

MINERÍA DE CAMPO  
(PASANTÍA INDUSTRIAL)

**DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA DE  
BENEFICIO MINERAL DEL CAMPAMENTO PEDECA EL TURPIAL,  
MUNICIPIO GUAICAIPURO, ESTADO MIRANDA.**

INFORME DE PASANTÍA  
BR. JOSÉ D. MARAÑÓN M.  
ESCUELA DE GEOLOGÍA, MINAS Y GEOFÍSICA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA  
Caracas, abril de 2019

MINERÍA DE CAMPO  
(PASANTÍA INDUSTRIAL)

**DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA DE  
BENEFICIO MINERAL DEL CAMPAMENTO PEDECA EL TURPIAL,  
MUNICIPIO GUAICAIPURO, ESTADO MIRANDA.**

TUTOR ACADÉMICO: Ing. Leoner Azuaje.

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Santiago León.

Caracas, abril de 2019

## **RESUMEN**

Campamento Pedeca El Turpial, es una cantera dedicada a la producción de agregados finos y gruesos para la construcción y generación de asfalto. Dicha empresa cuenta con dos plantas, una de beneficio mineral no metálico y otra de producción de asfalto, el trabajo de campo se enfocó en realizar un diagnóstico de los equipos que conforman la planta de beneficio mineral. En el tiempo de estadía en la cantera se realizó una recolección de datos acerca del funcionamiento de los equipos de la planta y sobre las condiciones en las que se encuentran, además se realizó un análisis dimensional del material de las pilas de alimentación de la planta de asfalto con la finalidad de comparar la granulometría de esta con la requerida por INVEAS asfalto tipo m-12. Se pudo observar que los equipos de la planta de beneficio trabajan con normalidad, pero poseen un deterioro visible por los casi 40 años que llevan en, también se pudo observar que el circuito de beneficio mineral posee una clasificación deficiente como consecuencia de una mala combinación de rejillas clasificadoras y por mal estado de estas. Con el fin de evitar el avance del deterioro o la paralización de actividades se realizó una propuesta de diagnóstico a la empresa mediante la codificación de equipos y clasificación de criticidad.

*Palabras claves: planta de trituración y clasificación, agregados de la construcción, mantenimiento, diagnóstico, cantera, minería.*

## ÍNDICE GENERAL

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO I .....	2
1. Generalidades de la empresa. ....	2
1.1. Reseña Histórica de la Empresa. ....	2
1.2. Ubicación geográfica .....	3
1.3. Organigrama .....	4
CAPITULO II .....	5
2. El problema .....	5
2.1. Planteamiento del problema .....	5
2.2. Objetivo General.....	6
2.3. Objetivos Específicos.....	6
2.4. Justificación.....	6
CAPITULO III.....	7
3. Marco teórico.....	7
3.1. Antecedentes de la investigación .....	7

3.2. Bases Teóricas.....	9
3.2.1. Geología Regional .....	9
3.2.2. Trituración.....	12
3.2.3. Trituradora de mandíbula .....	13
3.2.4. Partes que componen una trituradora de mandíbula .....	14
3.2.5. Trituradora de cono .....	17
3.2.6. Revestimientos de trituradora de cono. ....	19
3.2.7. Molienda .....	20
3.2.8. Molino de barras.....	21
3.2.9. Partes de los molinos. ....	22
3.2.10. Cribado .....	23
3.2.11. Factores que afecta la capacidad de cribado .....	23
3.2.12. Cribas vibratorias de movimiento circular.....	24
3.2.13. Circuitos abiertos y cerrados .....	25
3.2.14. Mantenimiento en la industria minera .....	27
3.2.15. Tipos de mantenimiento .....	28
CAPITULO IV .....	30

4. Marco metodológico .....	30
4.1. Metodología de trabajo.....	30
4.1.1. Condiciones de equipos de la planta de beneficio mineral .....	30
4.1.2. Evaluación de la calidad dimensional del producto. ....	31
CAPITULO V.....	34
5. Resultados y análisis .....	34
5.1. Condiciones de equipos de la planta de beneficio mineral .....	34
5.1.1. Flujograma del proceso de trituración. ....	34
5.1.2. Recolección de datos.....	36
5.2. Evaluación de la calidad dimensional del producto .....	43
5.3. Planteamiento de un sistema de mantenimiento .....	46
5.3.1. Codificación de equipos.....	46
5.3.2. Criticidad de equipos.....	49
CONCLUSIONES .....	52
RECOMEDANCIONES .....	54
BIBLIOGRAFIA .....	55

## **INTRODUCCIÓN**

Campamento Pedeca El Turpial, es una cantera que se dedica a la extracción, procesamiento y venta de agregados comerciales como piedra número uno 1", piedra  $\frac{3}{4}$ , arrocillo, polvo de piedra y ripio. La misma cuenta con una planta de reducción de tamaño, clasificación dimensional con diferentes configuraciones y una planta de generación de asfalto.

Esta cantera cuenta con un grupo de trituradoras y equipos de clasificación de tamaños para procesar el material, dichos equipos son susceptibles a sufrir un desgaste, ya que estos están en contacto directo con el material extraído del yacimiento. Estas maquinarias han estado en funcionamiento por muchos años y en la última década se ha dificultado el remplazo de los componentes de estas. Viendo esto se planteó el siguiente objetivo. Diagnosticar el estado actual de la planta de beneficio mineral del campamento Pedeca el Turpial. Este a grandes rasgos representó los fines del trabajo. Luego se dio a la tarea de ir hacia lo más específicos de esta meta. Así es como: 1) Examinar las condiciones de los equipos a través de una inspección visual de la planta de beneficio mineral. 2) Evaluación de la calidad dimensional del producto que alimenta la planta de asfalto. Por ultimo, 3) Plantear un sistema de mantenimiento para los procesos de trituración y molienda, adecuado a las condiciones operacionales de la planta y que involucre mantenimiento correctivo y preventivo.

El trabajo se realizó en seis semanas, en el periodo comprendido entre 06 agosto de 2018 hasta el 14 de septiembre del mismo año. La información se recolecto en la fase de campo donde se toman ciertos datos necesarios para cumplir con los objetivos, posteriormente se pasó a la fase de gráficas, discusión y análisis de resultados que traerá consigo unas conclusiones y recomendaciones en base a lo antes expuesto.

## **CAPITULO I**

### 1. Generalidades de la empresa.

El presente capítulo tiene como propósito dar a conocer información referente a la empresa, ubicación y accesibilidad. Una breve reseña histórica, misión, visión, objetivos y la estructura organizativa de la misma.

#### 1.1. Reseña Histórica de la Empresa.

La Constructora PEDECA tuvo sus comienzos en el estado Guárico en los años sesenta, este atravesaba por una crisis terrible con pueblos, que por su pésima comunicación estaban siendo abandonados, entonces, gracias al apoyo firme del para entonces Gobernador en la zona, la empresa estableció un plan de desarrollo vial, el cual fue financiado por el Grupo U. P. gracias a esto se recuperó la mayoría de las carreteras, entre unos 400 a 500 Kilómetros que estaban casi intransitables. Se realizó una inversión bastante considerable y para el retorno de esta, se implementó un sistema de peaje. Se obtuvo tanto éxito con este proyecto, que desde entonces el resto de los gobernadores se interesaron en esta experiencia.

A partir de entonces, se abrió un proceso de licitaciones, las cuales en su mayoría las ganó el Grupo U. P, por una serie de razones:

- En primer lugar: había que hacer grandes inversiones y, para ello, se necesitaba liquidez.
- En segundo lugar: la empresa tenía una ventaja técnica y estratégica, pues aún y cuando aquí existían muy buenas empresas, ellas no conocían esta área.
- En tercer lugar: se requería de una importante organización, y en este sentido, previendo lo que iba a suceder, la empresa adelantándose a los acontecimientos instaló unidades de producción para el procesamiento de materiales y agregados en puntos estratégicos, por ejemplo, en los cruces viales más importantes, es decir en aquellos por donde se cruza de un estado a otro, o de una ciudad a otra.

Como consecuencia de esta visión planificada, hoy en día la constructora PEDECA cuenta con un elevado porcentaje de concesiones viales y peajes de Venezuela (antes de ser expropiados). Claro está que esto ha ameritado una gran inversión, lo que tal vez no han hecho otros empresarios por temor al riesgo.

## 1.2. Ubicación geográfica

El área de estudio está ubicada en Las Variantes de Guayas, Km. 40 Carretera Panamericana, sector el Jabillal, municipio Guaicaipuro, estado Miranda.

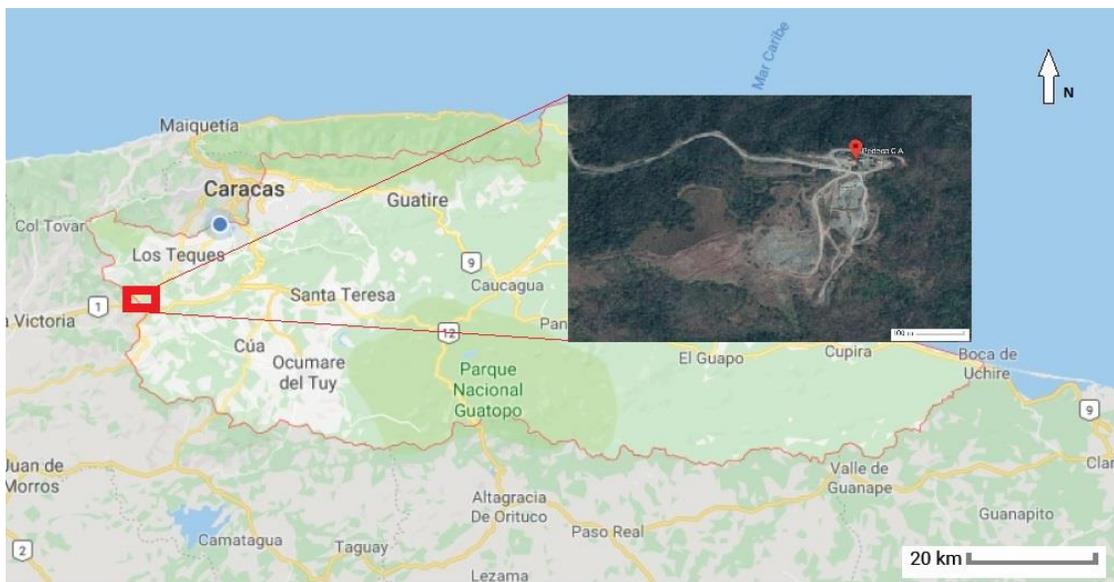


Fig. 1: Ubicación geográfica de la zona de estudio. Google Earth.

1.3. Organigrama

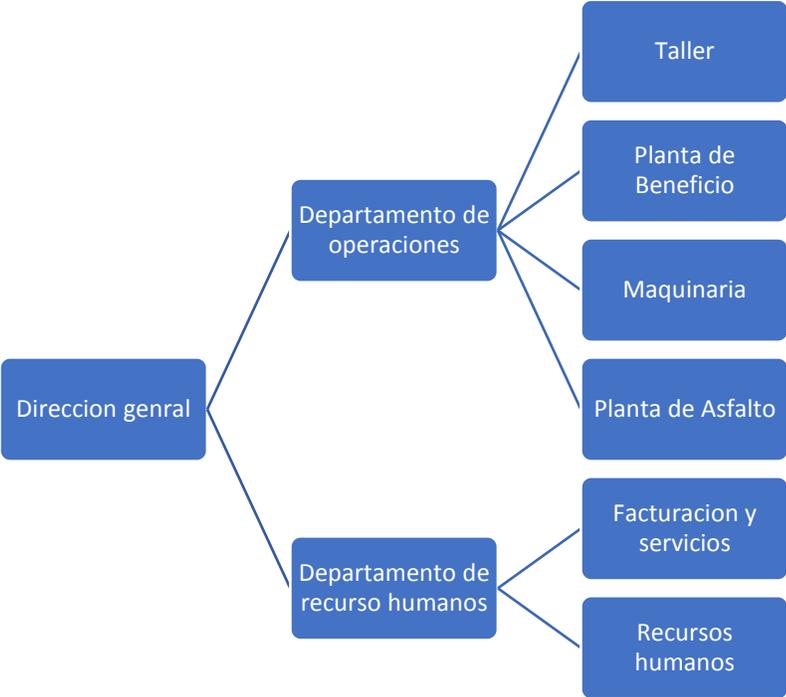


Fig. 2: Organigrama de Campamento PEDECA El Turpial

## **CAPITULO II**

### **2. El problema**

En este capítulo se describe la problemática objeto de estudio del trabajo y las medidas a tomar en cuenta para darle solución a la misma, es decir, el planteamiento del problema, los objetivos generales y específicos. Asimismo, también se tiene la justificación y los alcances del trabajo realizado.

