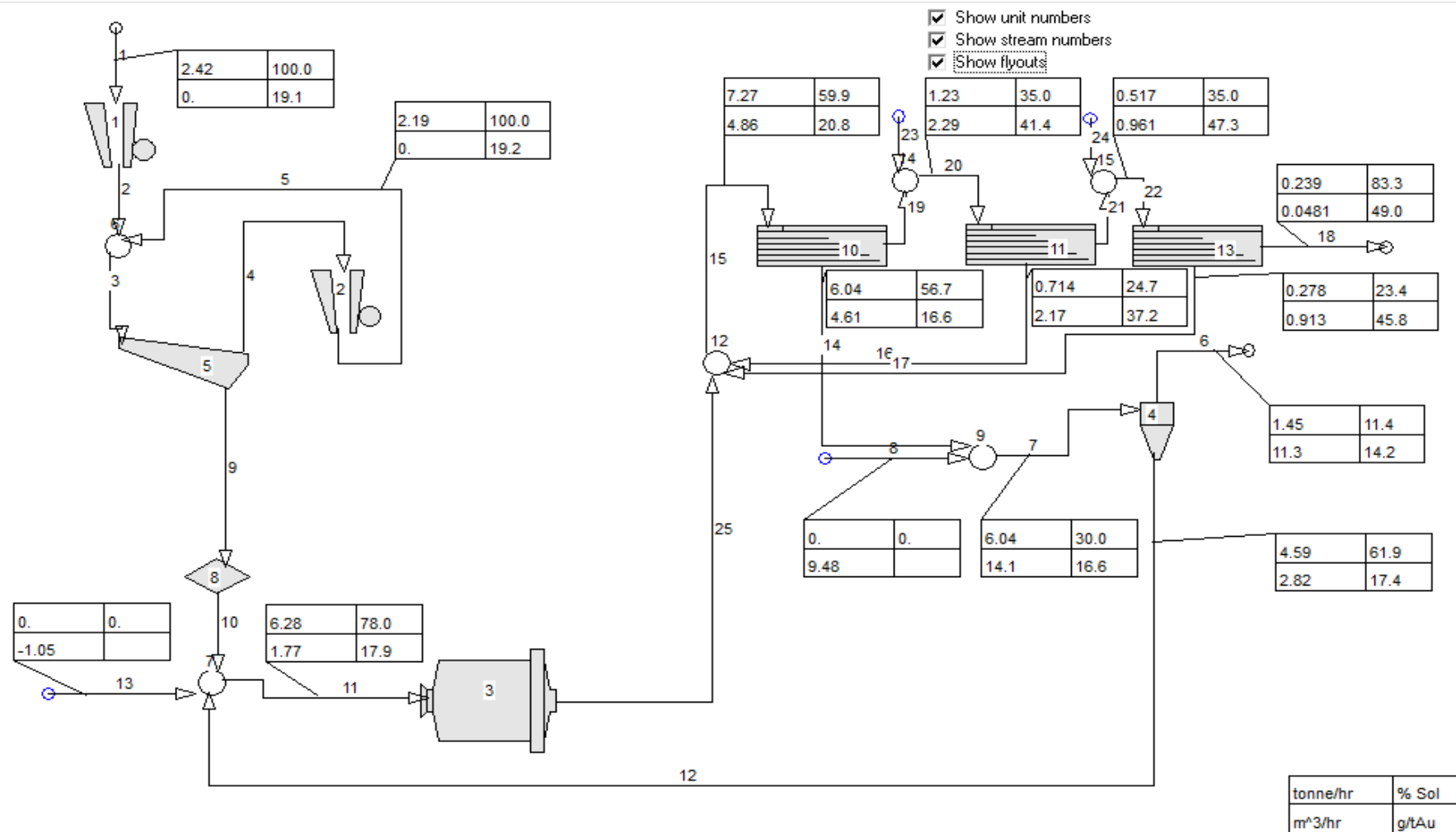


Figura 2.10 Primer modelamiento de la planta CAZADEROS 1

2.5.4 Segundo modelamiento de la planta CAZADEROS 1

Para el diseño de la segunda simulación se consideró los tiempos de molienda, enfocados principalmente en el molino pequeño, el mismo que trabaja en circuito abierto; los resultados de recuperación no cambiaron, pero el gasto energético disminuyó para el molino pequeño.

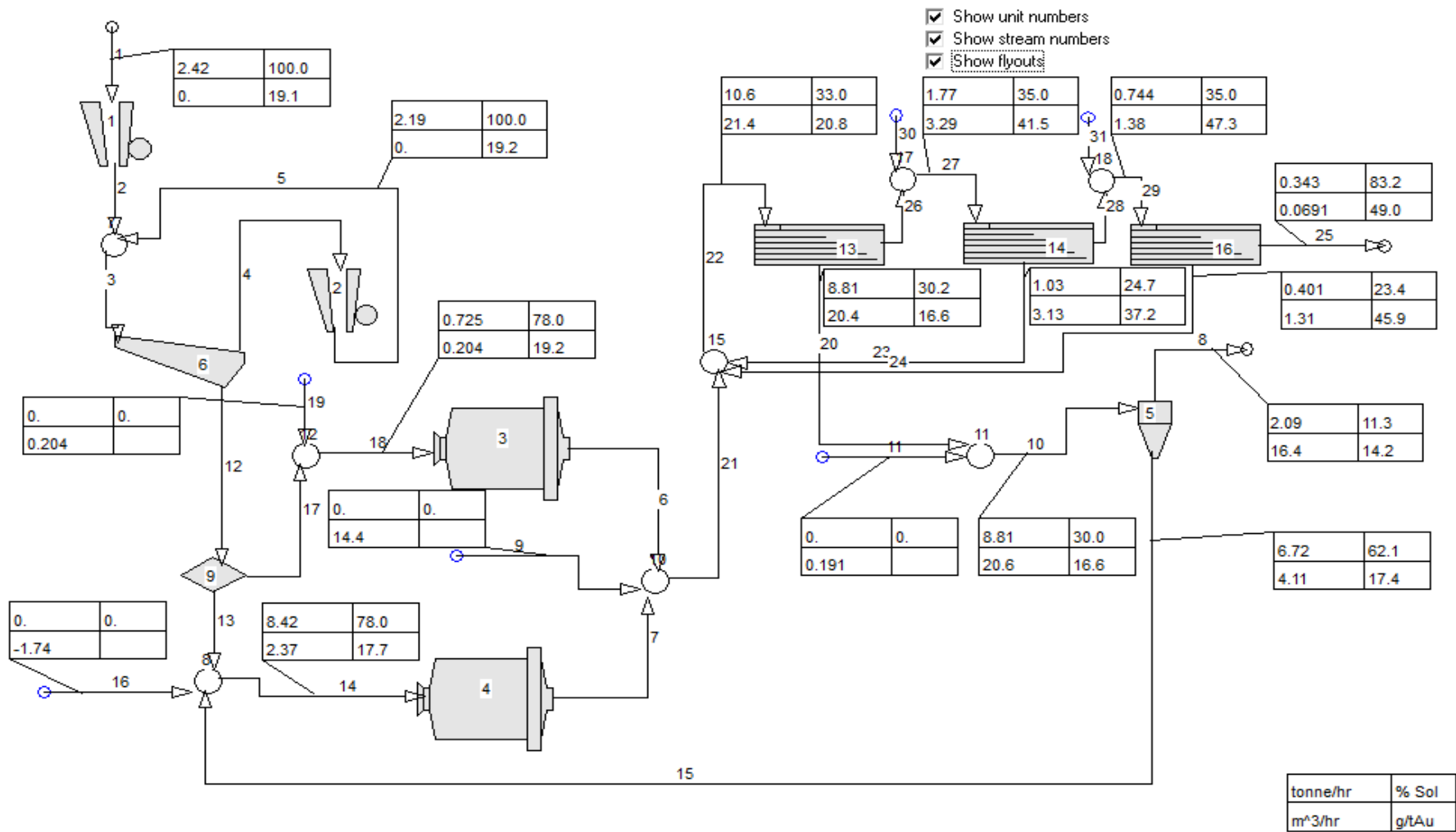


Figura 2.11 Segundo modelamiento de la planta CAZADEROS 1

2.6 Análisis económico

El análisis económico es un factor importante para poder determinar qué tan factible es el proyecto y analizar cuanto de inversión necesita el proyecto. Es así que se consideró un análisis económico de la inversión que existe en la planta y la inversión considerada para las dos simulaciones

2.6.1 Planta Actual

La planta CAZADEROS 1, cuenta con maquinaria actualizada y funcional, así como mano de obra; estos factores más el gasto de energía, son datos importantes para el análisis económico de la planta.

