

**Optimización del Circuito de Trituración Para Aumento de Producción de Oro en una  
Empresa de Procesamiento de Metales Preciosos**

Presentado por:

Sebastian Quintero Zabala

Tutor:

Martha Catalina Ospina Hernández

Universidad Nacional Abierta Y A Distancia UNAD  
Escuela De Ciencias Básicas, Tecnología E Ingeniería.

Ingeniería Industrial

2023

## Contenido

Lista de Ilustraciones .....	6
Lista de tablas .....	7
Resumen.....	8
Abstract .....	9
Glosario.....	10
Introducción .....	11
Justificación .....	13
Objetivos.....	15
Objetivo General.....	15
Objetivos Específicos.....	15
Planteamiento del Problema .....	16
Definición del Problema .....	16
Pregunta Problema .....	17
Generalidades de la Empresa .....	17
Localización Geográfica y Vías de Acceso.....	17
Marco Teórico .....	19
Contexto Actual de la Empresa.....	19
Etapas del Proceso de Tratamiento de Minerales .....	20
Proceso de Trituración .....	20
Etapa Primaria.....	20
Etapa Secundaria.....	20
Etapa Terciaria. ....	21

Proceso de Molienda.....	21
Proceso de Concentración Gravimétrica.....	22
Proceso de Flotación.....	23
Etapa Rouhger.....	23
Etapa Cleaner.....	23
Etapa Scavenger.....	23
Proceso de lixiviación.....	23
Proceso Merrill Crowe.....	24
Proceso de Fundición.....	24
Metodología.....	28
Línea de Investigación.....	28
Tipo de Investigación.....	28
Enfoque de la Investigación.....	28
Técnicas e Instrumentos de Recolección de la Información.....	29
Población Involucrada en la Investigación.....	29
Alcance y Limitación de la Investigación.....	29
Modelo Matemático de Optimización.....	30
Ecuaciones Matemáticas.....	30
Función Objetivo.....	30
Restricciones.....	31
Tipos de Modelos de Optimización Matemática.....	31
Métodos de Resolución de Modelos Matemáticos.....	32
Variable de Holgura y Exceso.....	32

Pregunta Problema Para el Modelo Matemático .....	33
Modelación Problema Para el Modelo Matemático.....	33
Solución Problema Para el Modelo Matemático .....	35
VARIABLES DE DECISIÓN.....	35
Función Objetivo. ....	35
Restricciones.....	35
Determinación del Buje Excéntrico .....	36
Determinación de las RPM de Alimentación al Triturador de Cono .....	38
Resultados.....	41
Propuesta de Mejora .....	41
Aumento de Tonelaje Triturador.....	41
Excéntrica 32 (Condición Actual).....	43
Excéntrica 28 .....	43
Excéntrica 24 .....	43
Como Funciona el Tiro Excéntrico.....	44
Granulométricos.....	46
Ficha de Análisis.....	51
Solución del Problema (Productos Elaborados) .....	52
Visita de locación y familiarización con el área de trabajo. ....	52
Inventarios, materias primas. ....	52
Comparativo Eficiencia equipos.....	52
Verificación de la necesidad operativa.....	52
Conclusiones.....	55

Recomendaciones .....	57
Referencias Bibliográficas .....	58

## Lista de Ilustraciones

<b>Ilustración 1</b> <i>Ubicación geográfica operaciones de la empresa</i> .....	17
<b>Ilustración 2</b> <i>Proceso de trituración</i> .....	18
<b>Ilustración 3</b> <i>Etapa terciaria</i> .....	21
<b>Ilustración 4</b> <i>Molienda</i> .....	22
<b>Ilustración 5</b> <i>Concentrador Gravimétrico</i> .....	22
<b>Ilustración 6</b> <i>Lixiviación</i> .....	24
<b>Ilustración 7</b> <i>Fundicion</i> .....	24
<b>Ilustración 8</b> <i>Circuito de trituración</i> .....	25
<b>Ilustración 9</b> <i>Circuito de trituración y molienda</i> .....	26
<b>Ilustración 10</b> <i>Ajuste de criba Sandvik, cambio de angeos para mejorar clasificación</i> .....	27
<b>Ilustración 11</b> <i>Ajuste de trituradora CH440 con excéntrica de 36 a 28 mm</i> .....	27
<b>Ilustración 12</b> <i>Máxima eficiencia buje excéntrico</i> .....	34
<b>Ilustración 13</b> <i>Capacidad en toneladas hora basado en RPM</i> .....	34
<b>Ilustración 14</b> <i>Trituradora de cono CH Sandvik</i> .....	42
<b>Ilustración 15</b> <i>Muestra funcionamiento del triturador en trabajo</i> .....	44
<b>Ilustración 16</b> <i>Diferencia de setting según posición de la excéntrica</i> .....	45
<b>Ilustración 17</b> <i>Horas por mes, año 2022</i> .....	46
<b>Ilustración 18</b> <i>Q de toneladas trituradas- reporte diario</i> .....	48
<b>Ilustración 19</b> <i>Granulométrico, calidad material triturado</i> .....	49
<b>Ilustración 20</b> <i>Molienda Ton P I</i> .....	49
<b>Ilustración 21</b> <i>Molienda Ton P II</i> .....	50
<b>Ilustración 22</b> <i>Análisis Grafico</i> .....	53

**Lista de tablas**

<b>Tabla 1</b> <i>Método simplex buje excéntrico.</i> .....	37
<b>Tabla 2</b> <i>Método Simplex buje excéntrico.</i> .....	37
<b>Tabla 3</b> <i>Método simples RPM de alimentación</i> .....	39
<b>Tabla 4</b> <i>Método simples RPM de alimentación</i> .....	39
<b>Tabla 5</b> <i>Comparativo de granulométricos por banda</i> .....	47
<b>Tabla 6</b> <i>Cálculo de horas de trabajo por Año</i> .....	51
<b>Tabla 7</b> <i>Análisis de resultados</i> .....	53

## Resumen

La empresa de procesamiento de metales preciosos, participante en este proyecto, es una multinacional constituida en el año 1982 en la ciudad de Medellín y dedicada a la explotación, producción y venta de metales preciosos para la industria de la minería. El enfoque es principalmente en la producción de metales como oro y plata; como segunda opción tiene la producción de concentrados de plomo y cinc. La empresa actualmente cuenta con más de 7.000 colaboradores de los cuales 3.000 son contratados de forma directa y 4.000 de forma temporal. Igualmente, la gama de equipos y maquinaria está distribuida en 2 plantas de trituración, cargadores, bulldozer, las cuales forman el conjunto de maquinaria para la extracción y transporte de material y la otra parte corresponde al conjunto de maquinaria de triturado. Con el siguiente trabajo se pretende hacer un seguimiento detallado del proceso de producción, evaluando cada una de las áreas operativas, registrando los rendimientos, y analizando los resultados para desarrollar acciones de mejora que permitan aumentar los rendimientos de producción, la productividad humana y mejorar los procesos estandarizando las tareas operativas.

**Palabras claves:** Trituradora de mandíbulas, Trituradora de cono, Granulométrico, Factibilidad, Implementación, Optimización.

### **Abstract**

The precious metals processing company analyzed for this project is a multinational established in 1982 in the city of Medellín and dedicated to the exploitation, production and sale of precious metals for the mining industry. The focus is mainly on the production of metals such as gold and silver; as a second option, it has the production of lead and zinc concentrates. The company currently has more than 7,000 employees, of whom 3,000 are directly hired and 4,000 temporarily. Likewise, the range of equipment and machinery is distributed in 2 crushing plants, loaders, bulldozers, which form the set of machinery for the extraction and transport of material and the other part corresponds to the set of crushing machinery. With the following work, it is intended to carry out a detailed monitoring of the production process, evaluating each of the operational areas, recording the yields, and analyzing the results to develop improvement actions that allow increasing production yields, human productivity and improving the results. processes standardizing operational tasks.

**Keywords:** Jaw crusher, Cone crusher, Granulometric, Feasibility, implementation, Optimization.

## Glosario

**Banda transportadora:** una cinta transportadora, banda transportadora o transportador de banda o cintas francas es un sistema de transporte continuo formado por una banda continua que se mueve entre dos tambores. Por lo general, la banda es arrastrada por la fricción de sus tambores, que a la vez este es accionado por su motor.

**Granulométrico:** es el estudio de la distribución estadística de los tamaños de una colección de elementos de un material sólido fraccionado o de un líquido multifásico. El análisis granulométrico es el conjunto de operaciones cuyo fin es determinar la distribución del tamaño de los elementos que componen una muestra.

**Molino:** un molino de bolas es un tipo de molino utilizado para moler y mezclar materiales para ser utilizados en procesos de mezclado de minerales, pinturas, pirotecnia, cerámicas y sinterización de láser.

**Trituradora de cono:** máquina utilizada como trituradoras primarias, secundarias y terciarias durante mucho tiempo. Son ampliamente utilizados para triturar materiales duros y abrasivos tanto en el agregado como en las industrias mineras.

**Trituradora de mandíbulas:** máquina de trituración primaria y secundaria de los materiales con resistencia a la compresión inferior a 320MPa.

## Introducción

La opción de grado para el estudiante de ingeniería industrial contribuye no solo la puesta en práctica de los conocimientos adquiridos en el claustro educativo, sino también a adquirir la experiencia que fortalece las competencias de todo profesional, garantizando de esta manera que el país cuente con los profesionales idóneos en este campo, que contribuyan al desarrollo y progreso de la nación. La característica principal del presente informe es evidenciar la ejecución de las actividades aprobadas para la realización del proyecto de grado, como requisito de la UNAD. Igualmente compartir los conocimientos adquiridos por el ente investigativo en la vinculación al medio laboral desde el gremio de la ingeniería. Durante el periodo académico actual se desarrolló el proyecto de mejora en su proceso de producción en la empresa que acá se analizará, se cumplió con el objetivo principal planteado en su momento en la propuesta inicial de trabajo, el cual fue “Mejora circuito de trituración para aumento de producción de 1400 ton a 1850 ton día” y brindar el acompañamiento técnico y administrativo de las obras de la compañía dejando por parte del ente investigativo su conocimiento, ello optimizando y ofreciendo mejora continua en los procesos de operatividad de la empresa, promoviendo en esta su crecimiento continuo.

La búsqueda por evaluar el nivel de progreso de una organización y que pueda conseguir enfocarse hacia la gestión de sus procesos productivos, ha surgido desde hace mucho tiempo. Su ejecución como mecanismo permite realizar un diagnóstico objetivo de la compañía para poder formular estrategias de mejoramiento en cuanto a la manera en que desarrolla sus mejoras continuas, cuando producción se trata.

Muchas de las empresas dedicadas al sector productivo, se enfocan en la ejecución como tal de la operación y la solución de aquellos problemas que durante su desarrollo se puedan

presentar, pero muy pocas en las buenas prácticas de mejora continua de su producción, basada en la optimización de recursos, equipos y mano de obra.

La aplicación de buenas prácticas en la optimización de procesos ayuda a que una organización pueda alcanzar un grado mayor de madurez en su proceso productivo. Para conocer el estado actual de la empresa que acá será analizada, se utilizará la base datos del proceso productivo y el proceso de mantenimiento propio de la compañía, con el cual esperamos conocer el estado actual de la empresa con respecto a los aspectos propios de su producción actual, la aplicación de las buenas prácticas operativas y de mantenimiento, los procesos y áreas de conocimiento. En este informe se presentan los métodos, procesos, estrategias y procedimientos realizados que permitieron determinar el actual estado de la planta de producción de la compañía y cómo se optimizaron para aumentar su capacidad de procesamiento.

A continuación, se podrá observar la información relacionada, en donde se realizó una descripción de la problemática encontrada, sus antecedentes, la justificación de los hallazgos y con base en esto se establecieron y se propuso una serie de objetivos. De igual manera, se estableció la metodología utilizada, los instrumentos o herramientas que se requirieron y cálculos realizados para determinar el estado de producción actual de la compañía y cómo lograr las metas propuestas. También se determinó el alcance de esta investigación y las limitaciones que se nos presentaron durante el desarrollo de este proyecto, adicional a ello quisimos proponer un plan de acción en el cual se definieran las prioridades para la implementación de acuerdo con las recomendaciones implementadas, con el fin de que los colaboradores y los datos a un futuro sirvan para retroalimentar y mantener el ritmo de producción.

## **Justificación**

En la actualidad donde las empresas se manejan dentro un mundo globalizado, y la competencia se hace cada día mayor en todos los mercados, la productividad maneja un papel muy importante ya que de esto depende mantenerse y ser cada vez más competitivos. En el análisis que se describe a continuación, el cual surge de la necesidad por aumentar la capacidad de toneladas de material procesadas de la empresa, se darán a conocer las falencias que se tienen en cuanto a la productividad, el poder mejorar la calidad, la eficiencia, la seguridad y la garantía de tener un producto final, de esta manera la compañía podrá tener más toneladas procesadas con un tenor de cabeza estable. Es de vital importancia lograr el aumento del tonelaje dado que los Gr/Ton para los próximos meses caerá considerablemente y la única forma de lograr cumplir los objetivos es aumentar las toneladas procesadas.

