

**UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE DE CONCEPCIÓN – REY BALDUINO DE BÉLGICA**

**PROPUESTA DE PLAN MATRIZ DE MANTENIMIENTO A EQUIPOS CRITICOS DE
PLANTA EMPRÉSTITOS - MINERA CANDELARIA**

Trabajo de Titulación para optar al Título
de Ingeniero (E) Mecánica de Procesos Y
Mantenimiento Industrial

Alumno:

Martín Nicolás Rojas Fuentes.

Profesor Guía:

Eduardo Aracena

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a la Universidad Técnica Federico Santa María por darme la oportunidad de ser parte de ella como estudiante, incluyendo a todos los docentes y trabajadores que fueron parte de esto.

A mi profesor guía, don Eduardo Aracena por brindarme su apoyo, voluntad y ayuda cada vez que fue necesario durante este trabajo.

A mis padres Marcelo Rojas Díaz y Lizett Fuentes Fuentes por estar siempre presentes y preocupados durante toda mi carrera universitaria, brindando todo lo necesario para completarla con éxito.

A mis amigos y compañeros que hicieron de la etapa universitaria un ambiente agradable y llevadero a pesar de las dificultades que se presentan.

Muchas gracias,
Martín Rojas Fuentes.

DEDICATORIA

Este trabajo va dedicado a mi hijo Mateo, por ser mi segundo aire en esta carrera, de todo corazón espero que los frutos de esto sean para ti.

RESUMEN

En el presente estudio se aborda como tema la propuesta de un plan matriz de mantenimiento a los equipos críticos de planta empréstitos de minera candelaria, debido a que no existe en la compañía, un plan de mantenimiento materializado para su aplicación.

El objetivo principal fue realizar el estudio de un plan matriz de mantenimiento, como propuesta aplicable a equipos críticos de Planta Empréstitos de Minera Candelaria y plantas de áridos similares. Se plantean 3 objetivos específicos los cuales se llevaron a cabo con metodologías práctico analíticas.

Se desarrollaron los 3 objetivos específicos con una metodología distinta bajo la necesidad de cada uno, el primer objetivo se realizó gracias a las visitas y camitas presenciales las cuales pudieron llevarse a cabo dentro de las instalaciones de planta empréstito en Minera Candelaria. En base a la información recopilada anteriormente se realizó un análisis de criticidad el cual clasificó los equipos de toda la planta obteniendo así los equipos críticos (objetivo específico numero 2) a los cuales se le aplicó el análisis AMEF.

Gracias al análisis AMEF realizado se pudo obtener los modos de falla que se deben atacar, logrando un mantenimiento efectivo a los equipos clasificados como críticos. Una vez obtenido estos resultados se fijaron con cierta frecuencia de tiempo encuadrándolos en la matriz propuesta como plan de mantenimiento aplicable a planta empréstitos y plantas de áridos similares. (Objetivo específico numero 3)

A modo de conclusión se llevó a cabo el cumplimiento de los 3 objetivos específicos planteados y en consecuencia se completa el objetivo general, ya que se respalda en su totalidad esta propuesta de plan matriz la cual es aplicable en el corto plazo y enfocada a lo mayormente necesario en dicha planta.

ÍNDICE

Contenido

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN	1
INTRODUCCIÓN	3
OBJETIVOS	4
○ OBJETIVO GENERAL	4
○ OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
METODOLOGÍA	5
○ Objetivo específico 1:	5
○ Objetivo específico 2:	5
○ Objetivo específico 3:	5
○ REQUERIMIENTO PRINCIPAL	6
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	7
1.1 LA EMPRESA	8
ANTECEDENTES GENERALES	9
○ Continuidad operacional	9
○ Planta concentradora de minera Candelaria	10
PROCESO PRODUCTIVO DE LA CONCENTRADORA	11
○ Fases principales del Proceso productivo	11
FUNCIONAMIENTO PLANTA EMPRESTITOS	13
○ Planta Empréstitos	13
CAPITULO 2: DESARROLLO Y SOLUCIÓN	16
MARCO TEÓRICO	17
○ MANTENIMIENTO	17
○ OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO	17
○ TIPOS DE MANTENIMIENTO	18
○ Mantenimiento correctivo	18
○ Mantenimiento preventivo	20
○ Mantenimiento predictivo	21
○ MANTENIMIENTO PREVENTIVO PROGRAMADO	21

○ Alcance y definición	22
○ Programación y planificación	23
○ Rutinas de inspección	23
○ Frecuencias de rutinas de inspección	24
○ Rutinas de lubricación	24
○ Frecuencias para rutinas de lubricación	25
DETERMINAR QUE UN EQUIPO REQUIERE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.	26
○ Pasos previos a la elaboración de un programa de mantenimiento	26
FALLAS DE ELEMENTOS MECÁNICOS POR DESGASTE	28
○ GRASAS LUBRICANTES	28
○ Funciones y propiedades de las grasas	29
▪ Formulación y tipos de grasa	29
1.2 RODAMIENTOS	30
○ Mantenimiento para rodamientos	31
○ CÁLCULOS DE TIEMPOS DE LUBRICACIÓN A RODAMIENTOS DE MOTORES	32
TEORÍA DE CHANCADORA - TECNOLOGÍA DE TRITURACIÓN POR COMPRESIÓN	34
CHANCADOR DE MANDIBULA PRINCIPAL CT3254	35
CHANCADORA CONICA TRIO TC51S	40
HARNERO HORIZONTAL TRIO TTH6203	43
○ Generalidades	43
○ Sistema hidráulico de nivelación de planta	46
DISEÑO DE LA SOLUCIÓN	47
○ LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN	47
○ Listado de equipos	48
Diagrama de bloques planta empréstito	49
Diagrama de flujo Planta empréstito (FLOW SHEET)	50
ANÁLISIS DE CRITICIDAD	52
Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF)	57
ANALISIS AMEF.	57

Análisis de modos y efectos de falla (AMEF) aplicado a equipos críticos de planta empréstitos Minera Candelaria.	58
PLAN DE MANTENIMIENTO ATACANDO LOS MODOS DE FALLOS	72
○ Para Chancador de mandíbulas TRIO CT 3254	72
○ Para Chancador de Cono TRIO TC51S	73
○ Para Harnero Lavador y Harnero Tamiz TRIO	73
ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO PLANTA EMPRÉSTITO	74
Propuesta plan matriz de mantenimiento	75
	77
CAPITULO 3: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	78
Conclusiones	79
Recomendaciones	80

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Figuras Capítulo 1
 - 1.1. Planta empréstitos, Vista aérea
 - 1.2. Planta Concentradora Minera Candelaria
 - 1.3. Imagen Satelital Minera Candelaria
 - 1.4. Diagrama de Flujo Concentradora Candelaria
 - 1.5. Simulación Muro Tranque de Relaves
 - 1.6. Diseño Planta Empréstitos

2. Figuras Capítulo 2
 - 2.1. Componentes de grasas lubricantes
 - 2.2. Componentes de un Rodamiento
 - 2.3. Fallas comunes en rodamientos
 - 2.4. Chancador de Mandíbulas TRIO
 - 2.5. Componentes de chancador de mandíbula
 - 2.6. Chancador de Cono
 - 2.7. Sentido de giro transmisión
 - 2.8. Harnero Horizontal TRIO
 - 2.9. Harneros Horizontales Planta Empréstitos
 - 2.10. Harnero Primario
 - 2.11. Diagrama de bloques planta empréstitos
 - 2.12. Flow sheet Planta Empréstitos

CAPITULO 1: INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

La industria minera está volviendo a presenciar inversiones en proyectos nuevos, así como en expandir los ya existentes. Luego de pasar una situación compleja por los bajos precios del cobre, el proyecto de continuidad operacional de Minera Candelaria 2030, sigue en curso con el fin de extender la vida útil de este yacimiento minero.

Minera Candelaria depende de la construcción del nuevo tranque de relaves. Los diques para poder seguir procesando la materia prima extraída de la mina a cielo abierto y obtener como producto su concentrado de cobre, el cual va de la mano con los desechos de relaves. Para esto Minera Candelaria ha instalado una planta semimóvil la cual es la encargada de producir material de construcción (áridos), el cual será ocupado en el muro del tranque de relaves.

Dado que este proyecto es de gran escala, la cantidad de material a ocupar en esta construcción es alta, por lo que la nombrada “planta empréstitos” opera 12 horas diarias para dar abasto con el material necesario. Es por esto que los equipos de mayor desgaste e importancia son las trituradoras y harneros por su función y posición en este proceso productivo.

Es indispensable que los equipos se encuentren en buen funcionamiento, por lo cual buscar técnicas que puedan facilitar las tareas de mantenimiento es de gran importancia. Esto crea la necesidad de la elaboración de un plan de mantenimiento el cual esté bien confeccionado tanto en planificación como la mantención en sí, asegurando una vez puesto en marcha los buenos resultados que se verán reflejados en producción y en horas de detenciones, este plan está enfocado a los equipos críticos de la planta los cuales se categorizan de tal manera por previos análisis realizados.

OBJETIVOS

○ **OBJETIVO GENERAL**

Realizar el estudio de un plan matriz de mantenimiento, como propuesta aplicable a equipos críticos de Planta Empréstitos de Minera Candelaria y plantas de áridos similares.

○ **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Realizar levantamiento completo del proceso de planta empréstitos y sus características.
2. Elaborar un análisis de criticidad a modo de clasificación de activos en el proceso de planta empréstitos y un análisis de modos y efectos de falla para cada equipo crítico.
3. Establecer propuesta de plan matriz de mantenimiento para equipos clasificados como críticos en base a los análisis realizados a Planta empréstitos.

METODOLOGÍA

- **Objetivo específico 1:**

Para realizar el levantamiento de planta empréstito se efectuará caminata por toda el área dispuesta una vez en detención el proceso, un listado de equipos comparándolo con el plano general, además de un diagrama de bloques general de los subprocesos de la planta y un diagrama de flujo del proceso de reducción de tamaño realizado por Planta Empréstitos.

- **Objetivo específico 2:**

El análisis de criticidad se realizó en base al libro “Organización y gestión integral de mantenimiento” del autor Santiago García Garrido, siendo éste un análisis cualitativo, se adoptó a uno cuantitativo, con el fin de clasificar los activos. Además, se realizará un Análisis de modos y efectos de falla (AMEF) para cada equipo clasificado como crítico.

- **Objetivo específico 3:**

En base al análisis AMEF y las pautas de mantenimiento establecidas, se propondrá un plan matriz de mantenimiento, agrupando los equipos críticos en sistemas, y utilizando recursos y frecuencias al mínimo, con el fin de que esta propuesta sea aplicable en su totalidad por la empresa.

- **REQUERIMIENTO PRINCIPAL**

El departamento de Planificación-Mantenimiento de Minera Candelaria ha solicitado realizar un plan de mantenimiento para los equipos (activos) de la planta semimóvil de empréstitos (planta de áridos), instalación auxiliar encargada de producir material de construcción (empréstito, grava, gravilla). El material antes mencionado es utilizado para la construcción del nuevo depósito de relaves de minera candelaria, quien depende de este depósito para poder continuar produciendo, ya que los desechos (relaves) de su proceso productivo principal van de la mano con la obtención del producto mismo (concentrado de cobre).

Conociendo el poco tiempo de uso que tienen estos equipos, el plan de mantenimiento deberá ser de carácter preventivo-predictivo para así asegurar el óptimo funcionamiento y disponibilidad de equipos en el tiempo que ésta planta esté operando. El plan matriz a desarrollar en este estudio abarcará los equipos críticos de la planta.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La minera Candelaria, en su proyecto de continuidad operacional presenta su condición principal, que es la construcción del muro filtro del nuevo tranque de relaves la cual se llevara a cabo gracias al material de construcción producido por la planta empréstitos.

Es por esto que nuestra planta semimóvil debe estar operativa la mayor parte del tiempo en operación y con producción, para lograr esto toda planta debe tener un mantenimiento programado, un plan para ir previniendo y solucionando problemáticas que se van presentando en operación tanto como en detención. Este “Plan de mantenimiento” no existe hasta el momento por lo que se genera una problemática, la cual es no tener respaldo a la hora de una falla o parada de planta en términos correctivos y de no claridad en la planificación y programación del mantenimiento de la planta en términos preventivos.

Como esta instalación es prácticamente nueva, se debería iniciar con un levantamiento de información para tener todo lo necesario, y comenzar a estudiar y preparar las tareas de mantención necesarias. En base a esto se buscará establecer un plan de mantenimiento, para aumentar la confiabilidad de los equipos gracias a tareas programadas, las cuales deben establecerse en frecuencias bien planificadas, siempre con el fin de que se vea reflejado en una óptima operación y buena producción, sin detenciones no deseadas, cumpliendo con lo solicitado por el proyecto de construcción.



Figura 1-1 Planta Empréstitos, vista aérea.

Fuente: Minera Candelaria

1.1 LA EMPRESA

Minera Candelaria es la empresa chilena que opera la mina de cobre del mismo nombre, ubicada en la comuna de Tierra Amarilla, a 29 kilómetros al sur de Copiapó, en la región de Atacama. La operación minera consiste en una mina a cielo abierto y dos minas subterráneas y sus instalaciones comprenden una planta de trituración, un concentrador y el puerto Punta Padrones. La mina fue descubierta en 1987 como un depósito de cobre, oro y óxido de hierro, y comenzó a operar en 1993.

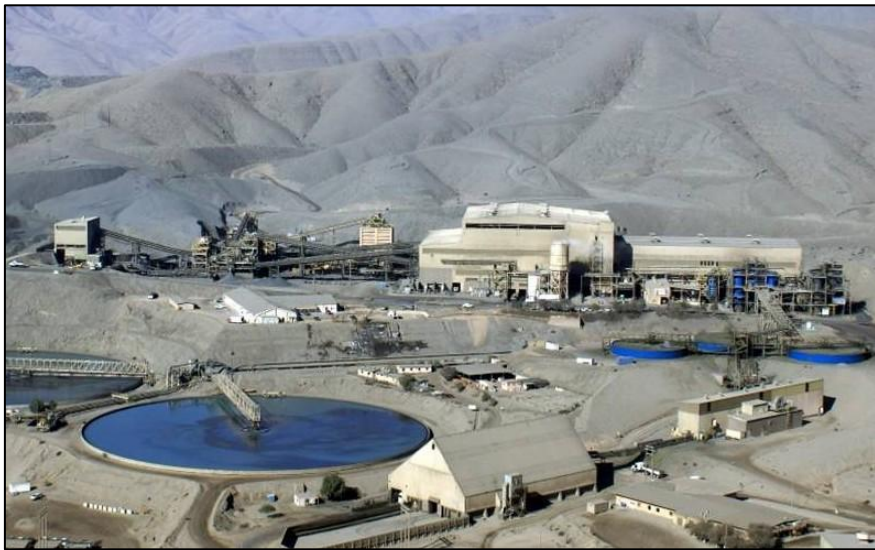


Figura 1-2 Planta Concentradora Minera Candelaria.

Fuente: Minera Candelaria

Minera Candelaria es una de las operaciones de Lundin mining, empresa canadiense de extracción de metales con acciones en Chile, Estados Unidos, Portugal y Suecia, que produce principalmente cobre, níquel y zinc. Además, Lundin Mining tiene una participación indirecta del 24 por ciento en el negocio Freeport Cobalt Oy, que incluye una refinería de cobalto ubicada en Kokkola, Finlandia.

ANTECEDENTES GENERALES

○ **Continuidad operacional**

Compañía Contractual Minera Candelaria (CCMC) está desarrollando su “Proyecto Depósito de Relaves (DR) Los Diques”, con el objetivo de asegurar la disposición de los relaves provenientes de la explotación y procesamiento de los minerales de sulfuros de cobre de su mina Candelaria. El nuevo DR Los Diques, podrá almacenar hasta 600 millones de toneladas de relaves y permitirá la continuidad de las operaciones de su mina de cobre y de su Planta concentradora de sulfuros de cobre, ubicadas en la III Región, comuna de Tierra Amarilla, hasta el año 2030 posterior al término de la vida útil del DR Candelaria existente, a fines del año 2018.

De acuerdo a lo anterior, para la construcción de este nuevo depósito de relaves, se ha instalado una planta semi-móvil en las dependencias de la empresa, instalación auxiliar productora del material de construcción, empréstitos (gravilla), el cual se caracteriza por una determinada granulometría y humedad, siendo apto para la construcción del muro de este nuevo depósito.

La “planta empréstitos”, dispone de distintos equipos los cuales son relativamente nuevos, como se explica en la sección Requerimiento principal, es necesario crear un plan de mantenimiento para estos equipos con el fin de alargar la vida útil y lograr que estén en óptimas condiciones para el correcto funcionamiento de la planta.

El presente trabajo de título se acota a generar el plan matriz de mantenimiento para los equipos de críticos, abarcando la trituradora de mandíbulas, la trituradora de cono, harneros, los cuales se consideran de mayor importancia por su ubicación en el proceso productivo y la función misma de ellos.

- **Planta concentradora de minera Candelaria**

Producto

La planta concentradora de Minera Candelaria, con una capacidad de 75.000 toneladas por día, es la encargada de producir concentrado de cobre con un 9% de humedad en promedio, el cual es vendido a nivel nacional e internacional en donde es nuevamente procesado para obtener cobre en forma de placas y/o lingotes.

Ubicación

La empresa Minera Candelaria Lundin Mining, se ubica en el interior Puente Ojanco Nuevo s/n, kilómetro 9 ruta C-397, Tierra Amarilla, Copiapó, Chile



Figura 1-3 Imagen satelital Minera Candelaria.

Fuente: Google maps.

PROCESO PRODUCTIVO DE LA CONCENTRADORA

Produce en su planta principal, concentrado de cobre obtenido gracias a un proceso físico-químico en donde el mineral pasa por distintas etapas para lograr obtener desde el yacimiento, el producto antes mencionado.

- **Fases principales del Proceso productivo**
 - Chancado, el mineral proveniente de la mina presenta una granulometría variada, desde partículas de menos de 1 mm hasta fragmentos mayores que 1 m de diámetro, por lo que el objetivo del chancado es reducir el tamaño de los fragmentos mayores hasta obtener un tamaño uniforme máximo de ½ pulgada (1,27 cm).
 - Molienda, en esta fase se continúa reduciendo el tamaño de las partículas que componen el mineral, para obtener una granulometría máxima de 180 micrones (0,18 mm), la que permite finalmente la liberación de la mayor parte de los minerales de cobre en forma de partículas individuales.
 - Flotación, permite la separación de los minerales sulfurados de cobre y otros elementos como el molibdeno, del resto de los minerales que componen la mayor parte de la roca original.
- Relaves, corresponde al residuo, mezcla de mineral molido con agua y otros compuestos, que queda como resultado de haber extraído los minerales sulfurados en el proceso de flotación. Este residuo, también conocido como cola, es transportado mediante canaletas o cañerías hasta lugares especialmente habilitados o tranques, donde el agua es recuperada o evaporada para quedar dispuesto finalmente como un depósito estratificado de materiales finos (arenas y limos).