#### **2.1. Planteamiento del problema**

La cantera Campamento Pedeca El Turpial se dedica a extraer y a procesar roca caliza, dirigida al mercado de agregados para la construcción y para la generación de asfalto, dentro de sus operaciones existe una planta de reducción y clasificación mineral, la cual tiene operando desde hace aproximadamente 40 años.

Estos equipos al tener un largo tiempo en funcionamiento son más propensos a que generen fallas, sobrecalentamiento, funcionamiento errático, descastes continuos de sus componentes, errores, apagados inesperados, etc., lo que trae como consecuencia parar la producción hasta que se consiga el repuesto o el equipo que tenga que remplazarse. Aunado a eso la cantera cuenta con escasa información acerca de las especificaciones de los equipos, tampoco posee una programación de planes de mantenimiento predictivo y preventivo lo que fomenta el manejo empírico de la planta y han propiciado que solamente se realicen mantenimientos correctivos.

A través de un diagnóstico de la planta donde se inspeccionaron los equipos de clasificación y reducción de tamaño de la planta de beneficio mineral del campamento Pedeca el Turpial para la generación de asfalto tipo m-12, se desea proponer un sistema de mantenimiento para los equipos de la planta de beneficio mineral.

## 2.2. Objetivo General

Diagnosticar el estado actual de la planta de beneficio mineral del campamento Pedeca el Turpial.

## 2.3. Objetivos Específicos

- Examinar las condiciones de los equipos a través de una inspección visual de la planta de beneficio mineral.
- Evaluar la calidad dimensional del producto final de la planta de beneficio que alimenta la planta de asfalto.
- Plantear un sistema de mantenimiento para los procesos de trituración y molienda, adecuado a las condiciones operacionales de la planta y que involucre mantenimiento correctivo y preventivo.

## 2.4. Justificación

La explotación de los minerales no metálicos es de vital importancia para la nación, debido a los proyectos en materia habitacional y de transporte, es por ello, que la cantera procura satisfacer la demanda de la zona, pero debido a la falta de información sobre las características del material y al arranque directo del material in-situ se generan fallas en el sistema de reducción del mineral y en la clasificación.

Es por esto por lo que se obtendrá como resultado las especificaciones y condiciones de los equipos utilizados en la planta, así como, una propuesta de mantenimiento de la misma garantizando en el tiempo la optimización del proceso y evitando alguna falla que genere pérdidas en la producción.

## CAPITULO III

### 3. Marco teórico

En el siguiente capítulo se presenta el conjunto de ideas, conceptos, antecedentes y teorías que sustentan la investigación y permiten comprender la perspectiva o enfoque principal del mismo.

#### 3.1. Antecedentes de la investigación

- Labrador, María. (2017) Evaluación de la planta de trituración y clasificación de tamaño de la roca caliza en la Cantera Agua Viva II, San Sebastián de los Reyes, estado Aragua. Trabajo especial de grado.

Resumen: La cantera Agua Viva II es una de las canteras pertenecientes a la empresa Aragua Minas y canteras, S.A. (ARAMICA, S.A.), esta cantera realiza labores de explotación de mineral de roca caliza con labores de arranque por medio de voladuras que finalmente será procesado por una planta de beneficio mineral. Este trabajo de investigación presenta una evaluación de esta planta de beneficio mineral, tomando en cuenta las distribuciones granulométricas de los equipos de trituración y clasificación, obteniendo valores de eficiencia del cribado y rendimientos de trituración.

- Gavidia, W. y Pimentel, R. (2015) Diagnóstico de las plantas de agregados de la Cantera Carayaca para conocer las especificaciones técnicas y de producción. Período julio – septiembre de 2014. Minería de campo.

Resumen: La empresa cuenta con dos plantas de beneficio mineral, cuya capacidad de tratamiento es de 200 t/h para la planta 1 y 300 t/h para la planta 2. Para el mes de julio del 2014 se determinaron las especificaciones técnicas y de producción de ambas plantas, señalando las particularidades de cada equipo y del material que en ellas se beneficia. Se elaboró el diagrama de trituración para esquematizar el proceso de disminución de tamaño del

material, asignándole un código de referencia a cada equipo que la compone, y señalando los aspectos más relevantes. Se pudo determinar que la capacidad de los equipos de la planta 1 y 2 están acorde con el flujo de material con que se alimentan.

- Rodríguez, Carlos (2012) Evaluación y propuesta para el control y desempeño del área de trituración de mineral. Minería de campo.

Resumen: El presente trabajo describe la evaluación de los equipos de trituración en la empresa Minera Loma de Níquel, dedicada a la producción y mercadeo de una ferroaleación de níquel, con el objetivo de evitar retrasos en la producción de mineral, garantizando así la continuidad operacional de los equipos pertenecientes al área de trituración y preparación de mineral. La evaluación permitió generar una propuesta y para lograr la optimización en el desempeño de los equipos del área de trituración mineral, mediante el estudio de la disponibilidad física y utilización de estos. A través de un estudio basado en el histórico de paradas en el área de trituración durante el periodo enero-agosto 2011.

- Pacheco, María (2005) Plan de mantenimiento preventivo para los procesos de trituración y molienda de la planta de beneficio María Dama Frontino Gold Mines. Trabajo especial de grado.

Resumen: el estudio inicia con una revisión del estado de la maquinaria y con la relación de un diagnostico del sistema actual de mantenimiento que se lleva en la planta de beneficio; luego se realizó la codificación y el análisis de criticidad por equipo que determina el tipo de mantenimiento adecuado a llevar en cada máquina. Posteriormente se realiza el diseño del sistema de información con los formatos y la programación necesaria.

## 3.2. Bases Teóricas

### 3.2.1. Geología Regional

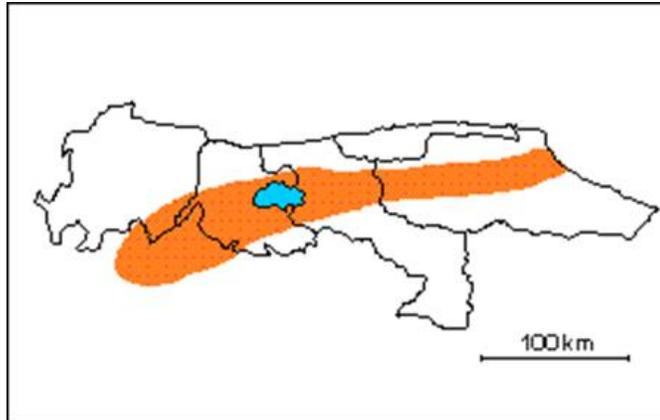


Fig. 3: Formación las Mercedes. Léxico estratigráfico.

Consideraciones históricas: Originalmente fue referida por AGUERREVERE & ZULOAGA (1937-a, b), quienes la denominan esquistos de Las Mercedes. Posteriormente (1938-a, b), formalizan el nombre de la unidad con el nombre actual. Ha sido descrita en diversas localidades de la Cordillera de la Costa sin mayores cambios, dada su litología consecuentemente uniforme.

Descripción litológica: AGUERREVERE & ZULOAGA (op. cit.), la definen como esquistos principalmente calcáreos, con zonas grafitosas y localmente zonas micáceas, de un tinte rosado..., gris, con zonas blancas cuando frescas. Según WEHRMANN (1972) y la revisión de GONZÁLEZ DE JUANA et al. (1980, p. 317) la litología predominante consiste en esquisto cuarzo - muscovítico - calcítico - grafitoso con intercalaciones de mármol grafitoso en forma de lentes, que cuando alcanza gruesos espesores se ha denominado "Caliza de Los Colorados". Las rocas presentan buena foliación y grano de fino a medio, el color característico es el gris pardusco. La mineralogía promedio consiste en cuarzo (40%) en cristales dispuestos en bandas con la mica, muscovita (20%) en bandas lepidoblásticas a veces con clivaje crenulado, calcita (23%) en cristales con maclas polisintéticas, grafito (5%), y cantidades menores de clorita, óxidos de hierro, epidoto y ocasionalmente

plagioclasa sódica. El mármol intercalado con esquistos se presenta en capas delgadas usualmente centimétricas a decimétricas, son de color gris azulado, cuya mineralogía es casi en su totalidad calcita, escasa dolomita y cantidades accesorias de cuarzo, muscovita, grafito, pirita y óxidos de hierro. OXBURGH (op. cit.), incluye el conglomerado de Charallave en la parte superior de Las Mercedes, y discrimina una facies oriental, de esquistos grafiticos, en su mayoría no calcáreos, granatíferos, con capas cuarcíticas de 20-70 cm de espesor y esquistos micáceos granatíferos, donde las capas cuarzosas están ausentes; y una facies occidental más arenosa, menos grafitica y carente de capas calcáreas, con abundante granate, y filitas grafiticas de color variable, predominantemente negro en la parte superior de la sección.

WEHRMANN (op. cit.), menciona metaconglomerados en su base, esquistos cloríticos y una sección en el tope, de filitas negras, poco metamorizadas, con nódulos de mármol negro, de grano muy fino, similares a los de las formaciones La Luna y Querecual, sin hallar fósiles en ellos. Este mismo autor, indica que el tope de la formación se hace más cuarzosa y menos calcárea en su transición hacia la Formación Chuspita. SEIDERS (op. cit.), menciona, además, meta-areniscas puras, feldespáticas y cuarzosas, de estratificación de grano variable, a veces gradada.

URBANI et al. (1989-a) cartografían dos subunidades en la zona de Valencia - Mariara, estado Carabobo. La mayoritaria de esquistos calcíticos - grafitosos y mármol, con una asociación mineralógica de cuarzo, calcita, muscovita, albita, grafito, clorita y epidoto. Una segunda subunidad minoritaria de cuerpos de mármol masivo, contentivo de calcita, cuarzo, muscovita, grafito y albita. En la zona de La Sabana - Chirimena - Capaya, Distrito Federal y Miranda, Urbani et al. (1989-b) reconocen cuatro unidades cartografiables, la primera y mayoritaria de esquistos grafitosos y mármol, así como de mármol, de metaconglomerado cuarzo - feldespático - calcáreo, de metaconglomerado y metaarenisca y de esquistos albiticos - grafitosos.

Todas estas rocas corresponden a un metamorfismo de bajo grado en la facies de los esquistos verdes, zona de la clorita.

Característico de la formación, es la presencia de pirita, que, al meteorizar, infunde una coloración rosada a rojo ladrillo a la roca. SMITH (op. cit.), opina que la coloración rosada proviene de la meteorización de la sericita. Otra característica es la extraordinaria proporción de vetas de calcita recristalizada, en colores blanco, pardo y marrón, que ha sido identificada erróneamente como ankerita o siderita. En muestras de sondeos profundos con muestras no meteorizadas, esta coloración marrón de la calcita está ausente.