De este modo aportar al diseño e implementación, realizar los estudios de factibilidad técnica y económica que conlleva consigo el lograr aumentar las toneladas procesadas.

En este contexto el trabajo se enfocará en la optimización de proceso, optimización e implementación de sistemas integrados de personas, aseguramiento y control de la calidad, implementación de nuevos procesos, asegurar el flujo de materia prima, control y planificación de la producción.

El desarrollar y llevar a cabo este proceso de mejora de producción me ayudara a aumentar mis competencia y capacidades profesionales necesarias para contribuir eficazmente a cada uno de los procesos, lograr adaptabilidad, lo que influye proporcionalmente en poder gestionar múltiples proyectos, lograr ser un buen líder capaz de desarrollar equipos de trabajo e implementar estrategias a largo plazo, ser una persona con flexibilidad para adaptarme al ritmo del cambio tecnológico y comercial, tener un enfoque multitarea bien orientado cuando se

considera que los grandes proyectos de alto valor son cada vez más habituales, el talento para controlar los costes y gestionar la eficiencia, solo si se diseña bien, permitirá un flujo de trabajo viable y competente. Utilizar la lógica para el volumen y la demanda ayudará a aumentar la eficiencia y a reducir los costes de producción.

## **Objetivos**

### **Objetivo General**

Optimizar el proceso de trituración en la empresa, a través de las mejoras en la eficiencia de las actividades asociadas al proceso.

### **Objetivos Específicos**

Realizar un planteamiento de mejora al proceso de trituración que tiene la compañía actualmente, estableciendo prototipos enfocados en la producción del sector minero.

Recopilar toda la documentación teórica referente a los procesos de medición y mejoramiento de la productividad en el proceso de trituración.

Diagnosticar el proceso actual de trituración de la empresa que permitan identificar las funciones inherentes al proceso de productividad y así elaborar un plan de mejoramiento de productividad utilizando el software propio de la compañía y un modelo matemático de manera que permita obtener resultados que sirvan como referencia para su posterior puesta en marcha.

Analizar todos los beneficios que se obtendrán con la implementación de la propuesta de mejoramiento, por medio de estudios cuantitativos de forma que permita detectar si son una función práctica, para el proceso actual de la compañía, ejecutando sondeos en términos operativos y una evaluación del mejoramiento obtenido.

## **Planteamiento del Problema**

La organización es una empresa minera productora de metales preciosos desde hace aproximadamente 150 años. En este tiempo ha ido innovando en su sistema de extracción de minerales, modelos de explotación, diseños estructurales entre otros, como por ejemplo la implementación de maquinaria diesel al interior de sus minas, cuyo rendimiento y eficiencia es supremamente superior a la extracción manual. Una de las estrategias que ha permitido mantenerse en el mercado es su aumento de capacidad en producción en sus minas y su planta, lo cual representa una ventaja competitiva en el mercado debido a su larga trayectoria y sobre todo la experiencia y confianza que ha logrado en sus clientes a lo largo del tiempo. Actualmente la empresa ha tenido diferentes preocupaciones en cuanto a su capacidad, lo que ha generado incógnitas en la gerencia de planta, ya que se ha evidenciado que han aumentado su tiempo de procesamiento de material, pero no su capacidad, por lo que sus costos conllevan a un aumento.

## **Definición del Problema**

En la empresa se identificó que existe poco control en el rechazo de materia en molienda, especialmente cuando el control granulométrico está por encima del 10.5 mm, cuyo impacto no se ve reflejado en el tonelaje y en la carga circulante de la molienda, en esta fase se ejecuta el análisis de las necesidades actuales de la organización, se recopila información principal del problema, los datos que permitan su interpretación y los que ayuden a la formulación correcta del mismo, se definen los objetivos tanto general como específicos, los resultados esperados, y los alcances y limitaciones que pudieran presentarse por la ejecución de esta investigación.

Razón por la cual es importante conocer, evaluar e investigar los principales factores que están influyendo para que la productividad del proceso en la planta de la empresa siga su ritmo y se pueda aumentar la producción en un 30% más, aprovechando los equipos ya existentes.

## Pregunta Problema

¿Como optimizar el circuito de trituración para aumento de producción de 1400 toneladas diarias, a 1850 toneladas por día?

## Generalidades de la Empresa

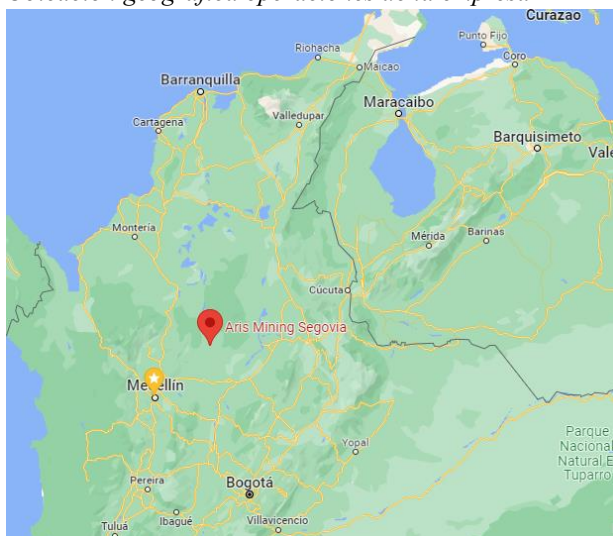
A continuación, se presentan, de manera general, algunos de los principales aspectos que permitirán reconocer dónde se encuentra la empresa, cuáles son sus vías de acceso y otra información importante para contextualizar y dar a conocer más información sobre la empresa.

## Localización Geográfica y Vías de Acceso

Sus operaciones están ubicadas en el departamento de Antioquia, Municipio de Segovia, la cual se encuentra en etapa de producción, desarrollo y explotación con títulos mineros vigentes los cuales tiene operaciones activas hace aproximadamente 120 años, y con una extensión aproximada de 90 Km<sup>2</sup>. La vía de acceso es privada pero la carretera principal es la que conduce hacia el nordeste antioqueño. En la figura 1 se puede observar su ubicación a través de Google.

### Ilustración 1

*Ubicación geográfica operaciones de la empresa*

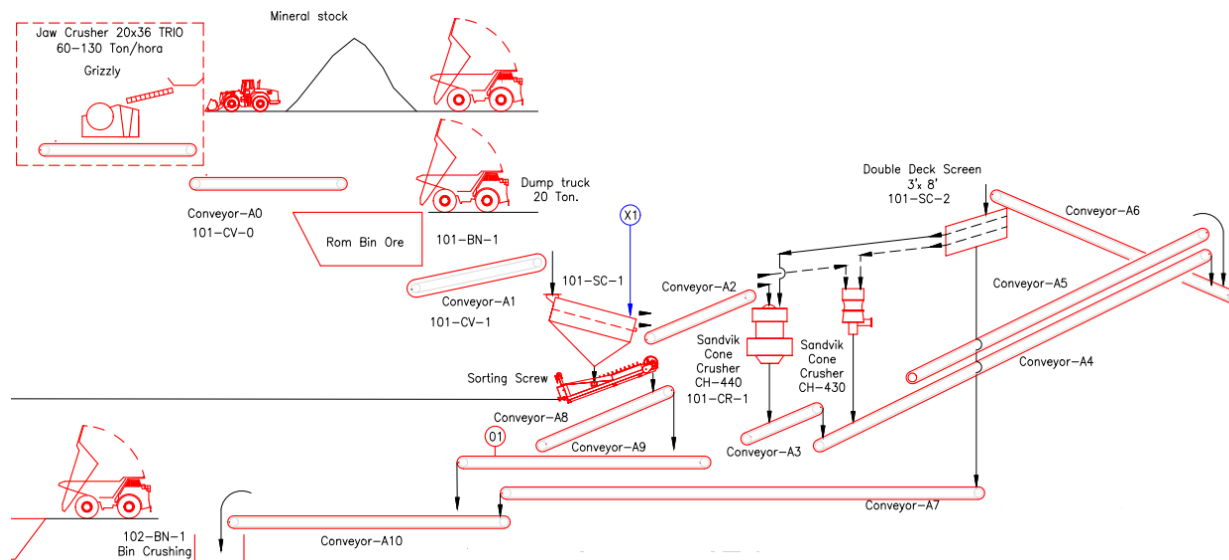


*Fuente.* Tomado de (Google Maps, 2022)

En la figura 2 se puede observar el proceso de trituración en la empresa y cuáles son las diferentes etapas que hacen parte de dicho proceso, este es una representación esquemática y de cadena o flujo de trabajo donde se expresan los procesos de la planta de producción de la compañía con el fin de lograr un objetivo.

## Ilustración 2

### Proceso de trituración



Fuente. Elaboración Propia (2023)

## **Marco Teórico**

Desde el año 2010, la empresa lleva a cabo un extenso programa de exploración y perforación alrededor de las minas para identificar nuevos recursos y poder ampliar la producción. Comenzó exploración en nuevas áreas de su título con el objetivo de identificar nuevas zonas potenciales de producción (Gran Colombia Gold, 2019)

En 2015 se logró extraer 116.857 onzas de oro, esto la logra posicionar como la primera empresa productora de oro en Colombia y plata en ese año. Para el año 2016, la producción total de oro fue de 114.000 onzas. En 2017, se produjeron 148.659 onzas. En 2018 se obtuvieron 218.001 onzas, un 25% más que el año anterior. En 2019 obtuvo un récord de producción con 240.000 onzas. En 2020 se tuvo una producción de 220.194 onzas. En 2021 se tuvo una producción de 206.389 onzas.

Y para el año en curso los objetivos son 210.000 onzas con más toneladas procesadas, de menor riqueza, así llevar la planta a su mayor eficiencia, aprovechando los equipos al máximo y justificando los costos energéticos y de procesamiento.

## **Contexto Actual de la Empresa**

En el departamento de Antioquia, específicamente en el municipio de Segovia, se encuentra ubicada una de las plantas de procesamiento de oro más grandes de Colombia actualmente, la cual cuenta con una capacidad de producción de 1400 toneladas por día.

En la actualidad se está pensando en aumentar la producción, y para lograr aumentar el proceso productivo se deberán hacer algunos ajustes operativos y de equipos, con la meta de procesar 1850 toneladas día de material aurífero.

La planta en la actualidad cuenta con una gran capacidad de procesar diferentes tipos de metales auríferos con una recuperación hasta del 96%. Para el presente proyecto es de vital

importancia dar a conocer que la planta procesa material de las minas propias de la compañía ubicadas en el Municipio de Segovia y Remedios en la zona nordeste del departamento de Antioquia, las minas: Providencia, Sandra K y El Silencio; del mismo modo de peñas mineras las cuales están formalizadas con las cuales la empresa tiene contrato oficial.

### **Etapas del Proceso de Tratamiento de Minerales**

¿Cómo es el proceso de tratamiento de minerales en la compañía y cuáles son sus etapas? ¿cómo se hace una vez llega a sus patios de almacenamiento? En este documento se presenta las respuestas a estos interrogantes, a las 7 etapas que lo componen.

#### ***Proceso de Trituración***

El proceso de trituración es el principal, y se encarga de realizar la disminución de tamaño proveniente de las minas, en este hay 3 etapas la cuales son: etapa primaria, etapa secundaria y etapa terciaria.

**Etapas Primaria.** esta se encarga de triturar el material rocoso de 20 pulgadas a 3 pulgadas con una trituradora de mandíbulas (triturador de mandíbula TRIO 20x36), en paralelo con un imán auto limpiante se extraen los hierros, basuras y cuerpos extraños que pueda contener el material proveniente de las minas.

**Etapas Secundaria.** luego de haber cumplido su tamaño en la etapa anterior el material pasa por un triturador de cono Sandvik CH440, en este logrará un tamaño de ½ pulgada, posterior pasará por un cribado en donde se clasificará el tamaño de la partícula, toda partícula menor a ½ pulgada continuará su recorrido para llegar a la siguiente etapa por el contrario el material que sea mayor a ½ pulgada deberá regresar por medio de bandas transportadoras y pasar por el triturador secundario hasta cumplir su tamaño.

**Etapa Terciaria.** finalizando ya el proceso todo el material de tamaño menor a  $\frac{1}{2}$  pulgada, pasara por una trituradora de cono Sandvik CH430, allí pasara el material a 10 milímetros.

### **Ilustración 3**

#### *Etapa terciaria*



*Fuente.* Elaboración propia (2022).

