

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

SEDE CONCEPCIÓN – REY BALDUINO DE BÉLGICA

TECNICAS PREDICTIVAS USADAS EN EQUIPOS ROTATIVOS Y ESTATICOS EN LA GRAN MINERIA.

Trabajo de titulación para optar al título de
Técnico Universitario en MECANICA INDUSTRIAL

Nombre del alumno

Lester Andrés Figueroa Gonzalez

Nombre profesor guía

Juan José Figueroa C.

2022

Resumen

El presente trabajo comienza dando a conocer el proceso productivo de la minería, desde la extracción de la roca hasta el producto final, pasando por el proceso de chancado, molienda, flotación, fundición y refinación en algunos casos. Identificando los principales equipos presentes en este proceso, además se describen cada uno de los tipos de mantención presentes en la actualidad, se describen también los tipos y las formas de clasificación de las fallas, se identifican las fallas los equipos más importantes dentro de este proceso, buscando aplicar conocimientos adquiridos en técnicas predictivas para prevenir o anticipar la falla de dichos equipos.

Se señalan e identifican las técnicas predictivas utilizadas a lo largo del trabajo, tipos de técnicas predictivas que se aplicadas en diferentes equipos y/o componentes del mundo de la extracción de minerales. Técnicas como lo son las vibraciones, el ultrasonido, la medición de espesores, líquidos penetrantes, partículas magnéticas, inspección visual, termografía, aplicación de cámara acústica entre otras. Todo esto con la finalidad de mantener un monitoreo constante del estado de cada uno de los equipos presentes en el proceso.

Índice

INTRODUCCION	1
1. PROCESO PRODUCTIVO DE LA MINERÍA.....	3
1.1 PROCESOS	4
1.1.1. Extracción	4
1.1.2. Procesamiento.....	6
1.1.3. Proceso de Fundición.....	10
1.1.4. Proceso de Refinación.....	11
1.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO	14
1.2.1. Mantenición predictiva	14
1.2.2. Mantenición preventiva.....	15
1.2.3. Mantenición correctiva	16
1.2.4. Mantenición proactiva.....	17
2. EQUIPOS CRÍTICOS PARA LA PRODUCCIÓN	18
2.1 EQUIPOS.....	19
2.1.1. Motor	19
2.1.2. Reductores	20
2.1.3. Correas transportadoras	21
2.1.3 Chancadores.....	23
2.1.4 Harneros.....	25
2.1.5 Molinos	26
2.1.6 Bombas	28
2.1.7 Espesadores.....	30
2.1.8 Bancos de flotación.....	31
3. MODOS DE FALLA PARA CADA EQUIPO Y/O COMPONENTE	32
3.1 Tipos de falla	32
3.2 Clasificación de las fallas.....	32
3.3 Fallas	34
3.3.1 Correas.....	34
3.3.2 Chancadores.....	37
3.3.3 Harneros.....	39
3.3.4 Molinos.....	41
3.3.5 Bombas.....	43
3.3.6 Bancos de flotación y espesadores.....	45
3.3.7 Líneas de impulsión	46
4. TÉCNICAS PREDICTIVAS PARA DETECTAR Y ANTICIPAR FALLAS.....	47
4.1.1. Vibraciones	47
4.1.2. Inspección visual (VT).....	50

4.1.3. Líquidos penetrantes	51
4.1.4. Partículas magnéticas	52
4.1.5. Ultrasonido	53
4.1.6. Cámara acústica	54
4.2 APLICACIÓN DE TÉCNICAS PREDICTIVAS EN DIFERENTES EQUIPOS	55
4.2.1 Aplicación de inspección visual	56
4.2.2. Aplicación de vibraciones en motores y descansos de cada una de las poleas.	60
4.2.3. Aplicación de termografía.	61
4.2.4. Aplicación de ultrasonido en ejes y tambores de poleas para medición de continuidad y medición de desgaste en recubrimientos y/o tambor.	63
4.2.5. Alineamiento laser	67
4.2.6 Aplicación de cámara acústica	69

INTRODUCCION

La minería ha estado en la historia de Chile desde siempre y forma parte de nuestra identidad como nación, es uno de los pilares que sustentan el desarrollo económico y social del país, en el cual existen una gran cantidad de recursos mineros, contando con una de las mayores reservas a nivel mundial de cobre y otros minerales. En general la minería, pero particularmente la del cobre, ha llegado a ser el sector más activo en el desarrollo de la economía nacional debido a los montos de sus inversionistas y la magnitud alcanzada en la producción de cobre.

Durante el proceso productivo de la minería los equipos presentan fallas por diversos motivos, por lo cual es fundamental buscar las mejoras para aumentar su disponibilidad y producción.

OBJETIVO

Objetivo general

Describir los mecanismos de falla en la gran minería junto a diferentes técnicas de mantenimiento predictivo con la finalidad de mantener la disponibilidad.

Objetivos específicos

1. Conocer el proceso productivo de la minería.
2. Identificar equipos críticos para la producción.
3. Identificar mecanismos de falla para cada equipo y/o componente.
4. Definir y aplicar técnicas predictivas para detectar y anticipar fallas.

1. PROCESO PRODUCTIVO DE LA MINERÍA.

En el proceso productivo de la minería se encuentran una serie de procedimientos los cuales tienen como objetivo principal obtener mineral de la mejor calidad posible eliminando impurezas presentes en el material en bruto, dicho proceso comienza con la exploración y hallazgos de yacimientos o vetas de mineral, los cuales son extraídos y procesados para obtener el producto final (mineral deseado).

Dichos procesos se desarrollan en el interior de una “mina” las cuales se pueden clasificar según donde se realizan las actividades teniendo así minas a cielo abierto y minas subterráneas.

“Una mina es el conjunto de labores necesarias para explotar un yacimiento y, en algunos casos, las plantas necesarias para el tratamiento del mineral extraído.”

A grandes rasgos los principales procesos que encontramos en esta etapa serían:

- **Extracción:**

Son las extracciones de minerales desde la mina a la planta de procesos.

- Extracción a rajo abierto
- Extracción subterránea.

- **Procesamiento:**

Se reducen el tamaño de las rocas por métodos físicos con la finalidad de liberar partículas de minerales.

- **Fundición:**

separación de metales que contiene el concentrado.

- **Refinamiento:**

Purificación de los metales obtenidos en la fundición.

1.1 PROCESOS

1.1.1. Extracción

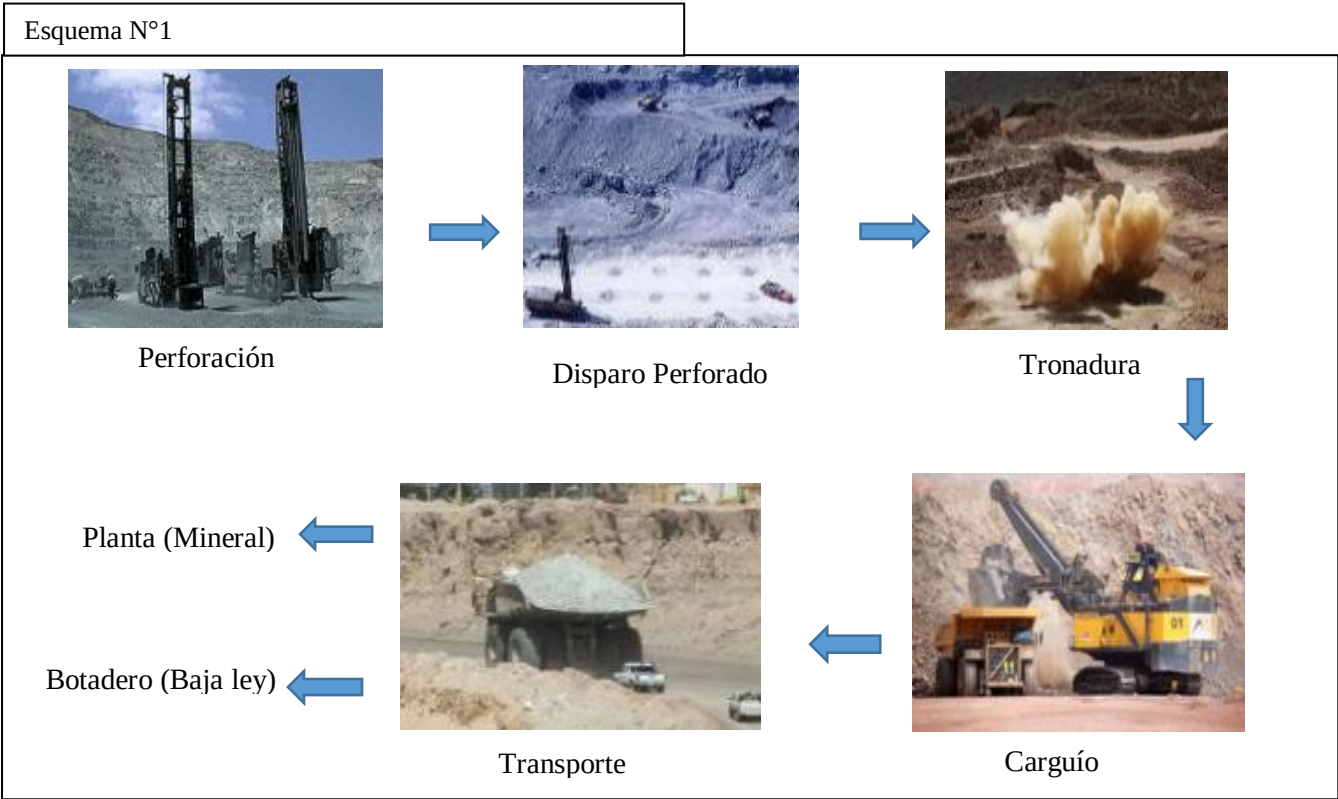
1.1.1.1 Extracción a rajo abierto

Se desarrolla cuando los yacimientos presentan una forma regular y están en la superficie o cerca de ésta. Éste es el proceso por el que actualmente se extrae la gran mayoría del mineral de cobre del país.



Los principales subprocesos involucrados son:

- Perforación y tronadura de la roca.
- Carguío y transporte de los materiales a sus destinos.



1.1.1.2. Extracción subterránea.

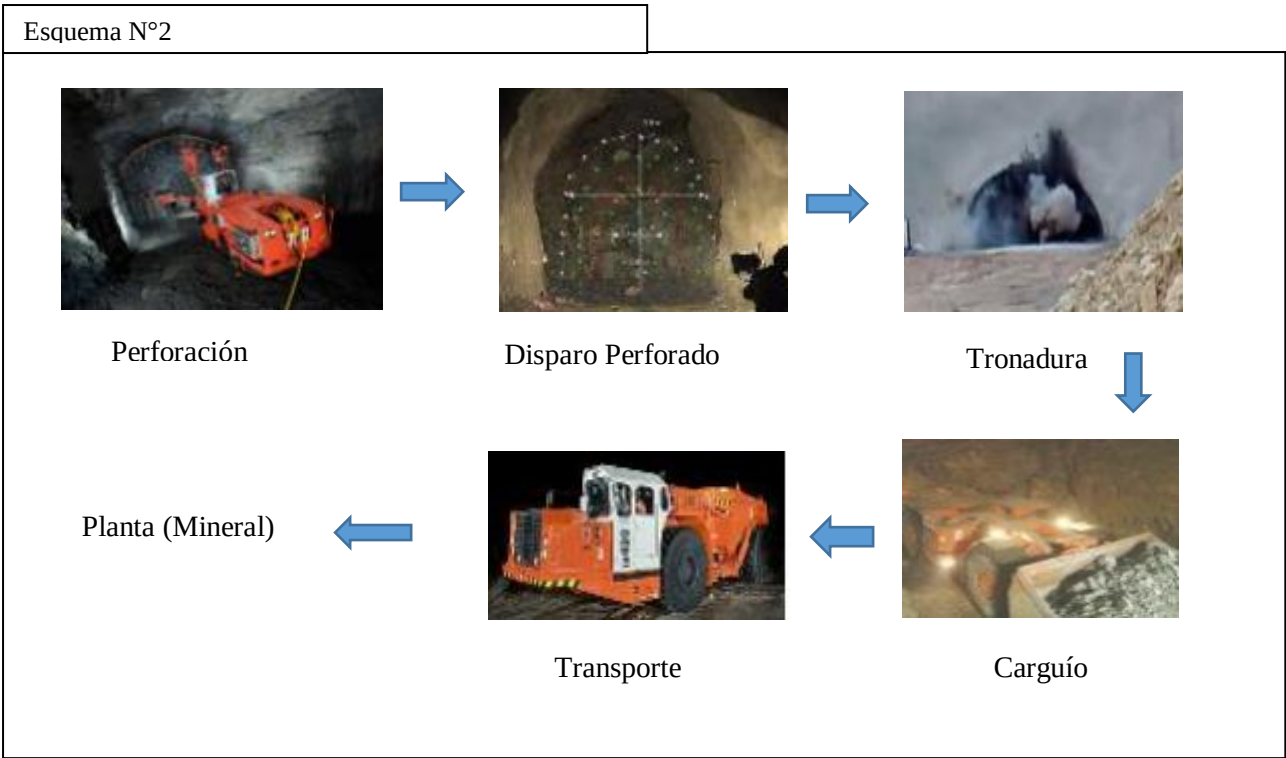
Combina distintas técnicas que permiten que el proceso ocurra a grandes niveles de profundidad. Las principales labores dentro del proceso tienen relación con tronar y avanzar en zonas de producción, fortificando y habilitando zonas de trabajo que, bajo altos estándares de seguridad, permitan extraer el mineral desde el yacimiento.



Imagen N° 2 “Mina subterránea”

Los principales subprocesos involucrados son:

- Perforación y tronadura de la roca.
- Carguío y transporte del mineral a la planta.