2.6.1.1 Coste equipos principales

Para este análisis económico se analizaron los principales equipos en el proceso, y los valores referenciales se los tomó de los manuales de CAPCOSTS (Mular & Poulin, 1998) y Manual de trituración y cribado (Metso Minerals, 2008); los resultados se detallan en la tabla siguiente

Tabla 2.8 Coste equipos principales

NUMERO DE EQUIPO	EQUIPO	UNIDADES	REPORT	MODELO	FORMULA EN CAPCOSTS (1400) unitario	MARSHAL unitario	FORMULA EN CAPCOSTS (1400) total	MARSHAL total (\$)	COSTE EXWORD (\$)
1	Alimentador 1	m ²	87	–	0	0	0	0	0
1	Trituradora de Mandibula	t/h	2.42	–	220000	267143	220000	267143	419414
1	Trituradora de Mandibula	t/h	2.19	–	210000	255000	210000	255000	400350
1	Criba	m ²	0.072	4x10	20550	24954	20550	24954	39177
1	Molino grande	t/h	8.25	COMESA	239155	290402	239155	290402	455932
1	Hidrociclón	t/h	8.63	ICA	9896	12017	9896	12017	18867
1	ICON	t/h	10.4	ICON 350	70374	85454	70374	85454	134163

\$ 1467902

2.6.1.2 Gastos

En el análisis de los gastos se consideró salarios promedio de mano de obra y gastos de energía, sumado a esto el costo de los equipos

Tabla 2.9 Gastos

Año	Equipos	Personal (\$)	Energía (\$/Kw)	Mantenimiento	Materia prima	Total (\$)
0	6562363	0	0	0	0	6562363
1	0	439200	37877	0	5324000	5801077
2	0	439200	37877	0	5324000	5801077
3	0	439200	37877	0	5324000	5801077
4	0	439200	37877	0	5324000	5801077
5	0	439200	37877	0	5324000	5801077
6	0	439200	37877	0	5324000	5801077
7	0	439200	37877	0	5324000	5801077
8	0	439200	37877	0	5324000	5801077
9	0	439200	37877	0	5324000	5801077
10	0	439200	37877	0	5324000	5801077
11	0	439200	37877	0	5324000	5801077
12	0	439200	37877	0	5324000	5801077
13	0	439200	37877	0	5324000	5801077
14	0	439200	37877	0	5324000	5801077
15	0	439200	37877	0	5324000	5801077
16	0	439200	37877	0	5324000	5801077
17	0	439200	37877	0	5324000	5801077
18	0	439200	37877	0	5324000	5801077

Año	Equipos	Personal (\$)	Energía (\$/Kw)	Mantenimiento	Materia prima	Total (\$)
19	0	439200	37877	0	5324000	5801077
20	0	439200	37877	0	5324000	5801077
21	0	439200	37877	0	5324000	5801077
22	0	439200	37877	0	5324000	5801077
23	0	439200	37877	0	5324000	5801077
24	0	439200	37877	0	5324000	5801077
25	0	439200	37877	0	5324000	5801077
						\$ 151589279

2.6.1.3 Ingresos

Para el análisis de ingresos se consideró datos que nos proporcionó el software MODSIM, como material ingresado y ley de cabeza, resultante de los equipos del ICON e HIDROCICLON

Tabla 2.10 Ingresos

ICON			HIDROCICLON			Total (\$)
Toneladas producida	Precio por tonelada	Total (\$)	Toneladas producidas	Precio por tonelada	Total (\$)	
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.1 2
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.1
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.1
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.1
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.1
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.1
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.1

ICON			HIDROCICLON			Total (\$)
<i>Toneladas producida</i>	<i>Precio por tonelada</i>	<i>Total (\$)</i>	<i>Toneladas producidas</i>	<i>Precio por tonelada</i>	<i>Total (\$)</i>	
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.1
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.1
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.1
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.1
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.1
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.1
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.1
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.1
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.1
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.1
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.1
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.1
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.1
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.1
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.1
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.1
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.1
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.1
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.1
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.1

2.6.1.4 Rentabilidad

Para realizar el análisis de rentabilidad se analizó para un periodo de 25 años, dentro de los cuales se consideró valores elementales como ingresos, costos operativos y como valores tentativos se asumió los costos de un préstamo inicial

Tabla 2.11 Rentabilidad

AÑO	INGRESOS (\$)	COSTES OPERATIVOS (\$)	INTERESES (\$)	BENEF. BRUTO (\$)	IMPUESTOS (\$)	AMORTIZACION EQUIPOS PRINCIPALES (\$)	Beneficios. TRAS Impuestos (\$)	FONDO GENERADO (\$)	REEMB. CREDITO (\$)	FLUJO DE CAJA CADA AÑO (\$)	FLUJO ACTUALIZADO (\$)
0	0	0									
1	8902893.120	5801077	393742	2708075	947826	244650	1515598	1760249	1312473	447776	430554
2	8902893.120	5801077	314993	2786823	975388	244650	1566785	1811435	1312473	498962	461319
3	8902893.120	5801077	236245	2865571	1002950	244650	1617971	1862621	1312473	550149	489080
4	8902893.120	5801077	157497	2944320	1030512	244650	1669157	1913808	1312473	601335	514024
5	8902893.120	5801077	78748	3023068	1058074	244650	1720344	1964994	1312473	652522	536325
6	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636	244650	1771530	2016181		2016181	1593417
7	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	1532132
8	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	1473203
9	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	1416542

AÑO	INGRESOS (\$)	COSTES OPERATIVOS (\$)	INTERESES (\$)	BENEF. BRUTO (\$)	IMPUESTOS (\$)	AMORTIZACION EQUIPOS PRINCIPALES (\$)	Beneficios. TRAS Impuestos (\$)	FONDO GENERADO (\$)	REEMB. CREDITO (\$)	FLUJO DE CAJA CADA AÑO (\$)	FLUJO ACTUALIZADO (\$)
10	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	1362059
11	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	1309673
12	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	1259301
13	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	1210866
14	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	1164294
15	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	1119514
16	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	1076455
17	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	1035053
18	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	995243
19	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	956965

AÑO	INGRESOS (\$)	COSTES OPERATIVOS (\$)	INTERESES (\$)	BENEF. BRUTO (\$)	IMPUESTOS (\$)	AMORTIZACION EQUIPOS PRINCIPALES (\$)	Beneficios. TRAS Impuestos (\$)	FONDO GENERADO (\$)	REEMB. CREDITO (\$)	FLUJO DE CAJA CADA AÑO (\$)	FLUJO ACTUALIZADO (\$)
20	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	920159
21	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	884768
22	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	850738
23	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	818018
24	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	786555
25	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	756303
											\$ 24952560

2.6.2 Primera simulación (1 molino)

Para el análisis económico de la primera propuesta, se consideró tomar en cuenta un molino, y no dos como en el flujograma original; sumado a esto los principales equipos a implementarse.