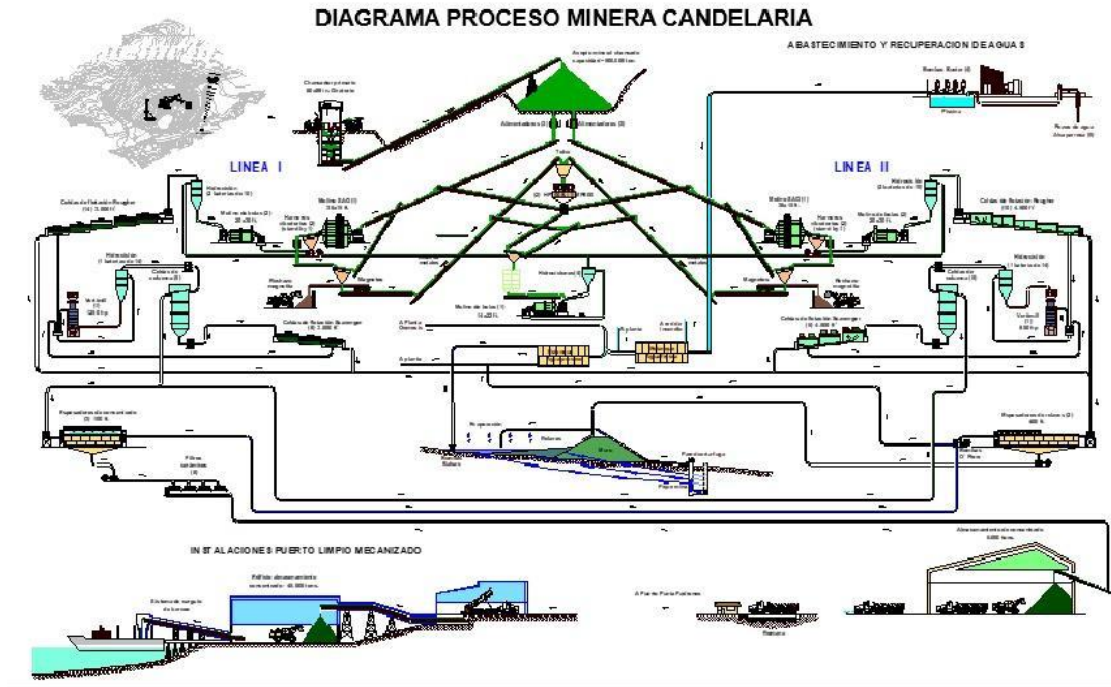


Figura 1-4 Diagrama de flujo concentradora Candelaria

Fuente: Minera Candelaria

En este proceso productivo, así como en otros, además del producto se obtienen residuos, conocidos como relaves en la industria minera, los cuales deben depositarse en un lugar que cumpla con normas medioambientales y ciertos requerimientos técnicos.

En minera candelaria se está construyendo el segundo tranque de relaves “Los diques”, mencionado anteriormente, para seguir procesando mineral obteniendo concentrado como producto.

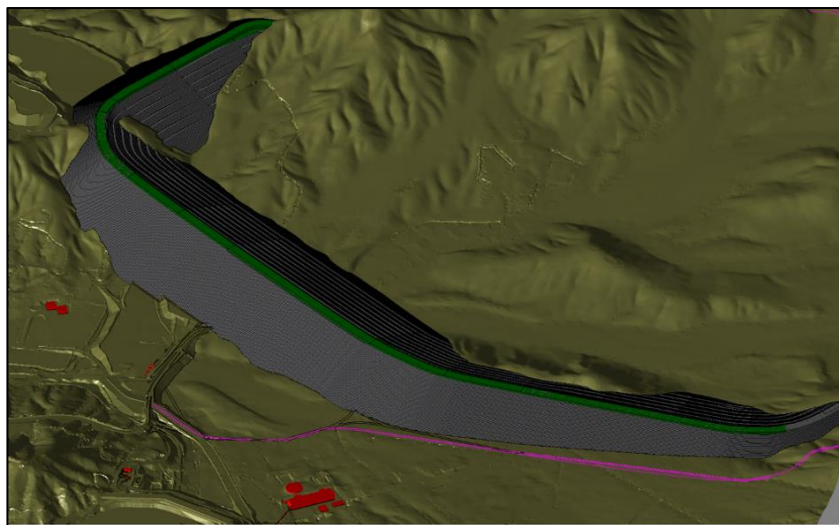


Figura 1-5 Simulación muro tranque de relaves.

Fuente: Oficina de proyectos, Minera Candelaria

FUNCIONAMIENTO PLANTA EMPRESTITOS

○ Planta Empréstitos

Planta trituradora de material estéril extraído del rajo mina, el cual es procesado por dos chancadores y clasificado en tamaño por harneros. Transportado por medio de correas transportadoras entre equipos y para ser apilados disponiendo de un stock.

Esta planta está dividida en 3 áreas:

- Área 1: Chancado Primario y Secundario
- Área 2: Separación de finos
- Área 3: Separación de ultrafinos y aguas

En el área 1, encontramos equipos mecánicos como (1) alimentador, (1) Chancador de mandíbulas, (1) Harnero clasificador y (1) chancador de cono. En el área 2, se encuentra (1) tolva distribuidora, (2) harneros lavadores, (2) lavadores de finos, (2) apiladores móviles. En el área 3, se encuentran (2) harneros desaguadores, (1) ciclón de ultrafino y (1) clarificador.

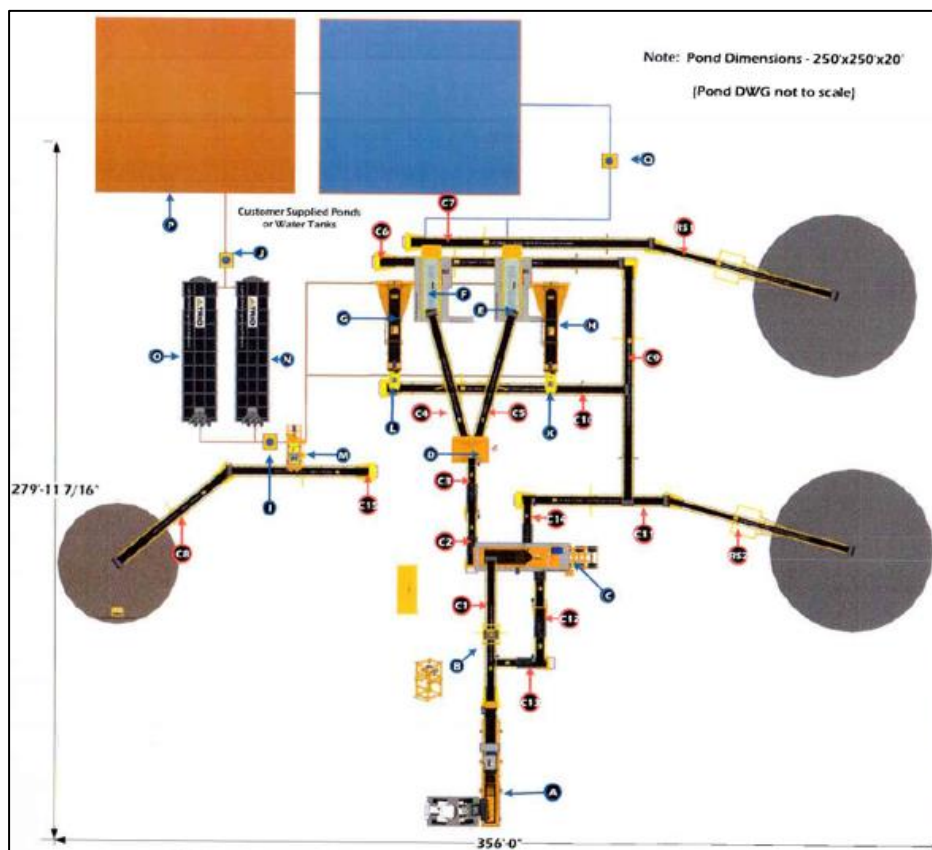


Figura 1-6 Diseño Planta empréstitos

Fuente: Oficina de proyectos, Minera Candelaria

Criterios de diseño - producción de 5000 mtph (agregado)

- ✓ El material de alimentación se cargará a la tolva alimentadora (F001), la que se ubica encima de un alimentador vibratorio tipo grizzly modelo TF5220, que a su vez alimenta una chancadora de mandíbulas (J001) ubicada sobre el mismo chasis. El material menor a 3" pasará por la chancadora de mandíbulas y por los dedos del alimentador vibratorio grizzly. Los materiales mayores a 3" se procesarán por la chancadora de mandíbulas, lo que contará con una configuración de lado cerrado (CSS, por su sigla en inglés) de 2". Todos los materiales se acumularán en la correa transportadora por debajo de la chancadora y se descargarán por el frente de la planta chancadora de mandíbulas portátil. Todos los materiales deben ser reducidos a aproximadamente 4" (100 mm) x 0.
- ✓ Los materiales producto de la planta chancadora de mandíbulas portátil son transportados a la planta de Harnero (S001) y de cono (C001) portátil.
- ✓ El harnero modelo TTH6203 (S001) se alimenta por la chancadora de mandíbulas, con el sobre tamaño alimentando a la chancadora de cono (C001); se combinan los materiales del nivel 2 y del nivel 3 del harnero como un producto de 2"x3/8". El producto de 3/8"x0 de este harnero se transporta a la tolva pulmón para su posterior lavado. Los materiales procesados por el cono (C001) se descargan y se transportan por correas de vuelta al transportador de alimentación del harnero, lo que forma un circuito cerrado.
- ✓ El producto 3/8"x0 llega a la tolva pulmón divisor (SB001) donde el material se distribuye uniformemente a dos (2) transportadores de alimentación del harnero.
- ✓ El material 3/8"x0 se lava y se harnea [harneros modelo TTH8203 (S002) y TTH8203 (S003)]. El 60% del sobre tamaño del piso medio y superior, y el 90% del sobre tamaño del piso inferior se transportan hacia la pila de producto fino. El 40% del sobre tamaño restante del piso medio y superior, y el 10% del sobre tamaño restante del piso inferior se transportan a la pila de producto grueso. Los porcentajes pueden ser ajustados a través de las compuertas de mezcla o a través de cambios en las mallas.
- ✓ El material que pasa por el piso inferior se entrega a la tolva de colección que alimenta las lavadoras de material fino; modelo TSW6636 (SW001 & SW002). El material se separa por un proceso de corriente ascendente hidráulico/mecánico (con los finos - 100x0 lavados sobre el rebosadero) y el material #16x+100 se lava en una lavadora de arena tipo tornillo. La gradación del material puede ser modificada por la velocidad del tornillo de arena y también por un aumento o reducción de la presión de agua en el proceso de corriente ascendente.

- ✓ Se bombean los finos que se alivian por el rebosadero (“weir fines”) (-100x0) a la unidad de recuperación de material ultrafino, modelo TCP150. Se realizará un corte con un harnero N° 200 en la planta TCP. Los materiales +200 se transportarán a la pantalla de extracción de agua y luego se depositarán en el depósito de residuos. El material -200 x0 se destinará al clarificador.
- ✓ La lavadora de material fino (SW001 & SW002) descarga la arena lavada de #16 x+100 a la pantalla de extracción de agua modelo DW5521 (DW001 & DW002). Los productos finos deben tener menos del 13% de humedad al momento de ser almacenados. La arena desaguada se combina con agregados finos lavados, y se transporta y se apila con un apilador telescópico (“Telestacker”) de 36”x150’, modelo TS36-150 (TS001).
- ✓ El agua recuperada de las pantallas de extracción de agua (DW001 & DW002) se bombea al sistema de recuperación de material ultrafino de la planta TCP150, llevando a cabo el proceso indicado en sección 7.
- ✓ Los finos de desecho del sistema de recuperación de material ultrafino (planta TCP150), se bombean a los tanques clarificadores PUHC modelo TPH 4600 (CL001 & CL002). Se agregan floculantes a lodo de finos de desecho dentro del tanque, los finos coagulan y descienden hasta el fondo de éste. El agua fresca se separa en los rebosaderos ubicados a lo largo de la parte superior del tanque. Dicha agua se transporta a la piscina (recomendablemente cubierta) o a un tanque de almacenamiento del CLIENTE. Los finos de desecho se acumulan al fondo del tanque clarificador y se transportan vía tornillo al cono de descarga. El cono es equipado con un manómetro y cuando se alcanza el punto consignado, se inicia la bomba de lodos y los finos espesados se bombean hacia la piscina de almacenamiento de residuos.

CAPITULO 2: DESARROLLO Y SOLUCIÓN

MARCO TEÓRICO

○ MANTENIMIENTO

El mantenimiento se define como la combinación de actividades mediante las cuales un equipo o un sistema se mantienen, 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. Las inconsistencias en la operación del equipo de producción dan por resultado una variabilidad excesiva en el producto y, en consecuencia, ocasionan una producción defectuosa. Para producir con un alto nivel de calidad, el equipo de producción debe operar dentro de las especificaciones, las cuales pueden alcanzarse mediante acciones oportunas de mantenimiento. Un sistema es un conjunto de componentes que trabajan de manera combinada hacia un objetivo común. El mantenimiento puede ser considerado como un sistema con un conjunto de actividades que se realizan en paralelo con los sistemas de producción.

○ OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO

La responsabilidad fundamental del Mantenimiento es contribuir al cumplimiento de los objetivos de la empresa o entidad la cual forma parte. Para ello, los objetivos del Mantenimiento deben establecerse dentro de la estructura de los objetivos generales de la empresa.

Los objetivos del Mantenimiento son:

- Maximizar la disponibilidad de la maquinaria y equipo necesario para la actividad productiva
- Preservar o conservar el “valor” de la planta y de su equipo, minimizando el desgaste y el deterioro.
- Cumplir estas metas, tan económicamente como sea posible.
- La acción del Mantenimiento para cumplir estos objetivos, se genera a través, del desempeño de un cierto número de actividades o funciones que se pueden dividir en dos grupos:

FUNCIONES PRIMARIAS

- Mantenimiento del equipo. Incluye: Reparaciones, revisiones mantenimiento preventivo y reconstrucción.
- Mantenimiento de edificios

- Lubricación.
- Generación y distribución de servicios: Energía eléctrica, vapor, aire, agua potable, etc.
- Cambios de equipos y edificios.
- Desarrollar una efectiva planeación y programación de los trabajos de Mantenimiento.
- Seleccionar y entrenar personal calificado para llevar a cabo las responsabilidades y deberes del Mantenimiento.

FUNCIONES SECUNDARIAS

- Asesores en la compra de nuevos equipos y procesos, con el propósito de asegurar que ellos cumplan los requerimientos de Mantenimiento.
- Iniciar las requisiciones de herramientas, materiales de mantenimiento, repuestos y equipo necesario para la actividad de mantenimiento.
- Preparar y realizar estudios de reposición de repuestos para la maquinaria y equipo de producción. Revisar los puntos de reposición, inventarios mínimos etc.
- Manejar los almacenes de repuestos.
- Supervisor y/o ejecutar las labores en limpieza y recolección de basuras y desperdicios.
- Administración y/o colaboración en la administración de la seguridad industrial.
- Contabilidad e inventario de los activos.

Control de la contaminación: ruido, polvos, desechos.

○ **TIPOS DE MANTENIMIENTO**

Existen diferentes tipos de mantenimiento, siendo la comparación de los logros o beneficios obtenidos de ellos el mejor camino para definir su aplicabilidad. Así, se hace una división de los diferentes tipos de mantenimiento, distintos en cuanto a forma, no así en sus fines: lograr resultados que abatan los costos. Se pueden clasificar en:

- Mantenimiento correctivo
- Mantenimiento preventivo
- Mantenimiento predictivo

○ **Mantenimiento correctivo**

El mantenimiento correctivo, como su nombre lo indica se refiere a corregir una falla en cualquier momento que se presente, este está basado en la falla ya que esta indica que se le debe de proporcionar el mantenimiento. Lo que se quiere lograr es corregir el

problema lo más rápido posible con el menor costo, sin embargo, el servicio fue afectado sin previo aviso lo cual puede generarse presión por otros departamentos.

Dependiendo de la complejidad del equipo, así como la antigüedad del mismo, el mantenimiento irá incrementándose, por la existencia de un mayor desgaste en función del tiempo, lo que traería como consecuencia un mayor número de paros y un mayor número de personal encargado de este.

Cuando se presenta este tipo de problema existen varias etapas que se llevan a cabo:

- Identificación del problema
- Determinar las distintas alternativas de reparación.
- Determinar las ventajas de cada una de las alternativas y elegir la óptima.
- Planear la reparación con personal, material y equipo disponible.
- Supervisar las actividades
- Clasificar y archivar.

Atributos:

- Bajo costo en la planificación, ya que es mínima o nula.
- No se requiere de una inversión.
- Volumen reducido de stock
- Poco personal cuando la maquinaria es reciente.

Desventajas:

- Personal de producción inactivo
- Máquinas ociosas.
- Los repuestos en inventario no existen muchas de las veces por falta de información, por lo tanto, una mayor demora.
- Una mayor presión hacia el personal que labora en el mantenimiento, especialmente si existe incentivos por producción.
- Las normas de seguridad no se aplican muchas veces, poniendo en peligro la vida de las personas.
- La calidad del producto se verá seriamente afectada.

Sin embargo, hay que mencionar que el mantenimiento correctivo es inevitable aún se halla implementado un mantenimiento preventivo, ya que siempre existen fallas no previstas.