### ***Proceso de Molienda***

En el proceso de molienda, el cual está regido por un molino de bolas de 12.5 pies de diámetro a 23 pies de longitud, aquí este equipo es alimentado por el material propio que ya pasó por el proceso de trituración y cumplió su tamaño, y el mineral de los pequeños mineros ya formalizados, aquí el material propio es almacenado en una tolva de 500 toneladas y el material de los pequeños mineros en una tolva de 400 toneladas, de allí salen en dos bandas transportadoras y se juntan para formar un Blending para alimento al molino. Dicha alimentación esta dosificada a 60 toneladas por hora de mineral húmedo para un total de 1400 toneladas procesadas por día.

Luego de cumplir el tamaño en el molino el cual debe ser de 75 micrones, pasará por un sistema de clasificación de clones, allí todo lo que cumpla su tamaño pasará al siguiente proceso (Flotación) lo que no cumple irá nuevamente al molino y así sucesivamente hasta cumplir su tamaño; dicho circuito posee una carga circulante del 300%, el nivel de llenado de bolas en el

molino es del 28%, su tamaño de alimentación es de 10 milímetros, donde la granulometría de su producto es del 65% pasante malla de 200 (75 micrones).

#### **Ilustración 4**

##### *Molienda*



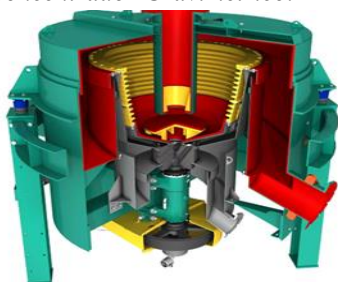
*Fuente.* Elaboración propia (2022).

#### ***Proceso de Concentración Gravimétrica***

Como su nombre lo indica es un proceso gravimétrico realizado por un equipo llamado concentrador QS40, este recibe el 50% del flujo del proceso de molienda y sobre flujo de clasificación por ciclones, este se encarga de captar el oro libre o parcialmente libre presentes en la pulpa de mineral, luego de culminar su ciclo el concentrado será almacenado en una tolva para su posterior envío a gravimetría, allí pasara por una mesa vibratoria o gravimétrica Gemini FL-SMITH modelo MT-1250, que terminará la extracción del 40% del oro producido con un ataque químico para ser llevado a fundición.

#### **Ilustración 5**

##### *Concentrador Gravimétrico.*



*Fuente.* Tomado de concentrador qs40 flsmith - Google Search, s. f.

### ***Proceso de Flotación***

El proceso de flotación hace parte a la segunda recuperación, este funciona mediante unos tanques de almacenamiento de pulpa y son agitados con una hélice por transmisión mecánica con relación de poleas, en el cual hay tres etapas:

**Etapa Rougher.** se ejecuta en 2 celdas circulares las cuales operan en serie.

**Etapa Cleaner.** se realiza la limpieza de los concentrados en una celda two, luego de cumplir su tiempo en la celda, de allí sale a un espesador el cual es previo al proceso de remolienda y lixiviación, finalizando con sus colas las cuales pasan a una etapa scavenger junto con las colas de la etapa rougher.

**Etapa Scavenger.** se ejecuta en 3 celdas tipo two Wenco, esta funciona en serie las colas de las colas de la primera alimentan la segunda, las colas de la segunda alimentan la tercera y esta es desechada como relaves. Sus concentrados alimentan en contracorriente de la tercera a la segunda, de la segunda a la primera y de la primera a la etapa rougher.

### ***Proceso de lixiviación***

Luego de que todos los concentrados de la etapa de limpieza pasan al espesador se cumple un proceso de separación sólido líquido el cual funciona por decantación, de allí es bombeado aun molino remecedor, luego pasa por una etapa de clasificación por ciclones, allí hace la separación de partículas para ser enviadas a un espesador con la solución cianurada, allí es separado el sólido y enviado a una etapa de agitación, y la clarificación se llama solución cianurada rica u oro líquido.

**Ilustración 6***Lixiviación*

*Fuente.* Elaboración propia (2022).

***Proceso Merrill Crowe***

Aquí están todas las soluciones ricas en oro líquido, producto de la decantación de los espesadores en el proceso de lixiviación, allí son filtradas, clarificadas y desoxigenadas, luego se logrará una precipitación donde se aplica polvo de Zinc, luego el precipitado es filtrado por medio de un filtro prensa, el concentrado final producto del precipitado filtrado, alimenta el proceso de fundición, junto al concentrado producto del proceso gravimétrico.

La solución Barren, producto del filtrado del precipitado con un contenido aproximado de 250 ppm de cianuro de sodio (NaCN), es recirculado nuevamente al proceso de lixiviación.

***Proceso de Fundición***

Aquí es el proceso final de planta, el concentrado gravimétrico y el precipitado es fundido en un horno reverbero y uno basculante, cuenta con un sistema de extracción y lavador de gases.

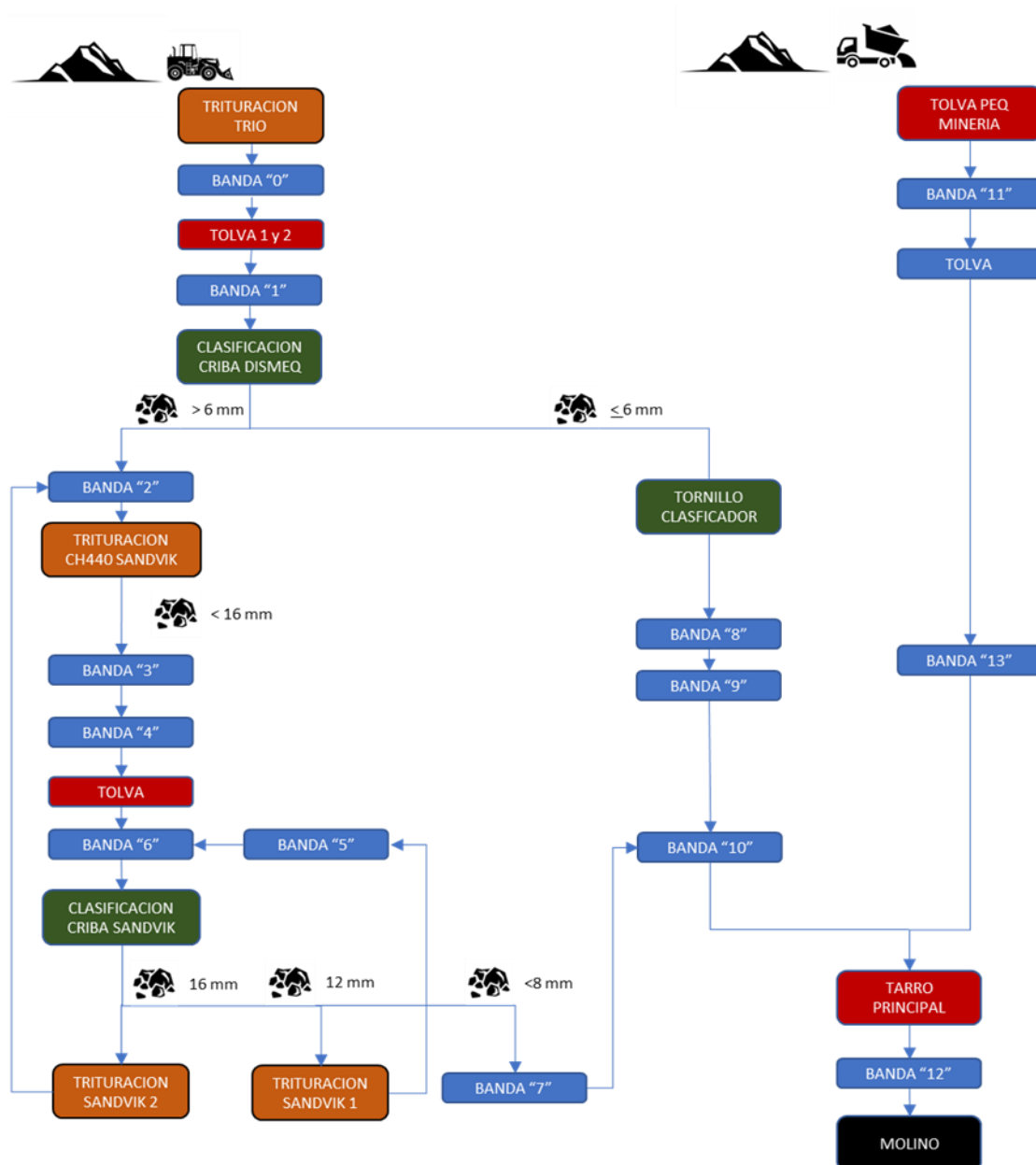
**Ilustración 7***Fundicion*

*Fuente.* Elaboración propia (2022)

Para garantizar el aumento de producción a 1800 toneladas día, nuestro cuello de botella está en el primer proceso o primera etapa (trituración), en donde se realizarán todos los ajustes que se mencionarán en el presente documento.

### Ilustración 8

*Circuito de trituración*

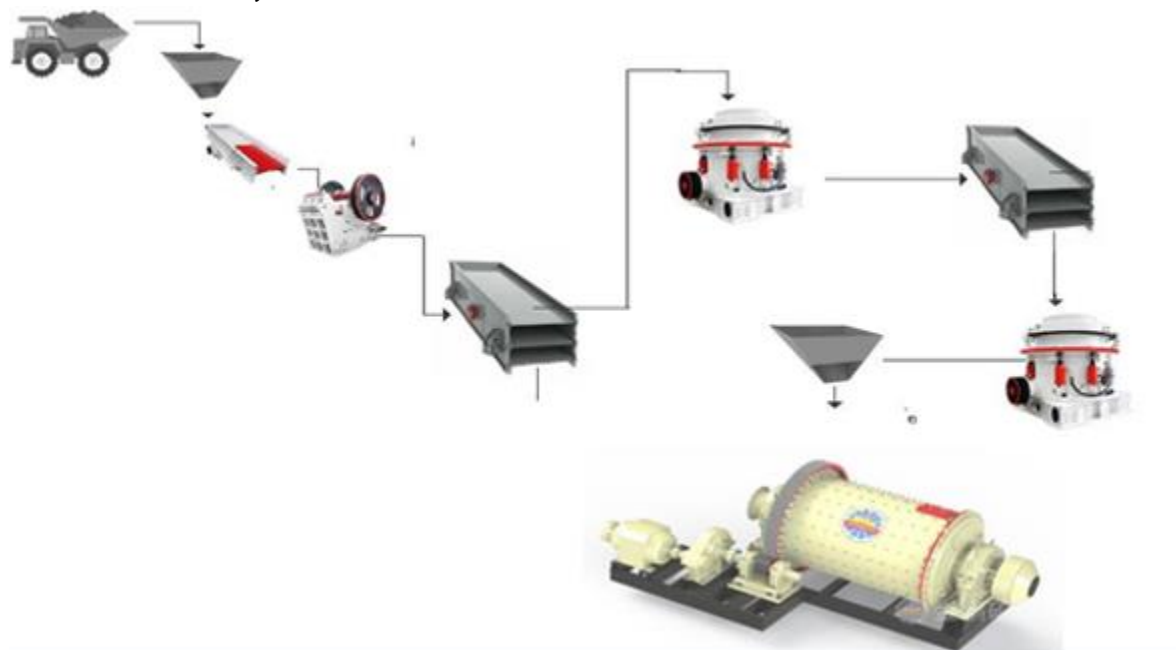


Fuente. Elaboración propia (2022)

En la ilustración 9 se observa el circuito de trituración y molino de la empresa, se mostrará a detalle los equipos principales con el fin de lograr una mejor comprensión e interpretación del proceso, con ello lograremos analizar a detalle el proceso y determinar la eficiencia real y su optimización, esto ayuda a mostrar los pasos necesarios para determinar los cuellos de botella y otras posibles deficiencias que tenga el proceso.

### **Ilustración 9**

#### *Circuito de trituración y molienda*

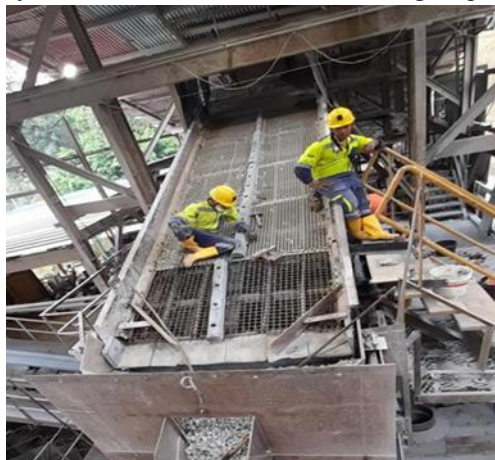


*Fuente.* Elaboración propia (2022)

En la ilustración 10 se muestra el ajuste de criba la Sandvik, uno de los principales factores a tener en cuenta para tener una eficiencia del 95% en las trituradoras de cono es garantizar una buena clasificación, evitar la llegada de cuerpos no triturables a los conos, reducir la cantidad de material fino y reducir los desgates prematuros, para lograrlo se realiza una inspección visual durante 15 días en las que se verifican condiciones operativas, condiciones del material y condiciones climáticas, con ello poder determinar el tipo de mallas a instalar en el equipo clasificador.