2.6.2.1 Coste equipos principales

Para este análisis económico se analizaron los principales equipos en el proceso, y los valores referenciales se los tomó de los manuales de CAPCOSTS (Mular & Poulin, 1998) y Manual de trituración y cribado (Metso Minerals, 2008); los resultados se detallan en la tabla siguiente

Tabla 2.12 Coste equipos principales

NUMERO DE EQUIPO	EQUIPO	UNIDADES	REPORT	MODELO	FORMULA EN CAPCOSTS (1400) unitario	MARSHAL unitario	FORMULA EN CAPCOSTS (1400) total	MARSHAL total (\$)	COSTE EXWORD (\$)
1	Alimentador 1	m ²	87	–	0	0	0	0	0
1	Trituradora de Mandibula	t/h	2.42	–	220000	267143	220000	267143	419414
1	Trituradora de Mandibula	t/h	2.19	–	210000	255000	210000	255000	400350
1	Criba	m ²	0.072	4x10	20550	24954	20550	24954	39177
1	Molino grande	t/h	8.25	COMESA	239155	290402	239155	290402	455932
1	Hidrociclon	t/h	8.63	ICA	9896	12017	9896	12017	18867
1	ICON	t/h	10.4	ICON 350	70374	85454	70374	85454	134163

\$ 1467902

2.6.2.2 Gastos

Para el análisis de los gastos se consideró datos de salarios promedio de mano de obra y gastos de energía, así como los gastos de los equipos

Tabla 2.13 Gastos

Año	Equipos	Personal (\$)	Energía (\$/Kw)	Mantenimiento	Materia prima (\$)	Total (\$)
0	6562363	0	0	0	0	6562363
1	0	439200	37877	0	5324000	5801077
2	0	439200	37877	0	5324000	5801077
3	0	439200	37877	0	5324000	5801077
4	0	439200	37877	0	5324000	5801077
5	0	439200	37877	0	5324000	5801077
6	0	439200	37877	0	5324000	5801077
7	0	439200	37877	0	5324000	5801077
8	0	439200	37877	0	5324000	5801077
9	0	439200	37877	0	5324000	5801077
10	0	439200	37877	0	5324000	5801077
11	0	439200	37877	0	5324000	5801077
12	0	439200	37877	0	5324000	5801077
13	0	439200	37877	0	5324000	5801077
14	0	439200	37877	0	5324000	5801077
15	0	439200	37877	0	5324000	5801077
16	0	439200	37877	0	5324000	5801077
17	0	439200	37877	0	5324000	5801077

18	0	439200	37877	0	5324000	5801077
19	0	439200	37877	0	5324000	5801077
20	0	439200	37877	0	5324000	5801077
21	0	439200	37877	0	5324000	5801077
22	0	439200	37877	0	5324000	5801077
23	0	439200	37877	0	5324000	5801077
24	0	439200	37877	0	5324000	5801077
25	0	439200	37877	0	5324000	5801077
						\$151589279

2.6.2.3 Ingresos

Para el análisis de ingresos se consideró los datos de ley de cabeza y cantidad de material ingresado de los equipos de ICON e HIDROCICLON

Tabla 2.14 Ingresos

Toneladas producidas (t)	ICON			HIDROCICLON			Toneladas producidas (t)
	Precio por tonelada (\$)	Total (\$)	Toneladas producidas (t)	Precio por tonelada (\$)	Total (\$)	Total (\$)	
1	521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	\$ 8902893.12
2	521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	\$ 8902893.12
3	521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	\$ 8902893.12
4	521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	\$ 8902893.12
5	521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	\$ 8902893.12
6	521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	\$ 8902893.12
7	521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	\$ 8902893.12
8	521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	\$ 8902893.12

	ICON			HIDROCICLON			
<i>Toneladas producidas (t)</i>	<i>Precio por tonelada (\$)</i>	<i>Total (\$)</i>	<i>Toneladas producidas (t)</i>	<i>Precio por tonelada (\$)</i>	<i>Total (\$)</i>	<i>Total (\$)</i>	<i>Toneladas producidas (t)</i>
9	521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	\$ 8902893.12
10	521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	\$ 8902893.12
11	521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	\$ 8902893.12
12	521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	\$ 8902893.12
13	521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	\$ 8902893.12
14	521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	\$ 8902893.12
15	521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	\$ 8902893.12
16	521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	\$ 8902893.12
17	521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	\$ 8902893.12
18	521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	\$ 8902893.12
19	521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	\$ 8902893.12
20	521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	\$ 8902893.12
21	521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	\$ 8902893.12
22	521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	\$ 8902893.12
23	521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	\$ 8902893.12
24	521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	\$ 8902893.12
25	521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	\$ 8902893.12

2.6.2.4 Rentabilidad

Para el análisis de rentabilidad se consideró el estudio para un periodo de 25 años

Tabla 2.15 Rentabilidad primera simulación

AÑO	INGRESOS (\$)	COSTES OPERATIVOS (\$)	INTERESES (\$)	BENEF. BRUTO (\$)	IMPUESTOS (\$)	AMORTIZACION EQUIPOS PRINCIPALES (\$)	Beneficios. TRAS Impuestos (\$)	FONDO GENERADO (\$)	REEMB. CREDITO (\$)	FLUJO DE CAJA CADA AÑO (\$)	FLUJO ACTUALIZADO (\$)
0	0	0									
1	8902893.120	5801077	393742	2708075	947826	244650	1515598	1760249	1312473	447776	430554
2	8902893.120	5801077	314993	2786823	975388	244650	1566785	1811435	1312473	498962	461319
3	8902893.120	5801077	236245	2865571	1002950	244650	1617971	1862621	1312473	550149	489080
4	8902893.120	5801077	157497	2944320	1030512	244650	1669157	1913808	1312473	601335	514024
5	8902893.120	5801077	78748	3023068	1058074	244650	1720344	1964994	1312473	652522	536325
6	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636	244650	1771530	2016181		2016181	1593417
7	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	1532132
8	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	1473203
9	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	1416542
10	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	1362059
11	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	1309673

AÑO	INGRESOS (\$)	COSTES OPERATIVOS (\$)	INTERESES (\$)	BENEF. BRUTO (\$)	IMPUESTOS (\$)	AMORTIZACION EQUIPOS PRINCIPALES (\$)	Beneficios. TRAS Impuestos (\$)	FONDO GENERADO (\$)	REEMB. CREDITO (\$)	FLUJO DE CAJA CADA AÑO (\$)	FLUJO ACTUALIZADO (\$)
12	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	1259301
13	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	1210866
14	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	1164294
15	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	1119514
16	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	1076455
17	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	1035053
18	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	995243
19	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	956965
20	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	920159
21	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	884768
22	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	850738
23	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	818018

AÑO	INGRESOS (\$)	COSTES OPERATIVOS (\$)	INTERESES (\$)	BENEF. BRUTO (\$)	IMPUESTOS (\$)	AMORTIZACION EQUIPOS PRINCIPALES (\$)	Beneficios. TRAS Impuestos (\$)	FONDO GENERADO (\$)	REEMB. CREDITO (\$)	FLUJO DE CAJA CADA AÑO (\$)	FLUJO ACTUALIZADO (\$)
24	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	786555
25	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	756303
											\$ 24952560

2.6.3 Segunda simulación (tiempos de molienda)

Para el análisis de la segunda simulación, se consideró todos los equipos que cuenta la planta, pero se hizo un cambio en el tiempo de molienda del molino pequeño (4'x4'), de 60 minutos a 45 minutos

2.6.3.1 Coste equipos principales

Para este análisis económico se analizaron los principales equipos en el proceso, y los valores referenciales se los tomó de los manuales de CAPCOSTS (Mular & Poulin, 1998) y Manual de trituración y cribado (Metso Minerals, 2008); los resultados se detallan en la tabla siguiente

Tabla 2.16 Coste equipos principales

NUMERO DE EQUIPO	EQUIPO	UNIDADES	REPORT	MODELO	FORMULA EN CAPCOSTS (1400) unitario	MARSHAL unitario	FORMULA EN CAPCOSTS (1400) total	MARSHAL total (\$)	COSTE EXWORD (\$)
1	Alimentador 1	m ²	87	–	0	0	0	0	0
1	Trituradora de Mandibula	t/h	2.42	–	220000	267143	220000	267143	419414
1	Trituradora de Mandibula	t/h	2.19	–	210000	255000	210000	255000	400350
1	Criba	m ²	0.072	4x10	20550	24954	20550	24954	39177
1	Molino grande	t/h	8.25	COMESA	239155	290402	239155	290402	455932
1	Hidrociclon	t/h	8.63	ICA	9896	12017	9896	12017	18867
1	ICON	t/h	10.4	ICON 350	70374	85454	70374	85454	134163

\$ 1467902

2.6.3.2 Gastos

En el análisis de los gastos se consideró salarios promedio de mano de obra y gastos de energía