○ **Mantenimiento preventivo**

El mantenimiento preventivo como su nombre lo indica, prevenir al máximo, las fallas que se puedan generar detectándolas con anterioridad, básicamente son todas aquellas actividades que conllevan a revisiones e inspecciones programadas, que pueden tener una consecuencia correctiva o de cambio. El mantenimiento se hace a través de un programa de actividades entre las cuales tenemos la revisión y lubricación, previamente establecidas. Para un mantenimiento preventivo es necesario contar con el apoyo de todo el personal dentro de la empresa para poder planificarlo adecuadamente, es de suma importancia mencionar, que la base del mantenimiento preventivo, está en función del tiempo. Es necesario que se lleve un control, lo cual indica un análisis detallado de cada una de las actividades y del estricto cumplimiento de éstas; el control nos ayuda a comprobar que lo planeado se está llevando a cabo; en caso de que se presente una anomalía esta se puede corregir.

Una de las ventajas de mantenimiento preventivo es que se sabe con anticipación qué es lo que se debe de hacer, ya que se dispone de personal, documentos técnicos y repuestos. Los trabajos pueden ser programados a futuro sin afectar las actividades de producción y se dispone de tiempo para realizar todas las tareas que no se pueden hacer cuando el equipo está en funcionamiento.

Dentro de los enfoques preferidos, frente al mantenimiento correctivo, encontramos cuatro razones principales:

- La frecuencia con que ocurren las fallas prematuras pueden reducirse, mediante una lubricación adecuada, limpieza, ajustes, inspecciones promovidas por la medición del desempeño.

- Si la falla no puede prevenirse, la inspección y las mediciones periódicas pueden ayudar a reducir la severidad de la falla y el posible efecto dominó en otros componentes del sistema del equipo, mitigando de esta forma las consecuencias negativas para la seguridad, el ambiente o la capacidad de producción.

- Se puede vigilar la degradación gradual en función a un parámetro, como la calidad de un producto o la vibración de una máquina, puede detectarse el aviso de una falla inminente.

- Finalmente hay importantes diferencias en costos tanto directos

(Ejemplo, materiales) como indirectos (pérdidas de producción) debido a que una interrupción no planeada a menudo provoca un gran daño a los programas de producción y a la producción misma, y debido también a que el costo real de un mantenimiento de emergencia es mayor que uno planeado y a que la calidad de reparación puede verse afectada de manera negativa bajo la presión de una emergencia.

○ **Mantenimiento predictivo**

Para llevar a cabo este mantenimiento es necesario realizar mediciones mediante ensayos no destructivos. Los instrumentos utilizados para realizar este tipo de mantenimiento son de un alto costo, sin embargo hay que destacar que la mayoría de las inspecciones se realizan con el equipo en funcionamiento y sin causar paros en la misma.

La aplicación de este mantenimiento se presenta en los quipos que ponen en peligro la integridad del personal o puedan causar daños mayores.

Dentro de los instrumentos de mayor prioridad encontramos:

- De desgaste: espectrofotómetro de absorción atómica, este se puede aplicar sobre los aceites y proporcionan información de un excesivo desgaste de material.
- De espesor: con ultrasonido.
- De fracturas: partículas magnéticas, rayos X, ultrasonido, corrientes parásitas o tintas reveladoras.
- De ruido: con decibelímetros.
- De vibraciones: medidores de amplitud, velocidad y aceleración.
- De temperatura: termografía.

El mantenimiento predictivo se utiliza como información para un adecuado programa de mantenimiento preventivo.

○ **MANTENIMIENTO PREVENTIVO PROGRAMADO**

Las acciones de carácter pro-activo tienen como finalidad aumentar la disponibilidad de los activos industriales a través de la disminución de paradas no programadas. El mantenimiento preventivo pertenece a este grupo y tiene la característica de aprovechar el momento más oportuno para intervenir los equipos maximizando su eficiencia. Si la planificación es adecuada, es posible preparar piezas, herramientas, repuestos e insumos para su mantenimiento.

Sin embargo y como se verá oportunamente, si no se realiza un análisis técnico-económico adecuado y se aplica un Mantenimiento Preventivo deliberadamente, pueden incrementarse sustancialmente los gastos de estos sin obtener, como mejoras en la confiabilidad y la disponibilidad.

Mediante esto forman parte de sus tareas se encuentran la sustitución periódica de partes, restauración e inspección de equipos, limpieza, lubricación y calibración de instrumentos, entre otros.

Esto se lleva a cabo a intervalos fijos de tiempo, horas de marcha, ciclos, volumen de producción, etc. Estos intervalos deben estimarse con la mayor exactitud posible y no debiera importar el estado particular del elemento a sustituir o restaurar al momento de realizar el trabajo. Normalmente es necesario que la instalación se encuentre fuera de servicio. Si el efecto de los modos de falla que se pretenden evitar no compromete la seguridad, se deberá entonces evaluar el beneficio económico que de su aplicación se espera obtener.

○ **Alcance y definición**

Este tipo de mantenimiento es de tipo planificado que incluye intervenciones programadas para la reparación del ítem o el cambio de sus componentes a intervalos fijos, sin importar su estado de condición al momento de realizar la tarea. Es vital la información que nos transmite el componente, pues permitirá optimizar y ajustar el mantenimiento para futuras intervenciones. Aprovechando el momento más oportuno para detener la producción, las tareas preventivas permiten una mejor planificación de los recursos prolongando el tiempo libre de falla. Se minimizan, además los riesgos en materia de seguridad operacional debido a que las acciones correctivas de emergencia aumentan notablemente la probabilidad de accidentes o incidentes. De la misma manera, y con buena planificación, ayuda al cuidado del medio ambiente.

Se deberá tener en claro la dimensión de la vida útil, pues todos los reemplazos realizados prematuramente es vida útil desperdiciada imposible de recuperar.

Dentro del plan de mantenimiento preventivo se pueden encontrar:

- Reemplazo de equipos, subconjuntos, componentes o piezas: transcurrido cierto intervalo algunos elementos denotan desgaste natural o fatiga, lo que conduce a un aumento importante de su probabilidad de falla. Se manifiesta fundamentalmente en componentes mecánicos móviles expuestos a corrosión, erosión, oxidación o ciclos térmicos de importancia.

La sustitución del equipo a su estado original, se logra a través del reemplazo de sus partes.

- Conservación, revisión o restauración de componentes: al igual que el reemplazo de componentes las acciones de conservación periódica se consideran rutinas de mantenimiento preventivo y consisten en controlar o revisar en forma programada los equipos para llevarlos a su estado de condición básica original. Generalmente requiere el desmontaje, desarme e inspección del sistema.
- Rutinas de inspección y chequeos de recorrido: no incluyen reemplazos ni restauraciones programadas, pero se integran a un plan de mantenimiento

preventivo porque representan acciones concretas para la conservación de la condición básica y para corregir defectos. Su costo de realización es bajo frente a los beneficios que se obtienen

- **Calibración:** el ajuste de parámetros en los instrumentos de proceso valiéndose de patrones, se denomina calibración. Es una acción de MP que contempla, medir, controlar y ajustar los parámetros de proceso de acuerdo a patrones certificados. Estas rutinas permiten asegurar que los estándares de calidad solicitados se ajusten a las normativas vigentes.

Las tareas de mantenimiento preventivo son acciones periódicas tendientes a prolongar el tiempo libre de fallas inesperadas, defectos o desviaciones en las variables de proceso.

Los objetivos del mantenimiento preventivo se pueden resumir en los siguientes puntos:

- Aumentar disponibilidad de activos industriales a través de la disminución de las detenciones no programadas.
- Minimizar las averías imprevistas de los equipos.
- Mejorar el aprovechamiento de la mano de obra por medio de la programación de tareas.
- Mejorar la calidad de productos y servicios
- Disminuir el riesgo para el personal en las operaciones de producción y mantenimiento.
- Minimizar los gastos debido a reparaciones de emergencia.
- Disminuir el impacto ambiental por medio de una mejor planificación de las tareas.

○ **Programación y planificación**

El mantenimiento preventivo consiste en intervenir cíclicamente los equipos, transcurrido cierto tiempo calendario, horas de marcha, distancia recorrida, ciclos de operación u otra unidad de medida relacionada con el mecanismo de degradación. Siendo que es necesario detener la marcha de los equipos (excepto cuando se trata de rutinas de inspección dinámicas), la preparación anticipada planificación es la clave para evitar tanto pérdidas de tiempo como pérdidas económicas.

○ **Rutinas de inspección**

Un plan de mantenimiento preventivo no solamente contempla el reemplazo o restauración sistemática de partes, sino que también incluye rutinas de inspección o chequeos de recorrido. Se trata de un servicio caracterizado por la alta prioridad y la corta duración, normalmente utilizando los sentidos humanos y sin ocasionar la indisponibilidad del equipo. Si finalidad es identificar defectos o anomalías evidentes

como vibración, suciedad, pérdidas, ruidos, variables de proceso fuera de estado, etc. En algunas oportunidades lo realizan los propios operadores de la maquina (mantenimiento autónomo), a partir de la transferencia y programación desarrollada por el departamento de mantenimiento. Esto debe alinearse con un plan de capacitación, desarrollo y control permanentemente debido a su corta duración exige controles simplificados y su procesamiento ofrece una gran contribución al diagnóstico del estado de los equipos y a la conservación de su condición básica de funcionamiento.

Conocidas como inspecciones rutinarias, se llevan a cabo en lapsos de tiempo determinados, diseñando y analizando detenidamente los aspectos técnicos a verificar, las condiciones prácticas de aplicación y la seguridad del personal involucrado.

Una hoja de ruta de inspección debe especificar claramente cada punto y contar con una descripción de fácil comprensión. Además, deberá indicar las variables a monitorear, el desvío esperado, la frecuencia de realización y cómo actuar en caso de encontrar dicha variable fuera de su estado satisfactorio.

○ **Frecuencias de rutinas de inspección**

Las rutinas de inspección pueden ser diarias, semanales, mensuales y hasta discrecionales. Las diarias incluyen el monitoreo de variables de proceso para indicar algún defecto incipiente en el equipo. Muchas de estas variables identifican fallas potenciales (sintomáticas) sobre el activo. Si bien son las más útiles a la hora de descubrir anomalías, producen mayor acostumbramiento, por lo que la selección de cada punto debe realizarse junto al ejecutor de la rutina asegurando el mayor beneficio en el mantenimiento del equipó.

Las rutas de periodo semanal son similares a las anteriores, pero contienen tareas tendientes a descubrir modos de falla que pueden tener consecuencias habiendo transcurrido más de una semana de sucedido. En algunas oportunidades se requiere que el equipo se encuentre fuera de servicio.

Las mensuales agrupan acciones más específicas y demandan mayor grado de capacitación. Involucran detenciones de equipos, pruebas de estanqueidad, verificación de cortes de emergencia y hasta la limpieza interior de componentes. Puede ser necesario detener la producción y desarmar algún subconjunto.

Al transcurrir algún tiempo sumado a un análisis de los resultados que se obtengan algunas rutinas diarias pueden pasar a semanales, las semanales a mensuales y así sucesivamente, si la situación lo permite.

○ **Rutinas de lubricación**

Las tareas de lubricación son actividades básicas de conservación siempre rentables. Si bien representan un costo dado por el lubricante y la mano de obra utilizada para aplicarlo,

en general es bajo en comparación a los beneficios obtenidos durante cualquier periodo de análisis.

Son el pilar fundamental para un plan integral de mantenimiento preventivo en instalaciones cuyos componentes se encuentra sometido a movimiento y desgaste. La fricción constituye uno de los peores enemigos en contra de los fallos.

Un programa de lubricación persigue eliminar modos de falla específicos con consecuencias graves para los activos, tal como el que puede suceder en una caja de engranajes por falta de aceite. En realidad las fallas suceden por falta de lubricación o por degradación del lubricante.

Una ruta de lubricación es una sucesión de puntos a lubricar o inspeccionar, ordenados según algún criterio establecido (geográfico, lógico, funcional, etc), y quedara respetarse por quien tenga a cargo el trabajo.

- Las rutas de lubricación contemplan las siguientes actividades:
 - Adición o reemplazo de grasas lubricantes
 - Adición, cambios de aceite, filtros o piezas con baja complejidad técnica
 - Controles de nivel y adición
 - Limpieza ajuste de conectores, verificación de depósitos, registro de información, etc.
 - Cualquier tarea de baja complejidad vinculada a la lubricación de componentes.

- **Frecuencias para rutinas de lubricación**

Se deberá escoger la que más se adapte al régimen de marcha de los componentes.

Identificando y separando aquellos puntos para los cuales una sobre lubricación es perjudicial, la estimación de la frecuencia se establece en base a la experiencia del personal técnico, el estudio teórico de las posibles fallas, recomendaciones del fabricante del equipo o del lubricante, los datos de componentes con características similares. Recordar que las averías prematuras en cadenas de transmisión, arrastre o sincronización, se dan por una elección inadecuada del lubricante o por un periodo de lubricación incorrecto. Para aquellos puntos en los que la frecuencia y la cantidad de lubricante deben respetarse estrictamente (generalmente vinculada a horas de marcha), se recomienda establecer una ruta de lubricación específica.

Para el caso de lubricación por grasa de rodamientos, la frecuencia de re engrase dependerá de:

- Tamaño del rodamiento
- Velocidad de giro
- Carga aplicada
- Temperatura de operación y nivel de humedad
- Tipo de grasa

**DETERMINAR QUE UN EQUIPO REQUIERE MANTENIMIENTO
PREVENTIVO.**

Debemos saber que no resulta económicamente conveniente que todos los equipos sean sometidos a un plan de mantenimiento preventivo.

Básicamente se debe a que existen algunos equipos en que esto resultaría sumamente costoso. A estos equipos es mejor someterlos a un seguimiento o mantenimiento periódico y en peor de los casos considerables a un plan de mantenimiento correctivo, pero es necesario considerar y tomar en cuenta la siguiente información:

- Uso y tipo de equipo.
- Importancia dentro de la producción.
- Importancia de la calidad del producto final.
- Tamaño y complejidad del equipo (posibilidad de contratar el mantenimiento).
- Costo del equipo vs. costo del mantenimiento.
- Costo de reemplazo vs. costo de mantenimiento.
- Recursos humanos y económicos.

○ **Pasos previos a la elaboración de un programa de mantenimiento**

Para asegurar el éxito inicial en instrumentación de un programa de mantenimiento preventivo es necesario que se adelanten algunos trabajos técnicos-administrativos

¿Cuáles son los equipos a mantener?

¿En qué estado se encuentran?

¿Qué tareas de mantenimiento hay que realizar

PASOS A SEGUIR:

- a) Crear y mantener un inventario técnico.
- b) Verificar el estado de funcionamiento de los bienes a mantener y poner al día los equipos, en caso necesario, en instrumentar rutinas y frecuencias.

c) Basarse en lo posible, en los manuales que traen los equipos en las recomendaciones de mantenimiento o, en su defecto, utilizar los servicios de personal con experiencia para elaborar los manuales, formatos o lista de revisión periódica a utilizar en la verificación y control tanto de un equipo en particular como de los sistemas. Dichos deben responder lo siguiente:

¿Qué hacer?	Identificar la tarea
¿Cómo hacerlo?	El procedimiento a seguir
¿Cuándo hacerlo?	La frecuencia que se debe aplicar
¿En qué tiempo?	Tiempo estándar o rendimiento esperado
¿Con que?	Herramientas a utilizar
¿Quién?	Calificación y cantidad de personal

Tabla 2-1 Procedimiento que debería existir al realizar una tarea de mantenimiento.

Fuente: Libro mantenimiento pistareli.

d) Controlar y hacer seguimiento a aspectos como:

- Costos y reparaciones de emergencia.
- Tiempo improductivo por fallas.
- Desperdicio de materia prima.
- Modificaciones ejecutadas a los equipos o sistemas.
- Seguridad del personal involucrado.
- Costo de la mano de obra indirecta.

e) Distribuir el trabajo a realizar en periodos anuales, luego ir detallando las tareas en periodos más cortos: Trimestrales, mensuales, semanales y diarios.

f) Hacer estricto seguimiento al programa para lograr su continuidad. Esto deberá ser responsabilidades del más alto nivel de la organización.

FALLAS DE ELEMENTOS MECÁNICOS POR DESGASTE

En la búsqueda por minimizar los costos de operación y maximizar el rendimiento de maquinarias y/o equipos, el desgaste tiene un papel protagónico. El desgaste es un gran enemigo de muchas de las industrias, ya que con su acción tienden a retirar recursos prematuramente.

El análisis de desgaste es complejo, interviniendo factores como dureza, tenacidad, estructura, composición química, modo y tipo de carga, velocidad, rugosidad de la superficie, distancia recorrida, corrosión presente, etc.

Cualquier evento que incluya fricción tiene dos efectos negativos: el calor y el desgaste. Normalmente, el desgaste no ocasiona fallas violentas, pero trae como consecuencias: reducción de la eficiencia de operación, pérdidas de potencia por fricción, incremento del consumo de lubricantes, eventualmente conduce al reemplazo de componentes desgastados y a la obsolescencia de las máquinas en su conjunto. El desgaste junto con la fricción y la lubricación constituyen los objetivos de estudio de la tribología.

El desgaste puede ser definido como el daño superficial sufrido por los materiales después de determinadas condiciones de trabajo a los que son sometidos. Este fenómeno se manifiesta por general en las superficies de los materiales, llegando a afectar la sub-superficie. El resultado del desgaste, es la pérdida de material y la subsiguiente disminución de las dimensiones y por lo tanto pérdida de tolerancias.

Los mecanismos de daño en los materiales se deben principalmente a la deformación plástica, formación y propagación de grietas, corrosión y/o desgaste

Desde que el desgaste comenzó a ser un tópico importante y que necesitaba estudiado y entendido, comenzaron a parecer libros de diseño e ideas sencillas como prevenir y combatir, dentro de estas ideas están

- ✓ Mantener baja presión de contacto
- ✓ Mantener baja velocidad de deslizamiento
- ✓ Mantener lisas las superficies de rodamiento
- ✓ Usar materiales duros
- ✓ Asegurar bajos coeficientes de fricción
- ✓ Usar lubricantes

○ **GRASAS LUBRICANTES**

Diversas son las aplicaciones que requieren de grasa para reducir el rozamiento y preservar los elementos bajo fricción. Una grasa es un compuesto sólido o semifluido formulado

con un aceite base, un espesante y un conjunto de aditivos. Gracias a la consistencia, se utilizan en lugares abiertos donde resulta imposible contener un aceite. Gran variedad de rodamiento, alojamientos de ejes, cadenas, engranajes, soportes, etc, usan grasa como lubricante.

