

2018

# PLAN DE MANTENIMIENTO MOLINO DE CARBÓN BOCAMINA II

ISLA SAEZ, CLAUDIO

---

<https://hdl.handle.net/11673/45967>

*Repositorio Digital USM, UNIVERSIDAD TECNICA FEDERICO SANTA MARIA*

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

**PLAN DE MANTENIMIENTO MOLINO DE CARBÓN  
BOCAMINA II**

**Trabajo para optar al Título  
Profesional de Ingeniero de Ejecución  
en MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.**

**Alumno:  
Claudio Isla Sáez**

**Profesor Guía:  
Sr. Aldo Fuentes Troncoso**

**2018**

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, deseo expresar mis agradecimientos a Dios por permitir el finalizar estos tres años de estudio.

A los docentes de la universidad que nos instruyeron en las diferentes ramas de las ciencias de la ingeniería. Mi sincera gratitud al Profesor Aldo Fuentes por ayudar a finalizar la carrera, siendo mi profesor guía

También agradezco a mis compañeros USM que me apoyaron durante todo este proceso dando una voz de aliento en seguir adelante.

A mi familia por el apoyo durante todos estos años de estudios, que en más de una ocasión se debieron posponer fiestas, reuniones, etc. por dedicar tiempos a los certámenes, trabajos e informes y que ellos siguen incondicionalmente entregando su amor, comprensión, paciencia y más.

Agradezco a mi Señora Esposa Macarena Salazar por su apoyo incondicional en todo momento y por sus consejos animándome a seguir adelante

A mis amigos hijos Claudio y Maite que tuvieron paciencia y postergaron tantas invitaciones.

A todas las personas que de alguna u otra forma contribuyeron conmigo durante este proceso de formación.

Gracias a Todos. -

## **RESUMEN**

El presente trabajo de título se desarrolla en la central térmica Bocamina II de Enel Chile y consiste en un Plan de Mantenimiento para los Molinos de Carbón los cuales se encuentran Instalados en la sección Caldera, su función principal es realizar la molienda del carbón para luego ingresarlo al hogar de la caldera para su combustión, actualmente se encuentran Instalados 4 molinos de los cuales 3 se mantienen en servicio y uno de respaldo.

El trabajo contempla 6 capítulos donde comenzaremos describiendo el proceso general de la planta y la función que ocupan los Molinos de Carbón dentro del proceso.

Se realizará un Plan de Mantenimiento predictivo de los Molinos de Carbón analizando los subsistemas y sus componentes, secuencias de mantenimiento, costos del mantenimiento preventivo y cuantificaremos cuanto dejó de percibir la planta producto de la falla en el reductor (del Molino 1)

Las conclusiones obtenidas de este estudio son que al aplicar un programa de mantenimiento preventivo efectivo a través de la vigilancia sistemática de las condiciones de aceite, temperatura, vibraciones e inspecciones visuales, se permite analizar el estado del Molino y tomar las acciones necesarias para optimizar la confiabilidad, disponibilidad y seguridad de los equipos.

## **INDICE**

INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO GENERAL.....	2
OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	2
ALCANCE .....	3
LIMITACIONES.....	3
CAPÍTULO I: ANTECEDENTES DE LA EMPRESA.....	4
1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA .....	5
1.1 RESEÑA HISTORICA .....	5
1.2 VISIÓN, MISIÓN Y VALORES .....	6
1.2.1 Visión.....	7
1.2.2 Misión.....	7
1.2.3 Valores de ENEL.....	7
1.3 COMPLEJO TERMICO BOCAMINA 2.....	9
CAPITULO 2: MARCO TEORICO .....	11
2. MARCO TEORICO .....	12
2.1. MANTENIMIENTO INDUSTRIAL .....	12
2.1.1 Objetivos del Mantenimiento Industrial .....	12
2.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO.....	14
2.2.1 Mantenimiento de Conservación .....	14
2.2.2 Mantenimiento Correctivo.....	14
2.2.2.1 Mantenimiento Correctivo Inmediato.....	15
2.2.2.2 Mantenimiento Correctivo Diferido .....	15
2.2.3 Mantenimiento Preventivo .....	15
2.2.3.1 Mantenimiento Preventivo Programado .....	16