Tabla 2.17 Gastos

Año	Equipos	Personal (\$)	Energía (\$/Kw)	Mantenimiento	Materia prima (\$)	Total (\$)
0	6562363	0	0	0	0	6562363
1	0	439200	37877	0	5324000	5801077
2	0	439200	37877	0	5324000	5801077
3	0	439200	37877	0	5324000	5801077
4	0	439200	37877	0	5324000	5801077
5	0	439200	37877	0	5324000	5801077
6	0	439200	37877	0	5324000	5801077
7	0	439200	37877	0	5324000	5801077
8	0	439200	37877	0	5324000	5801077
9	0	439200	37877	0	5324000	5801077
10	0	439200	37877	0	5324000	5801077
11	0	439200	37877	0	5324000	5801077
12	0	439200	37877	0	5324000	5801077
13	0	439200	37877	0	5324000	5801077
14	0	439200	37877	0	5324000	5801077
15	0	439200	37877	0	5324000	5801077
16	0	439200	37877	0	5324000	5801077
17	0	439200	37877	0	5324000	5801077

Año	Equipos	Personal (\$)	Energía (\$/Kw)	Manteni miento	Materia prima	Total (\$)
18	0	439200	37877	0	5324000	5801077
19	0	439200	37877	0	5324000	5801077
20	0	439200	37877	0	5324000	5801077
21	0	439200	37877	0	5324000	5801077
22	0	439200	37877	0	5324000	5801077
23	0	439200	37877	0	5324000	5801077
24	0	439200	37877	0	5324000	5801077
25	0	439200	37877	0	5324000	5801077
						\$ 151589279

2.6.3.3 Ingresos

Para el análisis de ingresos se consideró datos que nos proporcionó el software MODSIM, como material ingresado y ley de cabeza, resultante de los equipos del ICON e HIDROCICLON

Tabla 2.18 Ingresos

ICON			HIDROCICLON			Total (\$)
Toneladas producidas (t)	Precio por tonelada (\$)	Total (\$)	Toneladas producidas (t)	Precio por tonelada (\$)	Total (\$)	
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.12
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.12
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.12
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.12
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.12

ICON			HIDROCICLON			Total (\$)
<i>Toneladas producidas (t)</i>	<i>Precio por tonelada (\$)</i>	<i>Total (\$)</i>	<i>Toneladas producidas (t)</i>	<i>Precio por tonelada (\$)</i>	<i>Total (\$)</i>	
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.12
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.12
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.12
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.12
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.12
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.12
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.12
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.12
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.12
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.12
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.12
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.12
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.12
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.12
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.12
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.12
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.12
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.12
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.12
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.12
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.12
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.12
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.12
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.12
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.12
521752	916.3	478081358	151201.6	1624.48	245623975.2	8902893.12

2.6.3.4 Rentabilidad

Para realizar el análisis de rentabilidad se analizó para un periodo de 25 años, dentro de los cuales se consideró valores elementales como ingresos, costos operativos y como valores tentativos se asumió los costos de un préstamo inicial

Tabla 2.19 Rentabilidad

AÑO	INGRESOS (\$)	COSTES OPERATIVOS (\$)	INTERESES (\$)	BENEF. BRUTO (\$)	IMPUESTOS (\$)	AMORTIZACION EQUIPOS PRINCIPALES (\$)	Beneficios. TRAS Impuestos (\$)	FONDO GENERADO (\$)	REEMB. CREDITO (\$)	FLUJO DE CAJA CADA AÑO (\$)	FLUJO ACTUALIZADO (\$)
0	0	0									
1	8902893.120	5801077	393742	2708075	947826	244650	1515598	1760249	1312473	447776	430554
2	8902893.120	5801077	314993	2786823	975388	244650	1566785	1811435	1312473	498962	461319
3	8902893.120	5801077	236245	2865571	1002950	244650	1617971	1862621	1312473	550149	489080
4	8902893.120	5801077	157497	2944320	1030512	244650	1669157	1913808	1312473	601335	514024
5	8902893.120	5801077	78748	3023068	1058074	244650	1720344	1964994	1312473	652522	536325
6	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636	244650	1771530	2016181		2016181	1593417
7	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	1532132
8	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	1473203
9	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	1416542

AÑO	INGRESOS (\$)	COSTES OPERATIVOS (\$)	INTERESES (\$)	BENEF. BRUTO (\$)	IMPUESTOS (\$)	AMORTIZACION EQUIPOS PRINCIPALES (\$)	Beneficios. TRAS Impuestos (\$)	FONDO GENERADO (\$)	REEMB. CREDITO (\$)	FLUJO DE CAJA CADA AÑO (\$)	FLUJO ACTUALIZADO (\$)
10	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	1362059
11	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	1309673
12	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	1259301
13	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	1210866
14	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	1164294
15	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	1119514
16	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	1076455
17	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	1035053
18	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	995243
19	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	956965
20	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	920159

AÑO	INGRESOS (\$)	COSTES OPERATIVOS (\$)	INTERESES (\$)	BENEF. BRUTO (\$)	IMPUESTOS (\$)	AMORTIZACION EQUIPOS PRINCIPALES (\$)	Beneficios. TRAS Impuestos (\$)	FONDO GENERADO (\$)	REEMB. CREDITO (\$)	FLUJO DE CAJA CADA AÑO (\$)	FLUJO ACTUALIZADO (\$)
21	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	884768
22	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	850738
23	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	818018
24	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	786555
25	8902893.120	5801077	0	3101816	1085636		2016181	2016181		2016181	756303
											\$ 24952560

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Para realizar los diferentes escenarios, se consideró primero la simulación de la planta actual CAZADEROS 1; posterior a ellos se identificaron falencia en la misma, información que nos sirvió como apoyo para poder desarrollar las dos simulaciones, siempre considerando no cambiar los valores de recuperación.

Para iniciar la simulación, se consideró en primera instancia los principales equipos de la planta que actualmente que encuentran operando, como:

Tabla 3.1 Equipos principales en la planta de beneficio CAZADEROS 1

Cantidad	Equipo
1	Alimentador 1
2	Trituradora de Mandíbula
1	Criba
1	Molino grande
1	Molino pequeño
1	Hidrociclón
1	ICON

3.1 Análisis comparativo entre la simulación de la planta actual vs la primera simulación (1 molino)

En las dos simulaciones, la cantidad de material que ingresa en el proceso de trituración es equivalente a 2.42 t/h, el material pasa por los diferentes equipos mencionados anteriormente, para la obtención del mineral de interés.

La simulación de la planta actual cuenta con dos molinos un grande de 6'x6' que trabaja en circuito cerrado, y uno pequeño de 4'x4' que funciona en circuito abierto; la cantidad de material que sale de los dos molinos hacia el ICON es de 10.4 t/h; en la primera simulación se consideró solo dejar el molino grande, de igual forma se analizó la cantidad de material que sale del molino hacia el ICON, el mismo que fue equivalente a 7.27 t/h, donde no se observa una variación significativa, si consideramos que todo el proceso se está ejecutando con un solo molino

Así mismo se comparó los datos de g/tAu del material que sale de ICON, y en ambos procesos (Figura 3.1) (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), los resultados fueron equivalentes a 49 g/tAu, no existió ningún cambio por lo que el proceso con un molino funciona bien, dándonos los resultados que la empresa requiere

Lo mismo se analizó para el material que sale del hidrociclón, donde se trató de mantener el mismo % sólidos, igual a 11.4; este valor es importante ya que el material que sale del hidrociclón sirve para el proceso de cianuración por lo que los parámetros se deben mantener.