1.1.2. Procesamiento

1.1.2.1. Chancado

El proceso de chancado se realiza en dos grandes etapas, las cuales requieren de equipos específicos para lograr la granulometría adecuada: Trituración o chancado primario o grueso. Trituración o chancado fino: proceso que comprende las etapas de chancado secundario, terciario y cuaternario

Referirnos a la etapa de chancado es hablar sobre un equipo eléctrico, donde intervienen elementos que trituran la roca mediante movimientos vibratorios; es decir, que rompe y reduce el volumen del objeto en una serie de partículas más pequeñas o compactas, con la finalidad de obtener un material más fino.

Cabe contar que, los chancadores son alimentados por la parte superior y descargan el mineral chancado por su parte inferior a través de una abertura graduada de acuerdo al diámetro requerido. Todo el manejo del mineral en la planta se realiza mediante correas transportadoras, desde la alimentación proveniente de la mina hasta la entrega del mineral chancado a la etapa siguiente.



Imagen N° 3 “Chancado”

1.1.2.2. Molienda

El proceso de molienda significa una reducción mayor de las partículas a través del uso de grandes equipos giratorios o molinos de forma cilíndrica, en dos formas diferentes: molienda convencional y molienda SAG – donde se usan las bolas de molienda, las cuales encontramos en diversos tamaños y aleaciones.

En esta etapa, al material mineralizado se le agrega agua, en cantidades suficientes para formar un fluido lechoso, y los reactivos necesarios para realizar el siguiente proceso.

A estos procesos de reducción de tamaño se les denomina conminución. Así, dicho proceso tiene como finalidad liberar y concentrar las partículas del mineral que se encuentran en forma de sulfuros en las rocas mineralizadas, de manera que se pueda dar paso a la siguiente etapa de flotación, que es la separación de los minerales sulfurados.

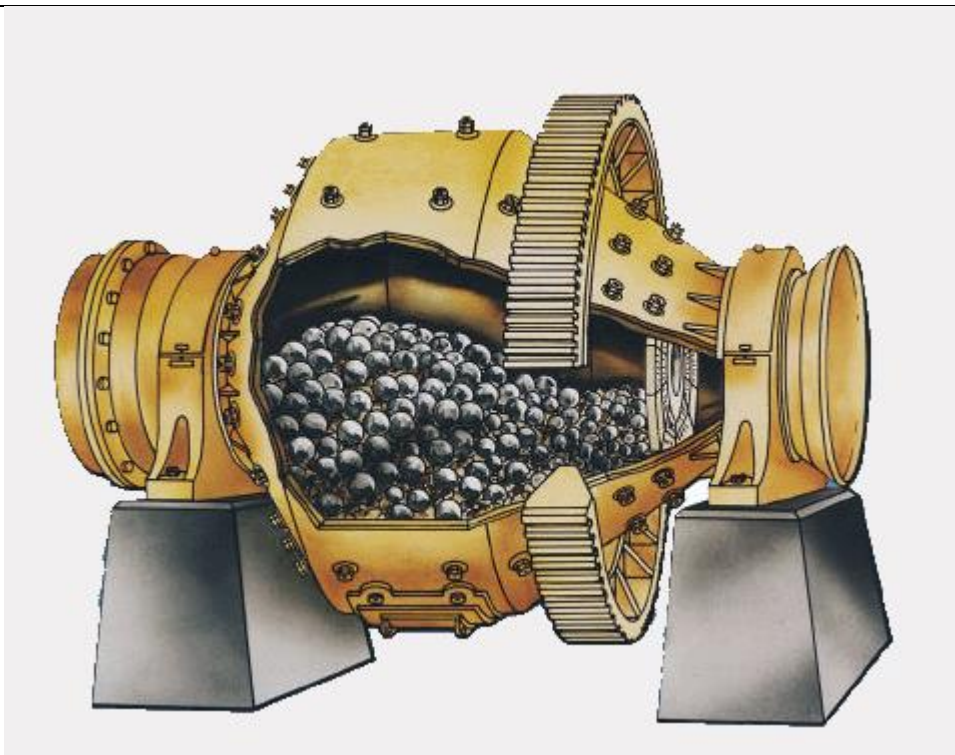


Imagen N° 4 “Molienda”

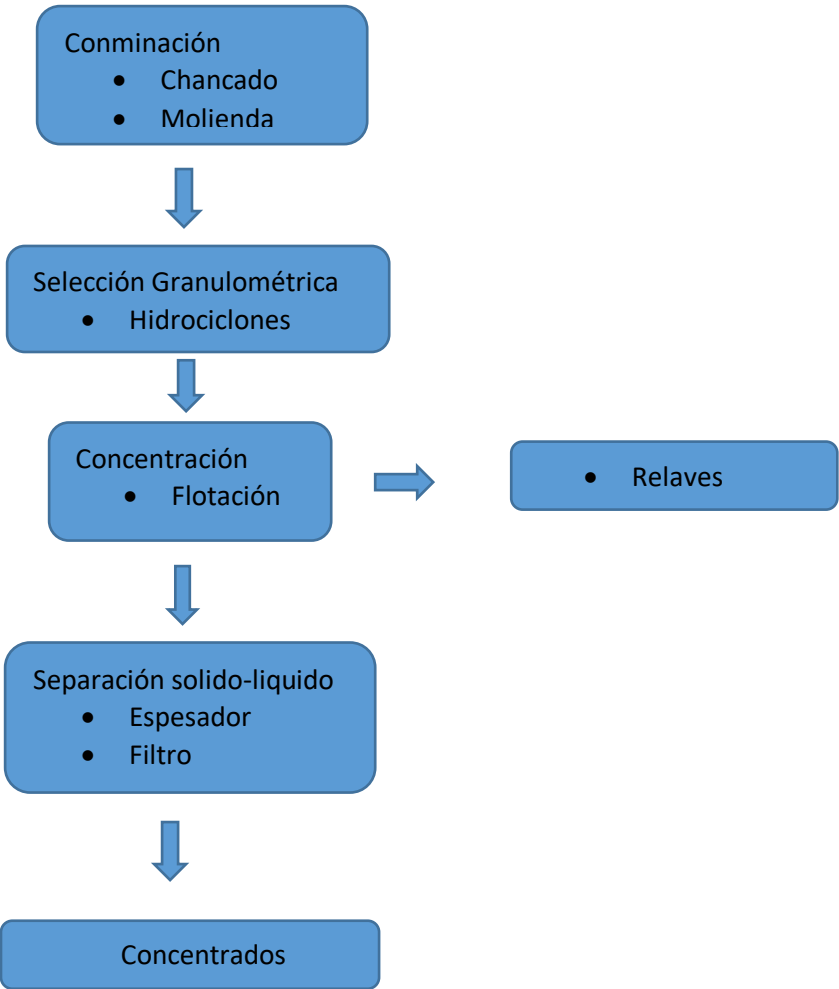
1.1.2.3. Flotación

Se separa el cobre sulfurado de otras sustancias para poder llegar a su máxima pureza. Esta vez, el material obtenido en la molienda es sumergido en enormes piscinas “celdas de flotación” en las que, gracias a la acción de reactivos, el cobre emerge a la superficie dentro de burbujas.

- Sulfuros (minerales profundos): Flotación



Para flotación el proceso es así:



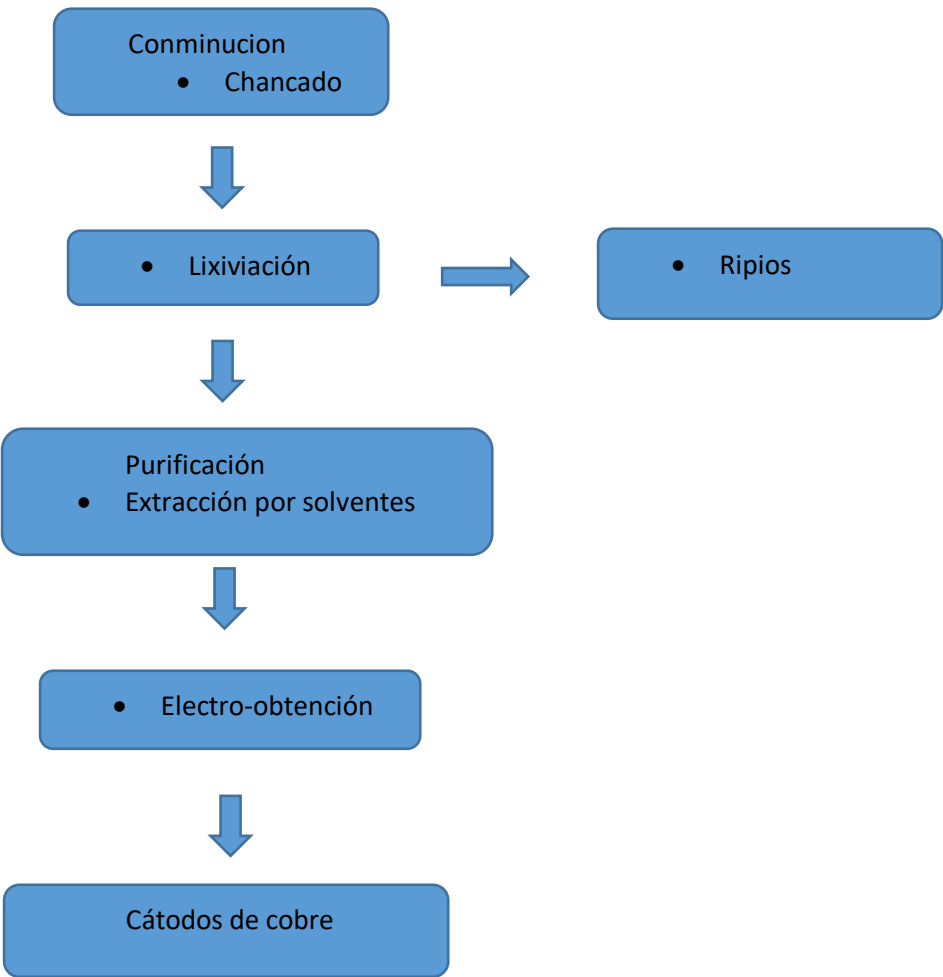
1.1.2.4. Lixiviación

Proceso hidrometalúrgico mediante el cual se provoca la disolución de un elemento desde el mineral que lo contiene para ser recuperado en etapas posteriores mediante electrólisis. Este proceso se aplica a las rocas que contienen minerales oxidados, ya que éstos son fácilmente atacables por los ácidos

- Óxidos (minerales en superficie): Lixiviación



Para lixiviación el proceso es así:



1.1.3. Proceso de Fundición.

Consiste en la separación de los metales contenidos en los concentrados por un proceso piro metalúrgico (con altas temperaturas que funde el concentrado, transformándolo de sólido a líquido).

De este modo se obtienen metales en forma impura, con contenidos altos de metales. Por ejemplo, Cobre Blíster – 99,2% de Cu. Un subproducto importante de este proceso es ácido sulfúrico, obtenido a través de la captación de los gases y su transformación en forma líquida.



Imagen N°7 “Fundición”

1.1.4. Proceso de Refinación

1.1.4.1. Refinación a fuego (piro metalurgia)

Este último gran proceso de la fundición tiene por objetivo extraer los restos de oxígeno presentes en el cobre blíster, para así incrementar la pureza del mineral.

El cobre blíster pasa por los hornos anódicos en los que también se inyecta gas natural con vapor de aire. Esta combinación reduce el nivel de oxígeno presente en el material fundido, logrando ánodos de 99,7% de pureza.

El producto resultante de la fundición es moldeado en planchas de cobre (ánodos), de un peso que puede llegar a superar los 400kg dependiendo del tipo de faena. Estas pueden ser vendidas directamente o llevadas a una última etapa del procesamiento, llamada electro refinación.



1.1.4.2. Refinación por electro-obtención (EW) o electro refinación

Este intenso viaje del cobre sulfurado culmina con la Electro refinación. Aquí se realiza el proceso químico de la electrólisis, la cual consiste, básicamente, en disolver los ánodos provenientes de la Fundición a través de la aplicación de corriente eléctrica.

Se coloca alternadamente un ánodo (plancha de cobre obtenido de la Fundición) y un cátodo (placa muy delgada de metal) en las denominadas celdas electrolíticas, que son como enormes piscinas con una solución de ácido sulfúrico y agua, por las que se hace pasar corriente eléctrica.

Esta acción hace que el cobre del ánodo se disuelva, produciendo cationes y electrones, los que se dirigen al cátodo y se adhieren a él. Es decir, el cobre se corroe en los ánodos para depositarse en los cátodos (placa metálica).

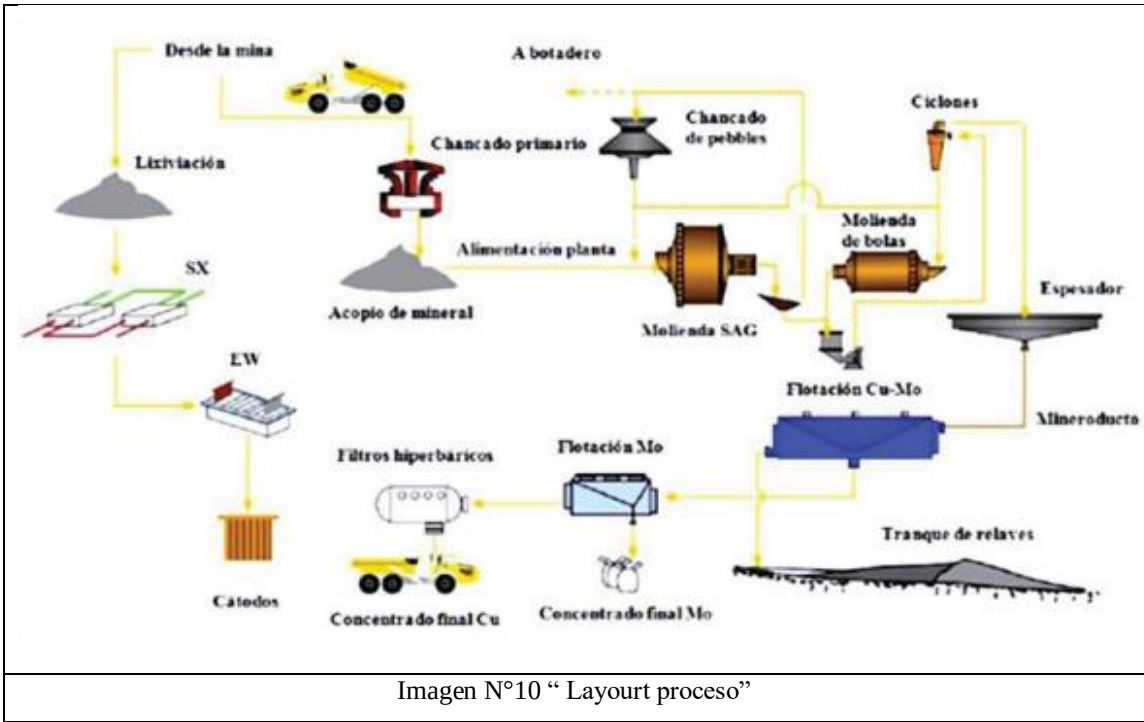
El procedimiento mediante el cual el cobre se despegue de los ánodos y se traslada a los cátodos puede durar entre 12 a 14 días. Durante ese lapso, el ánodo se abra disuelto en un 85%. El restante 15% se retira, lava y vuelve a fundir para reingresarlo al proceso

De esta forma, los ánodos que llegaron con un 99,7% de concentración de cobre desde la etapa de Fundición se transforman en cátodos de 99,99% de pureza. Aquel 0,3% de diferencia corresponde al denominado barro anódico (impurezas del ánodo) que contiene oro, plata, selenio, paladio y platino, metales que también son recuperados por su alto valor



Imagen N°9 “Producto Final 99,99%Cu”

Esquema resumen proceso.