2.2.3.2	Mantenimiento Preventivo Predictivo .....	16
2.2.3.3	Mantenimiento Preventivo de Oportunidad .....	16
2.2.5	RCM (Mant. Centrado en la Rentabilidad) .....	17
2.3	VENTAJAS DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.....	18
2.3.1	Mantenimiento Correctivo.....	18
2.3.2	Ventajas de un Correctivo Planificado.....	18
2.3.3	Desventajas de Mantenimiento Industrial Correctivo.....	19
2.3.4	Mantenimiento Industrial Preventivo.....	20
2.3.5	Ventajas del Mantenimiento Industrial Preventivo.....	20
2.3.6	Contras del Mantenimiento Preventivo.....	21
2.3.7	Mantenimiento Predictivo.....	21
2.3.8	Ventajas del Mantenimiento Industrial Predictivo.....	22
2.3.9	Contras del Mantenimiento Industrial Predictivo.....	22
CAPÍTULO 3: DESCRIPCION DEL PROCESO BOCAMINA 2.....		23
3.	DESCRIPCION DEL PROCESO BOCAMINA 2 .....	24
3.1	DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PLANTA.....	24
3.2	ESQUEMA GENERAL DE LA PLANTA.....	27
3.3	DIAGRAMA DE FLUJO DE LOS GASES .....	28
3.4	DIAGRAMA DE FLUJO DE CENIZAS.....	29
3.5	DIAGRAMA GENERAL FLUJO DE AIRE – GASES .....	30
3.6	DIAGRAMA AGUA – VAPOR .....	31
3.7	DIAGRAMA DE CONDENSADO .....	32
3.8	DIAGRAMA DE FLUJO MOLINO DE CARBÓN .....	33
3.8	DIAGRAMA DE PROCESO MOLINO DE CARBÓN .....	34
3.10	IDENTIFICACIÓN CRITICIDAD DEL MOLINO .....	35
3.11	FALLA MOLINO DE CARBÓN .....	52

CAPITULO 4: DEFINICIONES TECNICAS .....	36
4. DEFINICIONES TECNICAS .....	37
4.1 DESCRIPCIÓN DEL MOLINO .....	37
4.1.1 Base de Plataforma .....	40
4.1.2 Motor Eléctrico Principal .....	40
4.1.3 Acoplamiento.....	41
4.1.4 Reductor de Velocidad .....	41
4.1.5 Base de la Máquina.....	42
4.1.6 Caja de Residuos (Piritero).....	42
4.1.7 Equipo Hermético de la Base .....	42
4.1.8 Rueda de Transmisión y Equipo de Reglón .....	43
4.1.9 Anillo de Molienda .....	44
4.1.10 Equipo de Rodillos .....	44
4.1.11 Estante de Presión.....	45
4.1.12 Equipo de Eje Articulado.....	46
4.1.13 Tanque de Presión.....	46
4.1.14 Separador .....	46
4.1.15 Sistema de Conductos de Aceite de Alta Presión .....	47
4.1.16 Sistema de Aceite Lubricante .....	48
4.1.17 Circuitos Aceite Lubricante .....	49
4.1.18 Estación de Aceite de Alta Presión.....	49
4.1.19 Sistema Hidráulico.....	50
CAPÍTULO 5: PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO.....	54
5.1 ESTUDIO RCM .....	55
5.3 PROPUESTA PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO.....	66
5.3.1 MPB 1 Año Molino y Pirita (Eléctrico) .....	66
5.3.2 MPB 1 año Molino y Pirita (Mecánico) .....	67