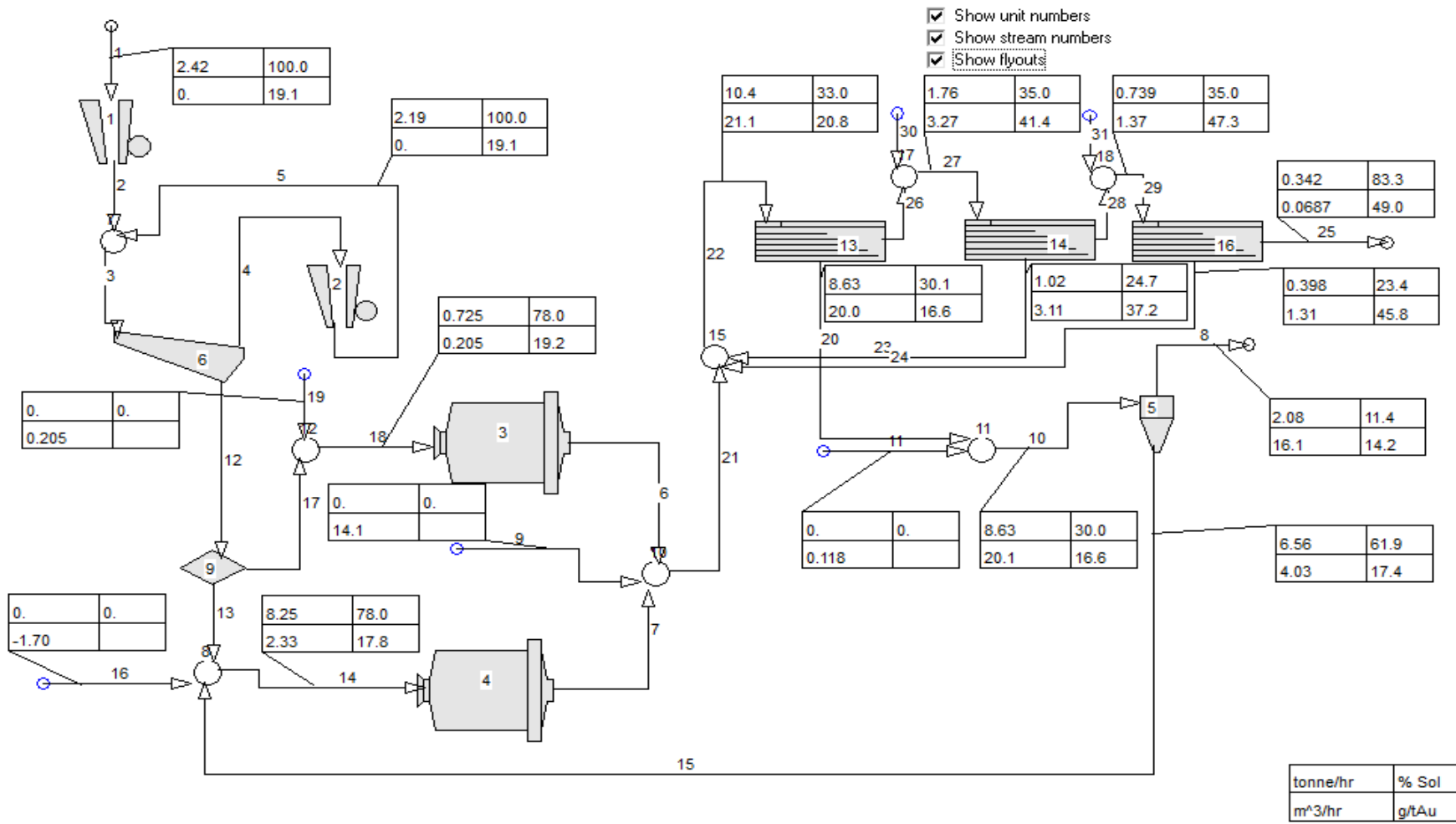


Figura 3.1 Simulación de la planta actual

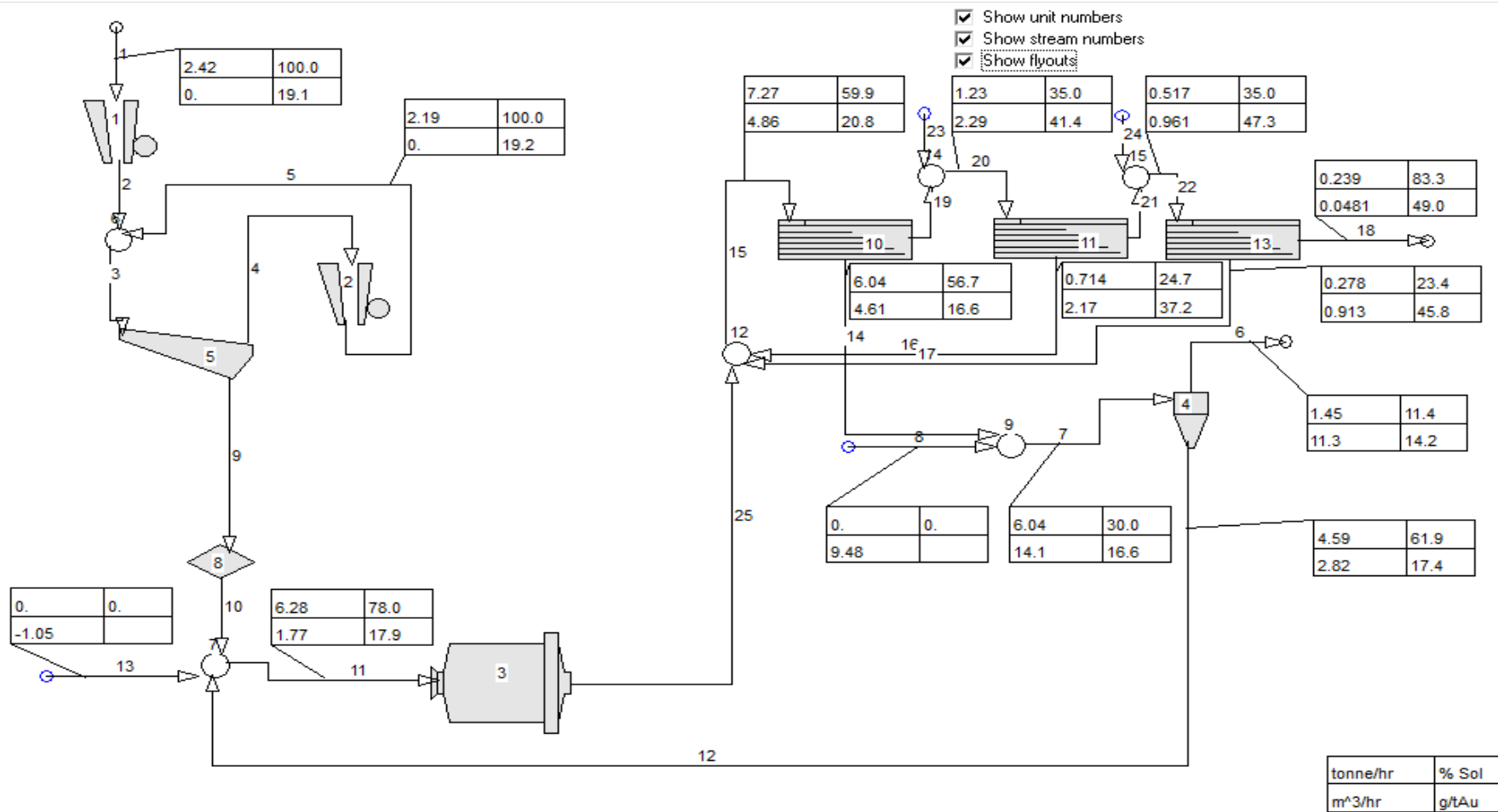


Figura 3.2 Primera simulación

3.2 Análisis comparativo entre la simulación de la planta actual vs la segunda simulación (cambio en tiempos de molienda del molino pequeño)

Para la construcción del segundo escenario, se consideró la simulación de la planta actual donde se identificó el sobredimensionamiento de los equipos, específicamente en la molienda; se mantuvo los dos molinos para no cambiar el diseño, ya predispuesto por la planta, para lo cual se analizó la alternativa de cambiar los tiempos de molienda, generando menor gasto energético del molino.

Los dos molinos tanto el pequeño como el grande mantiene un tiempo de molienda de 60 minutos; para el desarrollo de la segunda simulación, se consideró cambiar el tiempo de molienda del molino pequeño, ya que este trabaja en circuito cerrado y su funcionabilidad no genera un gran impacto en el proceso, el material que sale del molino pequeño pasa al ICON y el material que sale de este, recircula al molino grande (Figura 3.1) (Figura 3.3).

El tiempo a considerar fue de 45 minutos en el molino pequeño y 60 minutos en el molino grande, los valores de recuperación en el ICON, tanto en la simulación de la planta actual como en el segunda simulación fueron de 49 g/tAu; de igual forma el % sólidos del material que sale del hidrociclón se mantiene con una variación no significativa de 11.3 y 11.4.