1.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO

Mantenimiento

“Se define el mantenimiento como todas las acciones que tienen como objetivo preservar un artículo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida.”

1.2.1. Mantención predictiva

El mantenimiento predictivo utiliza técnicas y herramientas para monitorear la condición o la salud de la máquina, su desempeño y los indicadores de fallas potenciales con el fin de realizar un mantenimiento puntual al menor costo posible. El equipo se monitorea constantemente y existe la posibilidad de identificar fallas aleatorias que representan el 80% de los patrones. El uso de sensores para la recopilación de datos se realiza durante el funcionamiento de la máquina

Las ventajas de implementar Mantenimiento Predictivo, son:

- Reducción de fallos y averías
- Reducción del número de intervenciones
- Prolongación de la vida útil de los activos
- Aumento de la disponibilidad de los activos
- Reducción del tiempo de parada para reparación
- Reducción del tiempo de inactividad
- Optimización de la gestión del personal de mantenimiento
- Opción de seguir la evolución de un defecto en el tiempo
- Conocimiento preciso sobre el tiempo límite de actuación
- Reducción de accidentes y aumento de seguridad
- Verificación de las reparaciones y fiabilidad global

1.2.2. Mantenimiento preventiva

Es el mantenimiento en función del tiempo, se rige por una planificación en intervalos de tiempos definidos bajo estándares predefinidos, la finalidad de este tipo de mantenimiento es reducir las fallas de la maquina o de su rendimiento.

Es uno de los más usados en la industria y es eficaz al momento de hablar de fallas relacionadas con el envejecimiento del equipo y común en máquinas que cuentan con garantía por parte del fabricante.

ventajas

- Aumento de la vida útil de la maquinaria.
- Reducción de las fallas no previstas.
- Consumo de energía reducido.
- Flexibilidad para las intervenciones planificadas.
- Reducción del riesgo de fallas catastróficas.
- Menos pérdidas de producción.
- Mayor control de los costes de almacenamiento y de las piezas de repuesto.

Desventajas

- Economía vista sólo a medio o largo plazo.
- Sigue existiendo el riesgo de que se produzca un período de inactividad.
- Daños en los componentes debido a un mantenimiento excesivo.
- Aumento del costo de los componentes de repuestos.

1.2.3. Mantenimiento correctiva

Se conoce como mantenimiento a la falla y se realiza cuando el equipo dejen de funcionar. El equipo falla en cualquier momento, por lo que generalmente es más costoso para la empresa, esto debido a la sustitución del equipo y a la detención inesperada en la producción a la cual está asociado, esto según la criticidad del equipo en cuestión ya que existen equipos con bajo nivel de influencia en la producción, los cuales generalmente se trabajan bajo este estándar de mantenimiento.

Ventajas:

- No incluye los costes relacionados con la supervisión de la condición y el mantenimiento preventivo;
- Las máquinas no están sujetas a mantenimiento.

Desventajas:

- Tiempo de producción desconocido.
- Averías secundarias y fallas catastróficas.
- Pérdidas de producción;
- Elevados costes de reparación;
- Falta de control de las máquinas.

1.2.4. Mantención proactiva

El Mantenimiento Proactivo se fundamenta en ejecutar actividades de mantenimiento orientadas a prevenir los factores que provocan el inicio de las fallas, se trata de actividades sencillas pero esenciales, aquellas tareas que mejoran el desempeño de los activos, actuando antes de que las fallas muestren sus síntomas, no se trata de detectar y/o corregir fallas, la meta es combatir los malos actores que más tarde provocarán un síntoma asociado a los modos de fallas característicos del activo.

2. EQUIPOS CRÍTICOS PARA LA PRODUCCIÓN.

Dentro de la producción se encuentran con activos que permiten llegar al producto deseado, dichos activos o equipos se pueden clasificar según su nivel de criticidad, es decir en cuanto afecta su disponibilidad en la continuidad del proceso, al mantener una buena disponibilidad de equipos mantenemos la continuidad del proceso, para lograr este objetivo debemos tener un buen plan de mantenimiento, partiendo por identificar y priorizar equipos.

Al pensar en un proceso productivo minero, pensamos en una infinidad de equipos para los cuales debemos definir estrategias y planes de mantenimiento, priorizando equipos críticos que comúnmente se denominan “equipos cuello de botella”, tal cual como dice su nombre dichos equipos podrían minimizar procesos y/o detener una planta, lo cual afecta directamente a las metas de producción.

2.1 EQUIPOS

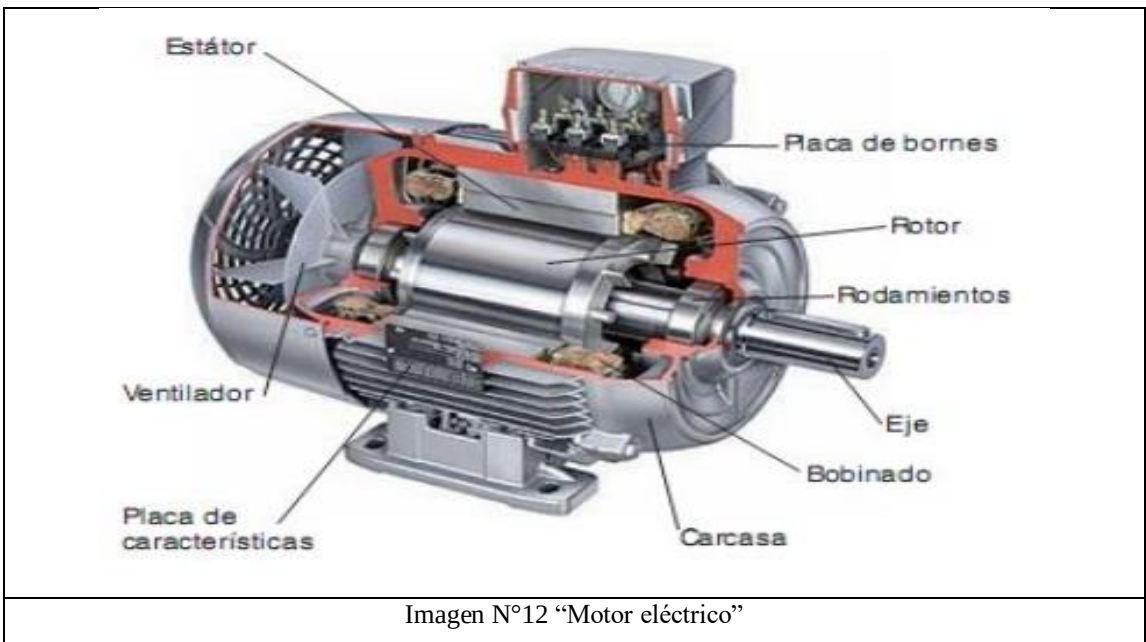
2.1.1. Motor

Un motor eléctrico es una máquina capaz de convertir la energía eléctrica en mecánica. El motor es capaz de realizar esto gracias a la acción de los campos magnéticos que generan las bobinas que se encuentran dentro del motor.

El motor es uno de los actores principales en el funcionamiento de cada uno de los equipos o conjuntos destinados a la producción, esto debido a que es el encargado de transformar la energía eléctrica en energía mecánica, es por esto que el motor lo vemos en gran parte de las plantas de producción.



Los motores eléctricos componentes principales:

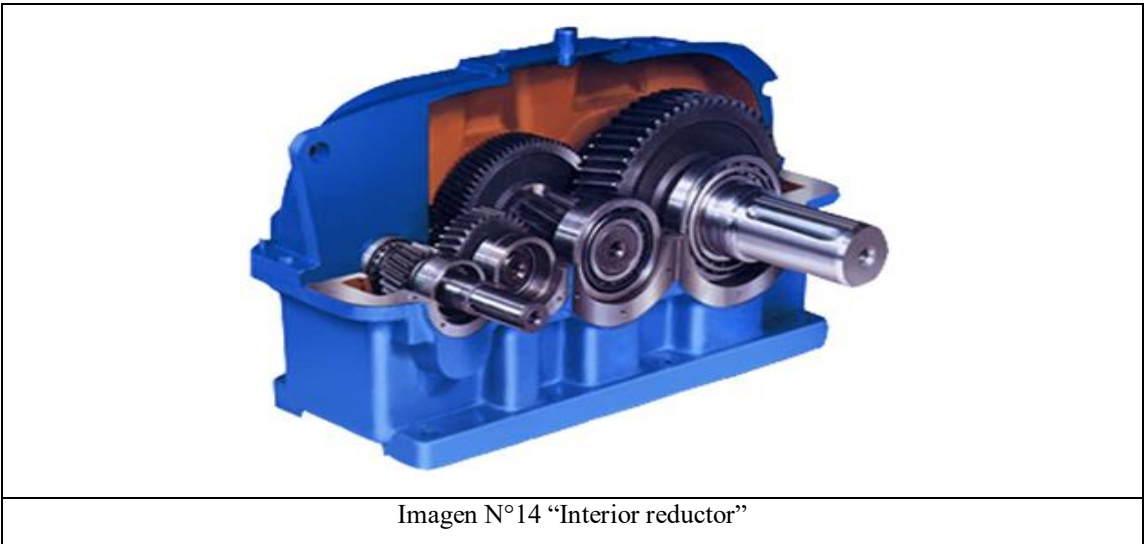


2.1.2. Reductores

Son sistemas de engranajes que permiten que los motores eléctricos, de explosión u otros funcionen a diferentes velocidades para los que fueron diseñados, esto dependiendo del uso que se le quiera dar, por eso los reductores de velocidad son tan indispensables en todas las industrias.

Los reductores son diseñados a base de engranajes, mecanismos circulares y dentados con geometrías especiales de acuerdo con su tamaño y la función en cada motor.

La función de un moto reductor es disminuir la velocidad del motor y permitir el eficiente funcionamiento de las maquinas, agregándole potencia y fuerza, multiplicando el torque del eje del motor mediante engranajes, proporcionando al eje de la polea motriz el torque requerido.



2.1.3. Correas transportadoras

La correa transportadora es un sistema de transporte continuo formado básicamente por una cinta de caucho reforzado, que se mueve entre dos poleas. La correa es arrastrada por fricción por una o más poleas (motrices), que a su vez son accionadas por uno o más motores. Las otras poleas suelen girar libres, y la función de una de ellas (la llamada “polea de cola”) es la de servir de retorno de la correa transportadora. La correa es soportada por rodillos entre las poleas motrices y de cola.

Las ventajas que tienen las correas transportadoras en comparación con otros sistemas de transporte de materiales, (por ejemplo camiones), son las siguientes: permiten el transporte de materiales a gran distancia a un costo por tonelada transportada considerablemente más bajo, se adaptan a cualquier tipo de terreno, tienen una gran capacidad de transporte (hay correas capaces de transportar hasta 20.000 toneladas por hora), permiten transportar una gran variedad de materiales, permiten la carga y descarga en cualquier punto del trazado, se pueden desplazar y no alteran el producto transportado

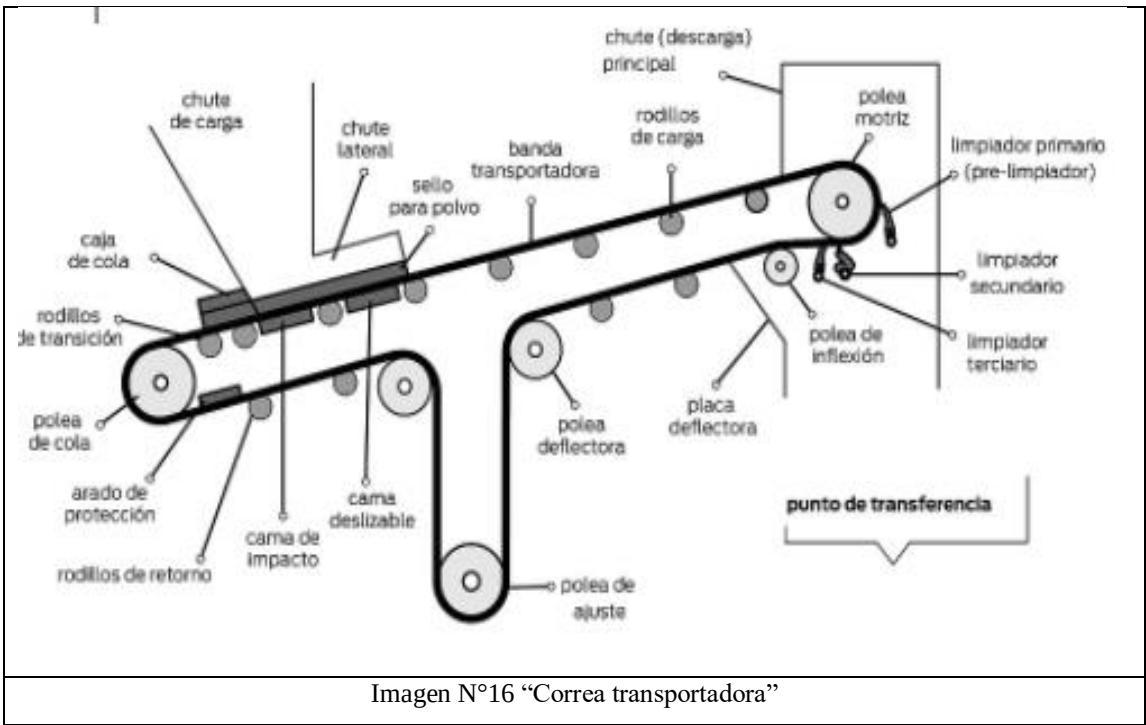


Imagen N°15 “Correa transportadora”

Las correas transportadoras están formadas de distintos componentes, tales como:

- Motor
- Reductor
- Descansos o porta rodamientos
- Polea motriz
- Polea de cola
- Poleas de abrase
- Poleas deflectoras
- Polea tensora
- Contrapeso
- Polines de carga
- Polines de retorno
- Cinta
- Tolva o chute.
- Estructura o mesa.
- Raspador

Cada uno de estos componentes es fundamental para el correcto funcionamiento de la misma, en ocasiones se disponen de más componentes dependiendo del tipo de carga que se desee transportar.