5.3.3	MPB 5 Años Molinos y Pirita (Mecánico) .....	68
5.3.5	MPB 4 Años Enfriamiento de Molinos (Mecánicos) .....	70
5.3.6	Enfriador de Aceite Molino .....	71
5.3.7	MPB 3 Meses Molino Y Pirita (Mecánicos) .....	72
5.3.8	Predictivo 6 Meses Molino Y Pirita (Mecánicos) .....	73
5.4	PUESTA EN SERVICIO MOLINO .....	74
5.4.2	Secuencia de la Puesta en Servicio Molinos .....	75
5.5	CONTROL OPERACIONAL .....	78

## CAPÍTULO 6: ANÁLISIS DE COSTOS DEL MANTENIMIENTO ..... 79

6.1	ANÁLISIS DE COSTOS DEL MANTENIMIENTO DEL MOLINO	80
6.2	COTIZACIÓN CAJA REDUCTORA .....	81
6.3	ESTUDIO ECONOMICO .....	82
6.4	DETALLE DEL PLAN DE MANTENIMIENTO.....	81
6.5	ANÁLISIS DE COSTOS ANTE UNA EVENTUAL SALIDA.....	83
6.5	ESTUDIO ECONOMICO .....	84
6.5.1	Para un Mínimo Técnico .....	85
6.5.2	Con Central Fuera de Servicio.....	85
6.5.4	Perdidas por Molino Fuera de Servicio .....	86
6.5.5	Costos Totales.....	86
6.6	GRAFICO DE COSTOS .....	87
	CONCLUSION .....	88
	BIBLIOGRAFÍA .....	89

## ÍNDICE FIGURAS

Figura 1-1	Bocamina 2 .....	9
Figura 1-2	Organigrama .....	10
Figura 2-1	Tipos de mantenimiento.....	14
Figura 3-1	Esquema general de la planta.....	27
Figura 3-2	Diagrama de flujo de gases .....	28
Figura 3-3	Diagrama de flujo de cenizas .....	29
Figura 3-4	Diagrama de flujo de aire-gases.....	30
Figura 3-5	Diagrama agua-vapor.....	31
Figura 3-6	Diagrama de condensado .....	32
Figura 3-7	Diagrama de flujo molino de carbón .....	33
Figura 3-8	Diagrama proceso Molino de carbón.....	30
Figura 3-9	Molino de carbón.....	31
Figura 3-10	Componente dañado.....	33
Figura 3-11	Componente dañado.....	33
Figura 3-12	Componente dañado.....	33
Figura 3-13	Componente dañado.....	33
Figura 4-1	Componentes Molino Carbón.....	37
Figura 4-2	Motor eléctrico.....	38
Figura 4-3	Circuito aceite alta presión.....	45
Figura 4-4	Circuito aceite lubricación .....	47
Figura 4-5	Sistema hidráulico.....	48
Figura 6-1	Grafico de costos.....	87

## INTRODUCCIÓN

Las centrales termoeléctricas pueden producir un gran impacto ambiental si no se toman los resguardos necesarios y no se invierte en tecnología para que sean controlados. Es por esto y conforme a la RCA (Resoluciones de Calificaciones Ambiental) y a los compromisos adquiridos entre Enel y el Estado de Chile que se ha hecho hincapié en estos puntos para no dañar el medio ambiente y así poder operar libremente monitoreando siempre las emisiones, residuos, riles y captación de agua de mar.

El presente trabajo se desarrollará en la central termoeléctrica Bocamina II, se trabajará en un plan de mantenimiento de los Molinos, producto de una falla originada en la caja reductora del molino N°1, lo cual significó un alto costo a la empresa ocasionando pérdidas y retrasos en la producción generando paradas prolongadas y un gran costo en reparaciones.

Otro de los objetivos importantes es crear un RCM como plan de mantenimiento, con esto aumentara la confiabilidad y disponibilidad del equipo y todo esto centrado en la seguridad de las personas.