Muy poco se ha escrito sobre el ambiente en el cual se depositó la Formación las Mercedes. OXBURGH (op. cit.), sugiere dos fuentes principales de sedimento: una meridional, suplidora de cuarzo puro, y una occidental (Complejo de El Tinaco), para el material cuarzo-feldespático más joven. Presenta un esquema transgresivo hacia el sur, sobre una plataforma somera, en la cual se depositaron lutitas negras, con una facies oriental más arenosa.

TALUKDAR & LOUREIRO (1982), sugieren un ambiente euxínico en una cuenca externa a un arco volcánico. La estructura finamente laminada de las calizas, indica la sedimentación en un ambiente pelágico, mientras que los escasos restos de fósiles hallados indican lo contrario.

URBANI et al. (1997) estudian mineralógicamente los mármoles de esta Formación en la zona de Birongo, estado Miranda, encontrando que la dolomita se encuentra en baja concentración predominando los mármoles calcíticos.

### 3.2.2. Trituración

Según Kelly (1990) llamada también reducción de tamaño o conminución es una etapa importante en el procesamiento de la mayoría de los minerales, en cuanto que puede usarse:

- Para producir partículas del tamaño y la forma requerida.
- Para liberar minerales valiosos de la ganga para que puedan concentrarse.
- Para incrementar el área de superficie disponible para exhibirse a la reacción química.

Existe una variedad de equipo disponible, pero individualmente cada uno está restringido en cuanto a su aplicación. En la industria minera, la mayor parte de la reducción de tamaño (trituration) se realiza con trituradoras de compresión, empleando molinos de tambor giratorio para la subsecuente reducción de tamaños más finos (molienda).

Los métodos de reducción de tamaño pueden agruparse de varias maneras, pero como la reducción ocurre en etapas, el tamaño de las partículas aporta el método primario de agrupamiento. Si el cuerpo de mineral es de carácter masivo, la extracción es en realidad la primera etapa de reducción de tamaño, y generalmente se realiza con explosivos, aunque se usan medios mecánicos en los minerales más blandos. La trituración puede subdividirse aún más en etapas primaria, secundaria, terciaria y a veces hasta cuaternaria. Como estas etapas se relacionan con la maquinaria que se emplea, los límites de división no son rígidos y en cualquier operación dada puede no requerirse todos.

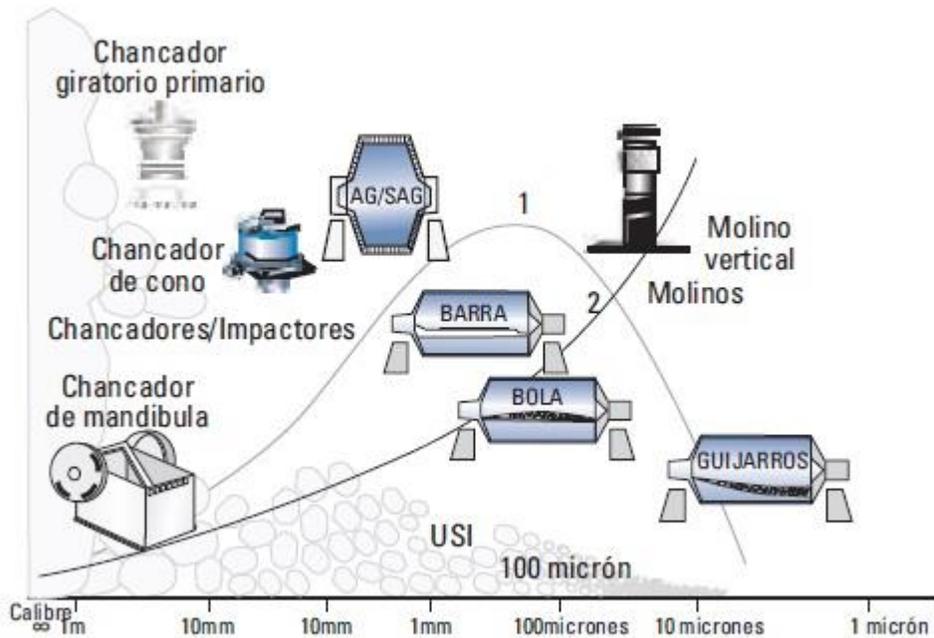


Fig. 4: Equipos usados según el tamaño de grano. Manual General de Minería y Metalurgia, 2006. La reducción de tamaño de minerales se realiza normalmente para liberar los minerales de valor desde la roca donde están depositados, curva número 1. Si el material es un no metálico como calcita, feldespato, u otros, ver la curva número 2.

### 3.2.3. Trituradora de mandíbula

Según Fueyo (1999) La trituradora de mandíbula está formada por dos mandíbulas dispuestas una frente a la otra en forma de v, una de las cuales es fija y la otra está animada por un movimiento de oscilación alrededor de un eje horizontal generado por medio de un sistema de biela excéntrica y de placas de articulación. El material, introducido por la parte superior, es fragmentado debido al acercamiento de la mandíbula móvil y va descendiendo en la cámara de trituración con el alejamiento de dicha mandíbula. Finalmente, los materiales machacados salen de la de la trituradora por la abertura inferior.

Según Wills (1987). Las trituradoras de mandíbula se clasifican por el método de apoyar la parte móvil. En la trituradora tipo Blake la mandíbula está apoyada en la parte superior y de ese modo tiene un área recibidora fija y una abertura de descarga variable. La trituradora tipo Dodge la mandíbula móvil está apoyada en la base, dándole un área de alimentación variable, pero de área de entrega fija. Este tipo de trituradora solo se utiliza a nivel de laboratorio, ya que, proporciona una estrecha selección de tamaños y para grandes cargas se obstruye fácilmente. La trituradora Universal está apoyada en la posición intermedia y así tiene un área recibidora y de entrega variable.

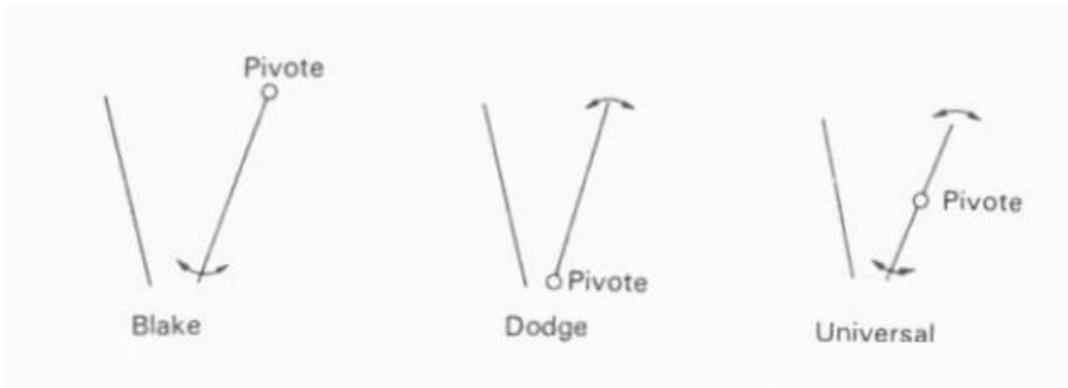


Fig. 5: tipos de trituradoras de mandíbula. Wills (1987)

#### 3.2.4. Partes que componen una trituradora de mandíbula

Según Fueyo (1999). La trituradoras de mandíbulas están formadas por una serie de elementos que se describen a continuación:

- **Carcasa o bastidor:** es el conjunto principal que soporta a los elementos de trituración. Actualmente son de construcción monobloque de chapa laminada de gran espesor, electrosoldada y normalizada con nervios de refuerzo para eliminar todo tipo de deformaciones.

- Cámara de trituración: se define como el área confinada por los dientes o estrías de las mandíbulas fijas, las mandíbulas oscilantes y las placas anti-desgaste de los laterales, en la que tiene lugar el proceso de trituración.

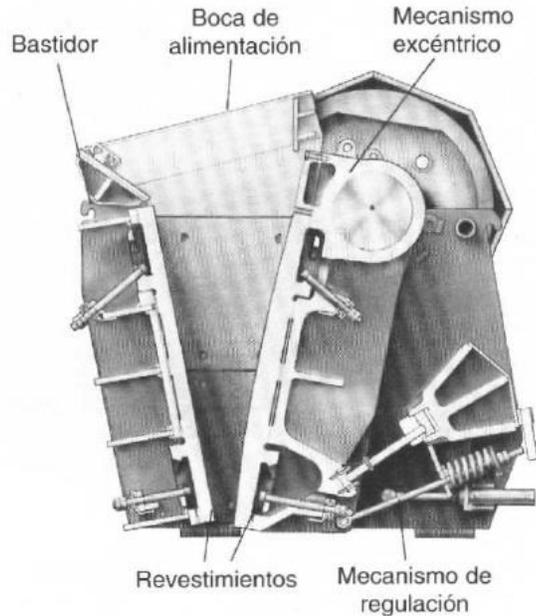


Fig. 6: Grafico trituradora mandíbula. Fueyo (1999).

- Revestimiento: se definen como superficies renovables de trituración con diferentes tipos de configuraciones sobre la cara o superficie fabricadas de acero al manganeso. Estas placas están dentadas en sentido de su altura para facilitar la caída por la cámara de trituración y son planas al dorso con objeto de asentar bien sobre las mandíbulas y favoreces su fijación. El proceso de trituración hace que el desgaste de los revestimientos no sea similar en todas las zonas de la cámara de trituración, siendo mayor en la zona inferior próxima a la boca de evacuación. Los revestimientos se colocan sobre la mandíbula fija y sobre la mandíbula móvil y estas a su vez están sujetas a la carcasa o bastidor mediante tirantes de fijación en la parte inferior y mediante muelles, arandelas o cojín neumático en la parte superior.

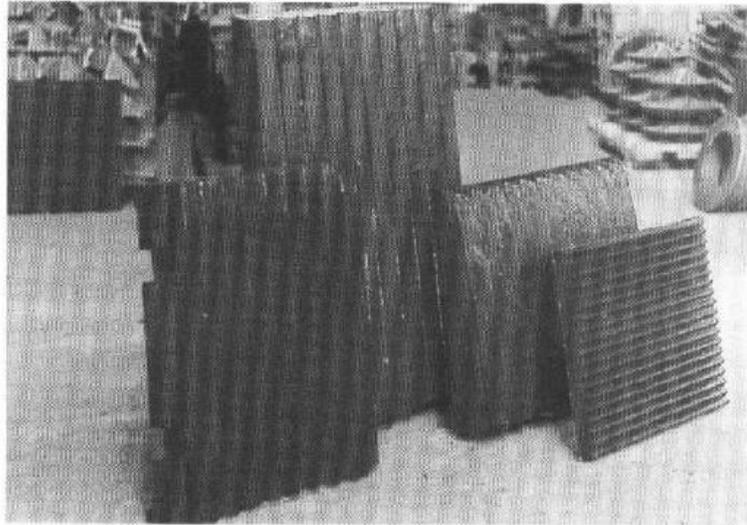


Fig. 7: Revestimientos de trituradora de mandíbula. Fueyo (1999).

- Sistema de accionamiento: las trituradoras actúan a través de un sistema excéntrico, el cual mueve hacia delante y hacia atrás una biela que impulsa hacia arriba y hacia abajo con cada revolución produciendo una acción de trituración den la cámara diseñada para ello.

La fuerza inercial para realizar los procesos de compresión se comunica por medio de unos volantes de acero fundido e intercambiables, tanto el volante como el propio conjunto de accionamiento, para poder realizar el accionamiento desde el lado más conveniente. Estos volantes, conservan la fuerza uniforme para mantener la producción continua y reducir las puntas de esfuerzo en la transmisión y el motor, van montados en un eje excéntrico fabricado de acero forjado que mueve una biela que a su vez va articulada mediante una o dos placas, entre la mandíbula móvil y un punto fijo. El accionamiento se realiza por transmisión de correas trapezoidales a partir de un motor eléctrico directamente sobre la llanta de uno de los volantes.