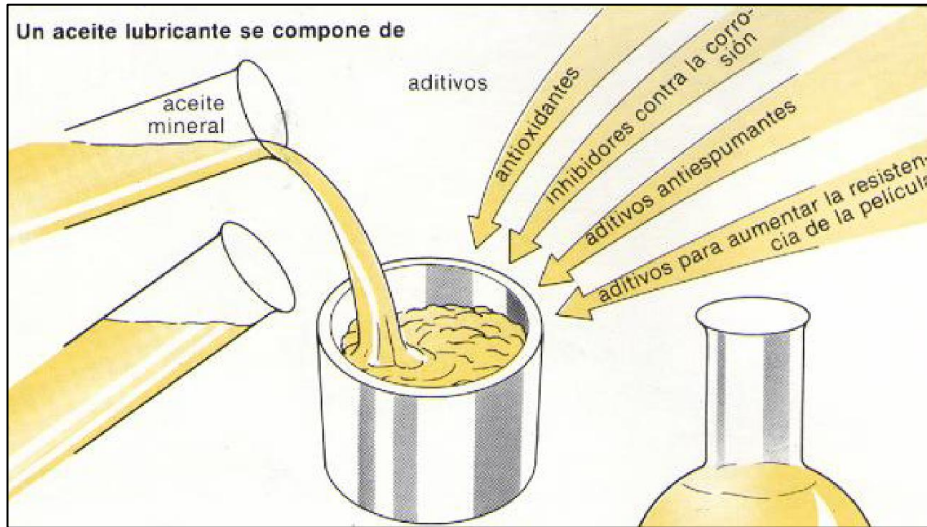


Figura 2-1 Componentes que posee una grasa lubricante.

Fuente: Manual grasas lubricantes

o **Funciones y propiedades de las grasas**

Sus funciones son similares a las mencionadas para los aceites, dentro de las que se destaca la separación de las superficies en contacto altamente cargadas. Deben tener la capacidad de:

- Contar con buen poder lubricante para separar las superficies de contacto
- Resistir a altas temperaturas, agua y contaminantes
- Mantener la consistencia y estabilidad físico-química.
- Poseer buena estabilidad al almacenamiento
- Mantener todas sus propiedades en buen estado durante su tiempo de operación

Sin duda la propiedad más importante de las grasas es la consistencia, esta indica el grado de espesamiento o firmeza que tiene la grasa. La bombeabilidad (capacidad de ser transportada por acción mecánica en sistemas cerrados).

▪ **Formulación y tipos de grasa**

Según se comentó anteriormente las grasas lubricantes contienen:

- Un lubricante líquido (aproximadamente 90%)
- Un espesante (aproximadamente 10%)
- Aditivos similares a los que contiene cualquier lubricante líquido.

- a) **Lubricante líquido:** Los lubricantes líquidos utilizados pueden ser de origen mineral o sintético.

Los de origen mineral son los descriptos cuando nos referimos a las generalidades de un aceite lubricante, solo que deben poseer niveles de viscosidad apropiados para este uso.

En cuanto a los de origen sintético, los más utilizados son:

- b) **Espesantes:** La mayor parte de las grasas se producen espesando un lubricante líquido con un jabón, entendiéndose por jabón el producto de reacción de un ácido graso con un álcali que lo neutraliza.
- c) **Aditivos:** Como ya se mencionó con los aceites lubricantes existen diferentes tipos posibles de aditivos.

- Antioxidantes: Del mismo tipo de los utilizados en los aceites.
- Anticorrosivos: Debido a los lugares a que una grasa está destinada muchas veces se la expone a la contaminación o lavado con agua. Por lo tanto debe contener aditivos que puedan inhibir la corrosión. El agua no solo facilita la corrosión de los metales sino que contribuye a la hidrólisis de los aditivos EP.
- Aditivos de Extrema Presión (EP): Se han dejado de usar los aditivos a base de plomo por razones ambientales.

Aditivos Sólidos: Ciertas aplicaciones requieren que las grasas reciban el agregado de aditivos sólidos (grafito, cobre metálico, zinc y/o plomo, teflón).

1.2 RODAMIENTOS

Es el conjunto de esferas que se encuentran unidas por un anillo interior y uno exterior, el rodamiento produce movimiento al objeto que se coloque sobre este y Este se mueve sobre el cual se apoya.

Los rodamientos se denominan también cojinetes no hidrodinámicos. Teóricamente, estos cojinetes no necesitan lubricación, ya que las bolas o rodillos ruedan sin deslizamiento dentro de una pista. Sin embargo, como la velocidad de giro del eje no es nunca exactamente constante, las pequeñas aceleraciones producidas por las fluctuaciones de velocidad producen un deslizamiento relativo entre bola y pista. Este deslizamiento genera calor. Para disminuir esta fricción se lubrica el rodamiento creando una película de lubricante entre las bolas y la pista de rodadura.

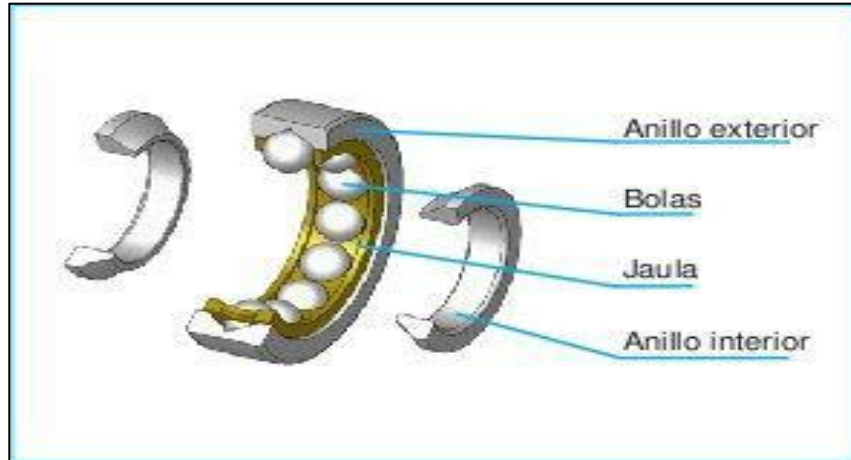


Figura 2-2 Componentes de un rodamiento.

Fuente: blogtecnologia3eso.wordpress.com.

Las bolas, en su trayectoria circular, están sometidas alternativamente a cargas y descargas, lo que produce deformaciones alternantes, que a su vez provocan un calor de histéresis que habrá que eliminar. Dependiendo de estas cargas, el cojinete se lubricará simplemente por grasa o por baño de aceite, que tiene mayor capacidad de disipación de calor.

o **Mantenimiento para rodamientos**

Para que un rodamiento funcione de un modo fiable, es indispensable que este esté adecuadamente lubricado al objeto para evitar el contacto metálico directo entre los elementos rodantes, los caminos de rodadura y las jaulas, evitando también el desgaste y protegiendo las superficies del rodamiento contra la corrosión, por tanto, la elección del lubricante y el método de lubricación adecuados, así como un correcto mantenimiento son cuestiones de gran importancia.

- **Inspección y limpieza de rodamientos:** Como todas las piezas importantes de una máquina, los rodamientos de bolas y de rodillos deben limpiarse y examinarse frecuentemente. Los intervalos entre tales exámenes dependen por completo de las condiciones de funcionamiento. Si se puede vigilar el estado del rodamiento durante el servicio, por ejemplo escuchando el rumor del mismo en funcionamiento y midiendo la temperatura o examinando el lubricante, normalmente es suficiente con limpiarlo e inspeccionarlo a fondo una vez al año (aros, jaula, elementos rodantes) junto con las demás piezas anexas al rodamiento. Si la carga es elevada, deberá aumentarse la frecuencia de las inspecciones.

- **Fallas de rodamientos:** Cuando un rodamiento se utiliza bajo condiciones ideales, se dañará solo por la fatiga de rodadura y en el tiempo de vida esperado, sin embargo esto puede ocurrir muy temprano. Por lo tanto, si se produce la falla de un rodamiento, es muy importante analizar correctamente el fenómeno e identificar las causas, incluso si el daño es muy pequeño. Además, es esencial examinar cuidadosamente, no solo el rodamiento, sino también el eje, el alojamiento, los sellos y el lubricante.

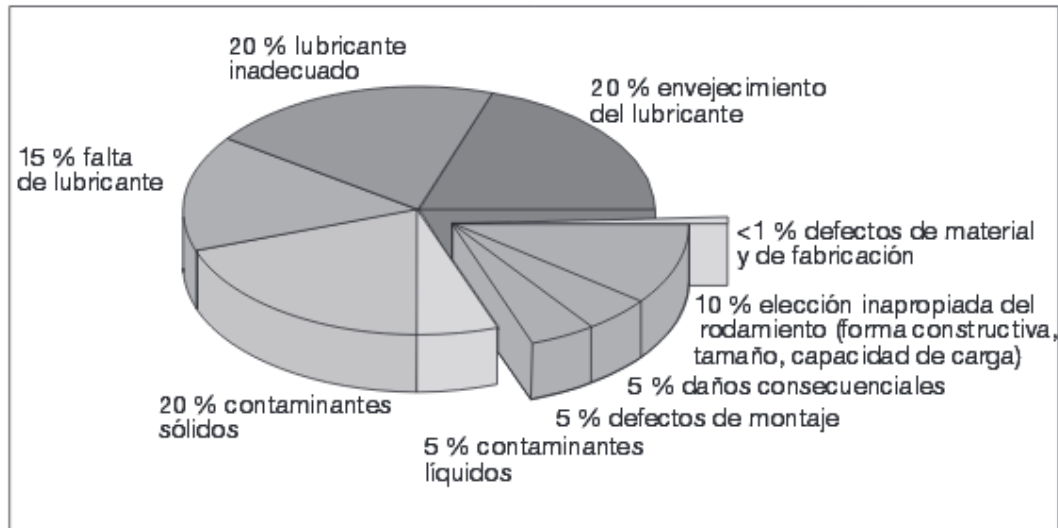


Figura 2-3 Fallas comunes en rodamientos.

Fuente: Averías de rodamientos FAG.

○ CÁLCULOS DE TIEMPOS DE LUBRICACIÓN A RODAMIENTOS DE MOTORES

Para la lubricación inicial de un rodamiento, sea lubricación de por vida o lubricación a pérdida, las cantidades se determinan del modo descrito en el apartado “determinación de la cantidad de grasa en rodamientos”. Para calcular las cantidades e intervalos de re lubricación, se puede hacer entre el siguiente caso:

- Re lubricación desde una vez a la semana a una vez al año: para determinar los intervalos de re lubricación se calcula aplicando la siguiente formula:

$$M1 = D * B * X$$

Ecuación 1

Semanal: X: 0.002

Mensual: X: 0.003

Anual: X: 0.004

M1 en *gramos*

D= diámetro del rodamiento en mm.

B= ancho del rodamiento en mm.

Como se observa, la cantidad de re lubricación M1 depende del intervalo estimado y del intervalo efectivo. A fin de obtener un mejor efecto de barrido, especialmente en rodamientos con largos intervalos de re lubricación, la cantidad de relleno M1 puede aumentar hasta el triple.

TEORÍA DE CHANCADORA - TECNOLOGÍA DE TRITURACIÓN POR COMPRESIÓN

- La trituración por compresión es la acción de pellizcar y estirar rocas alimentadas a la cámara de trituración entre dos superficies metálicas llamada "zona de trituración"
- Este tipo de equipo también utiliza la trituración autógena (roca en roca) para reducir la granulometría del material de alimentación. Para que este proceso sea más efectivo, la cámara de trituración debe estar a máxima capacidad.
 - El retiro de material de tamaño similar (el material con la granulometría deseada y materiales de tamaños más pequeños tras la reducción del material de alimentación más grande) debe ser efectuado para lograr una máxima eficiencia y una reducción en los costos por desgaste. Normalmente, los materiales de tamaños similares se quitan antes de entregar el material de alimentación a la chancadora de compresión por un proceso de harneado por alimentador grizzly o planta de selección.
- Ejemplos de chancadoras de compresión incluyen:
 - o Chancadoras de mandíbula primarias y secundarias
 - o Chancadoras de cono secundarias y terciarias
 - o Chancadoras de rodillos secundarias y terciarias
 - o Chancadoras giratorias

CHANCADOR DE MANDIBULA PRINCIPAL CT3254

La trituradora de mandíbula (chancador) está construida para triturar rocas y para reciclar hormigón, junto con una amplia gama de productos y materiales. Este equipo ha sido diseñado en función de la necesidad de preservar la seguridad de todo el personal. Nunca intente cambiar, modificar, eliminar o pasar por alto ninguno de los dispositivos de seguridad instalados de fábrica. Las protecciones, las cubiertas y los blindajes que se instalaron en la fábrica en torno a las piezas móviles tienen por finalidad evitar que los operadores y demás miembros del personal sufran lesiones por accidente.

La trituradora de mandíbula es una trituradora de compresión de gran capacidad, que fractura el material por sus líneas de quiebre naturales.

Para controlar el tamaño del producto, se regula la distancia entre la placa de la mandíbula fija y la placa de la mandíbula móvil (oscilante), que está sujeta al conjunto de la biela. Estas placas de mandíbula se pueden reemplazar, y existen varios perfiles diferentes en función de las distintas clases de materiales que se desea triturar y la preferencia del cliente.

La placa de articulación protege la biela para que no se dañe. Si un objeto que no se puede triturar ingresa a la cámara de trituración, la placa de articulación se doblará o fracturará y hará que se abra la cámara para permitir que pase el objeto.

La trituradora de mandíbula se puede montar o instalar en aplicaciones de planta estáticas y fijas o de deslizamiento modular, así como en ruedas portátiles o pistas móviles. Independientemente del tipo de aplicación en la que se use, la trituradora de mandíbula solo funcionará bien si está nivelada.



Figura 2-4 Chancadora de mandíbulas Trio

Fuente: Captura en terreno

Se recomienda emplear los siguientes procedimientos de seguridad básicos:

Responsabilidades gerenciales

- Asegúrese de que toda persona que trabaje en este equipo, o cerca de él, esté familiarizada con las precauciones de seguridad. Designe a un supervisor en el lugar de trabajo para que se ocupe de la seguridad laboral.
- Asigne a los miembros del equipo de trabajo responsabilidades específicas de seguridad e instrúyalos para que informen a su supervisor respecto de cualquier condición de riesgo.

Responsabilidades de los operadores

- Lea todas las señales de peligro, advertencia, precaución y aviso.
- Bloquee y etiquete todas las fuentes de alimentación antes de realizar cualquier tarea de mantenimiento o ajuste en este equipo. Tome las medidas necesarias para que sea imposible darle arranque a esta máquina mientras haya alguien trabajando en ella o con ella.
- Nunca quite ninguna protección, cubierta ni blindaje mientras el equipo esté en movimiento.
- Vuelva a colocar las protecciones, cubiertas y blindajes cuando haya concluido la tarea por la que debió quitarlas.
- Bloquee las piezas que correspondan para impedir cualquier movimiento brusco mientras haya personas trabajando en la máquina.
- Nunca intente extraer material de alimentación o de descarga atascado, ni ningún otro tipo de obstrucción, mientras la máquina esté en movimiento. Detenga, bloquee y etiquete el equipo antes de tocar esta máquina con las manos o con herramientas.
- Utilice equipos de protección personal adecuados, con protección ocular, casco y calzado de seguridad, cada vez que deba acercarse a la máquina en funcionamiento.
- Emplee una vestimenta adecuada en todo sentido. Nunca utilice ropa suelta, el cabello largo y suelto, abrigos con cola, joyas, bolsillos repletos de herramientas ni ningún otro elemento que pueda quedar atrapado entre las piezas en movimiento.
- Sepa dónde se encuentran sus compañeros. Siempre mire alrededor y dentro de la máquina antes de darle arranque. Asegúrese de que no haya nadie en la trayectoria de las piezas móviles ni trabajando en la máquina.

- Para levantar cualquier carga, haga fuerza con las piernas y no con la espalda. Mantenga el peso cerca de su cuerpo. Si la carga supera las 40 lb (20 kg), pida ayuda.
- Si encuentra defectos en maquinarias o equipos, y detecta condiciones o actividades peligrosas, avise a su jefe de inmediato.
- No limite las medidas de seguridad a las pocas reglas que se detallan aquí. Piense siempre en la seguridad y actúe consecuentemente.
- Sobre todo, conozca su equipo. Sepa cómo es la maquinaria, en qué condiciones funciona y qué es capaz de hacer.

Seguridad en el área de trabajo

- Procure que el área de trabajo esté lo más ordenada y limpia posible.
- Mantenga todas las señales de seguridad del producto limpias, claras y actualizadas.
- Asegúrese de que todos los equipos eléctricos estén conectados a tierra adecuadamente. La presencia de áreas húmedas cerca de la corriente eléctrica es especialmente peligrosa.
- Conserve los materiales peligrosos en áreas de acceso restringido y colóqueles identificaciones claras. Las leyes convencionales exigen un etiquetado especial en ciertos materiales.
- Nunca dé arranque a un motor en un espacio cerrado sin ventilar el escape de manera apropiada.
- No fume ni permita que se fume cerca de combustibles o solventes. Nunca produzca chispas ni utilice una flama abierta cerca de combustibles y solventes.
- Almacene los combustibles, solventes y gases inflamables en áreas seguras y bien ventiladas. Nunca permita que se acumulen emanaciones en el área de almacenamiento. Utilice solventes no inflamables para limpiar piezas y equipos, siempre que sea posible.
- Sepa dónde están ubicados los extinguidores y demás equipos para sofocar incendios. Aprenda a usarlos eficazmente.
- Manténgase alerta y proceda con sumo cuidado cuando esté cerca de un sistema presurizado, ya sea hidráulico o neumático. Los aceites y gases a alta presión son muy peligrosos.
- Equipos y herramientas
- Las herramientas limpias, correctamente etiquetadas y almacenadas, son más seguras.

- Mantenga las herramientas bien ordenadas.
- Mantenga las poleas y correas de transmisión en buen estado. Las correas deshilachadas o las poleas agrietadas no solo son peligrosas, sino improductivas.
- Utilice siempre asistencia mecánica para levantar cargas pesadas. Nunca sobrecargue un montacargas, una grúa o un gato ni ningún otro dispositivo de elevación. Revise el equipo de elevación con regularidad; sustitúyalo ante la primera señal de estiramiento, deshilachado u otro tipo de desgaste.
- Mantenga el equipo limpio, sin suciedad ni grasa, de manera que las piezas sueltas, agrietadas o rotas se puedan identificar con más facilidad. Cambie las piezas defectuosas en cuanto las detecte.