2.1.3 Chancadores

Se utilizan para reducir el tamaño de las rocas y piedras en la producción, es el primer paso después de la extracción de mineral ya sea desde una mina subterránea o a rajo abierto.

-Existen distintos tipos de chancadores :

- Chancadores de mandíbula
- Chancadores giratorios.
- Chancadores de cono.
- Chancadores de impacto.

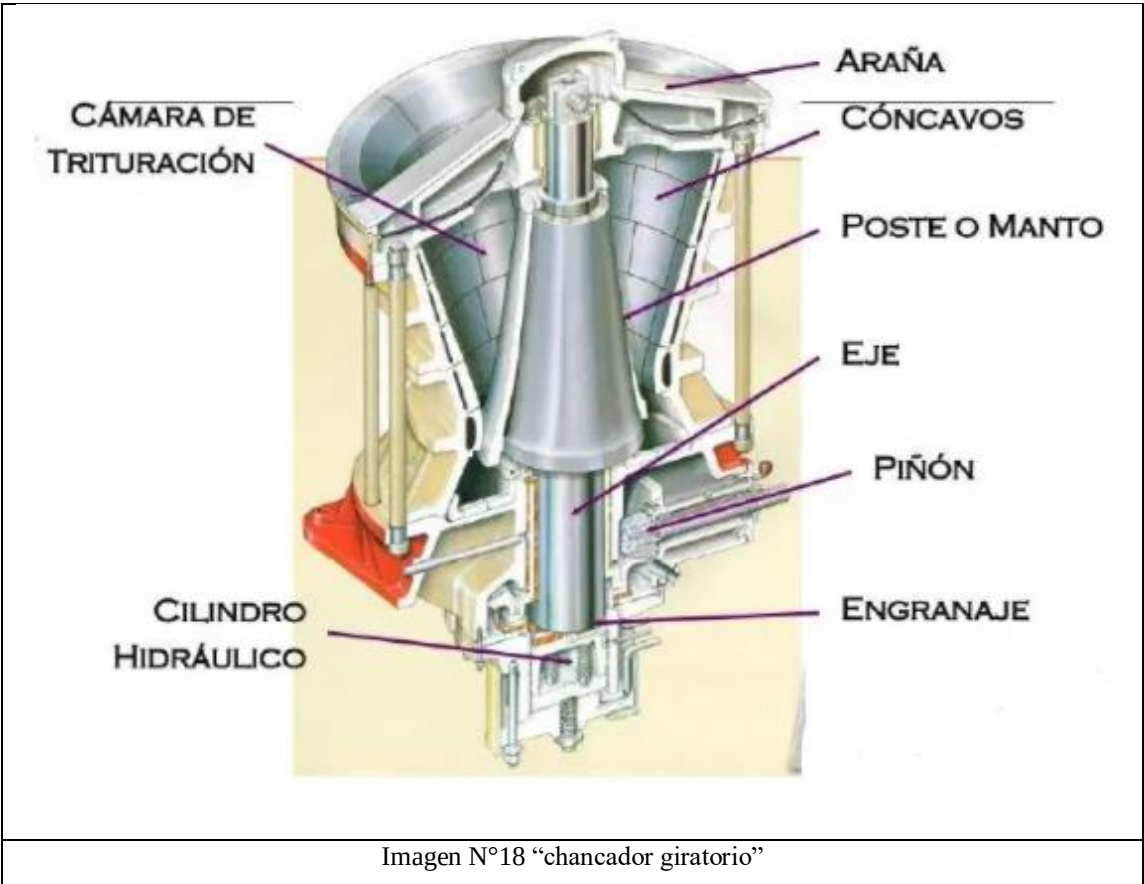


Imagen N°17 “Chancador”

En el presente informe se trabajará con chancadores de cono y chancadores giratorio.

El chancador de cono es uno giratorio modificado. La diferencia fundamental es que el árbol es más corto y no está suspendido, como el chancador giratorio, sino que esta soportado en un cojinete curvo localizado debajo de la cabeza giratoria o cono.

-Algunas partes de estos chancadores giratorios son:

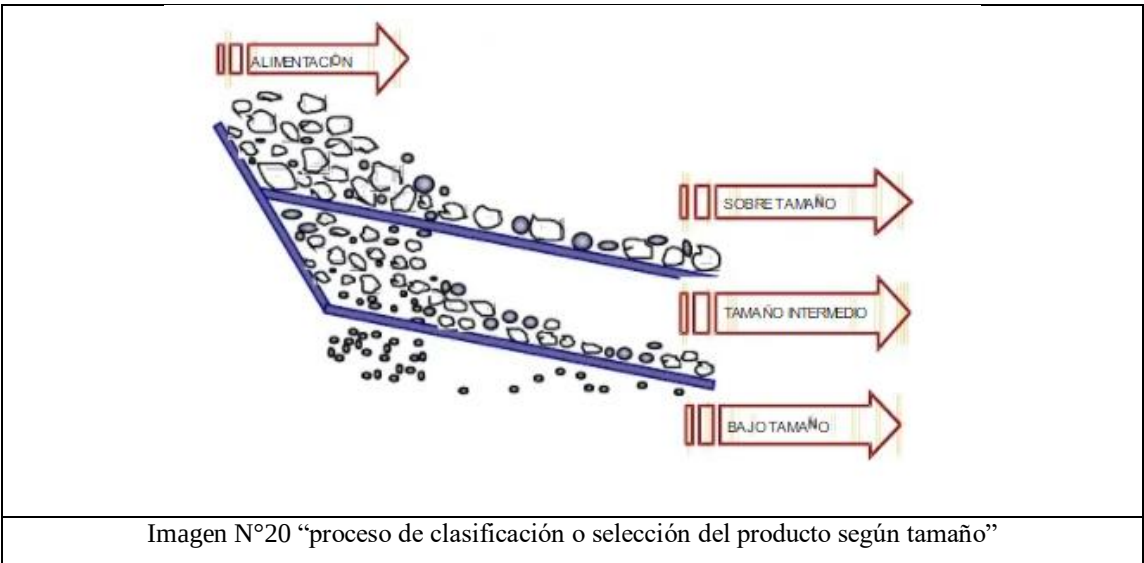


2.1.4 Harneros

Se utilizan comúnmente en operaciones mineras y producción de áridos para separar rocas, minerales y otros materiales por tamaño, forma u otras características. Básicamente, existen 2 tipos de harneros: Harneros Estáticos. Harneros Vibratorios. Los Harneros Estáticos se utilizan principalmente para separar material mayor a 150 mm o cuando no se necesita realizar una clasificación muy certera.



Esquema principio de funcionamiento del harnero (selección de tamaño de producto):



2.1.5 Molinos

2.1.5.1 Molino de bolas

El molino de bolas es un equipo clave para la molienda después de la trituración primaria. El material ingresa al primer almacén del molino de manera uniforme desde el eje hueco por el dispositivo de alimentación. El almacén está equipado con un revestimiento de escalera o revestimiento corrugado, diferentes especificaciones de la bola, y el cilindro gira la fuerza centrífuga para llevar la bola de acero a una cierta altura después de la caída y tiene un fuerte golpe y efecto de trituración en el material. Con desbaste posterior en el primer almacén, el material con el molido secundario en el segundo almacén y que tiene un revestimiento incorporado y luego se descarga por la placa de rejilla de descarga.



Imagen N°21 “Molino de bolas”

2.1.5.2 Molino SAG.

Denominado molino semiautógeno o molino SAG es un equipo usado en plantas mineras para moler rocas de mineral para reducir su tamaño y hacerlo apto para las etapas siguientes de procesamiento de dicho mineral.

Estos equipos se caracterizan por ser de mayor potencia y tamaño que los molinos de bolas y por permitir una mayor razón de reducción del tamaño de las rocas. De esta manera, una planta que posee molienda semiautógena puede simplificar su proceso al pasarse directamente del chancado primario a la flotación, sin emplear etapas intermedias de chancado secundario y terciario para reducir el tamaño del mineral.

Estos molinos se denominan semiautógenos porque para la molienda del mineral emplean además del mismo mineral, bolas de acero. Al girar el contenido en el molino, las rocas y bolas caen y ayudan a moler el mismo mineral.

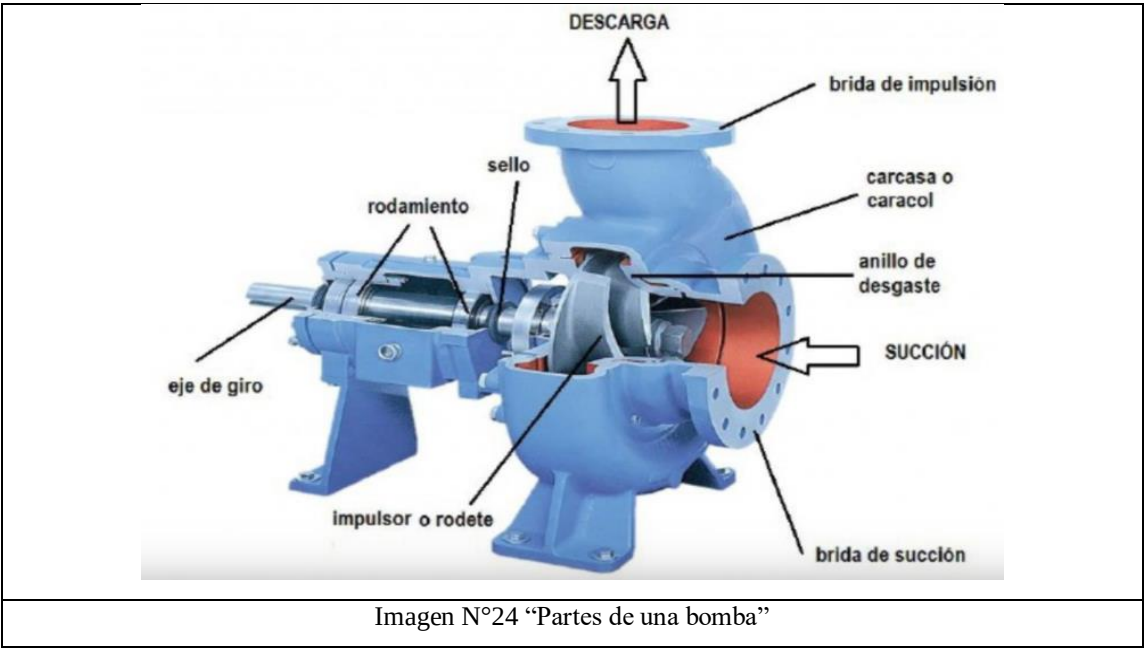
Otra diferencia visual entre estos tipos de molinos, es que en general los molinos SAG o semiautógenos poseen un mayor diámetro y una menor longitud que los molinos de bolas



Imagen N°22 “Molino SAG”

2.1.6 Bombas

Este equipo transforma energía, aplicándola para mover el agua o algún otro fluido. Este movimiento, normalmente es ascendente). El fluido que las atraviesa absorbe la energía mecánica comunicada por el motor de arrastre, potenciando y entregando energía al fluido. Las bombas pueden ser de dos tipos “volumétricas” y “turbo-bombas”. Todas constan de un orificio de entrada (de aspiración) y otro de salida (de impulsión).