**Ilustración 10**

*Ajuste de criba Sandvik, cambio de anillos para mejorar clasificación*



*Fuente.* Elaboración propia (2022)

En la ilustración 11, se podrá observar el ajuste del triturador CH440, El buje excéntrico es parte del conjunto excéntrico y se mantiene en su lugar mediante un anillo de retención y una llave. El tiro excéntrico de la trituradora se cambia cambiando el buje excéntrico o levantando el buje y moviendo la llave a otro chavetero en la excéntrica, el objetivo es reducir el tiro excéntrico para garantizar el aprovechamiento completo del triturador.

**Ilustración 11**

*Ajuste de trituradora CH440 con excéntrica de 36 a 28 mm*



*Fuente.* Elaboración propia (2022)

## **Metodología**

A continuación, se describe la estructura que será utilizada para el correcto desarrollo de este proyecto de investigación con la finalidad de obtener soluciones a la pregunta de investigación planteada y, además, minimizar y controlar el error experimental.

### **Línea de Investigación**

Aplicada al proceso productivo y mejora continua.

### **Tipo de Investigación**

Investigación aplicada, cuyo principal propósito es buscar soluciones que tengan una aplicabilidad en un corto o mediano plazo. En la investigación aplicada, el principal propósito es buscar soluciones que tengan una aplicabilidad en un corto o mediano plazo (Ollé & Cerezuela, 2017).

Este proyecto está enfocado en el análisis de los aspectos que hacen parte del trabajo final, esto con el fin de establecer las variables, restricciones, modelos de optimización, función del objetivo, capacidad de producción, optimización de mano de obra.

### **Enfoque de la Investigación**

Esta investigación será de enfoque cuantitativo ya que usa datos que pueden ser medidos y analizados estadísticamente (Ollé & Cerezuela, 2017). El trabajo será guiado y basado en el software AMSYS, este es una estructura organizada para recopilar y analizar datos adquiridos de distintas fuentes, implicando el uso de herramientas estadísticas y matemáticas para obtener resultado, logrando el propósito principal de cuantificar el problema y entender su generalización mediante la búsqueda de resultados proyectados.

## **Técnicas e Instrumentos de Recolección de la Información**

La técnica de recolección de información que se utiliza en este proyecto es la de análisis de contenido. Se suele llamar análisis de contenido al conjunto de procedimientos interpretativos de productos comunicativos (mensajes, textos o discursos) que proceden de procesos singulares de comunicación previamente registrados, y que, basados en técnicas de medida, a veces cuantitativas (registros de producción), a veces cualitativas (lógicas basadas en la combinación de categorías) tienen por objeto elaborar y procesar datos relevantes sobre las condiciones mismas en que se han producido aquellos textos, o sobre las condiciones que puedan darse para su empleo posterior (Oñuela Raigada, 2003).

El instrumento para la recolección de información, son las fichas documentales o ficha de análisis, mediante el sistema AMSYS, el cual es un software que se aplica para cualquier tipo de maquinaria, en este caso en la compañía en el área operativa y de mantenimiento.

## **Población Involucrada en la Investigación**

La población objeto de estudio de esta conformada por la unidad de plantas, patios y plazas propias de la empresa. En esta se realizará medición de horas efectivas de trabajo del personal, actitudes y capacidad para desarrollar su labores y buenas prácticas de mantenimiento autónomo.

## **Alcance y Limitación de la Investigación**

El alcance del proyecto estará regido a determinar la producción de la planta, esto se realizará a través un modelo matemático de optimización que tendrá en cuenta el material a producir en la planta en contraste con lo que se quiere producir. Con relación a lo anterior se considera como limitación que se demanda la recolección y análisis de información con valor que le de soporte al desarrollo de la investigación, sin embargo, se puede establecer que, al

momento de realizar este proceso, se puede ver limitado por las posibles restricciones de confidencialidad relacionado con los temas de gestión administrativa y contable.

### **Modelo Matemático de Optimización**

Un modelo de optimización matemática consiste en una función objetivo y un conjunto de restricciones en la forma de un sistema de ecuaciones o desigualdades. Los modelos de optimización se utilizan ampliamente en casi todas las áreas de toma de decisiones, como diseño de ingeniería y selección de portafolios financieros. Este sitio presenta un proceso enfocado y estructurado para la formulación de problemas de optimización, el diseño de estrategias óptimas y herramientas de control de calidad que incluyen actividades de validación, verificación y postsolución (Gregori & Sala, 2015). Un modelo matemático comprende principalmente tres conjuntos básicos de elementos que son:

#### ***Ecuaciones Matemáticas***

Cada modelo tiene varias variables, así mismo cada variable presenta diferentes valores posibles. Las variables de decisión son los valores o decisiones que se pueden cambiar para llegar a la mejor solución posible para la función objetivo. Se determinan durante el proceso de solución (motor de solución) o posible conjetura inicial (Linares, Ramos, Sánchez, Sarabia, & Vitoriano, 2001).

#### ***Función Objetivo***

Una representación matemática de los objetivos de negocio o metas que se deben alcanzar. Siempre comienza con "maximizar" o "minimizar" las salidas, por ejemplo, minimizando costos, inactivo o tiempo, también, maximizando ingresos, rendimiento, rentabilidad, satisfacción del cliente o preferencias de los empleados (Linares, Ramos, Sánchez, Sarabia, & Vitoriano, 2001).

### ***Restricciones***

Se definen la relación entre diferentes variables de decisión. Representan los límites dentro de los cuales debería existir la solución. Hay 2 tipos de restricciones. (1) Las restricciones difíciles no deben violarse en ninguna circunstancia y (2) las restricciones flexibles pueden violarse bajo ciertas circunstancias (Linares, Ramos, Sánchez, Sarabia, & Vitoriano, 2001).

### **Tipos de Modelos de Optimización Matemática.**

Los problemas de optimización se pueden clasificar en términos de la naturaleza de la función objetivo y la naturaleza de las restricciones. Las formas especiales de la función objetivo y las restricciones dan lugar a algoritmos especializados que son más eficientes. Desde este punto de vista, hay cuatro tipos de problemas de optimización, de complejidad creciente (Vera, 2000). Un problema de optimización sin restricciones es un problema de optimización en el que la función objetivo puede ser de cualquier tipo (lineal o no lineal) y no hay restricciones. (Vasquez, Cárdenas, Carrillo, & Rosero, 2015).

Un programa lineal es un problema de optimización con una función objetivo que es lineal en las variables, y todas las restricciones también son lineales. Un programa cuadrático es un problema de optimización con una función objetivo que es cuadrática en las variables (es decir, puede contener cuadrados y productos cruzados de las variables de decisión), y todas las restricciones son lineales. Un programa cuadrático sin cuadrados o productos cruzados en la función objetivo es un programa lineal. Un programa no lineal es un problema de optimización con una función objetivo que es una función arbitraria no lineal de las variables de decisión, y las restricciones pueden ser lineales o no lineales (Vasquez, Cárdenas, Carrillo, & Rosero, 2015).

## **Métodos de Resolución de Modelos Matemáticos**

Existen diferentes métodos de resolución de modelos matemáticos no lineales, para el desarrollo de este proyecto se utilizará el método simplex, es iterativo y permite ir mejorando la solución en cada paso. El Método Simplex es un método analítico de solución de problemas de programación lineal, capaz de resolver modelos más complejos que los resueltos mediante el método gráfico, sin restricción en el número de variables y con una mayor capacidad de análisis de sensibilidad. La razón matemática de esta mejora radica en que el método consiste en caminar del vértice de un poliedro a un vértice vecino de manera que aumente o disminuya (según el contexto de la función objetivo, sea maximizar o minimizar). Dado que el número de vértices que presenta un poliedro solución es finito, en la medida en que se pueda satisfacer el conjunto de restricciones, siempre se hallará como mínimo una solución óptima. (López, 2019)

El siguiente modelo por desarrollar corresponde a la programación no lineal y será solucionado a través de Solver Excel por ser el que más se adapta a sus características, se coloca la función objetivo, las restricciones y las variables a determinar la solución óptima.

### **Variable de Holgura y Exceso**

El Método Simplex trabaja basándose en ecuaciones y las restricciones iniciales que se modelan mediante programación lineal no lo son, para ello hay que convertir estas inecuaciones en ecuaciones utilizando unas variables denominadas de holgura y exceso relacionadas con el recurso al cual hace referencia la restricción y que en el tabulado final representa el "Slack or surplus" al que hacen referencia los famosos programas de resolución de investigación de operaciones, estas variables adquieren un gran valor en el análisis de sensibilidad y juegan un rol fundamental en la creación de la matriz identidad base del Simplex. Estas variables suelen estar

representadas por la letra "S", se suman si la restricción es de signo " $\leq$ " y se restan si la restricción es de signo " $\geq$ ". (López, 2019)

### **Pregunta Problema Para el Modelo Matemático**

Se determina la estimación de parámetros de trituración a partir de datos de planta, optimizar la producción de una planta que procesa 1400 toneladas día donde el objetivo es procesar 1850 toneladas día llevando los equipos al 95% de utilización, teniendo en cuenta que con una alimentación de 20 RPM la máxima capacidad es de 70 toneladas hora, 25 RPM la máxima capacidad es de 86 toneladas hora, 30 RPM la máxima capacidad es de 94 toneladas hora, 35 RPM la máxima capacidad es de 102 ton hora; se realizó cambio de los bujes excéntricos del triturador de cono donde según datos de catálogo sus eficiencias son: buje excéntrico de 24 su producción máxima es de 85 ton hora, buje excéntrico de 28 su producción máxima es de 96 ton hora, buje excéntrico de 30 su producción máxima es de 94 ton hora.

### **Modelación Problema Para el Modelo Matemático**

Para modelar este problema de optimización utilizando el método simplex, se pueden seguir los siguientes pasos:

Definir las variables de decisión, en este caso, se pueden definir las siguientes variables de decisión:

1. La velocidad de alimentación en RPM ( $r$ ):  $20 \leq r \leq 35$ .
2. El tipo de buje excéntrico del triturador de cono ( $b$ ): 24, 28, o 30.

Donde:

$r$  es la velocidad de alimentación en RPM.

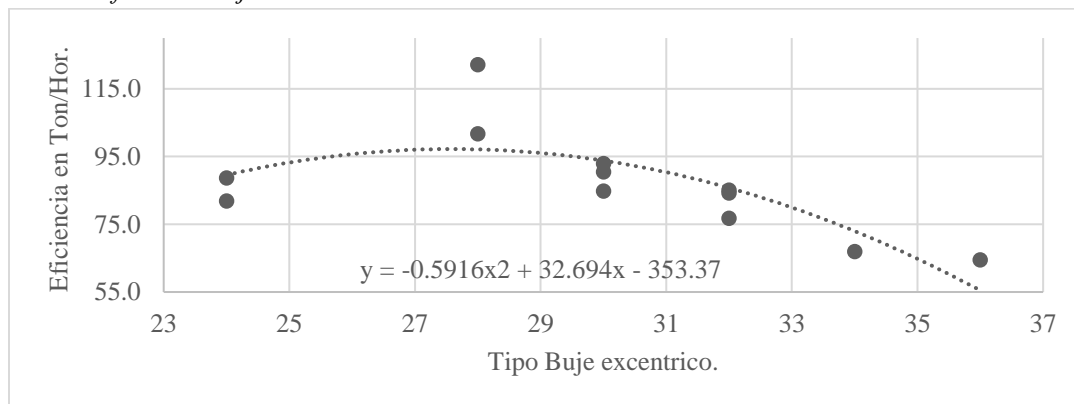
$h$  es la capacidad máxima horaria de la planta en toneladas por hora (calculada según la velocidad de alimentación)

t es el tiempo de operación diario (24 horas)

e\_b es la eficiencia del buje excéntrico seleccionado.

### Ilustración 12

Máxima eficiencia buje excéntrico.