Capacitación y conocimiento

La debida capacitación y el conocimiento del equipo son esenciales para operar esta máquina con seguridad. Lea todo el manual con atención antes de comenzar a operar el equipo. Conserve este manual para futuras consultas.

No use este equipo hasta haber recibido la capacitación necesaria en relación a su funcionamiento o mantenimiento. El equipo solo podrá ser utilizado o reparado por personal capacitado que haya demostrado contar con las competencias requeridas para realizar estas tareas con seguridad.

Componentes del chancador (trituradora) de mandíbulas

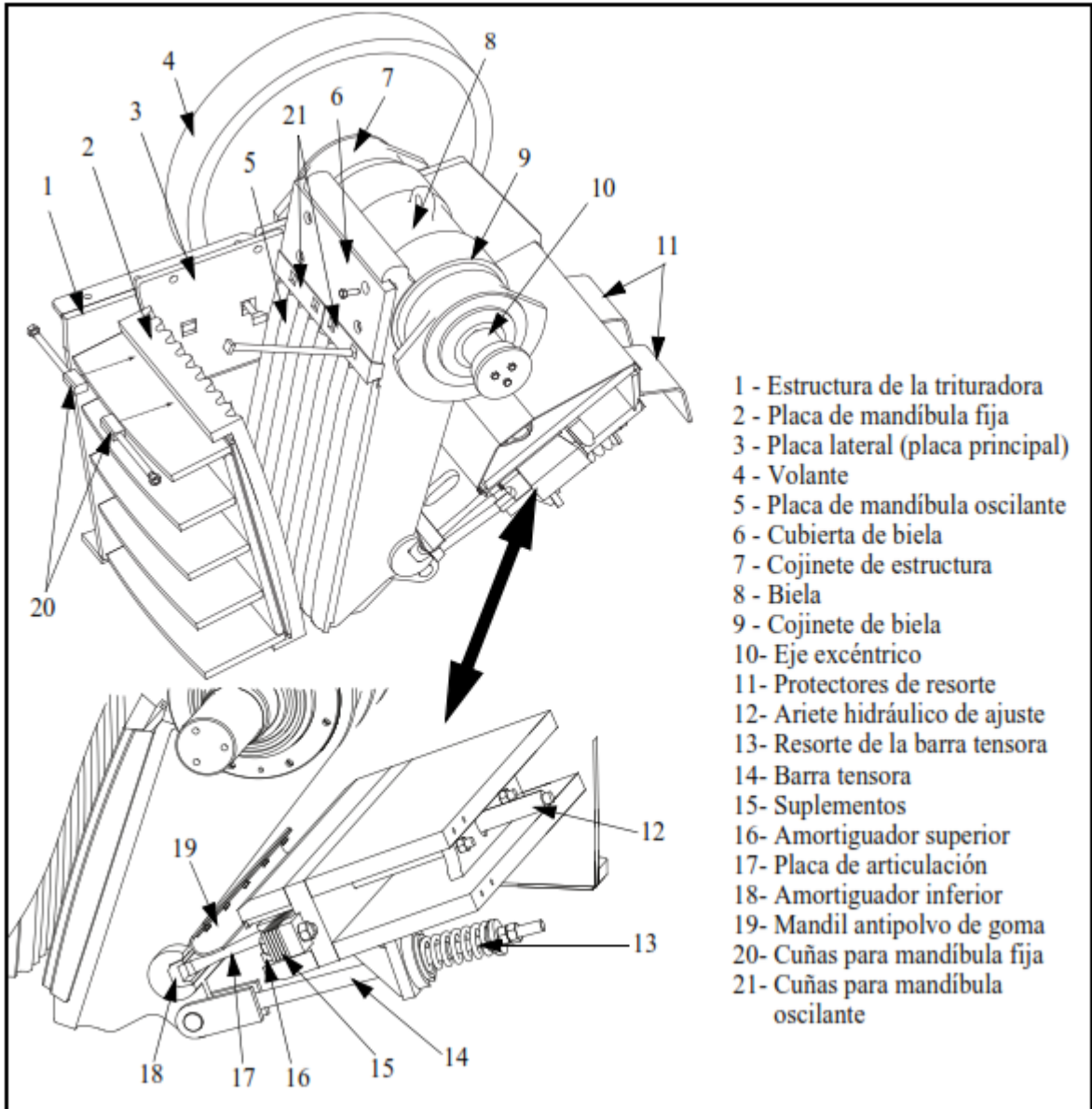


Figura 2-5 Componentes de Chancador de mandíbula

Fuente: Catálogo técnico TRIO

CHANCADORA CONICA TRIO TC51S

La chancadora cónica es una chancadora de compresión de gran capacidad, que fractura el material por sus líneas de quiebre naturales.

Para controlar el tamaño del producto, se regula la distancia entre el revestimiento de la taza y la campana. Generalmente, el término 'revestimiento' se emplea para hacer referencia a estos dos elementos, el revestimiento de la taza y la campana, que conforman la cámara de trituración del cono. Ambos se pueden reemplazar, y existen varios perfiles diferentes en función de las distintas clases de materiales que se desea triturar y la preferencia del cliente.

La chancadora utiliza un sistema de cilindros hidráulicos que, además de proteger la máquina, permite liberar y desobstruir fácilmente cualquier atasco producido en la cámara de trituración por el ingreso de un objeto imposible de triturar.

La chancadora cónica se puede montar o instalar en aplicaciones de planta estáticas y fijas o de deslizamiento modular, así como en ruedas portátiles o pistas móviles. Independientemente del tipo de aplicación en la que se use, la chancadora cónica solo funcionará bien si está nivelada.

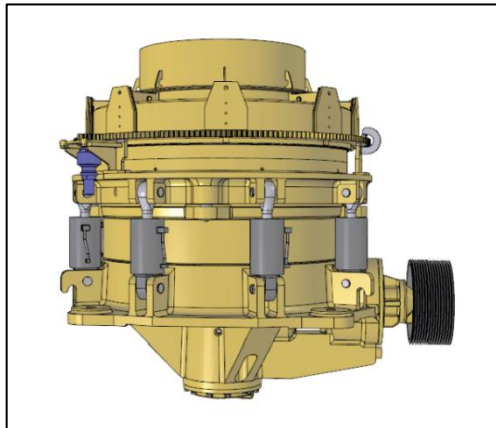


Figura 2-6 Chancador de Cono

Fuente: Catálogo técnico TRIO

Dirección de giro del contraeje

Las chancadoras cónicas de la serie TC se accionan mediante un contraeje equipado con una polea de transmisión por correa. La rotación se produce en dirección antihoraria, vista desde el extremo de accionamiento del contraeje.

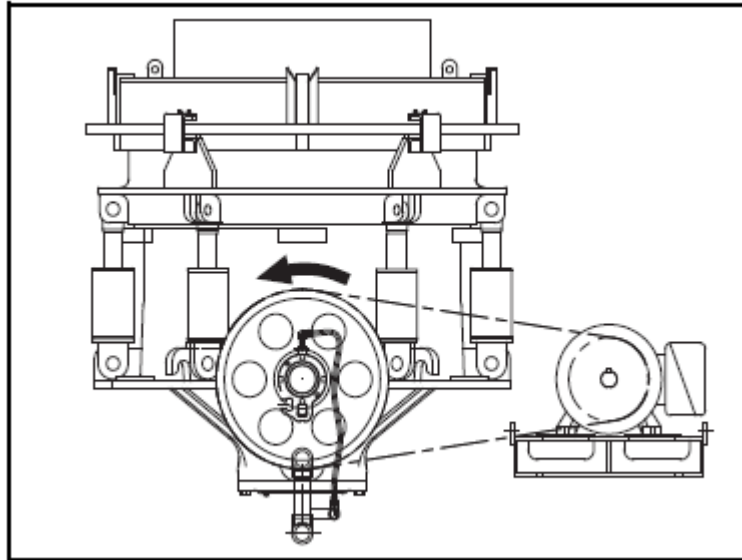


Figura 2-7 Sentido giro transmisión.

Fuente: Catalogo técnico TRIO

Recepción e inspección de la chancadora

Cuando se le entregue la chancadora, revísela exhaustivamente para comprobar que no se haya dañado durante el transporte. No prepare la unidad hasta que haya terminado la inspección.

Anote en la carta de porte del transportista todos los daños que encuentre y solicite a la persona que efectuó la entrega que firme su descripción de los problemas identificados. Conserve una copia de la carta de porte con sus anotaciones para su información. Si es posible, tome fotos. Si debe presentar un reclamo en la empresa de transporte, hágalo dentro de los 30 días de la recepción del equipo.

Compare las piezas sueltas, las cajas de piezas pequeñas y las herramientas con la lista de empaque para asegurarse de que todos los elementos enviados estén presentes.

Instalación de la chancadora

Para que la chancadora funcione correctamente, debe estar instalada sobre una base firme y nivelada. Asegúrese de que la base y las estructuras de soporte sean lo suficientemente fuertes como para sostener la carga dinámica de la chancadora en funcionamiento y de todo equipo relacionado mientras haya material en movimiento.

Nivelación de la chancadora

Donde esté instalada la chancadora, deberá estar bien nivelada. En las unidades fijas, la estructura de soporte debe quedar nivelada una vez finalizado el procedimiento de montaje. En las unidades de planta portátiles, móviles o montadas en bastidores, la estructura debe estar nivelada. Use un gato nivelador o una placa adecuada para nivelar la unidad.

Información sobre la puesta en marcha y el funcionamiento

La chancadora cónica generalmente se usa como un componente de todo un sistema de planta. Los procedimientos específicos para la puesta en marcha del equipo dependerán de la planta en particular y del flujo de material, así como del tipo de controles que se utilicen. Consulte siempre el manual complementario de la unidad de energía hidráulica, los esquemas de controles y la información recibida con el modelo específico para la puesta en marcha y el funcionamiento.

Los siguientes pasos se deben usar a modo de guía general en relación con el funcionamiento de la chancadora cónica:

Revise el área circundante para asegurarse de que no haya ningún miembro del personal en una posición peligrosa antes de la puesta en marcha.

HARNERO HORIZONTAL TRIO TTH6203

○ **Generalidades**

Para asegurar niveles óptimos de funcionamiento, el harnero debe ser inspeccionado y lubricado regularmente. También, cerciórese de efectuar los ajustes de mantenimiento y reparaciones pertinentes.

Inspección

Es aconsejable efectuar una inspección diaria para que su harnero opere de manera segura y eficiente. Al establecer una rutina de mantención, usted podrá monitorear las condiciones del equipo.

Procedimientos de inspección

A continuación, se mencionan los pasos más importantes de la inspección diaria del harnero:

1) Bloquear y etiquetar. Revisar todo sobre y alrededor del harnero.

Previo a cualquier trabajo, ajuste o mantención al harnero, asegúrese de haber bloqueado y etiquetado la fuente de poder. No cumplir con esta condición puede resultar en heridas serias e incluso la muerte.

2) Cuidadosamente, examine el harnero, una vez seguro de que todo se encuentra bajo las condiciones de seguridad pertinentes.

3) Desbloquee y quite el etiquetado.

4) Despeje el área y comience los preparativos para encender el harnero.



Figura 2-8 Harnero horizontal TRIO

Fuente: Catálogo técnico TRIO

Información de arranque y operación

El harnero horizontal serie TTH descrito aquí fue diseñado para harnear roca, reciclar concreto, y un amplio rango de otros productos y materiales.

El harnero horizontal serie TTH se utiliza, generalmente, como parte de todo un sistema de planta. Los procedimientos de arranque de equipos específicos dependerán tanto de la planta en cuestión como del tipo de controles utilizados. Consulte siempre el manual y la información recibida de cada equipo particular para su arranque y funcionamiento.

Los pasos descritos a continuación han de ser usados como una guía general de operaciones para el harnero horizontal serie TTH:



Figura 2-9 Harneros horizontales TRIO Planta Empréstitos

Fuente: Captura en terreno.

Antes del arranque

A diario, antes de encender el harnero, revise:

- 1) Nivel de aceite de la caja de engranajes. Agregue aceite si es necesario.
- 2) Tapas de ventilación en ambas cajas de engranajes. Mantenga tierra y acumulación de material alejados de los respiradores.
- 3) Tensor de correa de transmisión para asegurar una tensión correcta en la correa y para asegurar que la correa se encuentra en buenas condiciones.
- 4) Que todas las protecciones se encuentran en posición y en buenas condiciones.
- 5) Condición y ajuste de la tensión de la banda.
- 6) Que la caja del harnero se encuentra libre de acumulación de material bajo la cuba vibratoria.
- 7) Que la caja alimentadora se encuentra libre de acumulación de material y que los revestimientos se encuentran en buenas condiciones.
- 8) Que los amortiguadores estén conectados.
- 9) Controlar el desgaste de la tela metálica, la tensión del perno de extracción, o desgaste y tensión de la barra grizzly o los finger tine (si existen).
- 10) Resortes para detectar daño o desgaste.
- 11) Fugas de aceite alrededor de la unidad.

Arranque

1) Asegúrese de que en el área adyacente no se encuentre ningún miembro del personal expuesto a algún peligro o en una posición peligrosa antes del arranque.

Siempre haga sonar la alarma u otro dispositivo de alerta para advertir a los demás que se está dando arranque a la unidad.

2) Si el harnero es parte del sistema de planta, asegúrese de que éste arranque en el momento apropiado dentro de la secuencia conjunta a los otros componentes.

3) Arranque todos los otros componentes de la planta en la secuencia previamente diseñada para el sistema de planta específico. En caso de no haber una secuencia prediseñada, comience desde el último componente de descarga de material hacia el primer punto de alimentación hasta que todos los componentes se encuentren operando sin carga.

4) Asegúrese de que el harnero esté operando a las RPM (revoluciones por minuto) adecuadas antes de alimentarlo con material. El harnero debería alcanzar todo su potencial RPM en diez segundos o menos.

5) Comience el flujo de material hacia la planta. Siempre mantenga todas las precauciones de seguridad debidas.

6) Registre cualquier observación referente a las condiciones de operación en la bitácora de la planta.

Funcionamiento normal

Bajo condiciones cotidianas de operación, preste atención a cualquier sonido inusual o señal de vibración excesiva. Asegúrese de reconocer la causa de la anomalía para poder corregirla de inmediato y así evitar demoras por malfuncionamiento después.

Observe que no exista derrame debido a daños o desgaste en la caja de alimentación o en los revestimientos de descarga.

Aprenda a reconocer la cantidad de irradiación (calor) que emana la caja de engranajes cuando el sistema se encuentra trabajando de manera normal.

Registre cualquier observación en la bitácora de la planta.

Apagado

Previo al apagado, cerciórese de remover todo el material del harnero. Detenga la alimentación y observe el funcionamiento del sistema hasta que todo el material que corre por el harnero haya sido descargado. Luego apague.

Preste atención a las acumulaciones a medida que la cuba del harnero desacelera. Si la acumulación es extrema, podría ser índice de que los amortiguadores requieren de algún ajuste. Asegúrese de que la cuba del harnero se mantenga centrada en el bastidor.

PLANTA SECUNDARIA – HARNERO CÓNICO – CHASIS PORTÁTIL

○ **Sistema hidráulico de nivelación de planta**

El chasis portátil viene equipado con un sistema hidráulico de nivelación. Para operarlo apropiadamente, el chasis portátil debe estar nivelado. La nivelación debería ser chequeada de “lado a lado” y de “adelante hacia atrás”. Es importante tener en cuenta que esta máquina se desnivelará; daño y desgaste excesivo son sucesos que ocurrirán.

Procedimiento de nivelación:

- 1) Posicione los bloques de apuntalamiento y las cuñas junto a cada punto fijo de apuntalamiento en el chasis portátil.
- 2) Encienda el generador de poder Honda.
- 3) Mueva la velocidad del motor al régimen alto de ralentí (conejo)
- 4) Extienda los arietes hidráulicos activando las palancas. Junto con el extremo de descarga junta. Junto con el extremo de alimentación junta
- 5) Una vez libre los puntos de soporte, deslice las cuñas de soporte por debajo de los puntos de soporte en el chasis.
- 6) El objetivo es levantar la suspensión del chasis sobre el suelo, liberando de tensión los ejes y resortes.
- 7) Utilice tantos bloques de apuntalamiento como sea necesario para mantener la suspensión despejada.
- 8) Podrían requerirse cuñas de madera para proveer alturas simétricas para todos los puntos de apuntalamiento.
- 9) Lentamente, retraiga los arietes hidráulicos activando las palancas. Junto con el extremo de descarga junta. Junto con el extremo de alimentación junta. Una vez que consiga presión en todos los puntos, retraiga todos los arietes.
- 10) Chequee la nivelación de la planta: “lado a lado” y “de adelante hacia atrás”. Agregue o retire cuñas según necesidad hasta que la planta esté nivelada.



Figura 2-10 Harnero Primario

Fuente: Captura en terreno

DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

En el diseño de solución al requerimiento principal solicitado por el departamento de planificación de Minera Candelaria y dándole solución a nuestra problemática, comenzaremos con la resolución de nuestro objetivo específico 1, reuniendo la información necesaria y realizando las actividades permitidas para realizar el levantamiento completo.

○ LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN

En el periodo en que se realizó la práctica profesional, se pudo realizar una caminata completa a la planta para revisar, apuntar y redactar las características de la planta. Gracias a esto se pudo realizar un listado de equipos y/o activos que se encuentran en la planta.

Luego gracias a las gestiones entre departamento de planificación y dpto. de mantención se consiguió el plano original de la planta el cual esta anexado y con el que se pudo hacer el siguiente esquema de la disposición de la planta y sus instalaciones.