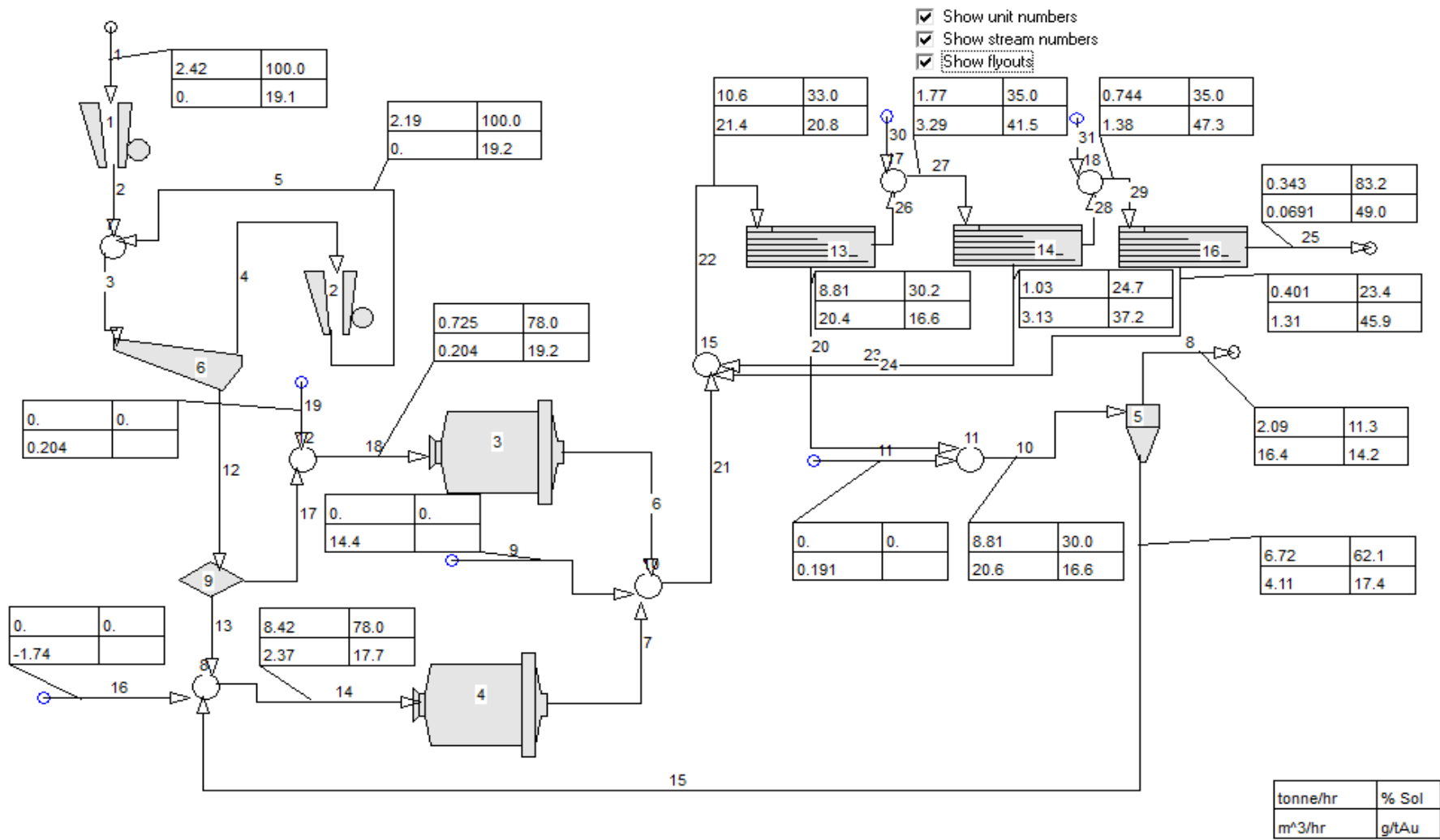


Figura 3.3 Segunda simulación

3.3 Análisis de costo

Luego de realizar las dos simulaciones, se plantea un análisis de costo, tomando como referencia el capítulo 3, literal 3.3 Análisis Económico; donde detallamos los costos, inversiones y ganancias que cada una de las simulaciones representa.

Posterior al análisis económico, se consideró la mejor propuesta, siendo la simulación dos la mejor opción, en la que se utilizó un molino para el proceso, la que implica menores costos y mayor ganancia; resultando una inversión inicial de 6'562.363 dólares y 5'801.077 dólares anualmente, proyectado para 25 años; y una ganancia neta que fluctúa entre 430.554 dólares y 1'593.417 dólares

Tabla 3.2 Costos de inversión

Año	Equipos	Personal (\$)	Energía (\$/Kw)	Mantenimiento	Materia prima (\$)	Total (\$)
0	6562363	0	0	0	0	6562363
1	0	439200	37877	0	5324000	5801077
2	0	439200	37877	0	5324000	5801077
3	0	439200	37877	0	5324000	5801077
4	0	439200	37877	0	5324000	5801077
5	0	439200	37877	0	5324000	5801077
6	0	439200	37877	0	5324000	5801077
7	0	439200	37877	0	5324000	5801077
8	0	439200	37877	0	5324000	5801077
9	0	439200	37877	0	5324000	5801077
10	0	439200	37877	0	5324000	5801077
11	0	439200	37877	0	5324000	5801077
12	0	439200	37877	0	5324000	5801077
13	0	439200	37877	0	5324000	5801077

Año	Equipos	Personal (\$)	Energía (\$/Kw)	Mantenimiento	Materia prima (\$)	Total (\$)
14	0	439200	37877	0	5324000	5801077
15	0	439200	37877	0	5324000	5801077
16	0	439200	37877	0	5324000	5801077
17	0	439200	37877	0	5324000	5801077
18	0	439200	37877	0	5324000	5801077
19	0	439200	37877	0	5324000	5801077
20	0	439200	37877	0	5324000	5801077
21	0	439200	37877	0	5324000	5801077
22	0	439200	37877	0	5324000	5801077
23	0	439200	37877	0	5324000	5801077
24	0	439200	37877	0	5324000	5801077
25	0	439200	37877	0	5324000	5801077
						\$ 151589279

Tomando en consideración la Tabla 3.2, donde se detalla los valores de rentabilidad del proyecto, proyectado para 25 años; se elabora la Figura 3.4 Rentabilidad del proyecto, donde se denota un crecimiento bajo los 5 primeros años, pero este crece significativamente los años siguientes, manteniéndose moderadamente estable los 20 años siguientes.

Debe indicar que los 5 años donde no existe crecimiento, se debe al préstamo que la empresa tiene como inicio de capital, sin embargo, hay que notar que el proyecto es rentable ya que existe un crecimiento lento progresivo y a partir del siguiente año las ganancias aumentan significativamente.

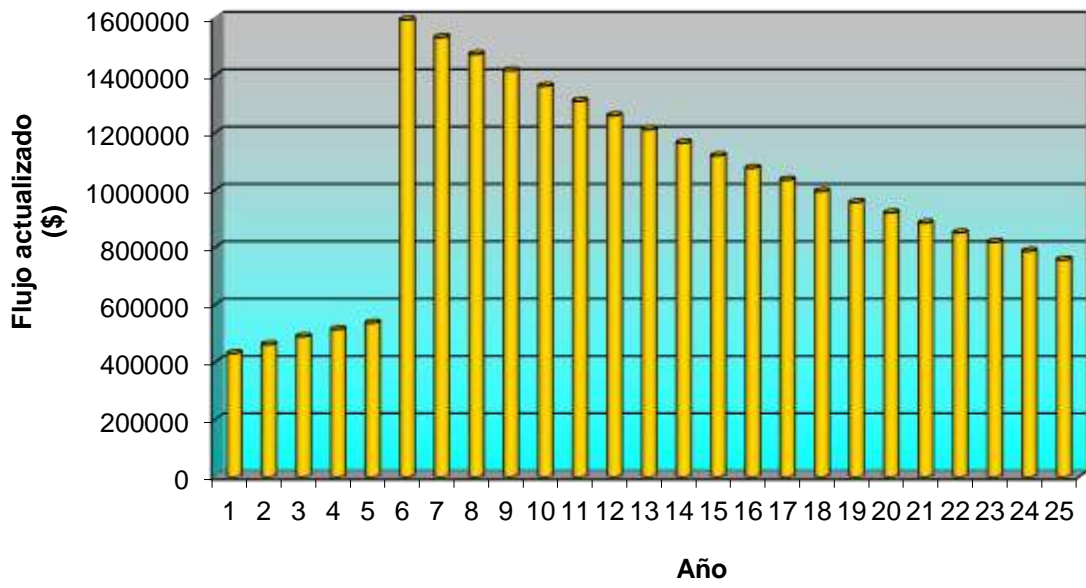


Figura 3.4 Rentabilidad del proyecto

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

La planta CAZADEROS 1, cuenta con un proceso de trituración primaria, secundaria, molienda, clasificación gravimétrica, clasificación centrífuga, proceso de cianuración, flotación y carbón activado, para finalmente obtener el mineral de interés.