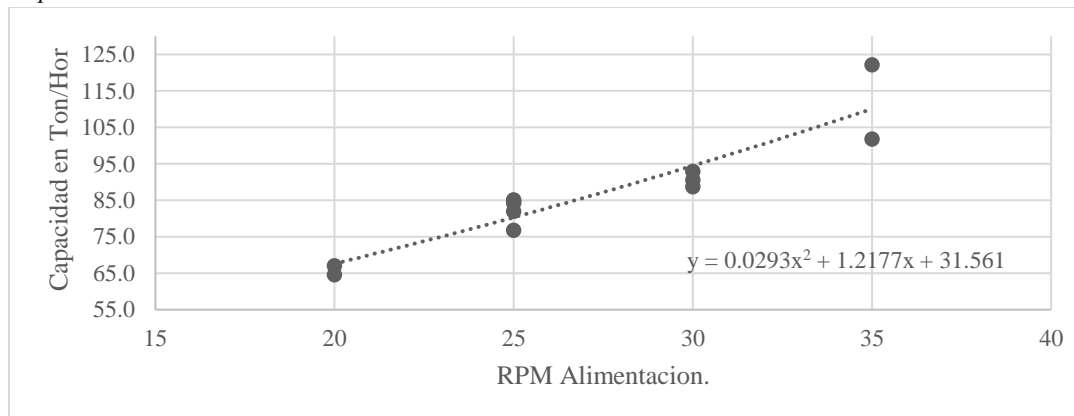


Fuente. Elaboración propia (2022)

La figura 12, muestra la eficiencia de cada uno de los tipos de buje excéntricos probados durante el año 2022 en toneladas por hora, en esta se evidencia como el buje excéntrico de mayor eficiencia es el de 28, y que cuando la curva esta hacia la derecha o hacia la izquierda los rendimientos decrecen considerablemente al disminuir o al aumentar la excentricidad del triturador de cono, esta es una función polinómica de 2º grado  $f(x)=ax^2+bx+c$ . Entre b y a se halla el eje de simetría:  $x=-b/2a$  y c nos da el punto de corte con el eje y. (Gil, 2003)

### Ilustración 13

Capacidad en toneladas hora basado en RPM



Fuente. Elaboración propia (2022)

La figura 13 muestra la capacidad en toneladas hora en función de las RPM para la alimentación del triturador de cono, esta es una función polinómica de 2º grado  $f(x)=ax^2+bx+c$ . Entre b y a se halla el eje de simetría:  $x=-b/2a$  y c da el punto de corte con el eje y. (Gil, 2003). Aquí se harán múltiples iteraciones con el fin de buscar las RPM ideales para una operación constante en 24 horas con una utilización del 95%.

### **Solución Problema Para el Modelo Matemático**

Para resolver este problema utilizando el método simplex, primero se necesitan identificar las variables de decisión y las restricciones del problema. Luego, se formula la función objetivo y las restricciones en términos de estas variables y resolvemos el problema utilizando el método simplex.

### **Variables de Decisión**

Tipo de buje excéntrico utilizado en el triturador de cono (24, 26, 28 o 30) y RPM de alimentación del triturador de cono (20, 25, 30 o 35)

**Función Objetivo.** Maximizar la producción diaria de la planta.

### **Restricciones**

La producción diaria de la planta no puede ser menor a las 1850 toneladas diarias.

La utilización de los equipos debe ser del 95%.

La capacidad de producción del triturador de cono debe ser menor o igual a la máxima capacidad de producción especificada por el tipo de buje excéntrico utilizado y la RPM de alimentación. Con estas variables y restricciones, se puede formular el siguiente problema de programación lineal:

### Determinación del Buje Excéntrico

Se pasa el problema a la forma estándar, añadiendo variables de exceso, holgura, y artificiales según corresponda

Como la restricción 1 es del tipo ' $\leq$ ' se agrega la variable de holgura X3.

Como la restricción 2 es del tipo ' $\leq$ ' se agrega la variable de holgura X4.

Como la restricción 3 es del tipo ' $\leq$ ' se agrega la variable de holgura X5.

Como la restricción 4 es del tipo ' $\geq$ ', y el término independiente negativo o nulo (la restricción se multiplica por -1), se agrega la variable de holgura X6.

Maximizar:

$$Z = 24 X1 + 89 X2$$

Sujeto a:

$$26 X1 + 95 X2 \leq 2188$$

$$28 X1 + 98 X2 \leq 2243$$

$$30 X1 + 95 X2 \leq 20169$$

$$0 X1 + 0 X2 \geq 0$$

$$X1, X2 \geq 0$$

Maximizar:

$$Z = 24 X1 + 89 X2 + 0 X3 + 0 X4 + 0 X5 + 0 X6$$

sujeto a

$$26 X1 + 95 X2 + 1 X3 = 2188$$

$$28 X1 + 98 X2 + 1 X4 = 2243$$

$$30 X1 + 95 X2 + 1 X5 = 20169$$

$$0 X1 + 1 X6 = 0$$

$$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6 \geq 0$$

Se pasa a construir la tabla del método Simplex, la variable que sale de la base es P4 y la que entra es P2.

**Tabla 1***Método simplex buje excéntrico.*

<b>Tabla 1</b>		24	89	0	0	0	0	
<b>Base</b>	<b>Cb</b>	<b>P0</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>
P3	0	2188	26	95	1	0	0	0
P4	0	2243	28	98	0	1	0	0
P5	0	20169	30	95	0	0	1	0
P6	0	0	0	0	0	0	0	1
<b>Z</b>		0	-24	-89	0	0	0	0

**Tabla 2***Método Simplex buje excéntrico.*

<b>Tabla 2</b>		24	89	0	0	0	0	
<b>Base</b>	<b>Cb</b>	<b>P0</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>	<b>P6</b>
P3	0	13.6632	-	0	1	-	0	0
		6	1.14285			0.96938		
P2	89	22.8877	0.28571	1	0	0.01020	0	0
P5	0	17994.6	2.85714	0	0	-	1	0
						0.96938		
P6	0	0	0	0	0	0	0	1
<b>Z</b>		2037.01	1.42857	0	0	0.90816	0	0

La solución óptima es:

$$Z = 2037.0102040816$$

$$X1 = 0$$

$$X2 = 22.887755102041$$

De acuerdo con lo anterior, esto indica que el buje excéntrico ideal es de 23, teniendo presente que por fabricación los bujes excéntricos están diseñados a partir de 24 y hasta 42 según la configuración del equipo, para nuestra necesidad y dado que los bujes solo se fabrican en números pares (24, 26, 28, 30, 32 .... 42) trabajaremos con el buje excéntrico de 24 el cual tiene una eficiencia máxima de 89 toneladas hora, sin embargo, este supera el límite de producción establecido, por lo tanto, se estaría cumpliendo la producción óptima diaria establecida.

#### **Determinación de las RPM de Alimentación al Triturador de Cono**

Se pasa el problema a la forma estándar, añadiendo variables de exceso, holgura, y artificiales según corresponda:

Como la restricción 1 es del tipo ' $\leq$ ' se agrega la variable de holgura X3.

Como la restricción 2 es del tipo ' $\leq$ ' se agrega la variable de holgura X4.

Como la restricción 3 es del tipo ' $\leq$ ' se agrega la variable de holgura X5.

Maximizar:

$$Z = 20 X1 + 67.63 X2$$

Sujeto a

$$25 X1 + 80.31 X2 \leq 1927$$

$$30 X1 + 94.46 X2 \leq 2267$$

$$35 X1 + 110 X2 \leq 2641$$

$$X1, X2 \geq 0$$

Maximizar:

$$Z = 20 X_1 + 67.63 X_2 + 0 X_3 + 0 X_4 + 0 X_5$$

sujeto a

$$25 X_1 + 80.31 X_2 + 1 X_3 = 1927$$

$$30 X_1 + 94.46 X_2 + 1 X_4 = 2267$$

$$35 X_1 + 110 X_2 + 1 X_5 = 2641$$

$$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 \geq 0$$

Se pasa a construir la primera tabla del método Simplex.

**Tabla 3**

*Método simples RPM de alimentación*

<b>Tabla 3</b>		20	67.63	0	0	0	
<b>Base</b>	<b>Cb</b>	<b>P0</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>
P3	0	1927	25	80.31	1	0	0
P4	0	2267	30	94.46	0	1	0
P5	0	2641	35	110	0	0	1
<b>Z</b>		0	-20	-67.63	0	0	0

**Tabla 4**

*Método simples RPM de alimentación*

<b>Tabla 4</b>		20	67.63	0	0	0	
<b>Base</b>	<b>Cb</b>	<b>P0</b>	<b>P1</b>	<b>P2</b>	<b>P3</b>	<b>P4</b>	<b>P5</b>
P2	67.63	23.99452123	0.311293737	1	0.012451749	0	0
P4	0	0.477524592	0.595193625	0	-1.17619225	1	0
P5	0	1.602664674	0.757688955	0	-1.36969244	0	1
<b>Z</b>		1622.749471	1.052795418	0	0.842111817	0	0

La solución óptima es:

$$Z = 1622.7494708006$$

$$X_1 = 0$$

$$X_2 = 23.994521230233$$

Resolviendo este problema con el método simplex, se obtiene que la solución óptima es:

$r$  es la velocidad de alimentación en RPM = 29 Rpm

$t$  es el tiempo de operación diario (24 horas) =  $24 \times 95\% = 22.8$

$e_b$  es la eficiencia del buje excéntrico seleccionado = 89 toneladas hora.

Así la producción diaria de la planta está dada en función de 29 rpm de alimentación para un procesamiento de 1961 toneladas en 24 horas. Esto significa que se deben utilizar el buje excéntrico de 24 en proporción a su eficiencia y alimentar el triturador a 29 RPM. También se puede observar que la utilización de los equipos es del 95%, que cumple con la restricción correspondiente, el cual correspondería a una operación de 22.8 horas, de este modo la producción diaria sería 1863 toneladas por lo tanto los equipos con las restricciones mencionadas cumplen con la producción deseada.

## **Resultados**

Con este proyecto se pretende determinar la capacidad instalada de una planta de trituración de minerales requeridas para el proceso productivo de la planta de procesamiento de minerales precios en el departamento de Antioquia, se describe la estructura que será utilizada para el correcto desarrollo de este proyecto de investigación con la finalidad de obtener soluciones a la pregunta de investigación planteada y además de minimizar y controlar el error experimental.

### **Propuesta de Mejora**

A continuación, se presentan los resultados, producto de la implementación de mejora, teniendo en cuenta el aumento de tonelaje triturador, el funcionamiento del tiro excéntrico y los resultados granulométricos.

### **Aumento de Tonelaje Triturador**

Se realiza modificación en el juego de aneos en la criba Sandvik para ayudar a aumentar la eficiencia en trituración, disminuyendo la carga circulante en la criba Sandvik y aumentando la recirculación en la trituradora CH430. Logrando aumentar el producto producido de 60.3ton/hora a 80.1 Ton/día, lo cual implica un aumento en material triturado de 20 Ton. Los setting de la trituradora CH440 continua en 11mm y el setting de la CH430 en 8mm.

La capacidad de producción máxima de la planta se establece a través de la compilación de datos de rendimiento en Ton/h resultado del trabajo en cada uno de los días. El rendimiento se calcula como el total de volumen procesado en el día sobre el total de horas operativas del día (no tiene en cuenta paros por mantenimiento preventivo o correctivo ni tiempo disponible, con el fin de hacer el primer análisis basado en la capacidad efectiva de los equipos).

Para encontrar el rendimiento máximo de cada mes se realiza un promedio de todos los días que superen un rendimiento de 60 ton/hora. Esto se hace porque el promedio de trabajo de la

planta está alrededor de los 60 ton/hora por lo que el máximo se encuentra entre los valores superiores a la media y realizar el cálculo del promedio ayuda a evitarla sobreestimación y genera una meta máxima más realista. De esta manera se observan que, en términos generales la planta en su totalidad está trabajando a la mitad de la capacidad máxima.

Los datos son obtenidos desde el SCADA y el reporte diario de operaciones. Se hace corte de 13 días antes del mes de marzo y 13 días después. (la gráfica muestra es el promedio a la misma hora que se tomó el dato) se hace comparativa frente al reporte diario realizado en las reuniones operacionales) luego de haber hecho lo siguiente:

El principio básico es sencillo: el material a triturar (la alimentación) cae en la cámara de trituración. El manto es una parte móvil que gira en un movimiento excéntrico. Es decir, no permanece completamente centrado: se balancea ligeramente a medida que gira, alterando continuamente el espacio entre el manto y el cóncavo (el anillo fuera del manto que permanece fijo en su lugar). A medida que el manto se mueve, aplasta el material contra el cóncavo en los puntos donde el espacio es más pequeño (las piedras en la alimentación también se comprimen entre sí, lo que se conoce como trituración entre partículas).

#### **Ilustración 14**

*Trituradora de cono CH Sandvik*



*Fuente.* Soluciones Sandvik (2022).

A medida que se tritura el alimento, cae y sale de la trituradora a través del espacio en la parte inferior. El giro excéntrico del manto significa que en cualquier momento este espacio es más estrecho en un punto y más ancho en el punto opuesto. La distancia más amplia se conoce como ajuste de lado abierto (OSS) y la más estrecha, ajuste de lado cerrado (CSS). Estos ajustes son importantes. El OSS es la distancia más grande entre el cóncavo y el manto en la parte inferior de la trituradora, por lo que determina el tamaño de partícula más grande del producto saliente. Como la distancia más pequeña entre el cóncavo y el manto, el CSS es la zona de trituración final y es vital para determinar el tamaño del producto, así como el consumo de energía y la capacidad de la trituradora.