### 3.2.5. Trituradora de cono

Según Wills (1987). La trituradora de cono es una giratoria modificada. Fundamental es que el árbol es corto de la quebradora de cono no está suspendido como en la giratoria, sino que está soportado por un balero universal curvado por debajo de la cabeza giratoria o cono.



Fig. 8: Sección transversal funcional de una trituradora de cono. Wills (1987).

La carrera de las trituradoras de cono puede ser hasta 5 veces de las primarias, las cuales deben resistir esfuerzos de trabajo más pesado. También se operan a velocidades mucho más alta. El material que pasa a través de las trituradoras está sujeto a una serie de golpes como el martillo más bien que comprimirse gradualmente por el movimiento lento de la cabeza de la trituradora giratoria.

La acción de alta velocidad permite a las partículas fluir libremente a través de la trituradora y el amplio viaje de la cabeza Crea una gran abertura entre ella y el tazón cuando está en posición completamente abierto. Esto permite a los finos triturados ser descargados rápidamente, haciendo lugar para la alimentación adicional.

Según Fueyo (1999). Dependiendo de cómo se encuentra el eje con el cono, estos pueden ser suspendidos, apoyados y apoyado con la cabeza guiada.

Los trituradores giratorios de cono suspendidos son aquellos que presentan un crucero sobre la parte superior del bastidor, donde se sujeta el eje y, como en los giratorio, el crucero recibe el material y lo reparte por toda la cámara de trituración. Los esfuerzos de trituración en la cámara son prácticamente horizontales ya que se centran en la cabeza y el pie del equipo. Esto hace que la cámara de trituración pueda tener una pendiente importante que disminuye la fricción con las piezas de trituración y favorece el paso de los materiales.

Los trituradores giratorios de cono apoyado (conocidos también como tipo Symons) son aquellos en los cuales el eje reposa, por medio del cuerpo troncocónico, sobre unos cojinetes esféricos. El bastidor inferior encierra el mecanismo de accionamiento, el cual comprende un maguito excéntrico alojado en el núcleo del bastidor, que descansa sobre un soporte inferior, un acoplamiento cónico de accionamiento y un contra eje horizontal que puede ser directamente acoplado a un motor eléctrico.

El eje central está formado por la cabeza móvil, con su revestimiento de descaste, y se prolonga hacia arriba con objeto de servir de soporte al plato de distribución.

El anillo cóncavo cónico, que forma la pieza de desgaste fija, esta soportado por un bastidor de acero moldeado, roscado en periferia, y que se atornilla en el chasis que forma el bastidor superior. Dicho chasis está unido al bastidor inferior por una serie de vástagos roscados que se apoyan en una doble corona con resortes.

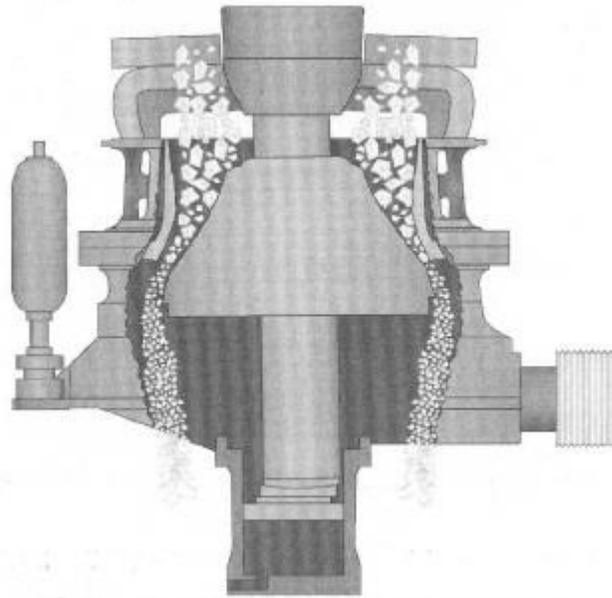


Fig. 9: Esquema de alimentación y descarga de triturador giratorio de cono. Fueyo (1999).

### 3.2.6. Revestimientos de trituradora de cono.

Los revestimientos, tanto de los trituradores giratorios como los trituradores de cono, están fabricados generalmente de acero al manganeso. Este acero, con una proporción de manganeso del 12% al 14%, se caracteriza por su gran resistencia al desgaste y por su alta tenacidad. Aunque este acero es el que hace los resultados más satisfactorios hasta el día de hoy, se sigue investigando en otra aleación como, por ejemplo, de cromo, molibdeno, etc. E incluso con manganeso, pero en otras proporciones. Las investigaciones han demostrado que si la proporción de manganeso disminuye por debajo del 12% de la lesión se vuelve muy blanda y aguanta poco el desgaste, mientras que si se aumenta la proporción por encima del 14% incrementa considerablemente su resistencia al desgaste, pero se vuelve poco tenaz rompiéndose con facilidad. Por lo tanto, la aleación más indicada para los giratorios y los conos es la de acero manganeso en proporción 12-14%.

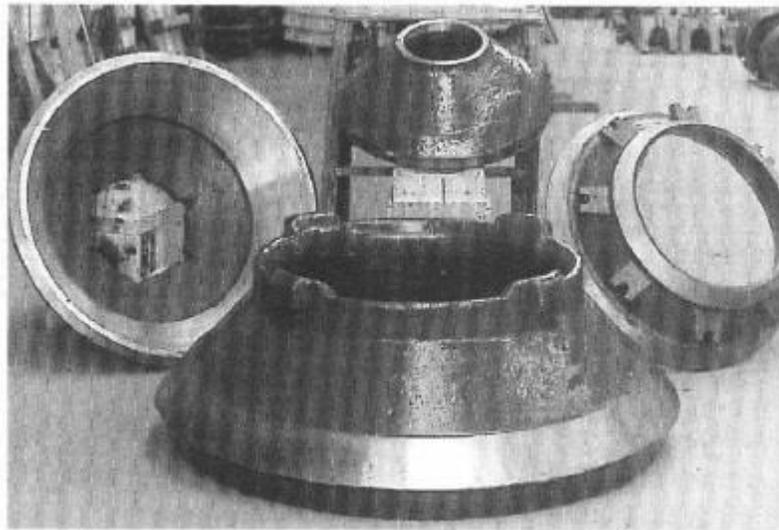


Fig. 10: Revestimiento de cámara de trituración de cono. Fueyo (1999).

### 3.2.7. Molienda

Según Wills (1987). La molienda es la última etapa del proceso de conminución de las partículas minerales; en esta etapa se reduce el tamaño de las partículas por una combinación de mecanismos de quebrado de impacto y abrasión, ya sea en Seco o en suspensión en agua. Esto se realiza en recipientes cilíndricos rotatorio de acero que se conocen como un molino de rodamiento de carga, los que contienen una carga suelta de cuerpos de trituración como el medio de molienda, dentro del molino y pulverizar así las partículas de menas. El medio de molienda suele ser: Bolas o barras de acero, roca dura y en algunos casos como la misma Mena (molienda autógena). En el proceso de molienda, las partículas de 250 mm se reducen de tamaño entre 10 y 300  $\mu\text{m}$ .

La molienda dentro de un molino de rodamiento de carga está influenciada por el tamaño, cantidad, tipo de movimiento y espacios entre las piezas individuales del medio en el interior del molino. En oposición a la trituración, la que tiene lugar entre superficies relativamente rígidas, la molienda es un proceso más aleatorio y está sujeta a las leyes de probabilidad. Una partícula de mena depende de la probabilidad

de que está entre en una zona entre las formas del medio de molienda y la probabilidad de que tenga lugar su compresión después de esa entrada. La molienda se logra por varios mecanismos, impacto o compresión, fuerza aplicada casi normalmente a la superficie de la partícula; el cincelado debido a fuerzas oblicuas y a la abrasión debido a la fuerza paralela a la superficie.

### 3.2.8. Molino de barras.

Son cilíndricos, (Fig. 11) con diámetro entre 1,5 y 5 metros y longitud que varía de 1 a 1,5 veces su diámetro.

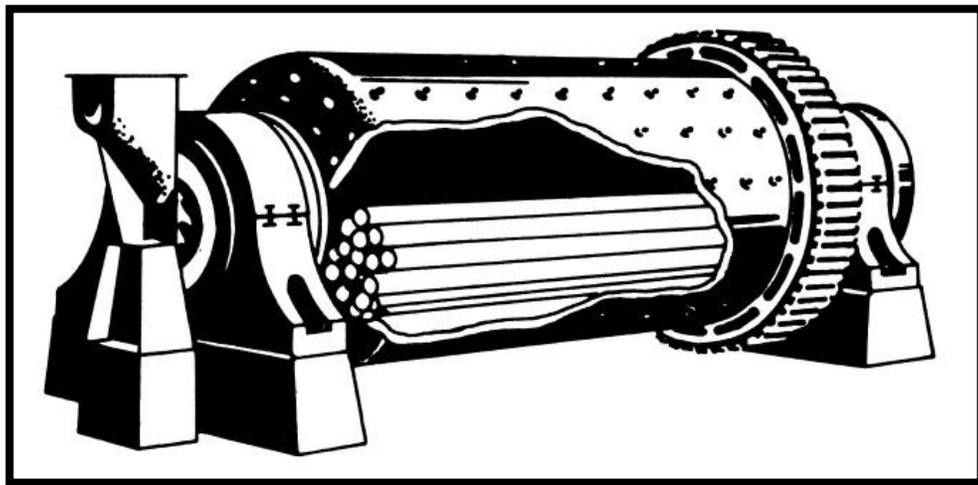


Fig. 11: Molino de barra (Peláez. Guía de Preparación y Concentración de minerales, 1981)

Se usan cuando la alimentación es gruesa y se necesita impacto, porque las barras pesan más que las bolas. La velocidad de giro debe ser mayor cuanto más altura de caída y acción de tijera se necesite por ser la alimentación más gruesa y tenaz.

Para un peso dado de carga moledora las barras tienen menos superficie que las bolas y por ello, si se emplean con alimentación fina, rinden menos que los molinos de bolas.

El consumo de acero, incluyendo forros y barras y en función del tonelaje, varía según los casos desde 125 gramos a 1 kg por tonelada de material tratado. Para facilitar la inspección, retirar las barras desgastadas e introducir las nuevas, suelen tener muñones amplios o una tapa en la cara final, en cuyo caso están soportados por rodillos en el extremo de descarga. El consumo de energía está comprendido entre 4,1 y 6,3 Kw por tonelada de barras y es, aproximadamente, proporcional al diámetro.

#### 3.2.9. Partes de los molinos.

- Coraza: La coraza de moldes de los molinos están diseñadas para soportar los impactos y la carga pesada, se construyen de placas de acero dulce, soldadas a tope. Se taladran agujeros para dar paso a los pernos para sujetar los revestimientos. Normalmente incluyen una o dos puertas de inspección.
- Extremo de los molinos: los cabezales tienen nervaduras para reforzamientos y también pueden ser planos, ligeramente cónicos o cóncavos. Se taladran para ajustarlos a las bridas de la coraza.
- Muñones y chumaceras: los muñones están hechos de hierro o acero moldeado y se atornillan o remachan a las placas de los extremos del molino, aunque los molinos pequeños pueden estar integrados a las placas de los extremos. Deben estar altamente pulidos para reducir la fricción de la chumacera.
- Transmisión: los molinos de rodamiento de carga se mueven por un piñón engranado con una corona cilíndrica remachada a un extremo de la máquina.
- Revestimientos: las caras de trabajo interna de los molinos consisten de revestimientos renovables, los cuales deben resistir los impactos, ser resistente al desgaste y promover el movimiento más favorable de la carga. Los revestimientos de coraza se hacen con gran variedad de formas de elevadores, siendo los más comunes de ondulado, Lorain, escalonado y el sobrepuesto.

### 3.2.10. Cribado

El cribado es un proceso mecánico de clasificación dimensional de materiales de forma y dimensiones variadas, mediante la presentación de estos materiales sobre unas superficies con abertura que dejan pasar los granos de dimensiones inferiores a las dimensiones de las aberturas, mientras que los granos de medidas superiores son retenidos y evacuados separadamente.