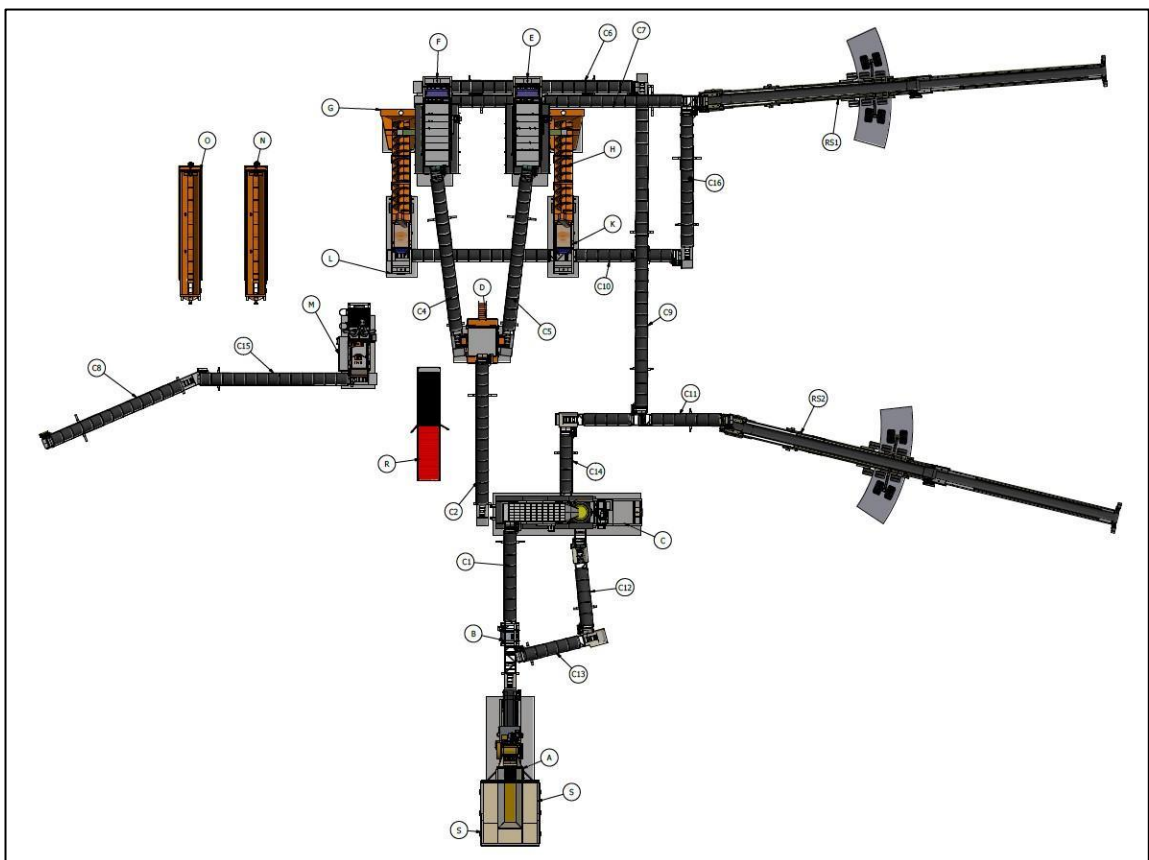


Figura 2-11 Diseño y disposición Planta Empréstitos

Fuente: Minera Candelaria

○ Listado de equipos

ÍTEM	CANTIDAD	NÚMERO DE PIEZA
A	1	Chancadora de mandíbula con VFG
B	1	Suporte de imán
C	1	Planta móvil de circuito abierto, criba 620
D	1	Tolva pulmón c/plataforma
E	1	CRUSHEX - HARNERO HÚMEDO MÓVIL TTH8203 ASSM - D
F	1	CRUSHEX - HARNERO HÚMEDO MÓVIL TTH8203 ASSM - IZ
G	1	TSW6636 lavadora de finos
H	1	TSW6636 lavadora de finos
K	1	Pantalla de desecación 5X12
L	1	Pantalla de desecación 5X12
M	1	PLANTA COMPACTA
N	1	CONJUNTO DE CLARIFICADOR
O	2	CONJUNTO DE CLARIFICADOR
R	1	CENTRO DE CONTROL
S	1	CONJUNTO DE CAJÓN DE ROCAS DE CHANCADORA MAN
C2	1	C2 - 36x60 CON PATAS
C4	1	C4 - 36x70 CON PATAS
C5	1	C5 - 36x70 CON PATAS
C6	1	C6 - 36x76 CON PATAS
C7	1	C7 - 36X100 CON PATAS
C8	1	C8 - 36x60 CON PATAS
C9	1	C9 - 36x116 CON PATAS
C1	1	C1 - 36x60 CON PATAS
C10	1	C10 - 36X100 CON PATAS
C11	1	C11 - 36x60 CON PATAS
C12	1	C12 - 36x30 CON PATAS
C13	1	C13 - 36x30 CON PATAS
C14	1	C14 - 36x30 CON PATAS
C15	1	C15 - 36x60 CON PATAS
C16	1	C16 - 36x56 CON PATAS
RS1	1	Transportador Telestacker 36"x150'
RS2	1	Transportador Telestacker 36"x150'

Teniendo el plano de la planta y el listado detallado de los equipos presentes, podemos avanzar hacia poder entender cómo funciona nuestra planta con el fin de saber cómo se relacionan los equipos entre si logrando que este proceso nos entregue los productos deseados, y así mismo poder discernir entre equipos más o menos importantes.

A continuación, se presentan los diagramas que nos ayudarán a cumplir lo antes mencionado, en primer lugar, se muestra un diagrama de bloques general y luego el diagrama de flujo que entrega una visión más detallada del proceso.

Diagrama de bloques planta empréstito

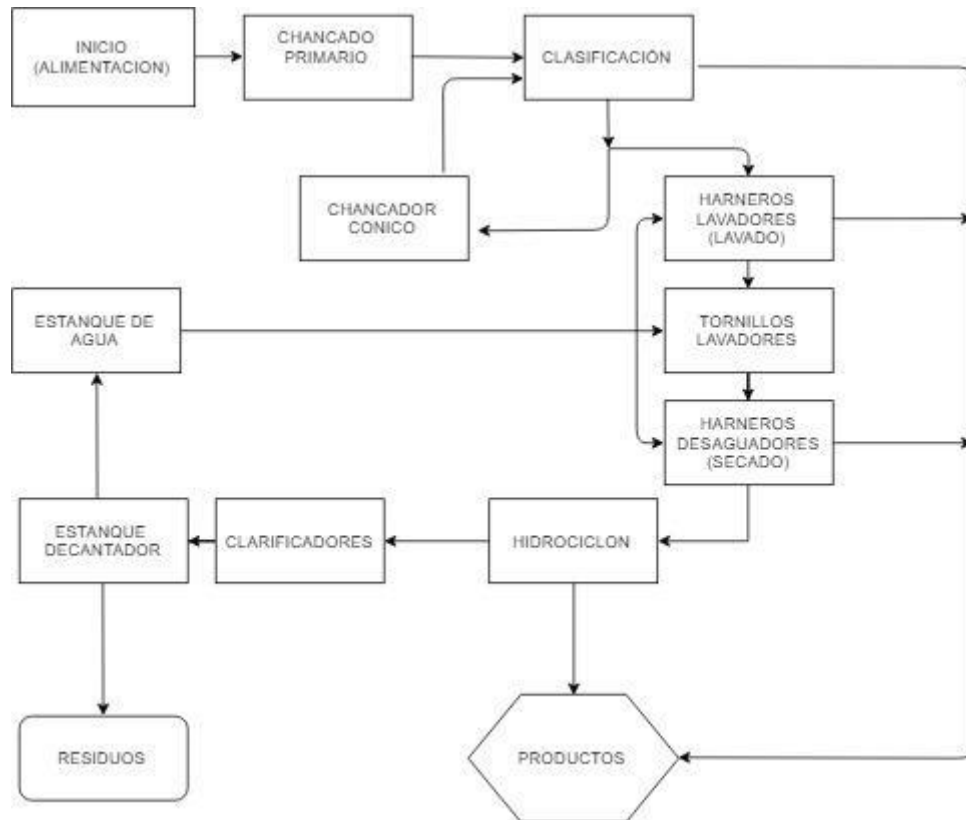


Figura 2-11 Diagrama de bloques Planta Empréstitos

Fuente: Diseño propio.

Diagrama de flujo Planta empréstito (FLOW SHEET)

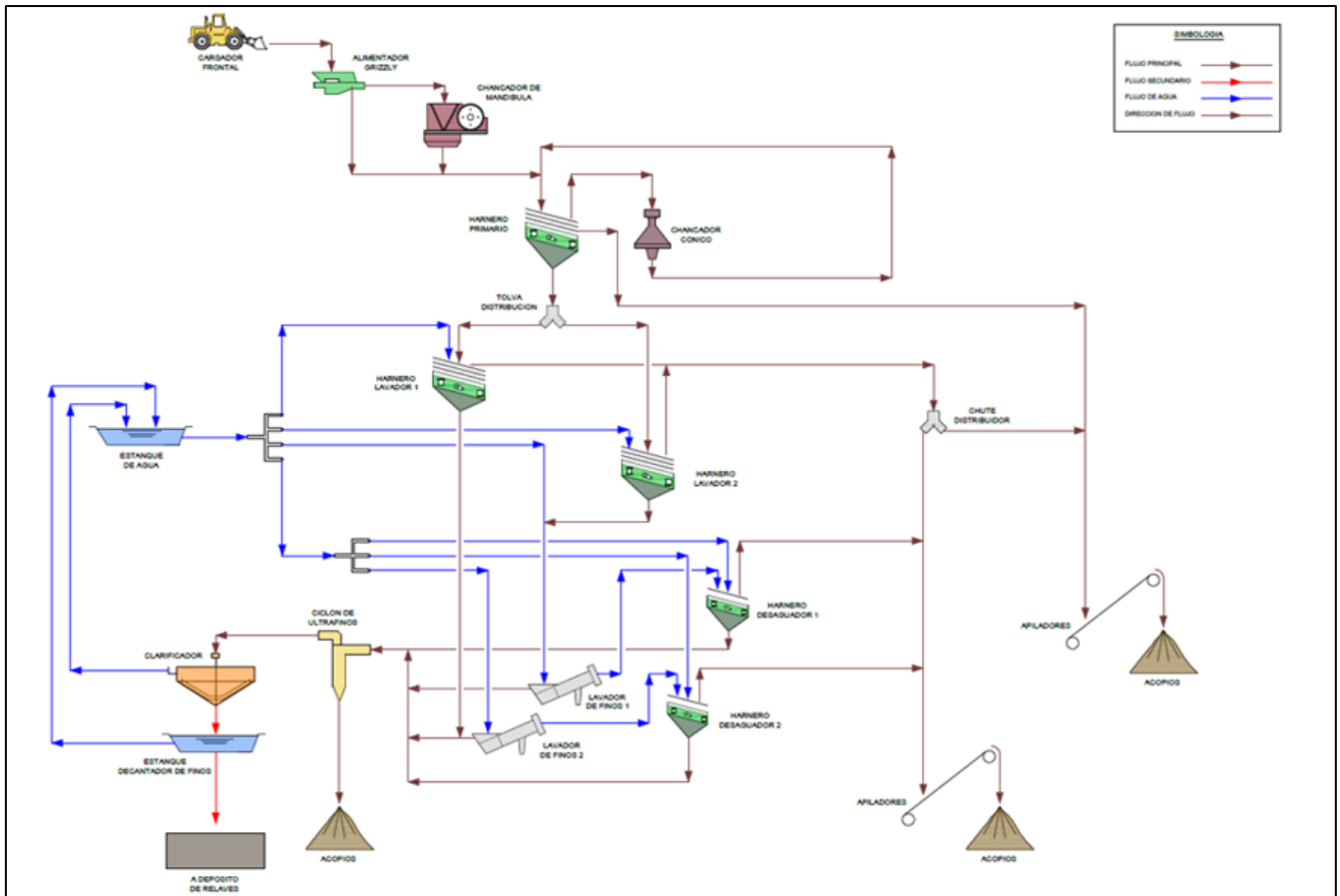


Figura 2-12 Flow sheet Planta empréstitos

Fuente: Minera Candelaria

Una vez realizada la etapa de levantamiento completa, pudimos crear un diagrama de bloques el cual utilizamos para entender en rasgos generales el funcionamiento de la planta, luego en conjunto al planificador se creó el Flow sheet el cual nos ayuda a entender el proceso de manera más específica, ya que se pueden identificar los equipos que realizan cada una de las etapas del proceso de reducción de material, destacando que se obtienen diferentes productos (granulometría) en distintas fases del proceso.

Ya teniendo el levantamiento de la planta detallado completamente, podemos empezar con los análisis de nuestro estudio de plan matriz de mantenimiento, aplicando ciertos filtros para acotarnos a los equipos críticos de la planta empréstitos, además de tener en cuenta que este plan de mantenimiento debe cumplir con el requerimiento que busca usar los mínimos recursos posibles.

ANÁLISIS

Para la correcta realización del objetivo número dos (2) se trabajó en base a la información obtenida anteriormente en cumplimiento al objetivo número uno (1) y documentos anexos que respaldan el estudio realizado.

Ya que trabajaremos con lo mínimo para cumplir con los requerimientos solicitados es necesario filtrar de cierta manera los equipos que serán intervenidos en mayor profundidad y los que adoptarán un carácter más prescindible.

Para lograr esto nos basaremos en información recopilada con respaldo y en un análisis de criticidad obtenido del libro “ORGANIZACION Y GESTION INTEGRAL DE MANTENIMIENTO”, el cual está dentro de la bibliografía utilizada para el estudio del plan matriz de mantenimiento.

Criticidad.

Es la herramienta de orientación efectiva para la toma de decisiones a que equipo o parte de la industria priorizo actividad de mantenimiento.

Los equipos críticos, son aquellos que al fallar pueden afectar la seguridad del personal, el entorno ambiental, provocar un paro de la producción o incrementar el costo de mantenimiento.

El objetivo de definir los activos críticos dentro de un proceso productivo es priorizar el esfuerzo de mantenimiento, enfocado a la seguridad laboral, aumentar la fiabilidad del proceso, favoreciendo y promoviendo el aprovechamiento de los recursos del área en las actividades de mayor valor.

Para determinar la criticidad dentro de la planta es necesario asignar valores a los activos sometidos al análisis, estos valores estarán en la escala de 0 a 10 a cada criterio en consideración.

Los criterios para analizar la criticidad pueden ser los siguientes:

- Seguridad.
- Medio ambiente.
- Producción
- Costos.
- Tiempo medio para reparar.
- Frecuencia de falla.
- Calidad

ANÁLISIS DE CRITICIDAD

No todos los equipos tienen la misma importancia en una planta industrial. Es un hecho que unos equipos son más importantes que otros. Como los recursos de una empresa para mantener una planta son limitados, debemos destinar la mayor parte de los recursos a los equipos más importantes, dejando una pequeña porción del reparto a los equipos que menos pueden influir en los resultados de la empresa.

Pero, ¿cómo diferenciamos los equipos que tienen una gran influencia en los resultados de los que no la tienen? Cuando tratamos de hacer esta diferenciación, estamos realizando el Análisis de Criticidad de los equipos de la planta.

Comencemos distinguiendo una serie de niveles de importancia o criticidad:

- A) *Equipos críticos*. Son aquellos equipos cuya parada o mal funcionamiento afecta significativamente a los resultados de la empresa.
- B) *Equipos importantes*. Son aquellos equipos cuya parada, avería o mal funcionamiento afecta a la empresa, pero las consecuencias son asumibles.
- C) *Equipos prescindibles*. Son aquellos con una incidencia escasa en los resultados. Como mucho, supondrán una pequeña incomodidad, algún pequeño cambio de escasa trascendencia, o un pequeño coste adicional.

Opcionalmente, algunas empresas prefieren incluir una categoría más: los equipos *altamente críticos*. Se pretende con la introducción de esta nueva categoría distinguir entre dos tipos de equipos críticos distintos: equipos más críticos y equipos menos críticos.

Veamos, en segundo lugar, qué criterios podemos utilizar para clasificar cada uno de los equipos en alguna de las categorías anteriores. Debemos considerar la influencia que una anomalía tiene en cuatro aspectos: producción, calidad, mantenimiento y seguridad.

- *Producción*. Cuando valoramos la influencia que un equipo tiene en producción, nos preguntamos cómo afecta a ésta un posible fallo. Dependiendo de que suponga una parada total de la instalación, una parada de una zona de producción preferente, paralice equipos productivos, pero con pérdidas de producción asumible o no tenga influencia en producción, clasificaremos el equipo como A, B o C.

- *Calidad.* El equipo puede tener una influencia decisiva en la calidad del producto o servicio final, una influencia relativa que no acostumbre a ser problemática o una influencia nula.
- *Mantenimiento.* El equipo puede ser muy problemático, con averías caras y frecuentes; o bien un equipo con un coste medio en mantenimiento; o, por último, un equipo con muy bajo coste, que normalmente no dé problemas.
- *Seguridad y medio ambiente.* Un fallo del equipo puede suponer un accidente muy grave, bien para el medio o para las personas, y que además tenga cierta probabilidad de fallo; es posible también que un fallo del equipo pueda ocasionar un accidente, pero la probabilidad de que eso ocurra puede ser baja; o, por último, puede ser un equipo que no tenga ninguna influencia en seguridad.

ANÁLISIS DE CRITICIDAD PLANTA EMPRESTITOS MINERA CANDELARIA				
Clasificación de equipo	Seguridad y medio ambiente	Producción	Calidad	Mantenimiento
A CRÍTICO	La posibilidad de generar un accidente grave es alta. (6 pts)	Su parada afecta a Plan de producción y/o clientes (3 pts)	Es clave para la calidad del producto. (4 pts)	Alto coste de reparación en caso de avería. (5 pts)
	Necesita revisiones periódicas muy frecuentes por razones de seguridad. (5 pts)		Es el causante de un alto porcentaje de rechazos. (3 pts)	Averías muy frecuentes. (4 pts)
	Ha producido accidentes en el pasado, en esta planta o similares. (4 pts)			Consumen una parte importante de los recursos de mantenimiento (mano de obra y/o materiales). (3 pts)
B IMPORTANTE	Necesita revisiones periódicas (anuales). (3 pts)	Afecta a la producción, pero es recuperable (no llega a afectar a cliente o al plan de producción). (2 pts)	Afecta a la calidad, pero habitualmente no es problemático. (2 pts)	Coste medio en mantenimiento. (2 pts)
	Puede ocasionar un accidente grave pero las posibilidades son remotas. (2 pts)			
C PRESCINDIBLE	Poca influencia en seguridad. (1 pto)	Poca influencia en producción. (1 pto)	No afecta a la calidad. (1 pto)	Bajo coste de mantenimiento. (1 pto)

Tabla 2-2 Análisis de Criticidad

Al análisis de criticidad de carácter cualitativo que obtuvimos del libro ORGANIZACIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE MANTENIMIENTO, se adaptó con una escala numérica para poder cuantificar la consecuencia de cada equipo estando en operación.