### ***Excéntrica 32 (Condición Actual)***

Se aprecia una baja carga del equipo (o que tiene capacidad disponible), lo que conversa con los registros de bajo consumo de potencia en el ASRi del equipo y comentarios respecto al desgaste focalizado en la zona baja de los revestimientos.

### ***Excéntrica 28***

Se aprecia un nivel de carga mayor al anterior en el equipo, lo que permitirá comenzar a triturar en una zona superior de los revestimientos. Esta es la posición mínima del buje (442.9406-01) que tiene instalada actualmente la máquina, por lo que sería la primera recomendación de ajuste.

### ***Excéntrica 24***

Con esta posición de excéntrica, la carga en el triturador se está mucho más acorde con la capacidad que procesa, lo que permitirá aprovechar de mejor forma los revestimientos y probablemente se pueda utilizar menores CSS (si lo permite la potencia y la presión). Esta posición de excéntrica está fuera del rango del buje que tiene la máquina, por lo que será

necesario cambiar el buje. Esta es la razón de presentarlo como la segunda etapa de esta recomendación, ya que si al bajar la excéntrica a 32, mejora el rendimiento de los revestimientos, estará justificada la compra del otro buje para llegar a 24.

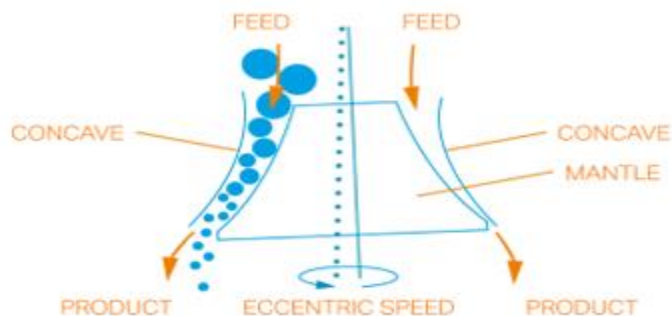
Para lograr un rendimiento óptimo y aprovechar los equipos a su máxima eficiencia se sugiere a la operación de la empresa la compra del buje excéntrico de 24 el cual tiene un costo de \$93.000.000, lo cual la gerencia de planta aprueba y es traído a Colombia para su instalación. El tiro excéntrico es uno de los parámetros más importantes para definir el trabajo que realiza la trituradora de cono. El manto de una trituradora de cono gira con un movimiento de péndulo cónico. Eso significa que no se queda en el centro de la cámara, se desplaza acercándose y alejándose del cóncavo. Esto es lo que crea la acción aplastante. En un punto dado del cóncavo, el material se tritura cuando el manto está más cerca y cae por la cámara cuando el manto está más alejado.

### ***Como Funciona el Tiro Excéntrico***

El tiro excéntrico es la medida en que el manto se desvía de su eje, por lo que define la velocidad a la que cae el material a través de la cámara. Si su configuración tiene un tiro excéntrico alto, entonces el material caerá más con cada rotación del manto: el manto se aleja más del cóncavo, por lo que hay más espacio para que caigan las partículas.

#### **Ilustración 15**

*Muestra funcionamiento del triturador en trabajo.*

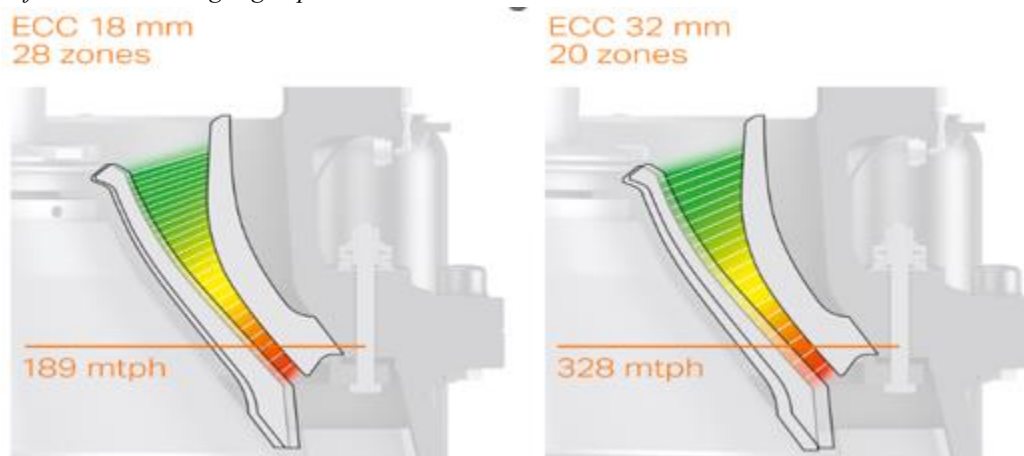


*Fuente.* Soluciones Sandvik (2022).

El tiro excéntrico también define un segundo parámetro: la capacidad de su trituradora. Un tiro excéntrico más alto significa menos zonas de trituración, por lo que el viaje a través de la trituradora es más rápido. Cuanto más rápido sea el recorrido por la trituradora, mayor será su capacidad. Por lo tanto, alterar los ajustes de tiro excéntrico cambia significativamente la forma en que funciona la trituradora, sin realizar ningún ajuste en el cóncavo. Si aumenta el tiro excéntrico, puede aumentar la capacidad. Si disminuye el tiro excéntrico, su salida será menos gruesa.

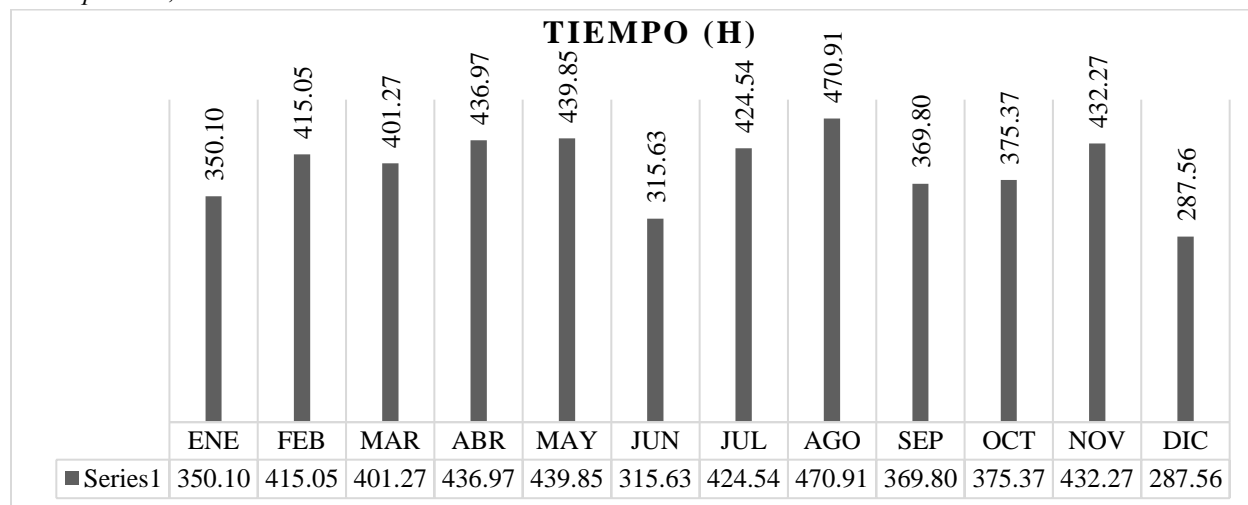
### Ilustración 16

*Diferencia de setting según posición de la excéntrica*



*Fuente.* Soluciones Sandvik (2022).

Con el cambio realizado y el siguiente gráfico se concluye que el 75% del triturado, ton/día antes de la modificación, está muy por debajo del valor mínimo promedio actualmente. El promedio actual de ton/día está 5.1 ton por encima del valor máximo triturado en febrero. Todo esto sin sacrificar granulometría de banda 10 o alimentación a molienda. Se logró aumentar en promedios 20Ton/hora el material triturado. Ver figura 15.

**Ilustración 17***Horas por mes, año 2022*

*Fuente.* Elaboración propia (2022).

A nivel de tiempos, en horas de operación por los equipos en cada mes del año 2022, se evidencia que durante el primer semestre del año los equipos trabajaron 393 horas en promedio cada 30 días, significando así 13 horas de trabajo operativos por día, realizando una comparación con el segundo semestre del año 2022 evidenciamos que los equipos operaron las mismas 393 horas con una eficiencia más alta en producción, ello da como resultado las mismas horas de operación con más toneladas producidas. Es importante notar que los diferentes tipos de materiales que lleguen a la operación tienen diferentes características de dureza y tamaño, lo cual influye directamente en el rendimiento de los equipos; las variables (Toneladas procesadas y tiempo de operación) que serán encontrados permitirán encontrar la capacidad óptima del sistema de trituración y su máxima producción de toneladas año requerida.

***Granulométricos***

Procedimiento manual o mecánico en el cual, por medio de unas mallas, se puede hacer una separación del material por partículas de diferente tamaño, de tal manera que se podrán conocer las cantidades en peso de cada tamaño clasificado en la muestra que aporta al peso total,

en la práctica los pesos de cada tamaño se expresan como porcentajes retenidos en cada malla con respecto al total de la muestra. Estos porcentajes retenidos, se calculan tanto parciales como acumulados en cada malla, debido a que con estos últimos se procede a trazar la gráfica de valores de material (granulometría).

Con las modificaciones realizadas no se ve afectada la granulometría de banda 10, esta continua en promedio en 8.5mm, en el respectivo análisis granulométrico del material procesado antes de la alimentación a los equipos de trituración es posible darse cuenta que el 60% del material es fino con una granulometría de 4.6 mm y el 40% restante corresponde a material rocoso de 200 mm siendo este un índice efectivo para mejorar la clasificación de los equipos de cribado y así conservar la durabilidad de los equipos de triturado.

**Tabla 5**  
*Comparativo de granulométricos por banda*

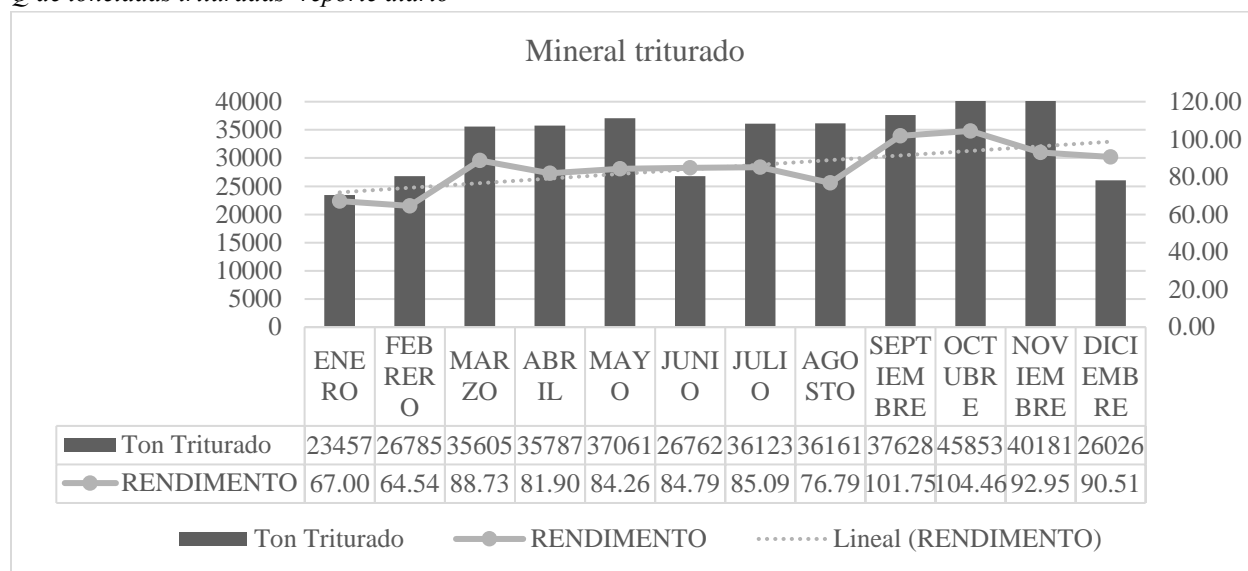
	<b>Fecha/D80</b>	<b>BANDA</b>	<b>BANDA</b>	<b>BANDA</b>	<b>BANDA</b>	<b>BANDA</b>
		<b>7</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>13</b>
<b>Junio</b>	18/06/2022	8.97	5.96	8.78	8.68	7.83
	24/06/2022	8.9	7.8	8.8	7.75	7.4
	25/06/2022	8.3	8.15	8.26	7.94	7.4
<b>Diciembre</b>	2/12/2022	8.84	5.26	9.27	7.92	6.1
	4/12/2022	9.12	6.91	7.42	7.84	8.14
	10/12/2022	7.94	8.1	7.85	7.81	9.01

En relación con la Tabla 5, se establece que los porcentajes que se proyecta la producción de la planta de trituración, con base a la granulometría realizada por expertos a la organización, se encuentra que un 60% sería de material fino y un 40% de marial grueso, luego se observa

diferentes datos granulométricos de bandas asociadas al circuito de producción, se toman 6 días de los meses junio y diciembre, 3 días de cada mes, el granulométrico muestra un promedio de 8.5 mm por cada 3 días, allí se puede confirmar que los ajustes realizados en los equipos no afecto la granulometría siendo satisfactorio para continuar con el proceso.