El objeto de los procesos de cribado es la separación de los fragmentos más gruesos contenidos en el todo-uno con el fin de eliminarlos o de enviarlos otra vez a los procesos de reducción. Por el contrario, con un proceso de cribado también puede pretenderse la separación de los fragmentos más pequeños para eliminarlos o para clasificarlo en distintas dimensiones comerciales. Esto permite aumentar la capacidad de los aparatos de titulación y evitar la retritución.

### 3.2.11. Factores que afecta la capacidad de cribado

Todo lo que dificulta el paso de las partículas menores que los orificios reduce la capacidad de las cribas.

- a) El primer término tiene influencias el tamaño de partículas con relación a la abertura. Para que una partícula puede atravesar la superficie clasificadora y recogerse en el cernido es necesario que su mínima sección transversal sea menor que el orificio.
- b) Los materiales ásperos o irregulares pasan por los orificios más despacio que los redondeados en el aparato de carbón. De manera análoga, a un trozo o partícula equiaxial le será más fácil atravesarla creo que a otro tabular, a menos que la criba sea especial, como las usadas en el aparato de Carbón.
- c) Los orificios rectangulares dejan pasar el género mejor que los cuadrados y estos que lo redondo.

- d) La capacidad de una criba crece proporcionalmente con la densidad del material que trate y con la cantidad de tamaños menores que los orificios que se permitan en el rechazo.

### 3.2.12. Cribas vibratorias de movimiento circular.

Las cribas vibratorias son las más empleadas en las explotaciones de áridos y minerales. En estas cribas los minerales no avanzan sobre el aparato por el efecto de la gravedad, sino gracias a una combinación de la pendiente y del movimiento cinemático impartido por el propio mecanismo vibrante.

Estas cribas están constituidas por una armadura rígida de inclinación variable, que puede ser entre los  $14^\circ$  a los  $24^\circ$  dependiendo del material a cribar, que se apoya sobre un sistema de muelles helicoidales y está equipada con una o varias bandejas superpuestas. La construcción de la armadura no permite ningún tipo de soldadura sobre los laterales a fin de eliminar las tensiones superficiales. Giran a velocidades comprendidas entre 500 rev/min y 3600 rev/min.

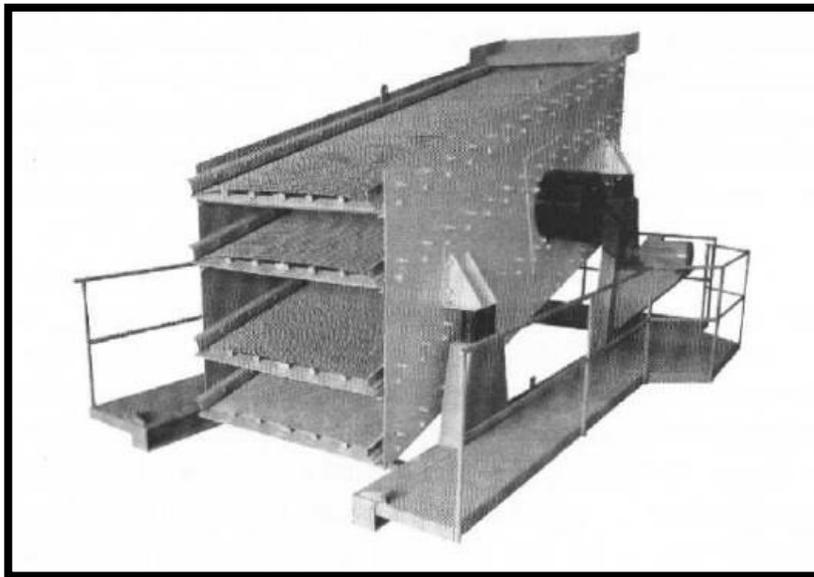


Fig. 12: Criba vibratoria. Fueyo (1999).

### 3.2.13. Circuitos abiertos y cerrados

Según Peláez (1981). El producto que descarga una trituradora hay cierta cantidad de partículas que no pasan por una malla de tamaño igual a la descarga abierta. Por ello, si se quisiera hacer trabajar la máquina de tal manera que, con un solo paso del género a través, o sea en circuito abierto, la totalidad del producto fuese inferior a dicho tamaño de salida abierta habría que cerrar la descarga. Pero si se procediera así se reduciría la capacidad de la máquina y se aumentaría el sobre triturados.

Por consiguiente, cuando se quiere fragmentar de forma que ninguna partícula sea superior a un determinado tamaño es preferible trabajar en circuito cerrado, es decir, añadir al circuito una máquina de clasificación que devuelva a la trituradora las partículas mayores que el tamaño deseado y deje pasar las que son inferiores al mismo.

El circuito abierto Es lo normal en la trituración primaria donde sin embargo para evitar trabajo inútil cómo se hace car una parrilla o una criba antes de la trituradora para que no pase por ahí está el mineral que ya es de tamaño inferior de descarga.

Según sea la posición relativa de las máquinas de fragmentación y clasificación se pueden distinguir dos casos en los circuitos cerrados. En la trituración secundaria lo corriente es que el aparato de clasificación preceda al de fragmentación fig. 11 mientras que lo contrario ocurre en la molienda.

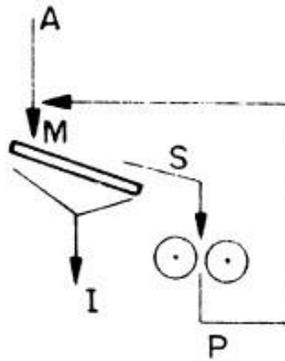


Fig. 13: Representación circuito cerrado en trituración secundaria. Peláez (1981).

Si suponemos que en un circuito cerrado de trituración alcanzado el régimen, el peso de mineral de tamaño inferior **I** que sale de él debe ser igual, en promedio, al peso de mineral nuevo que llega **A**. Por otra parte, a la alimentación de la criba se incorpora, después de haber pasado por la trituradora, la fracción de tamaño superior **S** que fue separada por la criba y pasó a través de la máquina de fragmento; se obtiene así una mezcla de peso **M**. Las dos ecuaciones que expresa lo anterior son:

$$A = I$$

$$M = A + S$$

Formula. 1: Balance básico circuito cerrado en trituración secundaria Peláez (1981).

La cantidad **S** que es la criba envía al aparato de trituración se llama carga circulante. Lo usual es calcularla como un porcentaje de alimentación, es decir, como la razón.

$$C_c = \frac{S}{A}$$

Formula. 2: Carga circulante. Peláez (1981).

### 3.2.14. Mantenimiento en la industria minera

El mantenimiento se define como la combinación de actividades mediante las cuales un equipo o un sistema se mantiene en, o se restablece a, un estado en el que puede realizar las funciones designadas. Es un factor importante en la calidad de los productos y puede utilizarse como una estrategia para una competencia exitosa. Mantener es realizar operaciones tales como: limpieza, lubricación, inspección, conservación, reparaciones y mejoras que permitan conservar el potencial de un equipo para asegurar su continuidad y garantizar la calidad de la producción. El mantenimiento es un proceso clave en industrias intensivas en capital como la industria minera debido a que el cumplimiento de los objetivos de cada unidad productiva está sujeto a la disponibilidad de la planta. En este sentido, la aplicación de las técnicas correctas de planificación y gestión del mantenimiento es fundamental.

Dentro de los principales objetivos del mantenimiento se tiene:

- Aumento de la disponibilidad, confiabilidad y efectividad de los equipos e instalaciones.
- Optimización de los costos de mantenimiento.
- Aumento de la productividad de los recursos.
- Aumento de la utilidad de las empresas.

Para implementar el sistema de mantenimiento que más convenga, se debe considerar el tipo de bien a mantener, la política empresarial respecto al mantenimiento, la organización del mantenimiento, la capacidad del personal de mantenimiento en la planta y en los talleres de la empresa, la frecuencia de empleo de los equipos, los costos y la planeación de producción.

### 3.2.15. Tipos de mantenimiento

**Mantenimiento Reparativo o Correctivo:** se efectúa a un equipo cuando la avería ya se ha producido para restablecerla a su estado operativo habitual. Es un mantenimiento que genera crisis pues podría paralizar el proceso productivo del equipo o de la planta por una falla imprevista. Sólo se aplica si es económicamente mejor que el Preventivo y en equipos no críticos o secundarios. No requiere elevado nivel técnico ni gran infraestructura administrativa o de diagnóstico. Brinda poca seguridad en la operación del equipo, ambiente de trabajo desfavorable por vibraciones y ruidos, paradas imprevistas con consecuencias indeterminables, riesgo de avería de elementos de difícil adquisición, gran stock de repuestos y mayor cantidad de personal por falta de planificación en las reparaciones.

**Mantenimiento Preventivo:** el objetivo del mantenimiento preventivo es aumentar al máximo la disponibilidad y confiabilidad del equipo llevando a cabo un mantenimiento planeado. Programar intervenciones o cambios de algunos componentes o piezas según intervalos predeterminados (estadísticamente) o según eventos regulares (horas de servicio, número de piezas producidas, kilómetros recorridos, vacaciones colectivas). Su finalidad es reducir la probabilidad de avería o pérdida de rendimiento de una máquina o instalación para planificar intervenciones que se ajusten al máximo a la vida útil del elemento.

**Mantenimiento Predictivo:** Se basa en el conocimiento del estado o condición operativa de una máquina o instalación. La medición de estos parámetros (vibración, ruido, temperatura, esfuerzos internos) permite programar la intervención del elemento antes de producirse la falla. Existen varias técnicas predictivas que dan información sobre la máquina en funcionamiento: análisis de vibraciones, análisis de aceites, termografía, ultrasonido y ensayos no destructivos.

Mantenimiento Proactivo: Persigue conocer la causa de un problema para eliminar aparición de averías, aplicando acciones de anticipación antes que de reacción. Las prácticas proactivas pueden llevar a la modificación de elementos estructurales y al rediseño operativo del equipo para la eliminación de averías.

## CAPITULO IV

### 4. Marco metodológico

#### 4.1. Metodología de trabajo

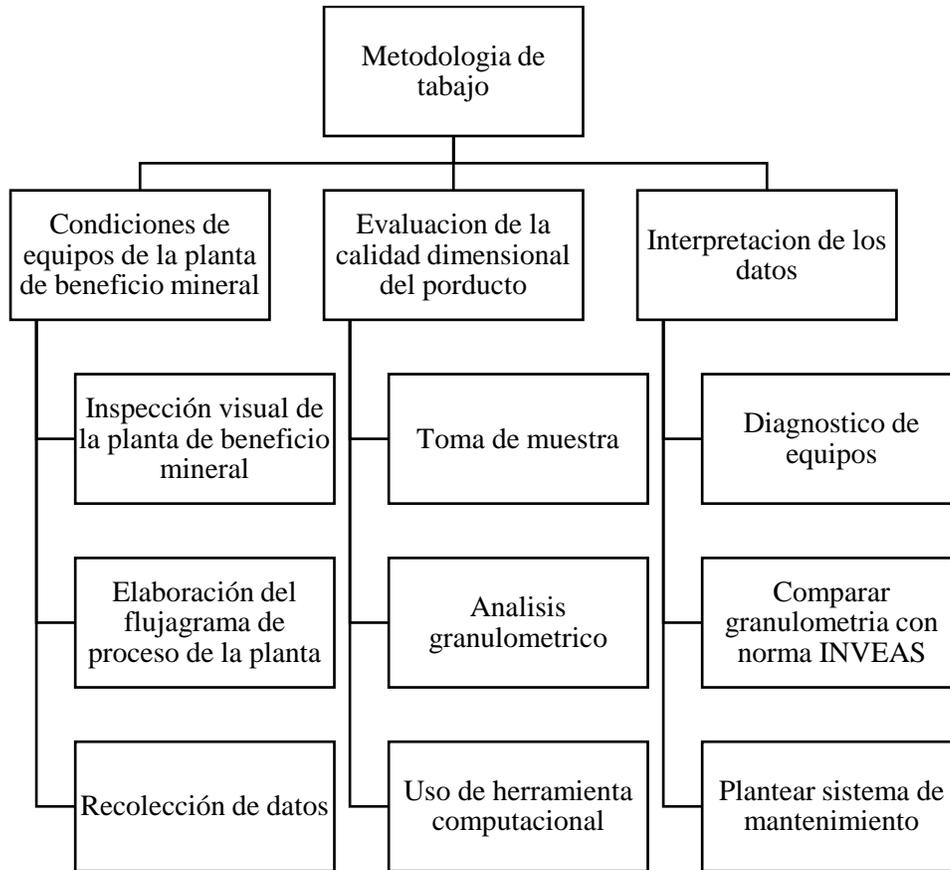


Fig. 14: Esquema de Metodología de Trabajo

##### 4.1.1. Condiciones de equipos de la planta de beneficio mineral

- a) Condiciones de los equipos, Recolección de datos y Entrevistas con los empleados: Durante las primeras semanas se realizó una inspección visual donde se fue tomando información, plasmando un inventario de los equipos y sus elementos principales. Con la finalidad de obtener información donde se observó el estado actual de los equipos. Para identificar las condiciones actuales de la planta, se conversó con los operadores ya que es la forma más directa de obtener información.

b) Elaboración del flujograma de proceso de la planta: El circuito de trituración donde se representan los principales equipos y el sentido cronológico del material a beneficiar. Para ello se empleó una herramienta de dibujo asistido por computador.