Teniendo el total de la sumatoria de los aspectos evaluados para determinar la criticidad de cada equipo, podemos ubicarlos dentro de una escala de severidad y clasificarlos como críticos, importantes o prescindibles, ya que no tenemos reiteradas fallas para tener un registro de frecuencias.

$$\sum (\text{SEGURIDAD} + \text{PRODUCCIÓN} + \text{CALIDAD} + \text{MANTENIMIENTO}) = \text{TOTAL PUNTOS}$$

ANÁLISIS DE CRITICIDAD SEGÚN ESCALA DE SEVERIDAD ADAPTADA PARA EQUIPOS DE PLANTA

EQUIPO	PARÁMETROS	PUNTOS
CHANCADOR DE MANDÍBULAS	Seguridad y medio ambiente	3
	Producción	3
	Calidad	4
	Mantenimiento	3
	Total	13
HARNERO TAMIZ	Seguridad y medio ambiente	3
	Producción	3
	Calidad	4
	Mantenimiento	5
	Total	15
ALIMENTADOR GRIZZLY	Seguridad y medio ambiente	2
	Producción	3
	Calidad	2
	Mantenimiento	2
	Total	9
CHANCADOR CÓNICO	Seguridad y medio ambiente	3
	Producción	3
	Calidad	4
	Mantenimiento	5
	Total	15
TOLVA DISTRIBUCIÓN	Seguridad y medio ambiente	2
	Producción	2
	Calidad	1
	Mantenimiento	1
	Total	6
HARNEROS LAVADORES	Seguridad y medio ambiente	3
	Producción	2
	Calidad	4
	Mantenimiento	2
	Total	11
STACKERS APILADORES	Seguridad y medio ambiente	6
	Producción	3
	Calidad	1
	Mantenimiento	5
	Total	15
CORREAS TRANSPORTADORAS	Seguridad y medio ambiente	5
	Producción	3
	Calidad	1
	Mantenimiento	1
	Total	10
TORNILLOS LAVADORES	Seguridad y medio ambiente	6
	Producción	1
	Calidad	1
	Mantenimiento	1
	Total	9
CLARIFICADORES	Seguridad y medio ambiente	2
	Producción	1
	Calidad	4
	Mantenimiento	2
	Total	9
BOMBAS HIDRÁULICAS	Seguridad y medio ambiente	1
	Producción	3
	Calidad	3
	Mantenimiento	2
	Total	9
HIDROCICLONES	Seguridad y medio ambiente	1
	Producción	1
	Calidad	2
	Mantenimiento	2
	Total	6
SEPARADOR MAGNÉTICO	Seguridad y medio ambiente	1
	Producción	1
	Calidad	1
	Mantenimiento	1
	Total	4
TOLVA DE ALIMENTACIÓN	Seguridad y medio ambiente	2
	Producción	1
	Calidad	1
	Mantenimiento	2
	Total	6

Tabla 2-3 Equipos Análisis de Criticidad

Fuente: Diseño propio

ESCALA DE SEVERIDAD			
CLASIFICACIÓN	PRESCINDIBLE	IMPORTANTE	CRÍTICO
PUNTOS	[1 - 5]	[6 - 9]	[10 - 20]

Tabla 2-4 Escala de severidad

RESUMEN ANÁLISIS			
EQUIPO	TOTAL PUNTOS	SEVERIDAD	PARÁMETRO RELEVANTE
CHANCADOR DE MANDIBULAS	13	CRÍTICO	PRODUCCIÓN/CALIDAD
HARNERO TAMIZ	15	CRÍTICO	PRODUCCIÓN/CALIDAD
ALIMENTADOR GRIZZLY	9	IMPORTANTE	PRODUCCIÓN
TOLVA DISTRIBUCIÓN	6	IMPORTANTE	PRODUCCIÓN
CHANCADOR CÓNICO	15	CRÍTICO	PRODUCCIÓN/CALIDAD/MANTENIMIENTO
HARNEROS LAVADORES	11	CRÍTICO	CALIDAD
STACKER	15	CRÍTICO	SEGURIDAD/PRODUCCIÓN/MANTENIMIENTO
CORREAS TRANSPORTADORAS	10	CRÍTICO	PRODUCCIÓN
TORNILLOS LAVADORES	9	IMPORTANTE	SEGURIDAD
CLARIFICADORES	9	IMPORTANTE	CALIDAD
BOMBAS HIDRÁULICAS	9	IMPORTANTE	PRODUCCIÓN/CALIDAD
HIDROCICLONES	6	IMPORTANTE	CALIDAD
SEPARADOR MAGNÉTICO	4	PRESCINDIBLE	-
TOLVA DE ALIMENTACIÓN	6	IMPORTANTE	MANTENIMIENTO

Tabla 2-4 Resumen del análisis de Criticidad

Los equipos clasificados como críticos serán los cuales pasarán al siguiente análisis para respaldar nuestro estudio de plan matriz de mantenimiento basado en RCM, del total de equipos críticos nuestro estudio se acotará a Chancador de mandíbula, Chancador de cono y clasificadores (harnero lavador (1) y harneros tamiz (2)).

Los stacker y correas transportadoras quedan fuera de este estudio ya que no se recibió la información necesaria al momento de realizar la práctica profesional, estos equipos fueron designados a otro estudiante. Las bombas hidráulicas, equipos que son reparados rápidamente en el taller de la minera o reemplazados por uno nuevo también quedan fuera de nuestro estudio.

Para la realización del objetivo específico número tres (3) se aplicará un análisis AMEF para determinar las tareas de mantenimiento que estarán dentro de nuestro plan matriz de mantenimiento y darle una matriz de frecuencias que logre programarlo en el tiempo.

Este análisis se hizo en base a las fallas genéricas que tienen estos equipos en la industria minera, más el grupo de trabajo conformado por el planificador, operador de planta, mecánico mantención de turno y alumno practicante que trabaja en Minera Candelaria, además de lo recomendado por el fabricante adaptándolo a las condiciones de nuestra planta.

Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF)

ANALISIS AMEF.

El Análisis del Modo y Efecto de Fallas, también conocido como AMEF o FMEA por sus siglas en inglés (Failure Mode Effect Analysis), nació en Estados Unidos a finales de la década del 40. Esta metodología desarrollada por la NASA, se creó con el propósito de evaluar la confiabilidad de los equipos, en la medida en que determina los efectos de las fallas de los mismos.

¿Qué es el AMEF?

El Análisis del Modo y Efecto de Fallas (AMEF), es un procedimiento que permite identificar fallas en productos, procesos y sistemas, así como evaluar y clasificar de manera objetiva sus efectos, causas y elementos de identificación, para de esta forma, evitar su ocurrencia y tener un método documentado de prevención.

Tipos de AMEF

1. Productos: El AMEF aplicado a un producto sirve como herramienta predictiva para detectar posibles fallas en el diseño, aumentando las probabilidades de anticiparse a los efectos que pueden llegar a tener en el usuario o en el proceso de producción.
2. Procesos: El AMEF aplicado a los procesos sirve como herramienta predictiva para detectar posibles fallas en las etapas de producción, aumentando las probabilidades de anticiparse a los efectos que puedan llegar a tener en el usuario o en etapas posteriores de cada proceso.
3. Sistemas: El AMEF aplicado a sistemas sirve como herramienta predictiva para detectar posibles fallas en el diseño del software, aumentando las probabilidades de anticiparse a los efectos que pueden llegar a tener en su funcionamiento.
4. Otros: El AMEF puede aplicarse a cualquier proceso en general en el que se pretendan identificar, clasificar y prevenir fallas mediante el análisis de sus efectos, y cuyas causas deban documentarse.

Ventajas potenciales del AMEF

Este procedimiento de análisis tiene una serie de ventajas potenciales significativas, por ejemplo:

1. Identificar las posibles fallas en un producto, proceso o sistema.

2. Conocer a fondo el producto, el proceso o el sistema.
3. Identificar los efectos que puede generar cada falla posible.
4. Evaluar el nivel de criticidad (gravedad) de los efectos.
5. Identificar las causas posibles de las fallas.
6. Establecer niveles de confiabilidad para la detección de fallas.
7. Evaluar mediante indicadores específicos la relación entre: gravedad, ocurrencia y detectabilidad.
8. Documentar los planes de acción para minimizar los riesgos.
9. Identificar oportunidades de mejora.
10. Generar Know-how.
11. Considerar la información del AMEF como recurso de capacitación en los procesos.

¿Cuándo se debe implementar el AMEF?

El AMEF es un procedimiento que enriquece a las organizaciones, de manera que considerar implementarlo no requiere de condiciones específicas de las operaciones. Sin embargo, pueden detectarse situaciones en las cuales el AMEF es una herramienta vital de soporte, por ejemplo:

- Diseño de nuevos productos y/o servicios.
- Diseño de procesos.
- **Programas de mantenimiento preventivo.**
- Etapas de documentación de procesos y productos.
- Etapas de recopilación de información como recurso de formación.
- Por exigencia de los clientes.

El AMEF es por excelencia la metodología propuesta como mecanismo de acción preventivo en el diagnóstico y la implementación del Lean Manufacturing. Este se activa por medio de los indicadores cuando se requiere prevenir la generación de problemas.

Análisis de modos y efectos de falla (AMEF) aplicado a equipos críticos de planta empréstitos Minera Candelaria.

En primer lugar, debe considerarse que para desarrollar el AMEF se requiere de un trabajo previo de recolección de información; en este caso el proceso debe contar con documentación suficiente acerca de todos los elementos que lo componen. El AMEF es un procedimiento sistemático cuyos pasos se describen a continuación:

1. Desarrollar un mapa del proceso (Representación gráfica de las operaciones).
2. Formar un equipo de trabajo, documentar el proceso, el producto, etc.
3. Determinar los pasos críticos del proceso.

Estos primeros pasos ya se han llevado a cabo, ya que están dentro del cumplimiento del marco de los objetivos anteriores, siendo más específicos que los que se haría en un AMEF.

4. Determinar las fallas potenciales de cada paso del proceso, determinar sus efectos y evaluar su nivel de gravedad (severidad).

A continuación, se registran las fallas en los inicios de la operación de la planta, siendo ésta una instalación nueva.

Cámara de chancado deteriorada – Chancador primario de Mandíbulas



Figura 2-12 Cámara de chancado

Fuente: Captura en terreno



Figura 2-13 Cámara de chancado (2)

Fuente: Captura en terreno



Figura 2-14 Cámara de chancado (3)

Fuente: Captura en terreno

Sistema de lavado obstruido – Harneros vibratorios



Figura 2-15 Aspersores de agua

Fuente: Minera Candelaria



Figura 2-16 Aspersores de agua

Fuente: Minera Candelaria

5. Indicar las causas de cada falla y evaluar la ocurrencia de las fallas.
6. Indicar los controles (medidas de detección) que se tienen para detectar fallas y evaluarlas.
7. Obtener el número de prioridad de riesgo para cada falla y tomar decisiones.

Estos pasos se incluyen en las siguientes tablas propias del análisis AMEF, las cuales resumen la mayoría de la información necesaria.

SEVERIDAD		
CALIFICACIÓN		CRITERIO
Cuantitativa	Cualitativa	Efecto en el proceso
1	Ninguno	Ligero inconveniente para la operación u operador.
2	Muy menor	El proceso productivo se detiene por minutos
3	Menor	El proceso productivo se detiene por 1 - 2 horas
4	Muy bajo	El producto debe ser seleccionado y una parte reprocesada.
5	Bajo	El 100% del producto debe ser reprocesado.
6	Moderado	El proceso productivo se detiene por 3 - 5 horas
7	Alto	El producto tiene que ser seleccionado y una parte reprocesada con un tiempo alto.
8	Muy alto	Se detiene completamente el proceso, con producción nula en el turno.
9 a 10	Peligroso	Puede exponer al peligro al operador o al equipo.

OCURRENCIA		
CALIFICACIÓN		CRITERIO
CUANTITATIVA	PROBABILIDAD	ÍNDICE DE FALLAS
1	Remota: falla improbable	< 0,01 por 10000 ton.
2	Baja: pocas fallas.	0,1 por 10000 ton.
3		0,5 por 10000 ton.
4	Moderada: fallas ocasionales.	1 por 10000 ton.
5		2 por 10000 ton.
6		5 por 10000 ton.
7	Alta: Fallas frecuentes.	10 por 10000 ton.
8		20 or 10000 ton.
9	Muy alta: fallas persistentes	50 por 10000 ton.
10		> 100 por 10000 ton.

DETECCIÓN				
CALIFICACIÓN		TIPOS DE INSPECCIÓN		
CUANTITATIVA	CRITERIO	A	B	C
1	Controles seguros para detectar: el ítem ha pasado a prueba de errores.	X		
2	Controles casi seguros para detectar: el ítem ha pasado por medición automática.	X	X	
3	Controles con buena oportunidad de detectar: detección inmediata del error en la fase misma o en la siguiente.	X	X	
4	Controles con buena oportunidad de detectar: Detección del error en la fase siguiente.	X	X	
5	Controles que pueden detectar: mediciones cumple o no cumple realizado al producto.		X	
6	Controles que pueden detectar: Tablero sala de control.		X	X
7	Controles con poca oportunidad de detectar: control logrado con doble inspección visual.			X
8	Controles con poca oportunidad de detectar: control efectuado con una inspección visual			X
9	Controles que probablemente no detectarán: control logrado con verificaciones indirectas o al azar.			X
10	Certeza absoluta de no detección: no se controla, no se detecta.			

A = Prueba de error.

Chancador de mandíbulas – AMEF

EQUIPO: CHANCADOR DE MANDIBULAS TRIO CT3254												
FUNCIÓN: Reducción de tamaño por trituración de material												
Nº	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA	SEVERIDAD (S)	OCURRENCIA (O)	DETECCIÓN (D)	NPR	ACCIONES RECOMENDADAS	S	O	D	NPR
1	La trituradora no arranca.	Cableado incorrecto	Equipo sin respuesta total	3	2	6	36	Revisar el diagrama de cableado, conectar nuevamente.	3	1	6	18
2	La trituradora no arranca.	Ausencia de energía	Equipo sin respuesta total	8	1	6	48	Revisar la fuente de energía. Tomar acciones correctivas y preventivas.	6	1	3	18
3	La trituradora no arranca.	Motor defectuoso	Transmisión de energía nula. Equipo sin respuesta total	6	2	6	72	Revisar y reparar el motor. Cambiarlo si está defectuoso.	6	1	6	36
4	La trituradora no arranca.	Problemas con el arranque suave	Ruido anormal en la partida	3	2	9	54	Asegurarse de que el arranque suave esté funcionando correctamente.	3	1	9	27
5	La trituradora no arranca.	Cámara de trituración llena	Recorrido de placa móvil trabado. Impide el arranque.	3	4	8	96	Vaciar la cámara de trituración. Alimentar el equipo correctamente.	2	2	8	32

EQUIPO: CHANCADOR DE MANDIBULAS CT3254												
FUNCIÓN: Reducción de tamaño por trituración de material												
N°	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFFECTO DE LA FALLA	SEVERIDAD (S)	OCURRENCIA (O)	DETECCIÓN (D)	NPR	ACCIONES RECOMENDADAS	S	O	D	NPR
6	La trituradora se detiene al funcionar con carga.	Consumo excesivo de energía (amperaje)	Activación de la protección térmica, y corte de fuente de energía	6	2	6	72	Revisar alimentación de material, posible travamiento con algún elemento inchangeable, además revisar la fuente de energía y circuito.	6	1	6	36
7	La trituradora se detiene al funcionar con carga.	Demasiadas partículas finas en la alimentación	Pérdida de contacto, corte intermitente de energía.	1	4	8	32	Quitar las partículas finas de la alimentación.	1	2	8	16
8	La trituradora se detiene al funcionar con carga.	Objeto que no se puede triturar en la cámara de trituración	Sobre esfuerzo en la trituradora, daño en en muelas de trituración	2	2	7	28	Vaciar la cámara de trituración. Revisar y reparar si fuera necesario, iman colector de metales inchangeables. Dejar operativo al 100%	2	1	4	8
9	La trituradora se detiene al funcionar con carga.	Cojinetes dañados o desgastados	desalineamiento de eje, trabamiento muelas de trituración	6	1	7	42	Cambiar los cojinetes.	5	1	7	35
10	La trituradora se detiene al funcionar con carga.	Abertura de descarga demasiado pequeña	Atasco en cámara de descarga	2	4	3	24	Ajustar la abertura de descarga según las especificaciones.	2	2	3	12

EQUIPO: CHANCADOR DE CONO TC-51												
FUNCIÓN: Reducción de tamaño por trituración de material												
Nº	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFEECTO DE LA FALLA	SEVERIDAD (S)	OCURRENCIA (O)	DETECCIÓN (D)	NPR	ACCIONES RECOMENDADAS	S	O	D	NPR
1	Sobrecalentamiento de la trituradora	La bomba se desgasta y no suministra suficiente aceite	La función de refrigeración del aceite no se está realizando correctamente	6	2	2	24	Compruebe que haya un flujo de aceite (GPM) adecuado en la tubería de drenaje. Cambie la bomba si es necesario	6	1	2	12
2	Sobrecalentamiento de la trituradora	El espacio libre para el funcionamiento entre el eje principal y el buje interno de la excéntrica, o entre la excéntrica y el buje externo, es insuficiente.	Fricción entre piezas, aumento de la temperatura.	3	3	5	45	Cambie el buje interno de la excéntrica o el buje externo.	3	1	5	15
3	Sobrecalentamiento de la trituradora	El aceite no drena apropiadamente.	Función de refrigeración defectuosa.	3	2	7	42	Verifique la inclinación de la tubería de drenaje desde la trituradora al tanque de aceite según espec. téc. Limpie el respiradero de aire del alojamiento de la caja del contraeje. Compruebe que no esté obstruido ningún orificio ni tubería de drenaje de la trituradora.	2	1	7	14
4	Sobrecalentamiento de la trituradora	Los revestimientos de la trituradora son inadecuados para la aplicación.	Sobreesfuerzo de la chancadora para lograr el producto requerido, sobreexigiéndose y consumiendo más energía.	7	1	4	28	Revisar origen de fabricación de los revestimientos, verificar tipo y medidas. Reemplazar si es necesario.	7	1	2	14
5	Sobrecalentamiento de la trituradora	El suministro de aceite es insuficiente.	Función de refrigeración no completa	5	6	3	90	Compruebe que el nivel de aceite en el tanque sea el apropiado. El aceite no ingresa en la trituradora. Compruebe que no haya filtraciones en la válvula de alivio por desgaste, golpes o un resorte trabado.	4	4	3	48