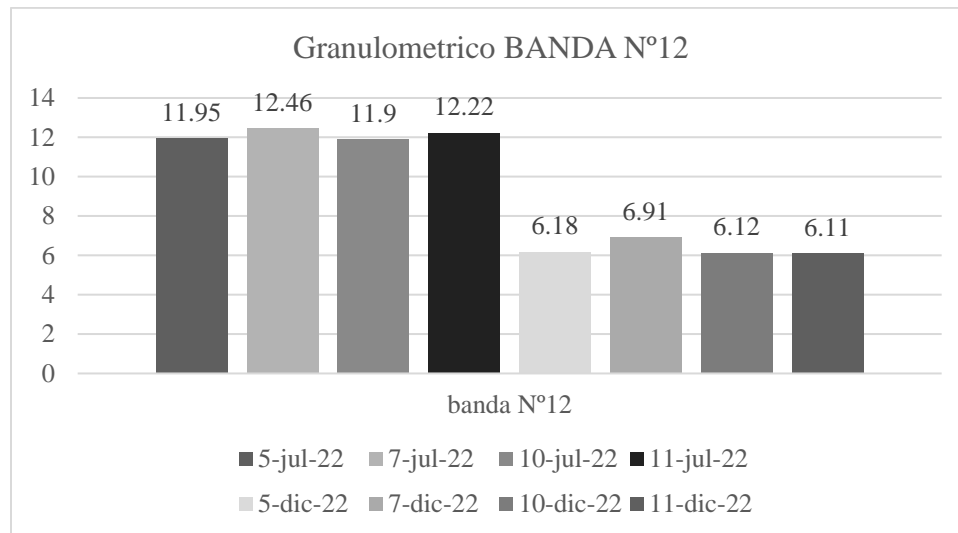
### Ilustración 18

*Q de toneladas trituradas- reporte diario*



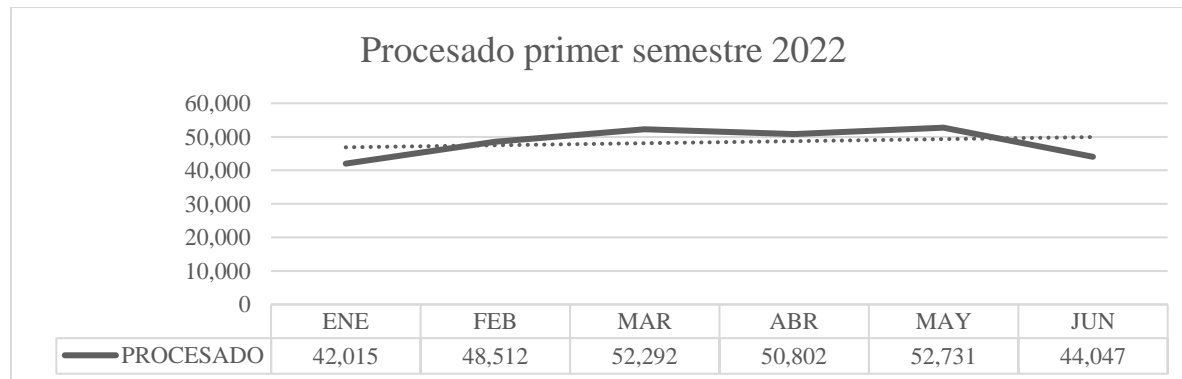
*Fuente.* elaboración propia.

En la figura 18 se comprende, de forma clara, las toneladas trituradas durante los 12 meses del año 2022, allí se evidencia que la tendencia de producción durante los primeros 8 meses del año fueron estables, en el mes de agosto se tuvo un bajo de producción ocasionado por los cambios ejecutados en los equipos, allí, luego de que el personal operativo se acomodara a las nuevas frecuencias de trabajo y configuraciones del sistema, los 3 últimos meses del año se observa cómo el rendimiento muestra una tendencia creciente y sostenible, del mismo modo las toneladas trituradas muestran un aumento significativo.

**Ilustración 19***Granulométrico, calidad material triturado*

*Fuente.* elaboración propia.

En la figura 19, se comprenden las variaciones que hay entre la finalización del primer semestre del año 2022 con un promedio de 12.13 mm comparado con el segundo semestre del año 2022 con un promedio de 6.33 mm el tamaño del material triturado, lo que indica una diferencia de 6.34 mm, ayudando de manera considerable al proceso de molienda, así se podrá lograr aumentar las toneladas alimentadas a molienda lo cual influye directamente en el aumento de la producción.

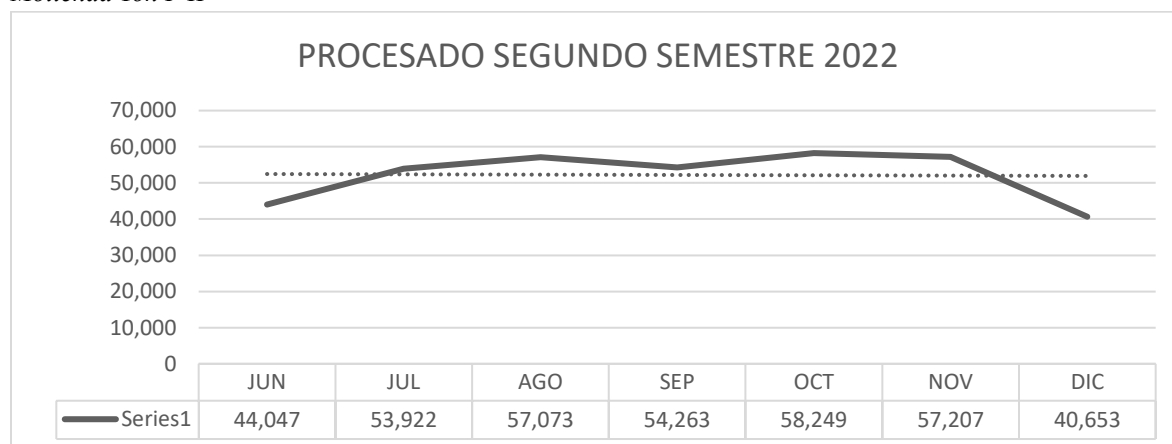
**Ilustración 20***Molienda Ton P I*

*Fuente.* elaboración propia.

En la figura 20, se observan las distintas toneladas procesadas en primer semestre del año 2022, empezando el mes de enero con 42.015 toneladas alimentadas en molienda, con un promedio de 48.400 ton mensuales, terminado el semestre con 44.047 toneladas procesadas viendo así un aumento de producción ascendente leve, dicho grafico también permite comprender la diferencia que se evidencia mes por mes. En esta se evidencia claramente que en el primer semestre la producción neta para la compañía no fue estable y su promedio total estuvo sobre 1400 Ton/día.

### Ilustración 21

Molienda Ton P II



Fuente. elaboración propia.

En la figura 22, se observan las distintas toneladas procesadas en el segundo semestre del año 2022, empezando el mes de julio con 44.047 toneladas alimentadas en molienda, con un promedio de 53.561 ton mensuales, terminado el semestre con 40.653 toneladas procesadas viendo así un aumento de producción ascendente alto, dicho grafico también permite comprender la diferencia que se evidencia mes por mes, con los ajustes realizados en los equipos, el cambio de perspectiva del personal y las mejoras operativas y aprovechamiento de los equipos es posible observar que en los últimos 6 meses la compañía mantuvo su promedio de producción sobre 1800 ton/día.

## Ficha de Análisis

Este será un recurso donde mostrará las horas programadas del personal en la planta de trituración de la compañía, se trabaja a tres turnos, turnos de 8 horas, este recurso servirá para recopilar y organizar razonablemente los tiempos empleados por los colaboradores en la operación de los equipos, allí están plasmadas las ideas, comentarios y recomendaciones luego de haber realizado un análisis de los datos.

**Tabla 6**

*Cálculo de horas de trabajo por Año*

Equipos	Personal	Turnos	Horas	Día	Horas	Hora	Horas/año
			Turno	Semana	Semana	Mes	
<b>Trituradora primaria</b>	2	3	8	7	336	10,080	122,304
<b>Criba Dismet</b>	2	3	8	7	336	10,080	122,304
<b>Trituradora secundaria</b>	2	3	8	7	336	10,080	122,304
<b>Trituradora terciaria</b>	2	3	8	7	336	10,080	122,304
<b>TOTAL</b>							<b>489,216</b>

Con relación a la tabla 6, hace referencia a el promedio de horas trabajadas en un turno sin horas extras y laborando los 7 días de la semana con un día de descanso a la semana del cual se tendrían 489.216 horas laborales para un periodo de 1 año. Con relación al estudio realizado durante el periodo de este proyecto se obtienen los siguientes resultados:

Se realiza un barrido de información desde enero 2022 a junio 2022, desde julio 2022 a diciembre 2022 encontrando la siguiente información. En el semestre de enero 2022 a junio de

2022 se procesaron 236451 Ton, lo que es equivalente a 1424.40 Ton/Día operando 12.35 horas, por lo que la planta para mantener su operación debió producir 115.33 Ton/Hora; para lograr aumentar la producción de 1400 a 1850 ton día se realiza lo siguiente:

### **Solución del Problema (Productos Elaborados)**

A continuación, se relacionan a modo de solución del problema, los factores determinantes para tener en cuenta respecto a la visita de locación, inventarios, materias primas, comparativo entre la eficiencia y los equipos, y también la verificación de la necesidad operativa.

#### ***Visita de locación y familiarización con el área de trabajo.***

Se realiza un reconocimiento general detallado, en este se hace verificación e identificación de cada uno de los componentes de los equipos, tomando contacto directo y participando con aquellos agentes operativos que conocen a detalle la operación.

#### ***Inventarios, materias primas.***

Se verifican los materiales o insumos esenciales que necesitamos para garantizar que los equipos tengan suficiente material para procesar y poder aprovechar su disponibilidad de este modo aumentar la utilización.

#### ***Comparativo Eficiencia equipos.***

se busca en la base de datos de la compañía los tiempos de operación de los equipos y producción del año 2021.

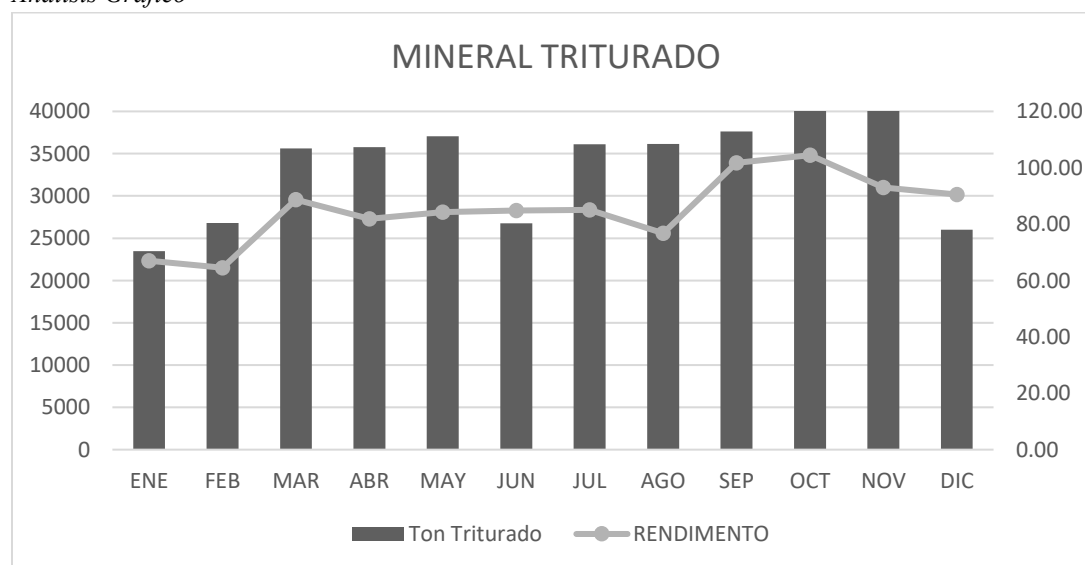
#### ***Verificación de la necesidad operativa.***

Luego de tomar contacto directo con los agentes involucrados, los directivos de la planta de procesamiento indican que su necesidad operativa es incrementar su producción de 1400 ton/día a 1800 ton/día, a continuación, en la tabla 7, se presenta el análisis del año 2022, a través de las variables toneladas trituradas, tiempo en horas y rendimiento promedio toneladas:

**Tabla 7**  
*Análisis de resultados*

Mes	Ton trituradas	Tiempo (h)	Rendimiento promedio ton/h
Ene	23457	350.1	67
Feb	26785	415.05	64.54
Mar	35605	401.27	88.73
Abr	35787	436.97	81.9
May	37061	439.85	84.26
Jun	26762	315.63	84.79
Jul	36123	424.54	85.09
Ago	36161	470.91	76.79
Sep	37628	369.8	101.75
Oct	45853	375.37	104.46
Nov	40181	432.27	92.95
Dic	26026	287.56	90.51

**Ilustración 22**  
*Análisis Grafico*



Fuente. elaboración propia.