#### 4.1.2. Evaluación de la calidad dimensional del producto.

a) Toma de muestras

Las muestras fueron extraídas de tres pilas de almacenamiento del área de la planta de beneficio mineral que se encuentran en las instalaciones del Campamento Pedeca El Turpial. En la Fig. 15, se observan las tres pilas identificadas con el color azul, de las cuales se tomó una muestra A de la pila de material  $3/4'$  (19,0 mm) proveniente de la trituradora de cono, una muestra B de la pila de material  $3/8'$  (9,5 mm) proveniente del mismo equipo y una muestra C de la pila de material  $<3/8'$  (9,5 mm) proveniente del molino de barra.



Fig. 15: Zona de muestreo. Google Earth.

## b) Análisis granulométrico

Para la realización del análisis granulométrico se generó una mezcla con la muestra A, B y C similar a la usada por la empresa para la fabricación de asfalto. Se utilizó la técnica de clasificación granulométrica con tamices acoplados en cascada. Es decir, ordenados de arriba hacia abajo por orden decreciente de abertura de malla.

### **Técnicas**

- **Roleo y cuarteo mecánico:** Primero, se extendió en el piso la lona utilizada para realizar la operación y vaciar cada lote de muestra mineral. Luego, se toma alternamente la lona por las esquinas opuestas, con el propósito de mezclar las partículas. A un lote de mineral y se realizó el cuarteo utilizando el cortador de Jones de diferentes dimensiones.
- **Pesaje:** se realizó en la balanza para determinar la masa de los materiales. Las balanzas se caracterizan por su exactitud por su precisión y por su sensibilidad. La primera cualidad se refiere a la propiedad que posee cualquier instrumento físico para suministrar el resultado de una medida con un valor coincidente con el verdadero.
- **Tamizado:** el producto para analizar se añade sobre el primer tamiz, es decir aquel de abertura de malla mayor y se somete al conjunto a un movimiento vibratorio generados por el tamizador aéreo, como se muestra en la Fig. 16. Para llevar a cabo esta operación se partió del procedimiento descrito en la norma I.N.V.E-213-07.

## Equipos y materiales

- Lonas plásticas
- Balanza
- Cortador de Jones
- Tamices
- Tamizador aéreo
- Bandejas
- Palas



Fig. 16: Tamizador aéreo.

### c) Uso de herramienta computacional

A través del programa de hojas de cálculo Microsoft Excel se generó tabla y gráfico donde se representa la curva granulométrica a partir de los datos obtenidos en los ensayos granulométricos. Estos datos fueron comparados con la normativa de granulometría INVEAS para asfalto tipo m-12.

## CAPITULO V

### 5. Resultados y análisis

#### 5.1. Condiciones de equipos de la planta de beneficio mineral

En las inspecciones realizadas se determinó que la planta de beneficio está conformada por los siguientes equipos: 1 (uno) de alimentación, 4 (cuatro) de reducción de tamaño, 3 (tres) de clasificación por tamaño y 13 (trece) de transporte. A continuación, se muestra una imagen donde se puede observar los equipos de la planta. Fig. 17.



Fig. 17: Planta de beneficio mineral. (Campamento Pedeca Turpial, 2018)

#### 5.1.1. Flujograma del proceso de trituración.

A continuación, se le muestra el flujograma del proceso de trituración donde se representan el sentido cronológico del material y algunos datos de tamaño de material.

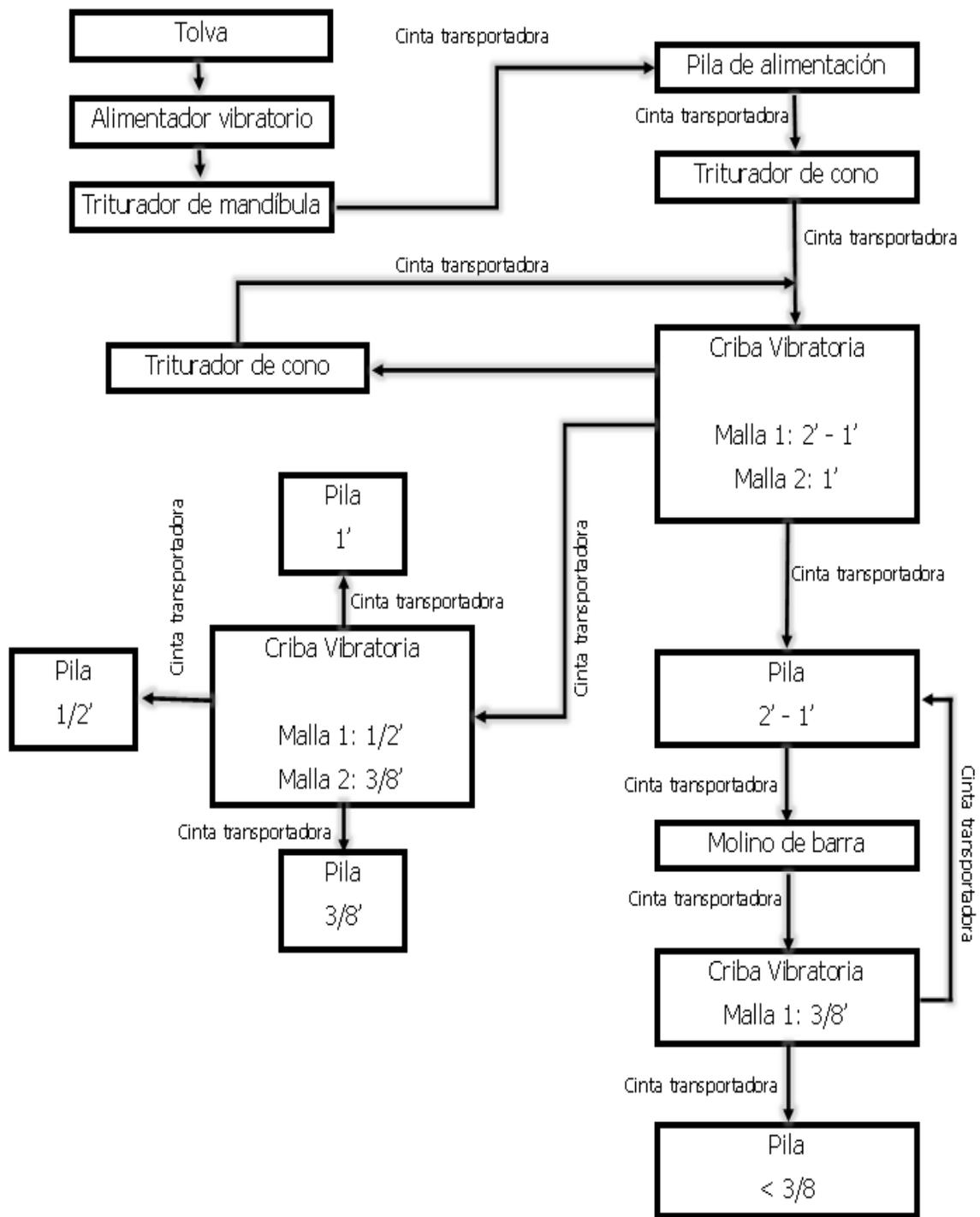


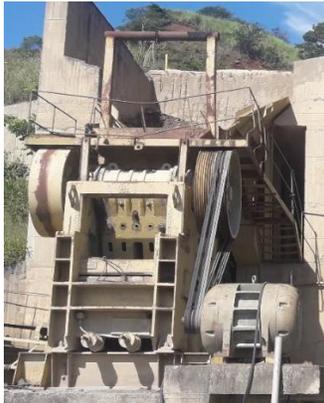
Fig. 18: Flujo de proceso de trituración. (Campamento Pedeca Turpial, 2018)

### 5.1.2. Recolección de datos.

A continuación, se muestran las tablas que corresponden a los datos recolectados en el diagnóstico de los equipos de la planta de beneficio mineral.

- Trituradora de mandíbula

Tabla 1: Diagnóstico trituradora de mandíbula.

<b>Marca</b>	Loro Parissini
<b>Tipo</b>	Dalton
	
<b>Partes</b>	<b>Observaciones</b>
Mandíbulas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mandíbula fija: no posee forro, lo que genera un visible desgaste en la superficie de la mandíbula.</li> <li>▪ Mandíbula móvil: no posee forro, lo que genera un visible desgaste en la superficie de la mandíbula.</li> <li>▪ Esto genera que el material no sea triturado de manera correcta y genera un efecto de rebote.</li> </ul>
Motor 200 hp	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Operativo.</li> <li>▪ No le falta protección al sistema eléctrico.</li> <li>▪ Presenta síntomas de corrosión en la carcasa.</li> </ul>
Correas de transmisión de potencia	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Presentan desgastes a causa del tiempo de uso.</li> <li>▪ Falta una correa de transmisión.</li> </ul>
Volante de transmisión de potencia	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mantiene sus dimensiones de diseño.</li> <li>▪ Presenta síntomas de corrosión.</li> </ul>
Estructura	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Presenta síntomas de corrosión.</li> <li>▪ Posee fallas de seguridad y mal estado del piso que pertenece a la estructura.</li> </ul>

- Trituradora de cono # 1

Tabla 2: Diagnostico trituradora de cono #1.

<b>Marca</b>	No se posee información
<b>Tipo</b>	Symon
	
<b>Partes</b>	<b>Observaciones</b>
Zona alimentación	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Alimentador de material desgastado y con huecos visibles producto de la erosión y corrosión.</li> <li>▪ Hay perdida de material por orificios.</li> </ul>
Motor 150 hp	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Motor operativo.</li> <li>▪ Falta protección al sistema eléctrico.</li> <li>▪ Correas de accionamiento completas</li> </ul>
Sistema hidráulico	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ No posee fugas por tuberías.</li> <li>▪ El sistema funciona correctamente</li> </ul>
Sistema de enfriamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El sistema funciona correctamente.</li> </ul>
Forros	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Los forros presentan desgaste, esto no permite que el equipo tenga un rendimiento adecuado y el material no es reducido al tamaño deseado.</li> </ul>
Estructura	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La estructura presenta desgaste visible.</li> <li>▪ En ciertas zonas presenta problemas de corrosión.</li> </ul>

- Trituradora de cono # 2

Tabla 3: Diagnostico trituradora de cono #2.