EQUIPO: CHANCADOR DE CONO TC-51												
FUNCIÓN: Reducción de tamaño por trituración de material												
Nº	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFFECTO DE LA FALLA	SEVERIDAD (S)	OCURRENCIA (O)	DETECCIÓN (D)	NPR	ACCIONES RECOMENDADAS	S	O	D	NPR
6	DETENCIÓN ABRUPTA DE LA TRITURADORA	Correas en V demasiado flojas	Resbalamiento de correas en poleas acanaladas. Transmisión ineficiente.	2	3	8	48	Tensar las correas, utilizando tensiómetro, comparando con recomendaciones de fabricante para un correcto funcionamiento.	2	2	8	32
7	DETENCIÓN ABRUPTA DE LA TRITURADORA	Problemas eléctricos en el motor de accionamiento.	Motor eléctrico detenido sin respuesta.	3	2	6	36	Revisar circuito eléctrico, fuente de energía, cables de alimentación, medir corriente con amperímetro. Solicitar apoyo personal eléctrico.	2	1	6	12
8	DETENCIÓN ABRUPTA DE LA TRITURADORA	Se acumula material debajo de la trituradora.	Atascamiento del equipo.	2	4	8	64	Revisar correa transportadora. Verificar que la configuración de la descarga de la chancadora sea la correcta, en caso de no ser así, reconfigurar o reparar.	2	2	8	32
9	DETENCIÓN ABRUPTA DE LA TRITURADORA	La velocidad del contraeje es demasiado baja.	Al recibir material no se logra chancar, atascándose el equipo con material no chancado.	6	2	4	48	Verifique que la velocidad del contraeje sea la correcta (RPM). Revisar transmisión del equipo. Reparar en caso de avería.	5	1	4	20
10	DETENCIÓN ABRUPTA DE LA TRITURADORA	El nivel de alimentación para la actividad de trituración es demasiado alto, lo que ocasiona un consumo excesivo de energía.	El sobre consumo de energía se refleja en el motor eléctrico de la transmisión de la chancadora, produciendo sobrecalentamiento activando las protecciones térmicas.	5	3	3	45	Reduzca la cantidad de material que debe procesar la trituradora, fije un flujo de material constante que sea posible de triturar en un 100%.	4	1	3	12

EQUIPO: HARNERO TAMIZ												
FUNCIÓN: Reducción de tamaño por trituración de material												
N°	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA	SEVERIDAD (S)	OCURRENCIA (O)	DETECCIÓN (D)	NPR	ACCIONES RECOMENDADAS	S	O	D	NPR
1	El harnero pierde vibración/velocidad (RPM).	Correas de transmisión flojas o desgastadas	Pérdida de transmisión de energía mecánica y vibración.	3	4	4	48	Tensor las correas, utilizando tensiómetro, comparando con recomendaciones de fabricante para un correcto funcionamiento.	3	3	4	36
2	El harnero pierde vibración/velocidad (RPM).	Polea de transmisión desgastada	Resbalamiento de correa V, pérdida de transmisión	3	2	7	42	Inspeccionar visualmente la polea. Además utilizar instrumento normalizado (Pie de metro), para comparar medidas con las de fabricante.	2	1	7	14
3	Mala clasificación del producto	Malla deteriorada	Traspaso de material de dimensión mayor a clasificación de menor diámetro	7	5	3	105	Revisar cajon o chute de alimentación con planta en funcionamiento. Verificar que el movimiento de vibracion sea unidireccional. Estudiar la posibilidad de cambiar rolo una parte del deck. En caso contrario cambiar deck completo.	6	3	3	54
4	Mala clasificación del producto	Labios de clasificación (descarga) deteriorados	Traspaso de material de dimensión mayor a clasificación de menor diámetro	4	4	3	48	Inspeccionar visualmente los labios de descarga de cada deck para asegurar una correcta descarga y no haya posibilidad de mezcla de material.	4	3	3	36
5	Mala calidad del producto	Sistema de agua de lavado.	No llega a la humedad requerida	7	6	3	126	Retirar las duchas para mayor seguridad y comodidad en el trabajo. Limpieza de tuberías t orificios, reposición de colas de pato, finalmente realizar una prueba de status de las duchas, confirmando funcionamiento 100%.	3	5	3	45

EQUIPO: HARNERO TAMIZ												
FUNCIÓN: Reducción de tamaño por trituración de material												
Nº	FALLA FUNCIONAL	MODO DE FALLA	EFECTO DE LA FALLA	SEVERIDAD (S)	OCURRENCIA (O)	DETECCIÓN (D)	NPR	ACCIONES RECOMENDADAS	S	O	D	NPR
6	El harnero se detiene abruptamente.	Mecanismo vibratorio.	El mecanismo vibratorio no entrega el movimiento adecuado al equipo, Harneado ineficiente.	8	1	3	24	Revisión periódica de la lubricación, hermeticidad de las tapas/sellos, inspección visual ardua para evitar falla. Inspección de los pernos huk.	7	1	3	21
7	Mecanismo vibratorio averiado.	Trabamiento en los engranajes del mecanismo	Mal funcionamiento y detención del equipo.	8	1	3	24	Abrir completamente el mecanismo vibratorio (agitador/excitador). Desmontar ejes, revisar y/ó reparar los contrapesos y engranajes, bujes y sellos mecánicos, lubricar según especificaciones técnicas.	7	1	3	21
8	Estructura de soporte fisurada	Sistema de amortiguación	La fisura parcial, por mal movimiento del equipo, de la o las vigas podría convertirse en una rotura completa, desalineando el equipo por completo.	8	4	4	128	Reparar todas las vigas, transversales y soportes fisurados, en el caso de ser unión apernada reemplazar. Alinear nuevamente el equipo. Analizar el sistema de amortiguación, sino es óptimo reemplazar por sistema tipo rosta.	7	2	4	56

8. Ejecutar acciones preventivas, correctivas o de mejora.

A continuación, se detalla el mantenimiento que se aplicara a cada equipo según las tablas anteriores, abarcando los modos de fallos críticos de cada equipo.

PLAN DE MANTENIMIENTO ATACANDO LOS MODOS DE FALLOS

Según el análisis de modos y efectos de fallos AMEF realizado a estos equipos, se entiende que es necesario aplicar mantenciones correctivas, preventivas y predictivas para asegurar una buena confiabilidad del equipo.

El número de prioridad de riesgo NPR, también conocido como RPN, por sus siglas en inglés (Risk Priority Number), es el producto de multiplicar la severidad, la ocurrencia, y la detección o detectabilidad. El NPR es un número entre 1 y 1000 que nos indica la prioridad que se le debe dar a cada falla para eliminarla.

Cuando el NPR es superior a 100 es un claro indicador de que deben implementarse acciones de prevención o corrección para evitar la ocurrencia de las fallas, de forma prioritaria. Sin embargo, el objetivo general es el de tratar todas las fallas; muchos expertos coinciden en que un RPN superior a 30 requiere de un despliegue enfocado en el tratamiento del modo de falla.

○ **Para Chancador de mandíbulas TRIO CT 3254**

Las siguientes tareas de mantenimiento se basan en los requerimientos del fabricante del equipo, y se agrupan por pautas realizadas en conjunto a los comentarios y observaciones del equipo de trabajo. Las tareas de mantenimiento están enfocadas a prevenir de manera eficiente los modos de fallos que puede tener este equipo para así evitar o mitigar las fallas funcionales del mismo.

Actividades de mantenimiento:

- ✓ Pauta de mantenimiento INSPECCION
- ✓ Pauta de mantenimiento LUBRICACIÓN
- ✓ Pauta de mantenimiento MECANICA
- ✓ Pauta de mantenimiento TOMA DE MUESTRA

Además de esto, se priorizará los modos de fallas que nos arrojó el análisis AMEF aplicado a este equipo, en el cual se detectaron modos de falla más riesgosos según su NPR, que se listan a continuación:

- **Motor eléctrico defectuoso**
- **Cámara de trituración.**
- **Consumo excesivo de energía**

○ **Para Chancador de Cono TRIO TC51S**

Las tareas de mantenimiento de este equipo también se agruparon en pautas para tener un orden en los documentos que se generarán a partir de este estudio, basándose en recomendaciones de los fabricantes para cada sistema o subsistema del equipo analizado. Las tareas de mantenimiento están enfocadas a prevenir de manera eficiente los modos de fallos que puede tener este equipo para así evitar o mitigar las fallas funcionales del mismo.

Actividades de mantenimiento:

- ✓ Pauta de mantenimiento INSPECCION
- ✓ Pauta de mantenimiento LUBRICACIÓN
- ✓ Pauta de mantenimiento MECANICA
- ✓ Pauta de mantenimiento TOMA DE MUESTRA

Además de esto, se priorizará los modos de fallas que nos arrojó el análisis AMEF aplicado a este equipo, en el cual se detectaron modos de falla más riesgosos según su NPR, que se listan a continuación:

- **Sistema de lubricación/refrigeración (aceite hidráulico).**
- **Descarga de Chancador**

○ **Para Harnero Lavador y Harnero Tamiz TRIO**

Así como los equipos anteriores, estos equipos que varían en su sistema de aspersores, se le realizaron pautas de mantenimiento para agrupar las tareas de mantenimiento que están enfocadas a prevenir de manera eficiente los modos de fallos que puede tener este equipo para así evitar o mitigar las fallas funcionales del mismo.

Actividades de mantenimiento:

- ✓ Pauta de mantenimiento INSPECCION
- ✓ Pauta de mantenimiento LUBRICACIÓN
- ✓ Pauta de mantenimiento MECANICA
- ✓ Pauta de mantenimiento TOMA DE MUESTRA
- ✓ Pautas de mantenimiento específicas

Además de esto, se priorizará los modos de fallas que nos arrojó el análisis AMEF aplicado a este equipo, en el cual se detectaron modos de falla más riesgosos según su NPR, que se listan a continuación:

- **Malla deck (clasificación).**
- **Sistema de agua de lavado**
- **Sistema de amortiguación**

ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO PLANTA EMPRÉSTITO

Se realizó una matriz de frecuencias con el fin de darle un orden en el tiempo a las tareas de mantenimiento propuestas para este plan diseñado para planta empréstitos de Minera Candelaria, los equipos y/o activos que logramos reconocer en este proceso productivo fueron agrupados de tal manera con el fin de resumir nuestra matriz, y hacerla más amigable para el trabajador que la lea y analice.

Esta matriz tiene un margen de 1 año para la realización de las diferentes pautas de mantenimiento, las cuales incluyen las tareas de mantenimiento que nos entregó nuestro análisis AMEF.

Las frecuencias establecidas, van de la mano con las tareas de mantenimiento, es decir, las actividades que son netamente mecánicas, como por ejemplo el apriete de pernos, estarán dentro de una pauta de mantenimiento mecánica, así mismo las pautas de lubricación e inspección. Teniendo en consideración el tipo de tarea, su dificultad y su manera de cómo realizar las tareas, nos reunimos con el planificador del departamento de mantención y el mecánico de mantención que se encontraba de turno, para fijar las frecuencias a las distintas pautas y/o tareas de mantención que influye nuestro plan.

Ya que se requieren utilizar los mínimos recursos posibles, se programaron las actividades con el mínimo de personal para realizarlas con éxito, y en conjunto a los trabajadores mencionados, se estableció la siguiente matriz de estrategias de mantenimiento.

Propuesta plan matriz de mantenimiento

		ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO															
		PLAN MATRIZ DE MANTENIMIENTO PLANTA EMPRESTITOS MINERA CANDELARIA															
		MARZO			ABRIL				MAYO				JUNIO				
		SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6	SEMANA 7	SEMANA 8	SEMANA 9	SEMANA 10	SEMANA 11	SEMANA 12	SEMANA 13	SEMANA 14	SEMANA 15	SEMANA 16
Equipos de clasificación Harnero Primario, Harneros Humedos, Harneros Lavadores	PM MECANICA DE HARNEROS		PM QUINCENAL EF		PM QUINCENAL EF		PM QUINCENAL EF		PM QUINCENAL EF		PM QUINCENAL EF		PM QUINCENAL EF		PM QUINCENAL EF		PM QUINCENAL EF
	PM DE RETORQUEO PERNOS HARNERO				PM MENSUAL ED				PM MENSUAL ED				PM MENSUAL ED				PM MENSUAL ED
	PM DE LUBRICACION DE HARNEROS				PM MENSUAL ED				PM MENSUAL ED				PM MENSUAL ED				PM MENSUAL ED
	PM DE INSPECCION ESTRUCTURAL DE HARNEROS	PM QUINCENAL ED				PM QUINCENAL ED		PM QUINCENAL ED		PM QUINCENAL ED		PM QUINCENAL ED		PM QUINCENAL ED			
	PM DE MUESTRAS DE ACEITE			PM BIMENSUAL							PM BIMENSUAL						
	PM MANTENCION TRIMESTRAL EQUIPOS DE CLASIFICACION																
Equipos de Chancado Chancador Primario, Chancador de cono, Grizzly, tolva de alimentacion	PM MECANICA DE CHANCADORES			PM QUINCENAL EF	PM QUINCENAL EF		PM QUINCENAL EF		PM QUINCENAL EF		PM QUINCENAL EF		PM QUINCENAL EF		PM QUINCENAL EF		PM QUINCENAL EF
	PM DE LUBRICACION DE CHANCADORES	PM DIARIA EF	PM DIARIA EF		PM DIARIA EF	PM DIARIA EF	PM DIARIA EF	PM DIARIA EF	PM DIARIA EF	PM DIARIA EF	PM DIARIA EF	PM DIARIA EF	PM DIARIA EF	PM DIARIA EF	PM DIARIA EF	PM DIARIA EF	PM DIARIA EF
	PM DE MUESTRAS DE ACEITE			PM BIMENSUAL							PM BIMENSUAL						
	PM MANTENCION TRIMESTRAL EQUIPOS DE CHANCADO																
	PM DE CAMBIO DE REVESTIMIENTOS																
	PM INSPECCION CHANCADORES	PM QUINCENAL ED				PM QUINCENAL ED		PM QUINCENAL ED		PM QUINCENAL ED		PM QUINCENAL ED		PM QUINCENAL ED			
Equipos de impulsión Bombas, clarificadores	PM MECANICA DE BOMBAS			PM QUINCENAL EF	PM QUINCENAL EF		PM QUINCENAL EF		PM QUINCENAL EF		PM QUINCENAL EF		PM QUINCENAL EF		PM QUINCENAL EF		PM QUINCENAL EF
	PM DE MUESTRAS DE ACEITE			PM BIMENSUAL							PM BIMENSUAL						
	PM DE LUBRICACION DE CLARIFICADORES Y BOMBAS			PM QUINCENAL EF	PM QUINCENAL EF		PM QUINCENAL EF		PM QUINCENAL EF		PM QUINCENAL EF		PM QUINCENAL EF		PM QUINCENAL EF		PM QUINCENAL EF
	PM DE MEDICION DE ESPESORES EN																
	PM INSPECCION DE BOMBAS								PM MENSUAL ED				PM MENSUAL ED				PM MENSUAL ED
	PM TRIMESTRAL EQUIPOS DE																

MANTENCION TRIMESTRAL PLANTA EMPRESTITOS

MANTENCION TRIMESTRAL PLANTA EMPRESTITOS

PAUTA DESIGNADA POR DEPARTAMENTO METALURGIA

PM APLICADA DE MANERA CORRECTIVA

CAPITULO 3:
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El estudio que se realizó para Minera Candelaria, aportando a lo que es su proyecto de “continuidad operacional Candelaria 2030” y cumpliendo con los requerimientos que nos solicitaron, nos permitió aprender cómo se debe desarrollar correctamente un plan matriz de mantenimiento y lograr que la problemática presentada por el departamento de planificación quede resuelta satisfactoriamente.

Principalmente nuestro estudio se enfocó en la parte técnica del mantenimiento ya que la información de este tipo, se encontraba dispersa, muy extensa, e imposible de usarla prácticamente para la realización de la propuesta. Lo que el levantamiento realizado en este estudio pudo ordenar, resumir y explicar todo el funcionamiento del proceso productivo, concluyendo en que el objetivo número uno (1) queda completado en su totalidad.

Además, se estudiaron a fondo los equipos clasificados como críticos de nuestra planta gracias al análisis de criticidad aplicado, de modo que nuestro plan matriz abarque dichos equipos en su totalidad, cumplimiento objetivo número dos (2). Sin embargo, se busca acotar el número de equipos presentes en la planta con el fin de poder aplicarse próximo en el tiempo. Por otra parte, este estudio queda abierto para lograr su ejecución post evaluación económica del mismo.

Gracias al análisis AMEF realizado, se pudieron obtener los modos de falla con mayor prioridad, esto ya que el AMEF presentado se respalda de su aspecto cuantitativo el calcular el NPR (número prioritario de riesgo), el cual nos indica los modos de fallo más críticos abarcando su severidad, ocurrencia y detección. Teniendo esto completado pudimos especificar las pautas de mantenimiento enfocadas a solucionar estos modos de fallo.

Finalmente, todas las tareas de mantenimiento presente en esta propuesta se ordenan en una tabla de estrategias de mantenimiento agrupando y resumiendo el plan matriz de mantenimiento propuesto. Cumplimiento objetivo número tres (3).

De acuerdo al estudio completo realizado, y los resultados obtenidos en los distintos análisis, podemos concluir que una propuesta matriz de mantenimiento necesita estar respaldada por información real, utilizada para analizar general y específicamente una planta industrial, y que la podamos plasmar teóricamente en su planificación, así como ejecutar prácticamente en terreno.

Recomendaciones

Se recomienda a los departamentos de Planificación y Mantenimiento de Minera Candelaria tomar en consideración el estudio realizado, plantearlo y analizarlo en conjunto con el fin de implementarlo próximo en el tiempo.

En base a los antecedentes recopilados y el análisis de criticidad hecho, Realizar el estudio económico para complementar el presente, conociendo los costos que tendría la implementación del mismo, pudiendo discernir entre mantener, reducir o ampliar el plan matriz de mantenimiento.

Una vez realizado el estudio económico de esta propuesta, levantarlo y presentarlo a nivel gerencial de manera que pueda incorporarse tanto en la planificación anual de la minera como en los costos mensuales que posee la organización, logrando que el estudio técnico realizado se materialice.

Por último, manteniendo el concepto de recomendación, Se sugiere que al momento de materializar y/o ejecutar esta propuesta de plan matriz de mantenimiento, o en su defecto un plan matriz modificado, ya sea reducido o ampliado, llevar un registro completo de lo que se está realizando para poder medir los resultados de su implementación, pudiendo demostrar los resultados y tomar acciones al respecto.