El presente estudio permitió realizar la simulación en el programa matemático MODSIM, de diferentes escenarios, como el diseño de la planta actual y el diseño de dos propuestas; tomando como punto de referencia el diagrama de flujo de la planta CAZADEROS 1.

El análisis de la simulación de la planta actual, dio un enfoque para identificar el sobredimensionamiento de algunos equipos, específicamente en el proceso de molienda, donde se evidenció que el molino pequeño se encontraba sobredimensionado el proceso.

A partir de este análisis se pudo crear dos alternativas de simulación; la primera donde se contempló la eliminación de uno de los molinos, específicamente el molino pequeño; obteniendo resultados de recuperación equivalentes a 49 g/tAu, valores que se mantienen en relación a los datos de la planta actualmente.

La segunda simulación contempla en cambio, el tiempo de molienda de los dos molinos, cambiando de 45 minutos el molino pequeño y manteniendo los 60 minutos el molino grande; esto nos ayuda a disminuir el gasto energético del molino pequeño

El análisis económico realizado a las diferentes simulaciones indica que la inversión en la primera simulación, en la que implica un solo molino, significa un costo menor

tanto de costos de maquinaria, mano de obra y gastos energético de los equipos, así como ganancias fluctuantes entre 430.554 dólares y 1'593.417 dólares

4.2 Recomendaciones

Se sugiere la implementación, de la primera propuesta, donde se hace uso de un molino, específicamente el molino grande, para obtener mayor eficiencia y menor costos de producción

Es recomendable que la información que se ingresa en el programa MODSIM, sea la correcta, caso contrario los resultados son erróneos en la simulación

Se recomienda que la información que se ingresa gradualmente en el programa MODSIM, se guarde continuamente y se actualice, ya que, si no se toma en cuenta estos pasos, la información al momento de interpretar no es la correcta.

Se recomienda mantener tiempos no mayores a 60 minutos, en el proceso de molienda, con la finalidad de evitar una sobremolienda del material

BIBLIOGRAFÍA

- 911Metallurgist. (2021). *Molino de bolas y su funcionamiento*.
- Acherman, S. (2014). *El hidrociclón como una partícula para la recuperación parcial de ayudas filtrantes en los procesos de refinación*.
- Blanco, E. A. (2020). *BLOQUE II – CAPÍTULO 7. TRITURACIÓN*.
- Bustamante-Rua, Moisés; Daza-Aragon, Alan; Bustamante-Baena, Pabo; Barros-Daza, M. (2016). Simulation of processing minerals plants in Colombia through MODSIM®. *Boletín de Ciencias de La Tierra*, 39, 33–37.
- Doroteo, E. (2010). *Diseño y operación de un hidrociclón para mejorar la técnica de lavado de suelos*.
- EcuRed. (2021a). *Molienda*.
- EcuRed. (2021b). *Trituración*. Trituración.
- Hernández, Leonela; De la Cruz, Alcaris; Valdéz, D. (2015). *Trituración y moliendas*.
- King, R. P. (2012). Modeling and simulation of mineral processing systems, 2 Ed. *USA SME*, 1–5.
- Laurente, M. (2017). *Concentración por centrifugación*.
- Metso Minerals. (2008). *Manual de Trituración y Cribado*. 322.
- Miranda R., J. C. (2014a). *Trituración - Aspectos generales*.
- Miranda R., J. C. (2014b). *Trituradoras giratorias I*.
- Mular, A., & Poulin, R. (1998). *Metodología Capcost*.
- QuimiNet. (2011). *Funcionamiento y características de la trituradora de mandíbula*.
- Ramirez, N. (2020). *Trituración*. ProIndustriales.
- Rojas Rupay, R. R. (2019). *Incremento de throughput en la etapa de molienda SAG, para la optimización de las variables de la función selección y fractura, en la Compañía Minera Antamina S.A. - 2019*.
- Sutulov, A. (1996). Flotación de minerales. *Instituto de Investigaciones Tecnológicas*.
- Tangoy, H. M. (2020). Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Aguarico. *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de Aguarico*, 157. http://gobiernodezapotillo.gob.ec/?page_id=265
- Torres Rúbilar, M. (2006). *MODSIM – Modular Simulator for ore dressing plants*.
- Vásquez, J. (2015). Procesamiento de minerales auríferos. *Ministerio de Minas y*

Energía.

Zurita, I. (2013). Manual de Operación de los concentradores gravimétricos centrifugos ICON orientados a la pequeña y mediana minería. *FUTURA TECHNOLOGIES SAC.*

APÉNDICES

APÉNDICE A

Equipos de la Planta de Beneficio CAZADEROS 1

Nº	MAQUINAS Y EQUIPOS DE PLANTA	MARCA Y MODELO	CARACTERISTICAS
1	CANCHA DE MINERL	-----	6000 TM
2	VOLQUETAS DE CARGA	-----	20 TM
3	CARGADOR FRONTAL	YENCISA 638	-----
4	PARRILA DE TOLVA	-----	ABERTURA DE 10"
5	TOLVA DE GRUESOS	-----	40 TM
6	CHANCADORA PRIMARIA (QUIJADA)	-----	10" X 15"
7	FAJA TRANSPORTADORA # 1	-----	60 cm X 5,6 m
8	ELECTROIMAN	-----	60 cm x 40 cm x 20 cm
9	ZARANDA GRIZZLY	-----	1,20 x 0,8 m
10	CHANCADORA SECUNDARIA (QUIJADAS)	-----	6" x 28"
11	FAJA TRANSPORTADORA # 2	-----	60 cm x 4 m
12	TOLVA DE FINOS	-----	50 TM
13	FAJA TARNSPORTADORA # 3	-----	60 cm x 6,80 m
14	MOLINO DE BOLAS	COMESA	6' x 6'
15	BOMBA DE PULPA	ICBA	1 1/2" X 1 1/4"
16	CONCENTRADOR GRAVIMETRICO	-----	ICON 350
17	BOMBA DE PULPA	ICBA	2 1/2" X 2"
18	HIDROCICLON	ICBA	D - 4
19	FAJA TRANSPORTADORA # 4	-----	60 cm x 9 m
20	MOLINO DE BOLAS	COMESA	4' x 4'
21	BOMBA DE PULPA	ICBA	1 1/2" X 1 1/4"
22	TANQUE DE LIXIVIACIÓN	-----	40 m ³
23	TANQUE DE LIXIVIACIÓN	-----	70 m ³
24	6 TANQUES CARBONEROS	-----	20 m ³
25	ACONDICIONADOR #1	-----	6 m ³
26	CELDA SERRANO #1		6'X6'
27	CELDA SERRANO #2		6'X6'
28	CELDA DENVER #1	DE 6 CAJONES	32" X 38"
29	ACONDICIONADOR #2	-----	4 m ³
30	CELDA DENVER #2	DE 6 CAJONES	32" X 38"
31	4 CAJONES DE CONCENTRADO	-----	15 TM
32	RELAVERA #1	-----	4000 m ³
33	RELAVERA #2	-----	5000 m ³

Nº	MAQUINAS Y EQUIPOS DE PLANTA	MARCA Y MODELO	CARACTERISTICAS
34	POZA DE RECIRCULACION	-----	6000 m ³
35	BOMBA DE AGUA	-----	4" X 3"
36	TANQUE DE RECIRCULACIÓN	-----	50 m ³
37	COSECHADOR DE CARBON ACTIVADO	-----	1.0 m x 1.80 m
38	BOMBA DE PULPA	ICBA	1 1/2" X 1 1/4"