<b>Marca</b>	No se posee información
<b>Tipo</b>	Symon
	
<b>Partes</b>	<b>Observaciones</b>
Zona alimentación	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Alimentador de material desgastado y con huecos visibles producto de la erosión y corrosión.</li> <li>▪ Hay perdida de material por orificios.</li> <li>▪ El material queda colmatado en la zona de alimentación por ser irregular motivado a las reparaciones previas.</li> </ul>
Motor 150 hp	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Motor operativo.</li> <li>▪ Falta protección al sistema eléctrico.</li> <li>▪ Correas de accionamiento completas</li> </ul>
Sistema hidráulico	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ No posee fugas por tuberías.</li> <li>▪ El sistema funciona correctamente</li> </ul>
Sistema de enfriamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El sistema funciona correctamente.</li> </ul>
Forros	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Los forros presentan desgaste.</li> </ul>
Estructura	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La estructura se encuentra en buen estado.</li> <li>▪ En ciertas zonas presenta problemas de corrosión.</li> </ul>

- Molino de barras

Tabla 4: Diagnostico de molino de barras.

<b>Marca</b>	Loro Parissini
<b>Tipo</b>	De barras con descarga central
	
<b>Partes</b>	<b>Observaciones</b>
Zona alimentación	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Alimentador de material desgastado y con huecos visibles producto de la erosión y corrosión.</li> <li>▪ Hay gran pérdida de material por los huecos en el metal del alimentador.</li> </ul>
Motor	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Motor operativo.</li> <li>▪ Posee gran cantidad de polvo.</li> <li>▪ Presencia de corrosión en la carcasa.</li> <li>▪ Falta protección al sistema eléctrico.</li> </ul>
Barras	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Las barras poseen gran desgaste.</li> </ul>
Descarga	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ El sistema de descarga no tiene en funcionamiento los mecanismos de control de polvo.</li> </ul>
Muñones de soporte	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Estos presentan fugas de lubricantes generando capas de grasa combinada con polvo.</li> </ul>
Estructura	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La estructura se encuentra en buen estado.</li> <li>▪ En ciertas zonas presenta problemas de corrosión.</li> <li>▪ Los laterales de la criba presentan algunas reparaciones, mayormente está en buen estado.</li> </ul>

- Criba vibratoria #1

Tabla 5: Diagnostico de criba vibratoria #1

<b>Marca</b>	No se posee información	
<b>Tipo</b>	Vibratoria de excentricidad fija	
		
		
<b>Partes</b>	<b>Observaciones</b>	
Mallas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Malla 1: la malla posee múltiples arreglos a lo largo de su estructura, este primer nivel está compuesto de trozo de mallas de diferentes tamaños de abertura, la primera mitad de malla de abertura 2' (50,2 mm) seguido de un trozo de malla de 1' (25,4 mm), esto hace que se genere exceso de carga circulante ya que el material que recorre la superficie no le da tiempo de ser clasificado.</li> <li>▪ Malla 2: este nivel solo posee una pequeña sección de malla con abertura de 1' (25,4 mm), la criba no logra clasificar bien por faltar parte de la malla.</li> </ul>	
Motor 25 hp	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Operativo.</li> <li>▪ Presenta desgastes en las correas de transmisión a causa del tiempo de uso.</li> <li>▪ Falta una correa de transmisión.</li> <li>▪ No posee protección de sistema eléctrico.</li> </ul>	
Estructura	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La estructura se encuentra en buen estado.</li> <li>▪ En ciertas zonas presenta problemas de corrosión.</li> <li>▪ Los laterales de la criba presentan algunas reparaciones, mayormente está en buen estado.</li> </ul>	
Zona de descarga	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La estructura de las descargas está muy erosionadas y corroídas.</li> </ul>	

- Criba vibratoria #2

Tabla 6: Diagnostico de criba vibratoria #2

<b>Marca</b>	No se posee información	
<b>Tipo</b>	Vibratoria de excentricidad fija	
		
<b>Partes</b>	<b>Observaciones</b>	
Mallas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Malla 1: La malla presenta poco desgaste en toda la superficie. Mantiene en buen estado, sin reparaciones.</li> <li>▪ Malla 2: La malla presenta poco desgaste en toda la superficie. Mantiene en buen estado, sin reparaciones.</li> </ul>	
Motor 25 hp	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Operativo.</li> <li>▪ Presenta desgastes en las correas de transmisión a causa del tiempo de uso.</li> <li>▪ No posee protección de sistema eléctrico.</li> </ul>	
Estructura	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Presenta síntomas de corrosión.</li> <li>▪ Posee fallas de seguridad y mal estado del piso que pertenece a la estructura.</li> </ul>	
Zona de descarga	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La estructura de las descargas está muy erosionadas y corroídas.</li> </ul>	

- Criba vibratoria #3

Tabla 7: Diagnostico de criba vibratoria #3

<b>Marca</b>	No se posee información
<b>Tipo</b>	Vibratoria de excentricidad fija
	
<b>Partes</b>	<b>Observaciones</b>
Mallas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Malla 1: La malla presenta poco desgaste en toda la superficie. Mantiene en buen estado, sin reparaciones, esta malla deja pasar todo el material menor a 3/8' (9,5 mm).</li> </ul>
Motor 25 hp	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Operativo.</li> <li>▪ Presenta desgastes en las correas de transmisión a causa del tiempo de uso.</li> <li>▪ Falta una correa de transmisión.</li> </ul>
Estructura	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Presenta síntomas de corrosión.</li> <li>▪ Posee fallas de seguridad y mal estado de las barandas.</li> <li>▪ Las lonas que controlan la propagación de polvo están rotas.</li> </ul>
Zona de descarga	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La estructura de las descargas está muy erosionadas y corroídas.</li> <li>▪ Los mecanismos a que disminuyen la propagación de polvo no funcionan, lo que genera un gran volumen de polvo suspendido en el aire.</li> </ul>

## 5.2. Evaluación de la calidad dimensional del producto

La representación de los resultados del proceso de tamizaje para determinar el análisis granulométrico, donde se establece el tamaño nominal del material estudiado se presentará en tablas y gráficamente.

A continuación, se muestra la tabla con datos de las distribuciones granulométricas de la muestra, en función de la masa retenida en cada tamiz. Lo que permite establecer las proporciones del material por tamaño.

Tabla 8: datos de las distribuciones granulométricas de la muestra

MALLAS SERIE AMERICANA	GRANULOMETRÍA			
	ABERTURA (mm)	PESO RET (gr)	RET (%)	PASA (%)
1'	25,40		0,00	100,00
3/4'	19,05		0,00	100,00
1/2'	12,70	1035,00	26,26	73,74
Nº4	4,76	970,00	24,61	49,14
Nº10	2,00	780,00	19,79	29,35
Nº16	1,19	272,00	6,90	22,45
Nº40	0,43	360,00	9,13	13,32
Nº100	0,15	235,00	5,96	7,36
Nº200	0,07	290,00	7,36	0,00
TOTAL		3942,00	100,00	

Este análisis granulométrico fue comparado con la norma INVEAS (diciembre, 2004), que establecen los requisitos particulares para la producción, construcción, medición y forma de pago de Mezclas de Concreto Asfáltico en Caliente (MCAC) densamente gradadas.

En esta normativa INVEAS se incluyen cuatro tipos de mezcla de concreto asfáltico, distinguidas en función de su tamaño nominal máximo, las cuales se identifican como M-25, M-19; M-12 y M-9, la comparación se realizó con el tipo m-12 de asfalto ya que es el que fabrica la cantera. La granulometría de la Combinación de Diseño (CD), debe estar comprendida entre los límites indicados en la tabla siguiente:

Tabla 9: Norma INVEAS asfalto m-12.

		TIPO DE LA MEZCLA			
		M25	M19	M12	M9
Malla (tamiz)		Designación de la mezcla de acuerdo al Tamaño Nominal Máximo			
mm	Tamaño	25.4 mm	19.1 mm	12.5 mm	9.5 mm
37,5	1,5 pulg	100			
25,4	1 pulg	90/100	100		
19,1	3/4 pulg	< 90	90/100	100	
12,5	1/2 pulg	56/80	< 90	90/100	100
9,5	3/8 pulg		56/80	< 90	90/100
4,75	# 4	29/59	35/65	44/74	55/85
2,36	# 8	19/45	23/49	28/58	32/67
0,30	# 50	5/17	5/19	5/21	7/23
0,075	# 200	1/7	2/8	2/10	2/10

Esta comparación se realizó a través de una gráfica para poder visualizar de manera más fácil si la muestra cumple con la norma, esta grafica muestra la curva granulométrica de la muestra, además del límite máximo y el límite mínimo permitido de tamaño de grano.

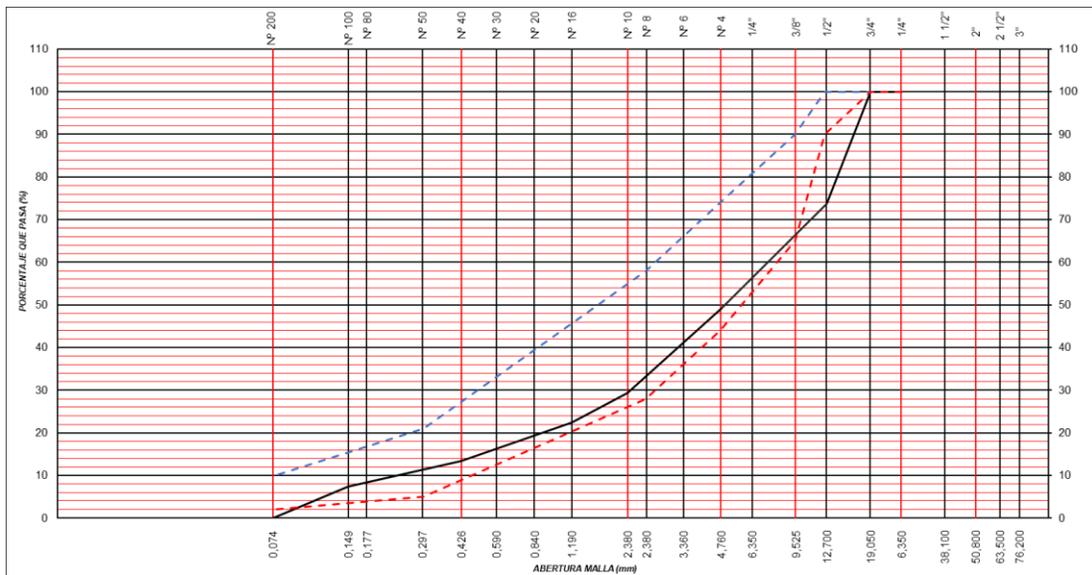


Fig. 19: Curva granulométrica en comparación con norma INVEA de asfalto m-12

En la Fig. 19. se muestra en color negro la curva granulométrica de la mezcla realizada con las muestras tomadas de las pilas que alimentan la planta de asfalto, en color rojo y azul se representa el mínimo y máximo respectivamente de los parámetros permitidos.

En la grafica se puede observar que aproximadamente el 64% de la muestra cumple con los parámetros establecido, aunque se encuentra cercar de los valores mínimos permitidos de diseño granulométrico, de igual modo se observa que aproximadamente un 26% del material tiene un tamaño mayor a 1/2' (12,7mm) y menor a 3/4' (19,0 mm) que no cumple con los parámetros INVEAS de mezcla m-12. En el parámetro de rango mínimo aproximadamente el 2% del material es pasante malla 200 (0,074 mm), la muestra analizada no cumple con esas características.

### 5.3. Planteamiento de un sistema de mantenimiento

Para las empresas en el ámbito de minería, planear y desarrollar actividades de mantenimiento puede hacer la diferencia entre permanecer activa o desaparecer del mercado, debido a que el cumplimiento de los objetivos de producción está sujeto a la disponibilidad de la planta de procesamiento de minerales; debido a esta necesidad, se genera la propuesta del Plan de Mantenimiento para los procesos de la Planta de Beneficio mineral de la Cantera Campamento Pedeca Turpial.