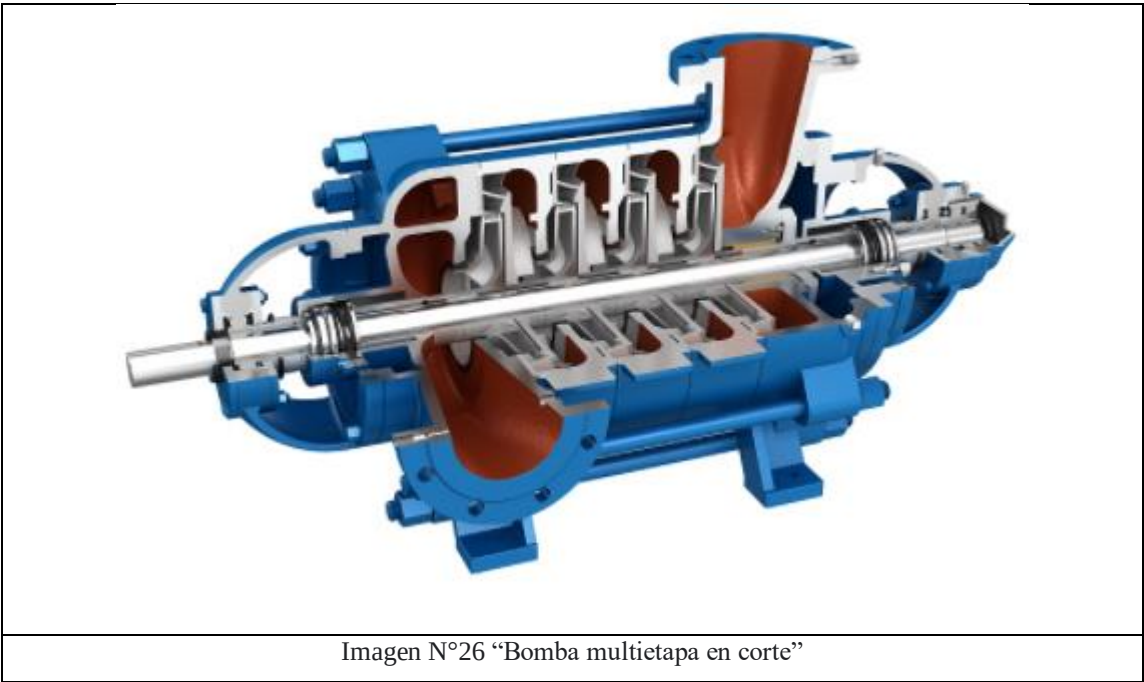


Bomba multi-etapa:



Principio de funcionamiento bomba multi-etapa:

Una vez el fluido entra al interior de la bomba es dirigido a la primera etapa conformada por impulsor y voluta, en este proceso ocurre un incremento en la presión y velocidad del fluido y es direccionado a la etapa siguiente en la que ocurre una elevación de la presión de salida de la etapa anterior.

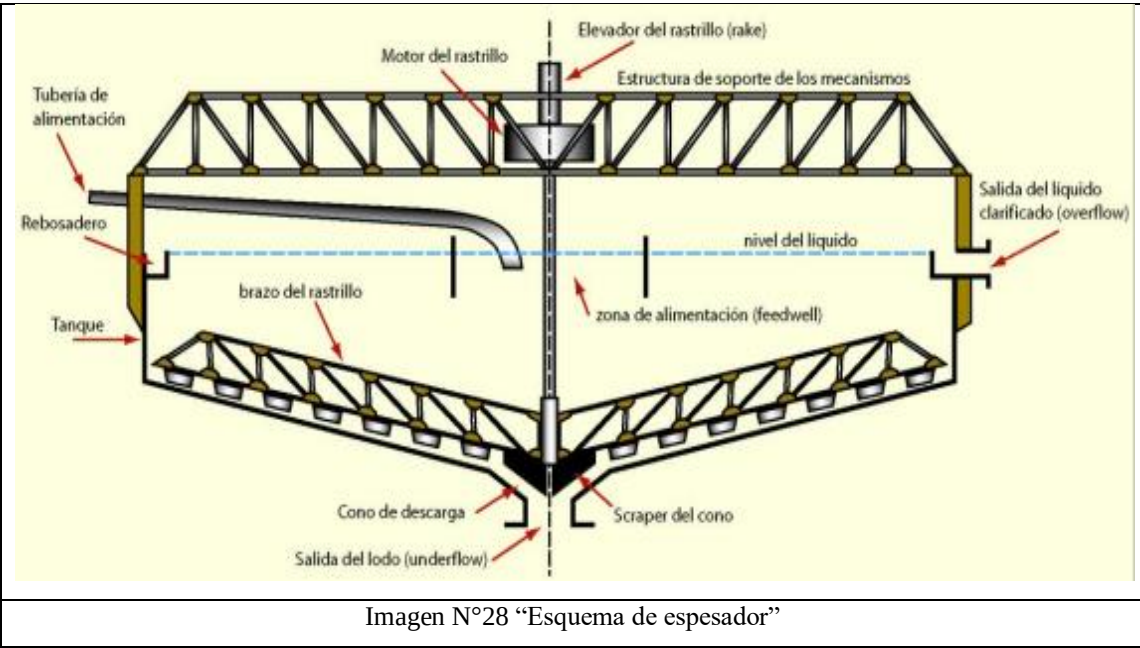


2.1.7 Espesadores

Son equipos de separación sólido-líquido en los que una suspensión de sólidos formando una pulpa, se alimenta a un tanque provisto de un mecanismo interno que mediante la acción de la gravedad permite concentrar los sólidos en el fondo y hace fluir el agua clarificada hacia la superficie para ser recogida en el rebose del tanque.

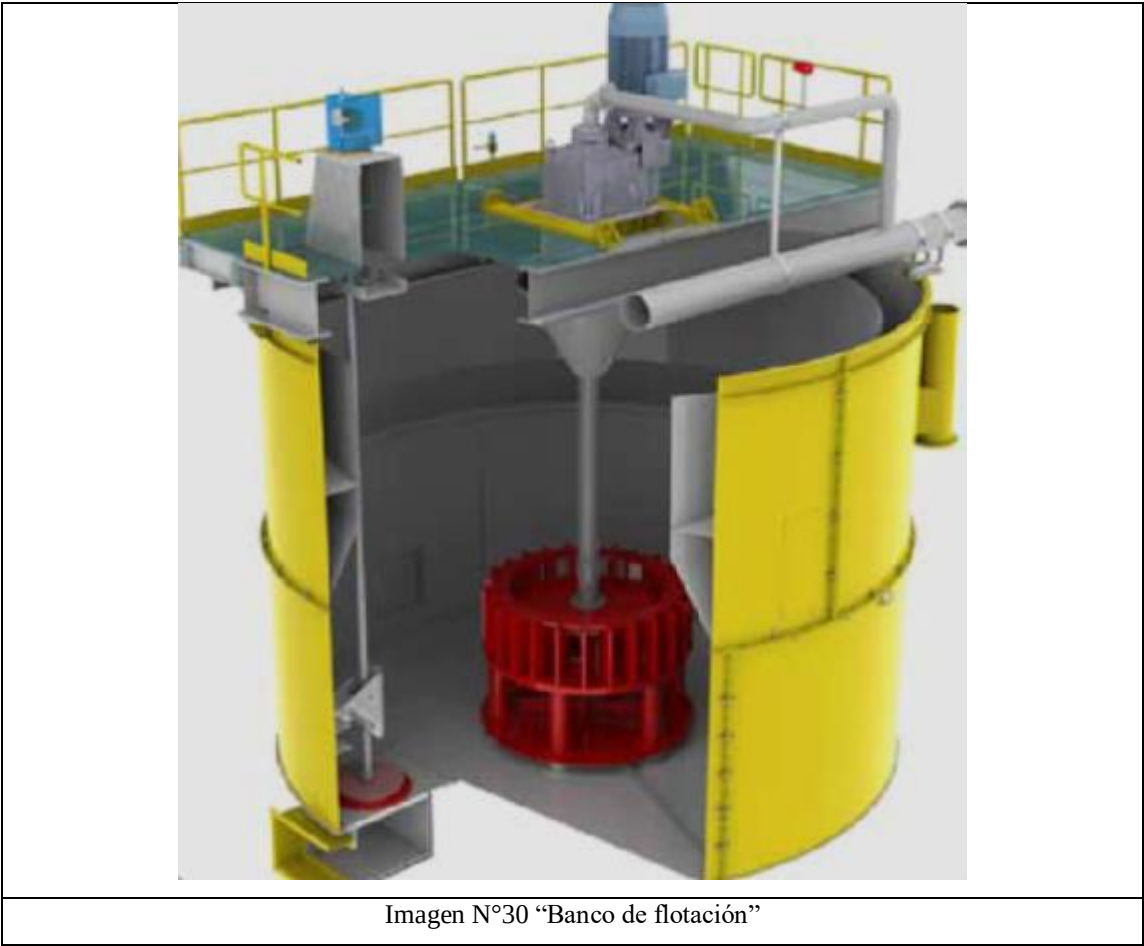


Estructura de espesador



2.1.8 Bancos de flotación

Tienen tres partes principales: un tanque, un panel de control, y mecanismos para agitación y aireación. Así, un agitador mecánico mantiene la pulpa en suspensión y el aire disperso dentro de ella. Están fabricadas en estructuras robustas y firmes para durar muchos años en operación.



3. MODOS DE FALLA PARA CADA EQUIPO Y/O COMPONENTE.

Un modo de falla es “una causa de falla o una posible manera en la que un sistema puede fallar”.

Es importante definir los mecanismos de falla para cada equipo y/o componente del mismo, ya que de esta manera podemos anticiparnos a estos, esto lo lograremos con un monitoreo continuo de los equipos, para anticipar dichas fallas se deben definir un tipo de inspección.

3.1 Tipos de falla

Las fallas mecánicas son las más comunes en los sistemas dinámicos en mantenimiento, aunque se pueden presentar fallas eléctricas.

3.2 Clasificación de las fallas

- Criticas: Falla que causa la perdida inmediata de un equipo.
- Degradantes: Falla no critica, pero evita que un equipo desarrolle su función bajo los rangos mínimos necesarios.
- Incipientes: Falla que no causa la perdida de función de un equipo, pero si no se atiende puede llegar a ser degradante o critica.
- Desconocidas: La severidad de la falla no pudo ser deducida o registrada.

También se pueden clasificar en:

- Esporádicas: Falla repentina, dramática e inesperada que algunas veces lleva a detener todo el proceso y frecuentemente es altamente visible dentro de la compañía. (costo muy alto).
- Crónicas: falla típica repetitiva que afecta a las operaciones en el corto plazo o a las actividades de mantenimiento. No resulta dramática, no es necesariamente difícil de reparar. (puede ser difícil identificar la causa raíz)

Se pueden clasificar también por la afección de la capacidad de trabajo:

- Totales: Paro total del sistema productivo.
- Parciales: afecta solo una parte de los elementos, pudiendo trabajar el resto

3.3 Fallas

3.3.1 Correas

- **Corte de correa o deterioro de la misma.** Ya sea por desprendimiento o desgaste, la detección de anomalías dentro de la correa es fundamental para evitar este tipo de eventualidades, ya que dependiendo de la correa podría detener el proceso productivo o al menos reducir la producción en la industria.
Esta detección se realiza gracias a al monitoreo a base de rutas (inspección visual), cámaras o sensores instalados estratégicamente para este propósito.
- **Polines trabados, con temperatura o con acumulación de mineral.** Al hablar de polines trabados se hace referencia a que de alguna manera se ve impedido su normal funcionamiento ya sea por daño en sus rodamientos, acumulación de mineral u obstrucciones provocadas por un agente externo (alambres, palos, fierros, rocas etc.). Tener en consideración el estado de aseo de las correas es fundamental ya que la acumulación de mineral en los polines de las mismas podría provocar fallas catastróficas como incendios, por alzas de temperaturas este tipo de fallas se puede prevenir con el monitoreo de componentes en este caso los polines.

- **Fracturas en ejes o tambores de poleas.** Las fracturas o rupturas son evidentemente una falla catastrófica en las correas ya que impide su funcionamiento obligando a la detención de la misma y dependiendo de la correa, podría llegar a detener el proceso. Estas fallas se producen generalmente por una sobrecarga, un mal diseño, un mal proceso de fabricación, entre otros factores.
- **Fugas o pérdidas de aceite o de grasa.** Ya sea en reductores, motores, descansos o poleas. La pérdida de lubricación podría a llevar a generar desgastes importantes en componentes internos de conjuntos mecánicos, llevar un control de la lubricación es muy importante no solo la falta de lubricación es dañina para el funcionamiento de los equipos, también lo es una lubricación excesiva la cual podría: llegar a generar un alza de temperatura, generar una pérdida en el sello de lubricación lo que en un ambiente hostil podría provocar contaminación llevando a un desgaste o daño en componentes internos del sistema.
- **Desalineamiento.** Ya sea motor reductor o reductor polea motriz. El desalineamiento generalmente se visualiza y se detecta por medio de las vibraciones (valores de mediciones en axial aumentados), también se puede visualizar por medio de una termografía ya que la temperatura del acople en el componente desalineado genera un alza en la temperatura. Estos desalineamientos generan que el equipo y sus elementos trabajen exigiendo cada componente involucrado en la transmisión de energía, provocando un desgaste, aumentando el consumo de energía o simplemente generando alguna falla lo cual obligaría a la detención imprevista del equipo. En fin, más que una falla es una condición que podría llevar a una falla en el equipo.

- Soltura basal o estructural.** Condición que se evidencia por inspección visual y/o por medición y análisis de vibraciones. (aumentando los valores en la vertical) Generalmente indica que:

 - los pernos de la base del equipo medido están sueltos- la estructura que soporta el conjunto esta deficiente, falta de rigidez.

Si bien esto no es una falla propiamente tal, se trata de una condición que puede llevar a generar una falla.
- Perdida de revestimiento en poleas.** Condición que se evidencia visualmente, en la mayoría de los casos se acompaña con un ruido anormal (ruido agudo) producido por el roce de la cinta transportadora y el acero expuesto del tambor de la polea.

	
Imagen N°31 “Cambio de cinta en correa”	Imagen N°32 “Desprendimiento de recubrimiento tambor”
	
Imagen N°33 “Acumulación de mineral en polín de carga”	Imagen N°34 “Fuga de grasa”

3.3.2 Chancadores

- **Obstrucciones.** Es común encontrarnos con este tipo de situaciones, principalmente en chancador primario en donde el tamaño de las rocas es mayor, esto se produce por una o más rocas de gran tamaño no caen de manera adecuada en la abertura del chancador.
- **Falta de lubricación.** Esta condición puede generar daños en componentes del equipo, tales como desgaste excesivo en componentes internos, fracturas, alzas de temperatura etc. La lubricación constante es de suma importancia para evitar daños y mantener el cuidado del equipo.
- **Solturas basales.** Esta la condición se identifica generalmente por medición de vibraciones (en donde los valores en la vertical aumentan) y/o por inspección visual, esta condición genera un aumento en las vibraciones del conjunto, la soltura generalmente se ubica en los puntos de sujeción del motor. (en las bases), ya sea por falta de rigidez, soltura de pernos, por el tipo de plataforma que lo soporta la cual podría ser en voladizo dependiendo del diseño y la distribución del conjunto.
- **Roturas, fracturas o desgaste en componentes.** Este tipo de condiciones se genera ya que estos equipos funcionan en constante interacción con grandes rocas las cuales van desgastando y a veces fracturando algunos componentes del chancador, los cuales están diseñados para esa finalidad y los cuales hay que reemplazarlo de manera oportuna, esto para evitar fallas inesperadas y/o desgastes en otros componentes del chancador.