La eficiencia aumentó de un 80% a 120%, debido a los ajustes implementados en los equipos, dicho mejoramiento se dio por el aumento de horas de trabajo de los equipos y el personal operativo, allí se hicieron mediciones importantes aplicadas al proceso de producción en el cual se analizaron los resultados y fueron comparados para determinar el cambio real ejecutado y los beneficios propios para la compañía; con las modificaciones y los trabajos ejecutado en el plan proyectado se ha podido evidenciar los cambios.

## Conclusiones

Con respecto al planteamiento de mejora, allí, se elaboraron propuestas estratégicas sobre los cambios que la compañía debía adsorber al proceso de trituración y así poder ser traducidos en resultados, se ejecutaron tareas concretas incluidas dentro de la planificación, se realizaron identificaciones puntuales de los procesos a mejorar, se realizaron ajustes mecánicos y operativos a los equipos, garantizando su máxima eficiencia.

Se recopiló toda información operativa que contenía tiempos de operación, tiempos de utilización de los equipos, paros por mantenimientos y tiempos muertos; esta información hace parte del diagnóstico para medir el mejoramiento posterior de eficiencia, en este también se implementaron nuevos datos importante que la compañía no tenía control los cuales suman para poder tomar una decisión a nivel operativo en momentos críticos.

El estudio de los catálogos de los equipos permitió identificar aspectos de mejora haciendo un contraste entre la producción real y la esperada según el fabricante, también nos permitió facilitar las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo llevándonos a conocer a fondo y a detalle cada componente del equipo, luego identificamos que operativamente con un buen manejo de los equipos optimizaríamos los tiempos considerablemente, nos dimos cuenta que la organización de datos técnicos son tan útiles como su producción.

Los beneficios obtenidos fueron garantizar la máxima eficiencia de los equipos y el aumento de producción de material triturado para la compañía. De la totalidad del proceso se logra concluir que se desarrolló cada una de las actividades destinadas en el plan de trabajo, conforme a su capacidad operacional y de trabajo. Igualmente, durante este proyecto se contribuyó de manera significativa a la ejecución, optimización y mejora de procesos.

Se alcanzaron respecto a la actividad de aumento de tonelaje las metas propuestas según los informes mensuales que se presentaron con los indicadores expresados y con los requerimientos de la compañía. El trabajo realizado es un enfoque general de la planta de Trituración de la compañía, es indispensable que la empresa siga implementando los registros de producción con la finalidad de poder llegar a definir un mínimo de producción a tener en los patios de triturado.

Existe una gran diferencia entre la teoría estudiada de los conceptos para la producción de materiales triturados y la práctica en campo, ya que no se tienen equipos modernos que permiten identificar de una forma más exacta el volumen real procesado. Para el caso de la planta del volumen triturado se toma de la descarga de material desde las volquetas a las tolvas de las plantas medidas por basculas, luego de ser triturado se pasa por un pesometro instalados en las cintas transportadoras el cual será el dato final de comparación.

### **Recomendaciones**

Se le sugiere a la empresa mejorar la alimentación de agua en la criba DISMET, aumentar la presión y disminuir el caudal, cambio de aneos inferiores en criba DISMET de 6mm a 10mm, con esto se logrará disminuir la cantidad de finos en la trituradora secundaria y aumentar su eficiencia, garantizando solo material de 12 MM en su alimentación.

Para lograr una producción de 90 Ton/hora es necesario implementar un sistema de mantenimiento autónomo eficiente en la planta el cual corresponde a los operadores, ya que se evidencia que en la actualidad los operadores y ayudantes de la planta solo se dedican a operar y no tienen conceptos básicos de cuidado con los equipos.

### Referencias Bibliográficas

- Barrera Siabato, A. I., & Barrera Siabato, A. M. (2020). Las visitas empresariales como oportunidad de fortalecimiento al perfil del ingeniero industrial. *Ingenio Magno*.  
<http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/1914>
- Bataller, A. (2016). *La gestión de proyectos*. Editorial UOC.
- Chamoun, Y., (2015). *Administración Profesional de Proyectos*. Santiago de Chile: Mc Graw Hill. ISBN 13: 9789701048337.  
[https://homepage.cem.itesm.mx/alesando/index\\_archivos/Admon.DeProyectos/app-cap1.pdf](https://homepage.cem.itesm.mx/alesando/index_archivos/Admon.DeProyectos/app-cap1.pdf)
- Chavez, J. H. (2012). *Supply Chain Management*. (2a. ed.). RIL editores.
- Clavet Puig, M. D. & Roca Ramon, X. (2001). *Complejos Industriales (Edición 1)*. Cataluña: Casals Casanova, M.: ISBN 84-8301-541-2.  
<https://upcommons.upc.edu/handle/2099.3/36778>
- Echeverría Jadraque, D., (2018). *Manual para Project Managers: Cómo gestionar proyectos con éxito*. (Edición 3). Wolters Kluwer.  
<https://es.scribd.com/document/432779161/ManualProject-Managers>
- EMEW, (2021). *Lixiviación en metalurgia y en la recuperación de metals*. Madrid, España:  
<https://emew.com/es/lixiviacion-en-metalurgia-y-en-la-recuperacion-de-metales/>
- Flores, O. M. (2022). *Lixiviación*.
- Gran Colombia Gold. (13 de Enero de 2019). *Gran Colombia Gold Operaciones*.  
<https://www.grancolombiagold.com.co/segoviaremedios/>
- HLC Ingeniería y construcción, (2020). *¿Qué es la lixiviación en minería?*. Perú, Lima:  
<https://www.hlcsac.com/noticias/que-es-la-lixiviacion-en-mineria/>

- INGEOMINAS, (2001). Manual de Operación de la Unidad de Molienda y Clasificación de la Planta Piloto para el Procesamiento de Minerales Ubicada en Corcalí. Cali, Colombia: <https://recordcenter.sgc.gov.co/B6/14017000022905/documento/pdf/0101229051104000.pdf>
- Maschinenfabrik Liezen. (2007), Técnicas de Trituración. Liezen, Austria: [https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos\\_y\\_documentos/82439/Tecnicas\\_de\\_Trituracion.pdf](https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/82439/Tecnicas_de_Trituracion.pdf)
- Metallurgist. (2017). Optimización de la Liberación del Mineral. Langley, Canadá: <https://www.911metallurgist.com/metallurgia/contactos/?referrername=https://www.911metallurgist.com/metallurgia/molienda-minerales/>
- Ocaña, A. J. (2013). Gestión de proyectos con mapas mentales. Vol. I. ECU. <https://elibro-net.bibliotecavirtual.unad.edu.co/es/lc/unad/titulos/42789>
- Oiñuela Raigada, J. L. (2003). Epistemología, metodología y técnicas de análisis de contenido. Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid. <https://es.slideshare.net/benjaminv/anlisis-de-contenido-jos-luis-pinuel-t>
- Ollé, C., & Cerezuela, B. (2017). Gestión de Proyectos Paso a Paso. Barcelona.
- Parra Muñoz, P., (2010). Autocad por medio del dibujo arquitectónico: aplicación a una casa habitación. México D.C.: Instituto Politécnico Nacional.
- Platas García, J. A. & Cervantes Valencia, M. I., (2014). Planeación, Diseño y Layout de Instalaciones. (Ed 1). México D.C.: Patria. ISBN 978-607-438-929-6. <https://es.scribd.com/document/540443686/Planeacion-Diseno-y-Layout-de-InstalacionesUn-Enfoque-Por-Competencias-by-Jose-Armando-Platas-Garcia-Jose-Armando-PlatasGarcia-Z-lib-org>

Ruiz Larraguivel, E. (2004). Ingenieros en la industria manufacturera: formación, profesión y actividad laboral. Plaza y Valdés, S.A. de C.V.

[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-26982006000400009](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-26982006000400009)

Rumbo Minero. (2018). Chancado y Molienda en minería: Paso previo hacia el material fino.

México D.F.: American Mining.

<https://www.rumbominero.com/revista/informes/chancado-y-molienda-en-mineria-paso-previo-hacia-el-material->

[fino/#:~:text=Por%20su%20parte%2C%20el%20proceso,en%20diversos%20tama%C3%B1os%20y%20aleaciones](https://www.rumbominero.com/revista/informes/chancado-y-molienda-en-mineria-paso-previo-hacia-el-material-fino/#:~:text=Por%20su%20parte%2C%20el%20proceso,en%20diversos%20tama%C3%B1os%20y%20aleaciones)

Sotecma. (2020). Trituración y Molienda de materiales. Madrid:

<https://www.sotecma.es/proceso-trituracion-molienda-minerales/>

Torres Carreño, A. P., (2016). Caracterización de las Metodologías Ágiles de Gestión de Proyectos y su Aplicación en las Organizaciones Matriciales. Bogotá D.C.: UNAD.

<https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/6227/52841572.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Torres, Z, & Torres H., (2014). Administración de Proyectos. México D.F.: Patria. ISBN: 978-

607- 438-881-7. <https://editorialpatria.com.mx/mobile/pdf/files/9786074384178.pdf>

Universidad Nacional y a Distancia. (2020). Instructivo para la usabilidad de Normas

internacionales de citación APA (Ed 7). Bogotá D.C.: UNAD.

[https://biblioteca.unad.edu.co/images/documentos/Normas\\_APA\\_7\\_Edici%C3%B3n.pdf](https://biblioteca.unad.edu.co/images/documentos/Normas_APA_7_Edici%C3%B3n.pdf)

Vise. (2018). Lo que debes saber sobre el proceso de trituración. México D.F.:

<https://blog.vise.com.mx/lo-que-debes-saber-sobre-el-proceso-de-trituracion>

Sandvik Crusher Plants, Rock Crusher Plants, Stone Crusher Plants. (s. f.-b). SRP.

<https://www.rockprocessing.sandvik/en/products/stationary-crushers-and-screens/plant-solutions/>

concentrador qs40 flsmidth - Google Search. (s. f.).

[https://www.google.com/search?q=concentrador+qs40+flsmidth&rlz=1C1CHZN\\_esCO1034CO1034&oq=concentrador+QS40+FLS&aqs=chrome.2.69i57j33i160l2.13522j1j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8#imgrc=gDbgkBWiYFYUUM](https://www.google.com/search?q=concentrador+qs40+flsmidth&rlz=1C1CHZN_esCO1034CO1034&oq=concentrador+QS40+FLS&aqs=chrome.2.69i57j33i160l2.13522j1j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8#imgrc=gDbgkBWiYFYUUM)

GoProfe. (2022, 13 febrero). ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS SEGÚN LAS NORMAS APA 7ma EDICIÓN / 2023 [Vídeo]. YouTube.

<https://www.youtube.com/watch?v=eUkAPkA4cy8>

Sign in to your account. (s. f.). <https://unadvirtualedu->

[my.sharepoint.com/personal/biblioteca\\_unad\\_unadvirtual\\_edu\\_co/\\_layouts/15/stream.aspx?id=%2Fpersonal%2Fbiblioteca\\_unad\\_unadvirtual\\_edu\\_co%2FDocuments%2FGrabaciones%20Zoom%202023%2FFormaci%C3%B3n%2FNormas%20APA%207%E1%B5%83%20ed\\_13%20de%20abril%2Emp4&ga=1](https://unadvirtualedu-my.sharepoint.com/personal/biblioteca_unad_unadvirtual_edu_co/_layouts/15/stream.aspx?id=%2Fpersonal%2Fbiblioteca_unad_unadvirtual_edu_co%2FDocuments%2FGrabaciones%20Zoom%202023%2FFormaci%C3%B3n%2FNormas%20APA%207%E1%B5%83%20ed_13%20de%20abril%2Emp4&ga=1)

NORMAS APA 7 Edición. (s. f.). <https://my.visme.co/view/kkyp78d7-normas-apa-7-edicion#s8>