La propuesta del Plan de Mantenimiento se basa en que la empresa elabore de una codificación y establezca la criticidad de los equipos que conforman la planta de beneficio mineral para de esta manera determinar las acciones más pertinentes de mantenimiento a llevar en cada uno, para ello se proponen las siguientes fases de desarrollo:

Una descripción general de los principales equipos que hacen parte de los procesos de Trituración y Molienda, ayudará a entenderlos y a comprender el modo de funcionamiento de los mismos, esto facilitará más adelante la identificación del análisis de criticidad; esta descripción puede ser complementada con una ficha técnica por equipo.

#### 5.3.1. Codificación de equipos

Es necesario realizar un ordenamiento e inventario de los equipos, se debe encontrar el equilibrio práctico de detalle de gestión que interesa.

El sistema de codificación propuesto, debe constar de un código alfanumérico que, según recomendaciones de metodologías de codificación, el número máximo de dígitos aceptables, no debe exceder de 15 dígitos, lo que permite una rápida identificación. Los dos primeros dígitos corresponden a la ubicación general del

equipo dentro de las instalaciones de la empresa, es decir, dividir la empresa por secciones, es decir cada uno de los sectores que componen la empresa y que cuentan con maquinaria a las que se les desarrollen actividades de mantenimiento, a cada uno se les debe asignar un código numérico de dos dígitos; en el caso particular de la empresa en cuestión, (Ver ejemplo tabla 10)

Tabla 10: Clasificación por secciones de empresa.

SECCIÓN	CÓDIGO
Planta De Beneficio	01
Frente de explotación	02
Taller Mecánico	03
Planta de asfalto	04

Posteriormente los siguientes dígitos de la codificación se propone sean en base a la clasificación general de los equipos, y que sean dígitos alfabéticos (Ver ejemplo tabla 11).

Tabla 11: Clasificación general de los equipos.

EQUIPOS	CÓDIGOS
Cinta Transportadora	BT
Trituradora de conos	TC
Molino De Barras	MR

Luego del par de dígitos alfabéticos se propone utilizar un par de números que indiquen el subsistema dentro de los equipos, aquellos que realicen funciones primordiales (Ver ejemplo Tabla 12).

Tabla 12: Clasificación general de subsistemas.

SUBSISTEMA	CÓDIGO
Eléctrico	01
Hidráulico	02
Lubricación de aceite	03
Arranque	04

Por último, se propone agregarle al código un par de caracteres alfabéticos a la codificación para los componentes (Ver ejemplo Tabla 13).

Tabla 13: Clasificación General de Componentes.

COMPONENTE	CÓDIGO
Motor	MO
Bomba	BB
Forro	FR
Transmisión	TM
Eje principal	EP

Entonces el código estará especificado de la siguiente manera:

**SECCIÓN-EQUIPO-SUBSISTEMA-COMPONENTE**

Un ejemplo para la codificación:

Bomba Hidráulica del Triturador de Conos de la Planta de Beneficio

**01 TC 02 BB**

Donde:

- **01:** SECCIÓN - Planta de beneficio
- **TC:** EQUIPO - Trituradora de Cono
- **02:** SUBSISTEMA - Hidráulico
- **BB:** COMPONENTE - Bomba

Todos los códigos deberían estar en un lugar visible de la máquina y todas las operaciones que se realicen deberían estar referidas a él.

### 5.3.2. Criticidad de equipos

Se propone esta fase para determinar según ciertos factores, los equipos denominados críticos dentro del proceso de reducción y clasificación de tamaño de la planta de beneficio; según análisis de estos resultados se puede determinar el tipo de actividades de mantenimiento específicos a aplicar, entre actividades correctivas, preventivas o predictivas

Para el cálculo de la criticidad se proponen los siguientes criterios:

- Criterio de la producción: Tiene en cuenta aquellos criterios fundamentales que podrían llegar a afectar el proceso productivo, induciendo a paradas de emergencia que retrasan el proceso, afectan la calidad del producto y aumenta considerablemente los gastos de mantenimiento, por ejemplo: (Ver tabla 14, tabla 15 y tabla 16).

Tabla 14: Tasa de utilización del equipo.

NIVEL	CLASIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS
ALTO	4	Superior al 80%
MEDIO	2	Entre el 50% y 80%
BAJO	1	Inferior al 50%

Tabla 15: Existencia de un Equipo Auxiliar para Sustituir el Averiado.

NIVEL	CLASIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS
ALTO	5	Sin posibilidad
MEDIO	3	Posibilidad de acceder al stock
BAJO	1	Inferior al 50%

Tabla 16: Repercusión del Equipo en la Cadena Productiva

NIVEL	CLASIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS
ALTO	5	Influencia total
MEDIO	3	Influencia relativa
BAJO	1	Influencia nula

- Criterio de mantenimiento: El tiempo que el equipo esté funcionando, permite o no espacios para la intervención en actividades de mantenimiento, incurriendo entonces en la necesidad de paradas de producción para trabajos en el equipo, la complejidad del equipo asocia con él la necesidad de un mayor control de variables y herramientas de trabajo para intervenciones de mantenimiento más complejas, influyendo todo esto además de tiempo improductivo en aumento considerable de los costos directos e indirectos asociados con el mantenimiento. (Ver tabla 17 y 18).

Tabla 17: Tasa Funcionamiento.

NIVEL	CLASIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS
ALTO	4	En servicio todos los turnos
MEDIO	2	En servicio por lo menos una vez al día
BAJO	1	En servicio cada n días

Tabla 18: Grado de complejidad tecnológica del equipo.

NIVEL	CLASIFICACIÓN	CARACTERÍSTICAS
ALTO	4	Sistemas electrónicos o computarizados de control
MEDIO	2	Sistemas mecánicos de precisión y varios motores
BAJO	1	Mecánicamente simples sin ningún sistema de precisión

Los equipos según su criticidad se pueden clasificar en tres grupos de mantenimiento:

- a) Índice mayor a 16 puntos: equipos críticos, para los cuales se dispondrá un plan programado de mayor complejidad de mantenimiento.
- b) Índice entre 9 y 16 puntos: equipos que en un determinado momento pueden llegar a ser críticos (importantes), los cuales se deben someter a un mantenimiento preventivo y predictivo.
- c) Índice menor a 9 puntos: equipos no críticos pocos importantes en el proceso, que pueden ser sometidos a una aplicación de mantenimiento correctivo.

## CONCLUSIONES

Basándose en las observaciones obtenidas durante la realización de este diagnóstico, las conclusiones que se pueden establecer para las plantas de beneficio mineral de Cantera Campamento Pedeca El Turpial:

- Los equipos de la planta de beneficio mineral cumplieron su vida útil, y se evidencia por el deterioro y las fallas que generan, lo que influye en la producción.
- Los equipos de reducción de tamaño al no poseer los forros protectores para la fracturación de la roca o al estar muy desgastados generan que el material no sea llevado al tamaño deseado, lo que aumenta la carga circulante dentro del circuito.
- La mayoría de los equipos de reducción de tamaño poseen falla en la estructura de alimentación lo que genera perdidas de material, por lo tanto, la asignación de equipos y personal para la recuperación de dicho material se transforma en tiempo perdido de operación de producción.
- La descarga de los equipos de reducción de tamaño genera, en especial el molino de barra, generan un gran volumen de partículas de polvo, debido a que no se tiene operativo el mecanismo de control por falta de mantenimiento del tanque de agua.
- La criba vibratoria #1 presenta un funcionamiento poco optimo ya que se puede observar gran cantidad de material de carga circulante, esto puede ser debido a que la malla 2 no está completa y a que la malla 1 tiene dos tamaños diferentes de clasificación.
- Las cribas vibratorias restantes se encuentran operando en buen estado.
- La adquisición de nuevos equipos de trituración y clasificación, la sustitución de los forros protectores o las mallas de los clasificadores a un costo accesible,

se ve dificultado por las condiciones económicas y de importación que vive el país.

- El análisis dimensional de la muestra demostró que en gran porcentaje se encuentra dentro de los rangos máximos y mínimos permitido por la normativa INVEAS de mezcla de asfalto tipo m-12.
- Existe un porcentaje considerable de material que no cumple con el requerimiento de tamaño, esto puede ser debido a que los equipos de clasificación no están realizando un trabajo eficiente, ya que el análisis demostró que se está obteniendo un porcentaje mayor de material retenido en malla 1/2' (12,7 mm) al permitido por la normativa.
- La codificación de los equipos y sus especificaciones técnicas resumidas en las tablas de recolección de datos, permiten tener de una forma ordenada y resumida los aspectos más importantes de los equipos; a su vez, la codificación también facilita la ubicación de los equipos dentro de los circuitos de trituración.
- Un plan de mantenimiento no solo revierte un ahorro de dinero, sino que también mejora la seguridad, asegura la continuidad de la producción y la minimización del tiempo de inactividad, aumenta la eficiencia energética, optimiza el rendimiento de los equipos en uso con tal de alargar su vida útil.

## RECOMEDANCIONES

- Establecer un día de inspección de los equipos y se registre los datos, adicionalmente que se aplique el historial de mantenimiento para los equipos.
- Para cumplir con las normativas ambientales y mejorar la eficiencia de la operación, es necesario reactivar el sistema para el control de partículas suspendidas.
- Realizar ensayos de laboratorio para determinar el comportamiento del material de alimentación al ser sometido a los mecanismos de fragmentación, para establecer un ajuste óptimo de los parámetros de los equipos de trituración (ángulo de pellizco de las mandíbulas, abertura máxima de entrada y salida del cono giratorio, velocidad de giro de los martillos de la trituradora de impacto, etc.) adaptándolos a las características del material.
  - Cambiar los forros protectores de los equipos de reducción, al igual que la barra de molino y colocar los forros a la trituradora de mandíbula.
  - Colocar las en la criba vibratoria #1 una malla de abertura 2' (50,2 mm) en primer nivel y en el segundo nivel una malla de 1' (25,4 mm).
  - Hacer reparaciones al sistema de control de polvo del molino de barra.
  - Establecer desde la gerencia de la empresa a sus trabajadores la importancia de la propuesta del control del tiempo de operación de la planta.
  - Realizar estudios como ensayos Marshall, módulo dinámico, etc., para entender cómo influye el resultado del análisis dimensional en la calidad de asfalto producido.

## BIBLIOGRAFIA

- Gavidia, W. y Pimentel, R. (2015) Diagnóstico de las plantas de agregados de la Cantera Carayaca para conocer las especificaciones técnicas y de producción. Período julio – septiembre de 2014. Minería de campo.
- KELLY E., y SPOTTISWOOD D. (1990). Introducción al Procesamiento de Minerales. 1era Ed., Editorial Limusa S.A., México.
- Labrador, María. (2017) Evaluación de la planta de trituración y clasificación de tamaño de la roca caliza en la Cantera Agua Viva II, San Sebastián de los Reyes, estado Aragua. Trabajo especial de grado.
- Norma Instituto Venezolano del Asfalto. INVEAS (2004). ALCANCE, DEFINICIONES, MATERIALES Y MEZCLAS.
- Pacheco, María (2005) Plan de mantenimiento preventivo para los procesos de trituración y molienda de la planta de beneficio María Dama Frontino Gold Mines. Trabajo especial de grado.
- PELÁEZ, E. (1981). Preparación y Concentración de Minerales. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Caracas.
- Rodríguez, Carlos (2012) Evaluación y propuesta para el control y desempeño del área de trituración de mineral. Minería de campo.
- TAGGART A. (1966). Elementos de Preparación de Minerales. 1era Ed. española, ediciones Interciencia, Madrid España.
- WILLS. (1987). Tecnología de Procesamiento de Minerales. 1era Ed., Editorial Limusa S.A., México.