- Desalineamiento.** Esta condición se evidencia por medio de las vibraciones, también se puede identificar por termografía en el caso de los acoplamientos directos, como ya se comentaba, el desalineamiento puede presentarse en desalineamiento angular y/o paralelo como indica la imagen N°35, además dependiendo del tipo de transmisión tenemos desalineamiento de acoples directos o desalineamiento entre poleas, en ambas situaciones tenemos que alinear de distinta manera y con diferentes equipos.

Imagen N°35 “Tipos de desalineamiento”	
Imagen N°36 “Obstrucción”	Imagen N°37 “Chancador”

3.3.3 Harneros

- **Fractura.** Estas desviaciones se identifican por intermedio de inspección visual, pero su seguimiento se desarrolla con inspección por líquidos penetrantes o partículas magnéticas, esto para ver detalladamente el inicio y final de fractura (grietas).
- **Desalineamiento.** Esta condición puede variar según la transmisión que se presente en el conjunto, puede ser de acoplamiento directo o puede ser por transmisión entre poleas, se identifican por intermedio de medición de vibraciones en el conjunto (valores en la vertical en aumento) además se pueden identificar por termografía en el caso del acoplamiento directo, ya que se genera un aumento de temperatura, y/o visualmente en el caso de la transmisión por poleas según la expertis del observador. Estas condiciones generan un aumento excesivo de energía en el conjunto y un desgaste de los elementos propios de la transmisión.

- **Desgaste, roturas, pernos cortados.** Es usual encontrarnos con ese tipo de condición en los harneros, debido al frecuente contacto de las rocas con la estructura interna de los harneros, Vigas, parrillas, paredes, tornillos, etc.



Imagen N°38 “Rotura en viga interna”



Imagen N°39 “Grieta en pared de harnero”

3.3.4 Molinos

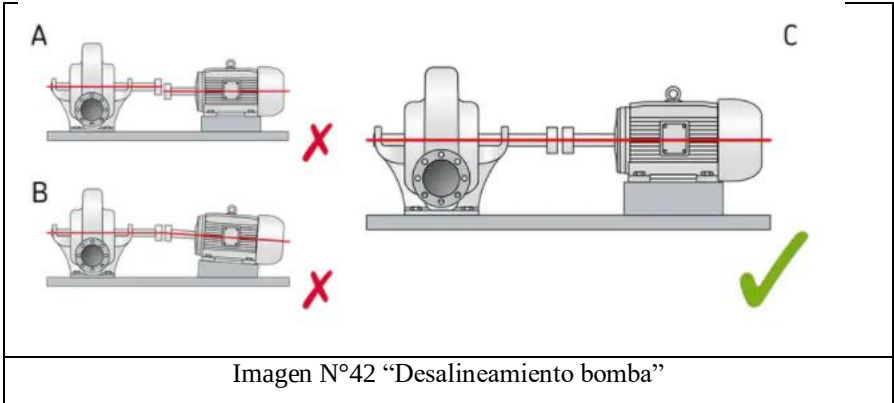
- **Desalineamiento.** Esta condición se presenta en el conjunto de transmisión piñón corona del molino. Se identifica por medio de vibraciones y/o complementándolo con termografía, en esta última se evidencia por medio de una imagen termográfica tomada en el conjunto piñón corona con el equipo en funcionamiento, en donde se evidencia el cambio de temperatura de cada extremo de los conjuntos, en donde mientras mayor es la diferencia de temperatura entre ambos extremos mayor es el grado de desalineamiento en el conjunto de transmisión,
- **Soltura basal en descansos contraeje.** Esta condición se evidencia comúnmente por medición de vibraciones, pero en ocasiones esta condición es tan evidente que basta solo con inspección visual en las bases de los descansos del contra eje para diagnosticar.
- **Daños en contra eje y/o en corona, falta de lubricación en contraeje.** Existen sistemas de lubricación diseñados especialmente para mantener la lubricación en el conjunto piñón corona, estos sistemas cuentan con al menos 5 aspersores que van lubricando el contra eje en periodos de tiempo programados de acuerdo al tipo de aceite utilizado y/o el tipo de molino en cuestión, estos lubricadores o aspersores en ocasiones se encuentran defectuosos, es de suma importancia llevar un control del normal funcionamiento de estos, para evitar desgastes excesivos y/o daño en los dientes de conjunto piñón corona, además de utilizar el aceite adecuado para este tipo de transmisión.

- **Desgaste o fisuras en trunion y revestimientos internos.** Al referirnos a trunion nos referimos a los descansos del molino, los cuales son anillos de gran tamaño que se ubican en ambos extremos de los molinos (lado alimentación y lado descarga), estos “anillos” o trunion giran acoplados al molino sobre una pequeña película de aceite, por lo que están expuestos a un desgaste, mínimo pero importante de controlar, por otro lado en el interior de los molinos encontramos “elementos de sacrificio” destinados al desgaste como lo son las “lainas” o revestimientos internos, es importante llevar el control del desgaste de estos revestimientos y de los pernos de sujeción de los mismos ya que la perdida de revestimientos internos podría provocar daños en lo que es el casco del molino lo cual significaría un gran costo económico, costo económico asociado al tiempo de detención del molino, a la obtención sus repuestos y al montaje de los mismos.

	
Imagen N°40 “Soltura en base contra eje molino”	Imagen N°41 “Mantención molino”

3.3.5 Bombas

- **Desalineamiento motor bomba.** Esta condición se evidencia por intermedio de medición de vibraciones, en donde los valores de vibraciones aumentan en la vertical entre otros síntomas, en ocasiones también se visualiza que en el sector del acoplamiento genera un aumento de temperatura. La condición de desalineamiento hace que el conjunto funcione más forzado, aumentando el consumo de energía y el desgaste en distintos componentes propios de la transmisión.



- **Perdida de espesores en línea de alimentación y descarga.** Esta condición se presenta generalmente en líneas de acero, en las reducciones, cambios de sección, codos, intersecciones, etc. Para detectar esta pérdida de espesores se aplica medición de espesores por ultrasonido principalmente en los puntos donde se produce mayor roce, y dependiendo del tipo de revestimiento interno que tiene la línea se pueden detectar por intermedio de termografía. Todo esto para anticipar y/o planificar el cambio de tramo antes de que se produzca la falla.

- **Fugas de aceite, grasa o agua por sellos.** Este tipo de condiciones se evidencia por medio de inspección visual, y son producto de daños en sellos de lubricación frecuentemente en el lado de la bomba, en ocasiones las fugas de lubricación llegan a provocar deficiencia de la misma la cual se evidencia por medio de la medición de vibraciones, dichas deficiencias generalmente van acompañadas de un aumento de temperatura y un posible daño en los componentes internos.

}



Imagen N°43 “Filtración de agua por sello de bomba”

3.3.6 Bancos de flotación y espesadores.

- **Desalineamiento, falla en sistema de transmisión por correas o hidráulico.** Estas condiciones se detectan por medio de medición de vibraciones, en ocasiones dependiendo de la gravedad es detectable por intermedio de inspección visual.
- **Rotura, grietas, perdidas de espesor en diferentes componentes de la estructura, ya sea en la estructura central líneas de alimentación, rastras, etc.** Este conjunto de condiciones de desviaciones estructurales se evidencia por medio de inspecciones con ensayos no destructivos, siendo la principal la inspección visual.



Imagen N°44 “Fractura en rastra”



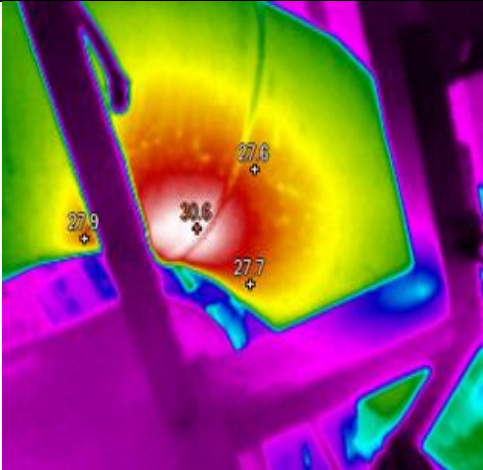
Imagen N°45 “Grieta en estructura”



Imagen N°46 “Espesador en mantención”

3.3.7 Líneas de impulsión

- **Filtraciones en collarines o uniones victaulic.** Este tipo de condiciones se evidencian por inspección visual, generalmente se producen por daño o una instalación deficiente de la junta, teniendo en consideración que la finalidad de los collarines es unir diferentes tramos de la línea evitando que se produzcan estas filtraciones.
- **Roturas o desgaste de revestimiento interno.** Las roturas se evidencian por inspección visual, los desgastes en revestimientos internos de la línea se identifican aplicando termografía para esto la línea debe estar en funcionamiento normal, y se visualizan como puntos calientes en la imagen termografica

	
Imagen N°47 “Filtración de agua línea”	Imagen N°48 “Rotura de tramo”
	
Imagen N°49 “Parche de polímero cerámico”	Imagen N°50 “Desgaste revestimiento interno”

4. TÉCNICAS PREDICTIVAS PARA DETECTAR Y ANTICIPAR FALLAS.

Técnicas de mantenimiento predictivo en la industria se habla de un grupo de técnicas de análisis y medidas desarrolladas con el objetivo de evaluar el estado de un equipo o componente del mismo, con la finalidad de evidenciar su comportamiento a futuro, todo esto para mantener el proceso productivo y reducir los costos producidos por fallas inesperadas.

4.1.1. Vibraciones

El análisis de vibraciones es la principal técnica para supervisar y diagnosticar la maquinaria rotativa e implantar un plan de mantenimiento predictivo. El análisis de vibraciones se aplica con eficacia desde hace más de 30 años a la supervisión y diagnóstico de fallos mecánicos en máquinas rotativas.

Fallos detectables

Con el análisis de vibraciones aplicado a la maquinaria rotativa se pueden diagnosticar con precisión problemas de:

- Desequilibrio
- Desalineación
- Holguras
- Roces
- Ejes doblados
- Poleas excéntricas
- Rodamientos
- Engranajes
- Fallos de origen eléctrico

La maquinaria crítica susceptible de ser monitorizada en las plantas industriales es la siguiente.

- Turbinas de vapor y de gas.
- Bombas centrifugas.
- Ventiladores.
- Motores eléctricos.
- Compresores rotativos, de tornillo y alternativos.
- Agitadores, mezcladoras.
- Molinos y hornos rotativos.
- Cajas reductoras centrifugas.
- Torres de refrigeración.
- Motores diésel y generadores de equipos electrógenos.



Imagen N°51 “Monitoreo de vibraciones”

4.1.1.1.Idlersound

Esta técnica esta directamente ligada al equipo de vibraciones ya que utiliza el mismo equipo conocido como microlog, el cual consta de varios programas en su software, uno de ellos el idelsound el cual permite identificar diferencias en sonidos alertando sobre anomalías. Ejemplo: polines trabados, rose de polines con parte de la estructura, rodamientos en mal estado, etc.



Imagen N°52 “Equipo y accesorios idlersound”

4.1.2. Inspección visual (VT)

Es el método no destructivo más utilizado en todas las industrias de fabricación de materiales. Se basa en la observación de discontinuidades visibles a simple vista. Permite un control en todas las etapas del proceso de fabricación o mantenimiento de las instalaciones.

La inspección visual (VT) detecta las fallas que son visualmente perceptibles como las deformaciones, los defectos de soldadura y los fenómenos de corrosión. Durante las inspecciones se utilizan numerosas herramientas convencionales, como la regla, los calibres para socavamientos y cordones de soldaduras, cámaras fotográficas, etc.

Ventajas:

- Reducción de los costos de reparación gracias a un control de la calidad visual adecuado durante la fabricación.
- Comprensión de numerosos fenómenos de degradación
- Documentación de las observaciones visuales gracias a la utilización de herramientas de medida.



Imagen N°53 “Inspección visual”

4.1.3. Líquidos penetrantes

Los Ensayos mediante Líquidos Penetrantes son un tipo de Ensayo No Destructivo con el que se consiguen detectar imperfecciones superficiales en materiales no porosos tanto en materiales metálicos como en materiales no metálicos.

Este tipo de ensayo consiste básicamente en la aplicación de un líquido de gran poder humectante sobre la superficie del material a ensayar. Gracias al efecto de la capilaridad, éste penetrará en las discontinuidades.

Finalmente, el sobrante que resta sobre la superficie será retirado mediante un sistema de limpieza adecuado y la posterior aplicación de un revelador será capaz de volver a extraer el líquido que antes quedó atrapado en las discontinuidades, mostrando la localización de las mismas.

Las técnicas que empleamos son muy variadas. En concreto, las que en función de la fase en la que nos encontremos son las siguientes:

- Visibles/Fluorescentes.
- Penetrantes removibles con agua/ removibles con disolventes/ Postemulsificables.
- Reveladores secos/ Humedos.
- Aplicaciones especiales.

Realizar Ensayos por Líquidos Penetrantes tiene una serie de ventajas:

- Los resultados se obtienen de forma prácticamente inmediata y son de fácil interpretación.
- No están limitados a materiales ferromagnéticos como los ensayos de Partículas Magnéticas.
- El método es relativamente sencillo, siendo fácil su realización en campo.
- Se pueden aplicar tanto a muestras de gran tamaño como de pequeño tamaño.
- No son necesarios equipos especiales.