Tabla A.1 Detalle de los equipos de la planta CAZADEROS 1

APÉNDICE B

Difractograma de Muestras

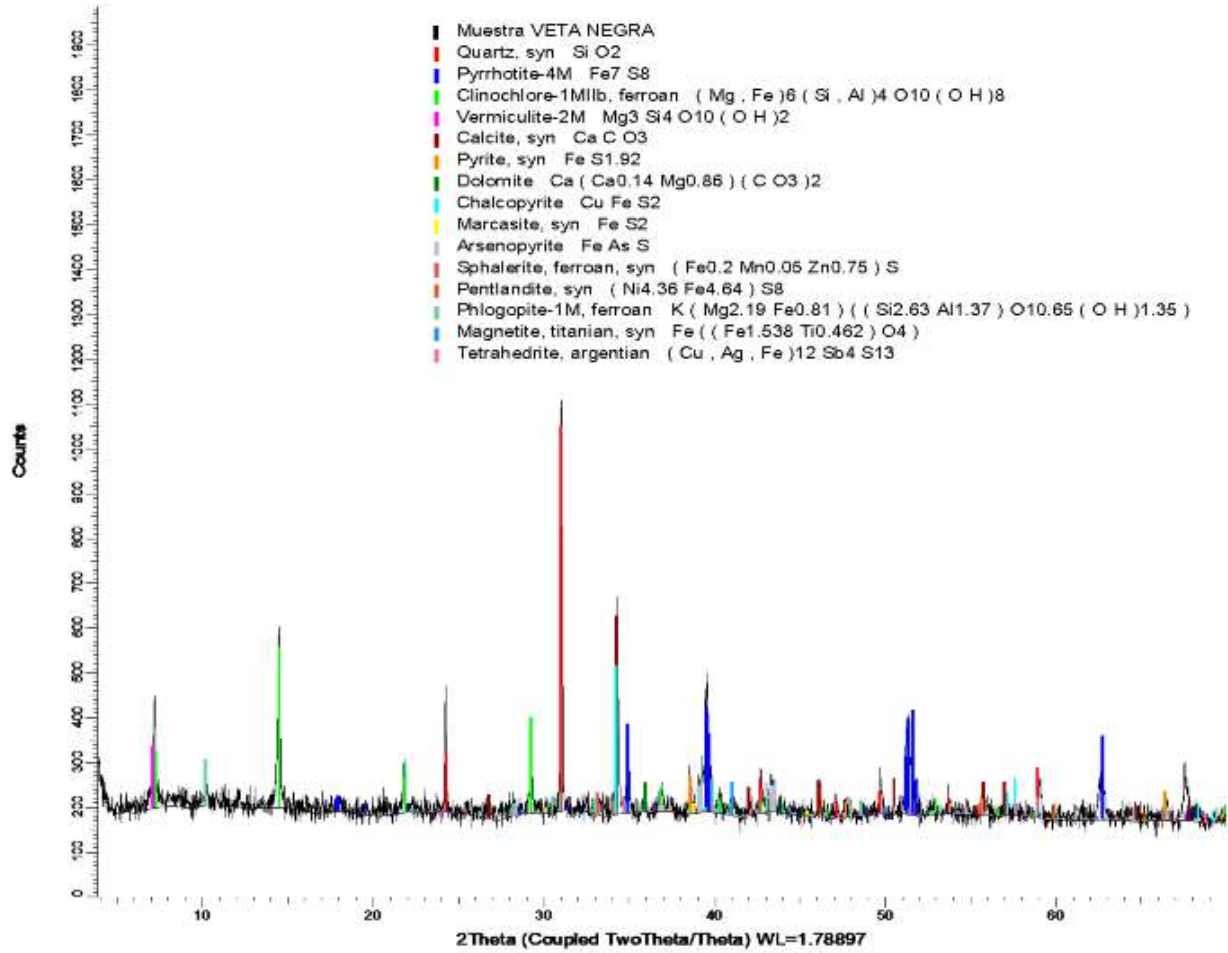


Figura B.1 Difractograma de la muestra Veta Negra (Laboratorio FA INGENIEROS S.A.C)

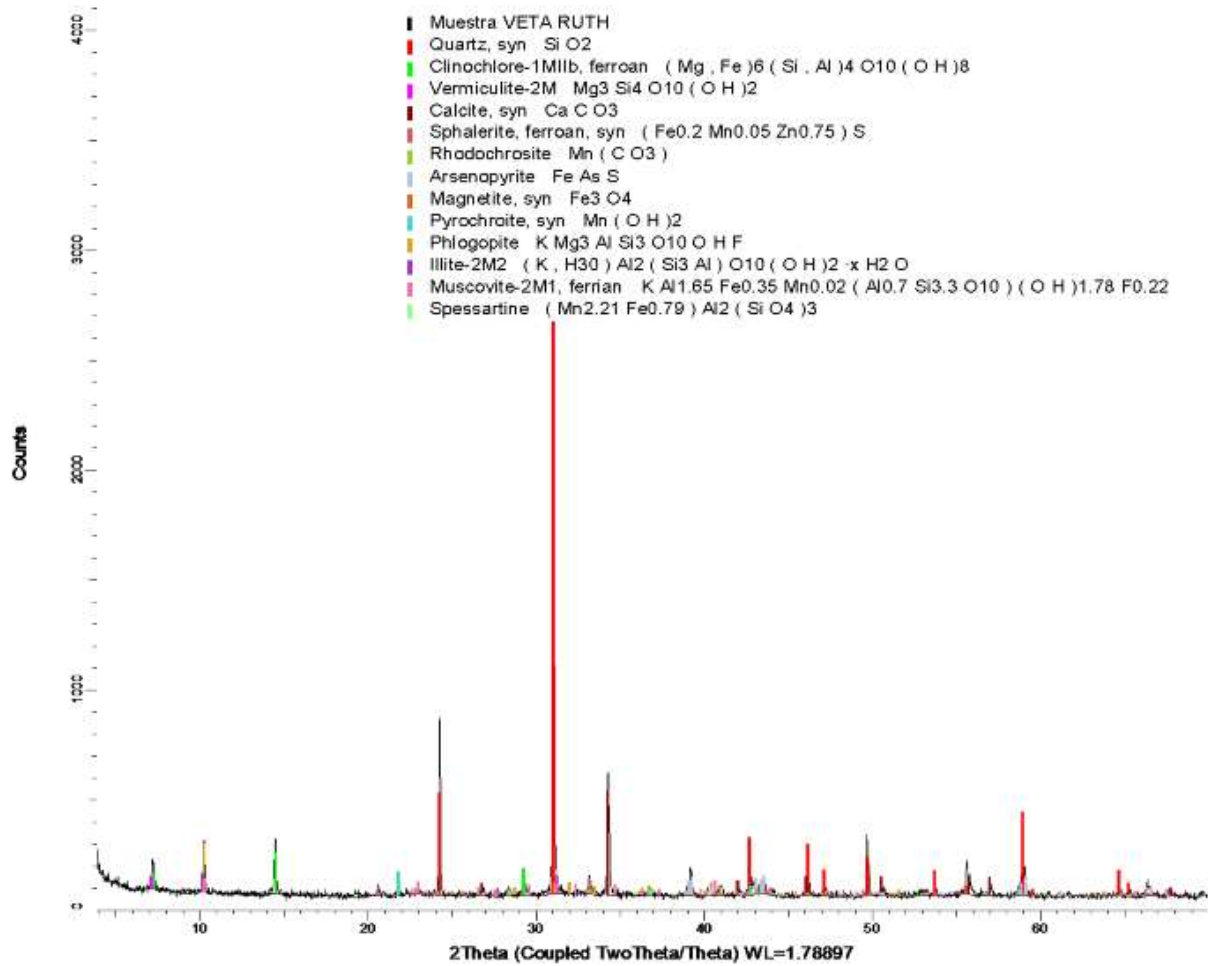


Figura B.2 Difractograma de la muestra Veta Ruth (Laboratorio FA INGENIEROS S.A.C)