4.1.4. Partículas magnéticas

Estos ensayos tienen la misión de detectar en una pieza las posibles discontinuidades (en materiales ferromagnéticos) que haya no solo en la superficie, sino también en las proximidades de ella (discontinuidades subsuperficiales).

El método se basa en la atracción de un polvo metálico aplicado sobre la superficie hacia las discontinuidades presentes en el material bajo la acción de un campo magnético. La acumulación de este polvo metálico en torno a las discontinuidades revelará la localización de las mismas.

Ventajas

Realizar estos Ensayos Por Partículas Magnéticas tiene una serie de ventajas que vamos a detallar:

- Los resultados se obtienen de forma inmediata.
- Son más rápidos que aquellos que se hacen con líquidos penetrantes.
- Se pueden emplear en componentes con ciertos revestimientos. El grado de limpieza del componente no es tan crítico como en el ensayo de líquidos penetrantes.
- Son análisis más limpios que los que se hacen con los líquidos penetrantes.
- Se pueden aplicar tanto a muestras de gran tamaño como de pequeño tamaño.



4.1.5. Ultrasonido

Los ensayos de ultrasonidos sirven para identificar la presencia de posibles discontinuidades en la pieza a inspeccionar tanto superficiales como interiores. Utilizan la reflexión de las ondas acústicas para observar su comportamiento y sus ondas de reflexión. En función del comportamiento de las ondas se podrá detectar la presencia o no de las discontinuidades y su ubicación exacta.

A grandes rasgos, un equipo de Ultrasonidos se compone de:

- 1. **Palpador:** Elemento que emite diferentes ondas para encontrar el defecto deseado.
Existen diferentes tipos de palpadores y pueden tener diferentes ángulos.
- 2. **Acoplante:** Líquido que se expande en el material cuya finalidad es propagar adecuadamente las ondas que emite el palpador a la pieza.
- 3. **Equipo:** Receptor y analizados de las señales que el palpador recibe.

Es muy común la utilización de este tipo de ensayo no destructivo en la inspección de la soldadura.



4.1.6. Cámara acústica

Es un equipo bastante portátil el cual incorpora una gama de micrófonos los cuales amplían el campo de visión, lo que permite a los equipos de mantenimiento localizar de manera rápida fugas de aire, gas y vacío en sistemas de aire comprimido, incluso en entornos ruidosos. Diseñada en especial para centros de producción con altos niveles de ruido.



Imagen N°57 “Cámara acústica”

4.2 APLICACIÓN DE TÉCNICAS PREDICTIVAS EN DIFERENTES EQUIPOS

Para llevar a cabo lo que refiere a mantenimiento predictivo es importante conocer los equipos e identificar las fallas que podría presentar cada uno de ellos, conociendo esto podemos apoyarnos en técnicas predictivas para anticipar o prevenir la aparición de estas fallas, para esto se debe definir que técnica aplicar en cada uno de los equipos o componentes del mismo, en muchas ocasiones se encuentran equipos que requieren la aplicación de más de una técnica para obtener la información deseada, en los cuales los resultados entregan información complementaria siendo más certera en relación al estado del equipo y/o componentes de él.

Para aplicar cada una de estas técnicas se requiere una previa capacitación y/o entrenamiento de el ejecutor de la actividad.

4.2.1 Aplicación de inspección visual

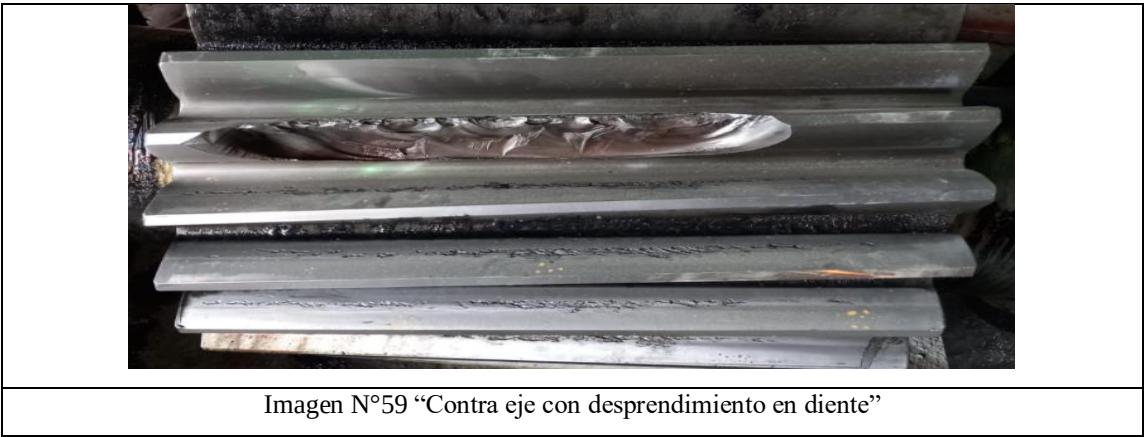
Se orienta principalmente a la detección de anomalías visibles, es importante contar con una serie de condiciones para aplicar dicha técnica de manera efectiva como por ejemplo contar con una buena iluminación, limpieza, distancia apropiada, además se puede apoyar con alguna cámara, espejos en el caso de lugares de difícil acceso, denominada como inspección indirecta.

La inspección visual generalmente se apoya de recursos como linternas, linterna estroboscópica, boroscopio, espejos entre otros.

-Para inspección visual en componentes es importante generar pautas de recorridos y chequeos por el equipo, alertando de manera oportuna de anomalías según criticidad del hallazgo y así tomar las acciones pertinentes para mejorar las condiciones.



Imagen muestra diente de contra eje dañado este hallazgo, se logró con el apoyo de una linterna estroboscópica, la cual emite flash de luz regulables, según las RPM para cada equipo, permitiendo visualizar cada detalle de componentes giratorio. Esta linterna es sin duda alguna un instrumento fundamental para inspecciones visuales en equipos giratorios o rotativos.



Correas transportadoras

Para casos más recurrentes en correas o cintas transportadoras en el área de la minería tendremos:

-Se visualiza un trozo de fierro atrapado entre el polín y la correa, esto podría provocar que el polín se trabe, lo cual podría generar un daño importante a la correa, desprendimiento de parte de ella, estancamiento de mineral, podría generar un alza importante de temperatura provocando un incendio lo cual sería catastrófico para la continuidad del proceso.

	
Imagen N°60 “fierro atascado entre polín y correa”	Imagen N°61 “Acumulación de mineral”

Dichos hallazgos son más comunes en el área de chancador primario, esto debido a que es el área que recibe mineral directamente desde interior mina, en donde producto de las tronaduras viene mezclado con elementos utilizados para estibar y/o asegurar sectores en los túneles.

Para minimizar la interferencia de estos elementos en el proceso existen “electroimanes” controlados de manera manual por el operador del área, estos electroimanes se ubican en la zona de descarga de las correas, dichos elementos permiten retener gran parte de los metales no deseados para el proceso.



Imagen N°62 “Electroimán en descarga de
correa”



Imagen N°63 “Electroimán”

Fugas en líneas de fluidos, lubricación.

-Fuga de grasa por sello, lo cual podría provocar una pérdida total en la lubricación de los descansos lo que llevaría a los rodamientos a trabajar en seco provocando daños o pérdida total de estos, la perdida de estos provocaría una detención sorpresiva en los ejes de la polea lo que afectaría

	
Imagen N°64 “Fuga de grasa”	Imagen N°65 “ Fuga de grasa”


Imagen N°66 “Vaso lubricador con señal de anomalía”

Imagen muestra señal de anomalía en vaso lubricados, estas anomalías pueden ser;

- Lubricador vacío.
- Sin batería.
- Obstrucción.
- Que no está cumpliendo su función.

4.2.2. Aplicación de vibraciones en motores y descansos de cada una de las poleas.

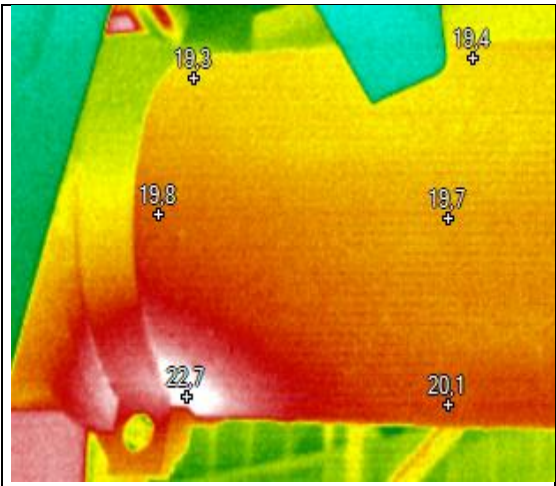
Esta técnica permite revisar parámetros de soldadura, comportamiento de rodamientos, lubricación, balanceo, alineamiento, entre otros parámetros.

Para la mantención predictiva es importante mantener el monitoreo mediante vibraciones, esto acompañado de una inspección visual y medición de temperatura en las componentes, estas técnicas son complementarios al momento de dar un resultado al estado del equipo. Actualmente existen equipos que necesitan monitoreo constante para lo que se están instalando sensores que permiten monitorear online de manera remota.

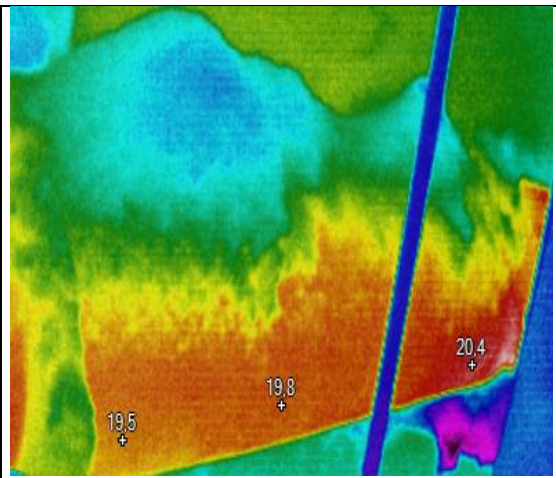
	
Imagen N°67 “Equipos microlog para medir vibraciones”	Imagen N°68 “Monitoreo en motor”

4.2.3. Aplicación de termografía.

La termografía es aplicable en distintos equipos y/o componentes en el área industrial, uno de ellos son las líneas de impulsión las cuales están divididas en tramos, en donde buscamos diferencias o deltas de temperatura para evidenciar desgaste en revestimiento interno, anticipar fallas y así tener el tiempo necesario para planificar la reparación o el cambio del componente a evaluar dependiendo de los tiempos de detención y la disponibilidad de repuestos por parte del proveedor, e acá la importancia de monitorear constante mente estas líneas, esto para solicitar con tiempo los repuestos.

	
Imagen N°69 “Termografía ducto”	Imagen N°70 “Imagen digital ducto”

Existen ocasiones en que la termografía no entrega la información adecuada por distintas condiciones que no lo permiten, puede ser por una distancia excesiva, por la exposición a la radiación solar, por la acumulación de mineral sobre los componentes a evaluar.

	
Imagen N°71 “Termografía ducto con mineral acumulado”	Imagen N°72 “Tramo con acumulación de mineral”

En base al desarrollo de esta técnica se crea una tabla de severidad para clasificar los ductos según su delta de temperatura, el cual se calcula con la diferencia entre la temperatura mayor y la temperatura menor, pudiendo así entregar un estado y una recomendación según el mismo.

NOMENCLATURA	
BUENO	De 1°C a 2°C
VULNERABLE	Entre 2,1°C y 2,9°C
VULNERABLE GRAVE	Mayor a 3°

Imagen N°73 “Tabla de severidad termografia para ductos”

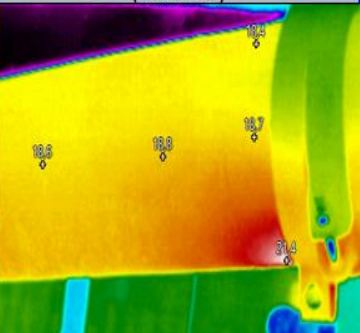
PIEZA	IMAGEN DIGITAL 1	IMAGEN TERMOGRAFICA (0 A 180°)	IMAGEN TERMOGRAFICA (180 A 360°)
D11			
	Observaciones:	Imagen térmica corresponde al tramo D11 , con un delta de temperatura de {3.8°C}.	Recomendación: Planificar cambio de tramo a corto plazo.
	Estado componente:	VULNERABLE GRAVE	
	N° Aviso		

Imagen N°74 “Ducto con vulnerable grave”

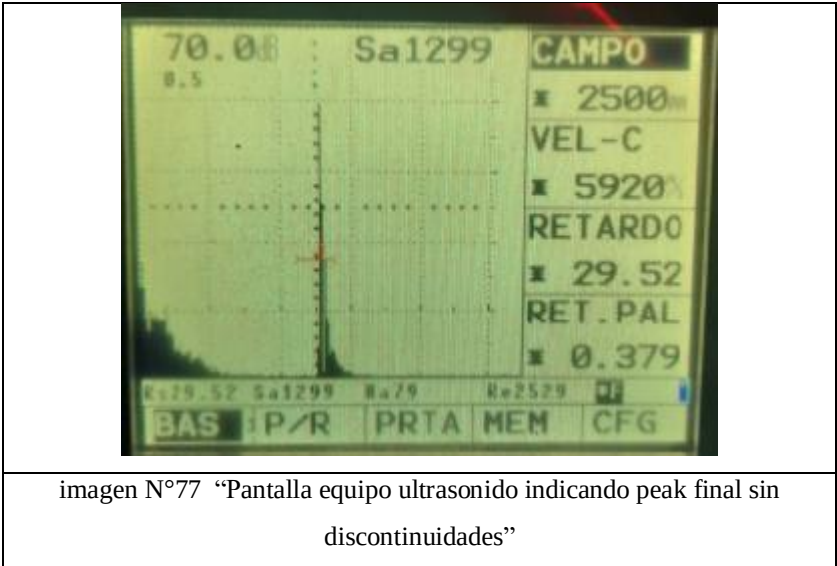
4.2.4. Aplicación de ultrasonido en ejes y tambores de poleas para medición de continuidad y medición de desgaste en recubrimientos y/o tambor.

Se produce una fractura en el tambor de una polea en este caso una polea deflectora, al revisar los planos de fabricación se deduce que la fractura se produce en una de las uniones soldadas en donde se une la tapa con el tambor, la aparición de esta falla sin duda alguna lleva a cuestionar muchos aspectos el diseño, la fabricación, los controles de calidad por parte del fabricante, las cargas a las cuales fue sometida; debido a esta falla se solicita un seguimiento en tambores de distintas poleas.

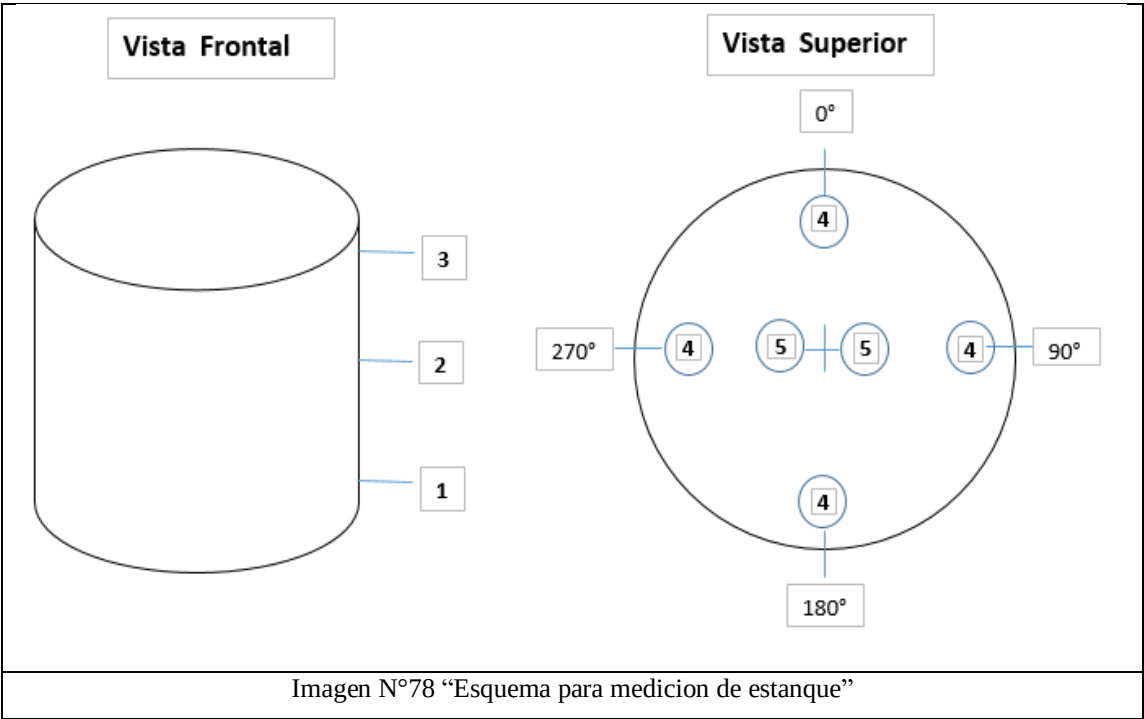


Dentro de la investigación se visualiza que la polea tensora de la misma correa trabaja con el peso de un cajón metálico lleno de bolas de acero, pero se advierte que esta se encuentra llena de mineral húmedo que llena el cajón lo que provoca que se apliquen más fuerzas en las poleas deflectoras de la misma, se estudia el rediseño de el cajón aplicando perforaciones y de igual manera el rediseño de la polea solicitando un diseño más robusto al fabricante.

Debido a la aparición de estas fallas, a modo de aprendizaje y mejora continua se solicita la medición de continuidad para anticipar roturas o quiebres de tambor, para hacer más precisa esta técnica, hay que tener planos de fabricación y así visualizar cada uno de los cambios de sección y o uniones soldadas de la pieza, esto en pro de obtener una buena interpretación de las lecturas o “peak” visualizados en el equipo.



Otra tecnica de ultrasonido es la medicion de espesores las cuales se aplican generalmente en lineas y estanques, para evidenciar el desgaste en cada uno de los componentes.



Vista Frontal: Para estanques en cuestión: -Se miden 3 puntos en el manto lateral cada 90°, comenzando desde el manhore como punto 0° y continuando en sentido horario. -Considerando el pto 1 a 100 mm del piso, punto 2 a 2000 mm de altura (en zona central) y pto 3 a 100mm del techo.	Vista Superior: Son 4 puntos a 100mm del borde (techo),orientados a 90° y 2 puntos en la zona central orientados a 180°.
---	---



Imagen N°79 “ Vista Frontal estanque”



Imagen N°80 “Vista lateral”



Imagen N°81 “Zona superior estanque”

Resultados

(mm)	0°	90°	180°	270°
1	6,02	5,95	6,45	6,08
2	6,18	5,95	5,47	6,28
3	5,95	6,05	5,75	6,4
4	7,82	7,5	7,54	7,78

Imagen N°82 “Tabla de resultados”

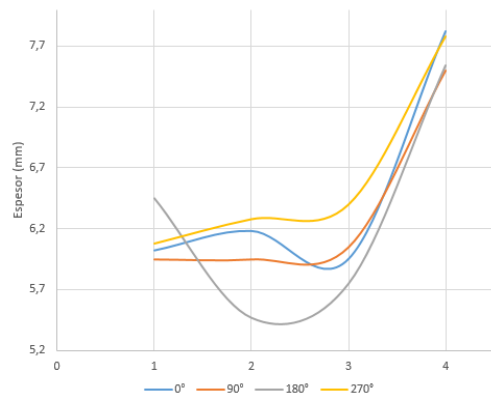


Imagen N°83 “Grafico de tendencia”

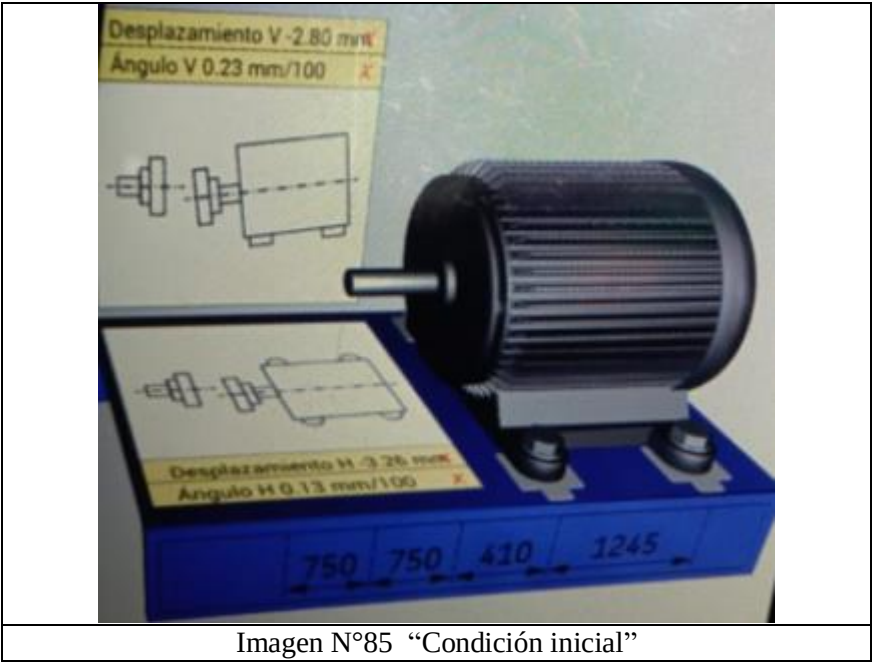
4.2.5. Alineamiento laser

Si bien no es una técnica predictiva, es una de las aplicaciones más utilizadas para mejorar el desempeño del equipo, teniendo en consideración que un desalineamiento genera que se apliquen cargas adicionales en componentes de la transmisión generando un desgaste excesivo, afectando en la durabilidad de los elementos y produciendo un aumento en el consumo de energía del equipo, los más frecuentemente utilizados son los alineamientos entre ejes y entre poleas.

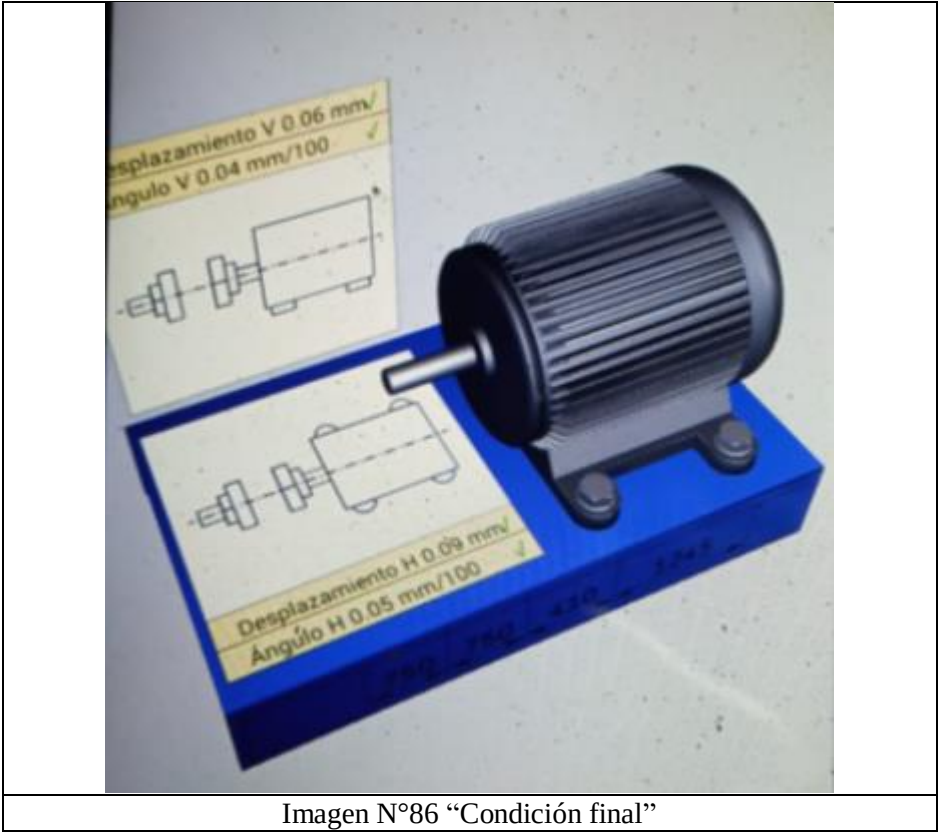
Tabla de tolerancias según RPM

	EXCELENTE		ACEPTABLE	
Desplazamiento	Técnicas Predictivas SAC		www.tecnicaspredictivas.com	
RPM	mils	mm	mil	mm
0000 ~ 1000	3.00	0.07	5.0	0.13
1000 ~ 2000	2.00	0.05	4.0	0.10
2000 ~ 3000	1.50	0.03	3.0	0.07
3000 ~ 4000	1.00	0.02	2.0	0.04
4000 ~ 5000	0.50	0.01	1.5	0.03
5000 ~ 6000	< 0.5	<0.01	<1.5	<0.03
Error Angular				
RPM	mils/''	mm/100	mils/''	mm/100
0000 ~ 1000	0.6	0.06	1.0	0.10
1000 ~ 2000	0.5	0.05	0.8	0.08
2000 ~ 3000	0.4	0.04	0.7	0.07
3000 ~ 4000	0.3	0.03	0.6	0.06
4000 ~ 5000	0.2	0.02	0.5	0.05
5000 ~ 6000	0.1	0.01	0.4	0.04

Imagen N° 84 “Tabla de tolerancias según RPM”



CONDICIÓN INICIAL		
	Vertical	Horizontal
Angular	0,23 mm	0,13 mm
Paralela	-2,80 mm	-3,26 mm



CONDICIÓN FINAL		
	Vertical	Horizontal
Angular	0,04 mm	0,05 mm
Paralela	0,06 mm	0,09 mm

4.2.6 Aplicación de cámara acústica

Es la aplicación de ultra sonido aerotransportado, este equipo originalmente es utilizado para detectar fugas en acumuladores o equipos de similares características, inclusive en algunos casos para detectar fugas eléctricas, en este caso se utiliza para detectar la zona exacta de la cual proviene el ruido anormal.

En este caso el ruido anormal proviene del rose de la correa con el borde el tambor con acero expuesto, es decir zona del tambor de la polea con desgaste de recubrimiento externo.



Imagen N°87 “Resultados cámara sónica”

Conclusión

Con el desarrollo del trabajo se logra la adquirir mayor conocimiento del proceso productivo de la minería esto es fundamental para evidenciar el nivel de criticidad de cada equipo, priorizando los equipos con mayor nivel.

El correcto monitoreo de condiciones a equipos críticos es de suma importancia, para ello es clave conocer cada una de las posibles fallas de los diferentes equipos utilizados en el proceso productivo, mediante el uso de las técnicas predictivas se obtienen resultados esperados para el correcto monitoreo de condiciones, pudiendo anticipar fallas, planificando a tiempo las reparaciones o cambios de componentes, esto se obtiene en base aprendizaje obtenido a lo largo del proyecto complementado con el correcto uso de las diferentes técnicas predictivas.

Todo esto mejora el ciclo de mantenimiento logrando la disponibilidad de equipos necesarios para continuar con el proceso productivo, minimizando fallas inesperadas, detenciones no planificadas lo cual afectaría directamente en el proceso productivo de la planta.

La detección de fallas por medio de inspecciones y/o monitoreo de condiciones es fundamental para actuar de manera oportuna ante condiciones anormales en los diferentes equipos presentes en el proceso productivo de la gran minería.

En fin, el uso de técnicas predictivas junto con una buena planificación da los resultados esperados entregando información oportuna del estado de cada componente monitoreado, pudiendo así tomar acciones antes que se produzca la falla, evitando detenciones no planificadas o inesperadas dentro del proceso.

Bibliografía.

- Historial de informes monitoreo de condiciones (MONCON).