- **INCONVENIENTES** que presentan los molino de carbón en el proceso ante una caída de servicio o “trip”:
  - a) Alto diferencial de presión en la cámara de combustión, inestabilidad en el nivel del Domo por tener menos poder calorífico para generar el vapor.
  - b) Bajada de cargas térmica repentinas debido a la configuración de la turbina (sigue) trabajo-vapor, esto debido a que cada molino aporta 48 toneladas horas.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Elaborar un plan de mantenimiento preventivo para los Molinos de Carbón de Bocamina II.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

- Describir componentes principales y funcionamiento de molino de carbón Bocamina II
- Crear frecuencia de mantenimiento predictivo.
- Estandarizar el Mantenimiento del Molino para prolongar la confiabilidad y disponibilidad operacional.

## **ALCANCE**

Esta idea de implementar un plan de mantenimiento de los Molinos de Carbón de la Unidad II Central Bocamina, es debido a que es un componente crítico del proceso de la combustión.

Con esto se quiere lograr consolidar criterios en el mantenimiento y operación con el objetivo de prolongar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos involucrados en este sistema cumpliendo con las políticas medioambientales.

## **LIMITACIONES**

Las limitaciones de este trabajo se basan en la realización de un plan de mantenimiento de los Molinos, en ningún caso contempla pruebas operacionales por el costo económico y riesgo de disponibilidad de la planta, que significa tener dicho equipo fuera de servicio.

## **CAPÍTULO I: ANTECEDENTES DE LA EMPRESA**

## **1. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA**

### **1.1 RESEÑA HISTORICA**

La historia de Endesa Chile comienza el primero de diciembre de 1943, cuando es creada como una sociedad anónima, filial de la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO), con el objetivo de desarrollar el Plan de Electrificación del país, incluyendo la generación, el transporte y producción. La compañía perteneció por 42 años al Estado chileno, alcanzando un papel preponderante en el sector eléctrico y llegando a ser una de las empresas más importantes del país y la base de desarrollo hidroeléctrico en el territorio. Las inversiones fueron cuantiosas, llevándose a cabo relevantes obras de ingeniería, electrificación y riego. Con la política de privatización dispuesta por el gobierno de Chile en los años ochenta, se instruyó a Endesa Chile prepararse para este efecto. Con ello, se dispuso la separación de las áreas de distribución y se adecuó la empresa para incorporar a los fondos de pensión y a particulares como accionistas de la sociedad. El proceso de privatización se inició en 1987 con una serie de ofertas públicas, y dada la magnitud para el mercado interno, el proceso se completó recién en 1989. Tras la privatización se produjeron importantes cambios en la organización, reestructurándose como un holding con filiales de control permanente en las diferentes actividades de la compañía. En mayo de 1999, Enersis S.A. a través de una Oferta Pública de Acciones, se constituyó la controladora de la sociedad con 60% de las acciones de Endesa Chile. El 13 de septiembre de 2004, Endesa Chile firmó la carta de adhesión al Pacto Mundial de Naciones Unidas (Global Compact), iniciativa de ámbito internacional, a través de la cual se comprometió a adoptar diez principios básicos universales relacionados con el respeto a los derechos humanos, las normas laborales, el medio ambiente y la lucha contra la corrupción.

El 18 de abril de 2005, Endesa Chile constituyó la subsidiaria Endesa ECO S.A., cuyo objetivo es promover y desarrollar proyectos de energía renovables como centrales mini-hidráulicas, eólicas, geotérmicas, solares, de biomasa y, además, actuar como depositaria y comercializadora de los certificados de reducción de emisiones que se obtengan de dichos proyectos.

En 2005, se constituyó el holding Endesa Brasil S.A., el cual surgió mediante el aporte de los activos existentes en ese país de Endesa Latinoamérica, Endesa Chile, Enersis y Chilectra. De esta manera, en octubre de dicho año, Endesa Chile dejó de consolidar a Cachoeira Dourada, y Enersis comenzó a consolidar Endesa Brasil S.A.

En la actualidad, La Empresa Nacional de Electricidad Sociedad Anónima (Endesa o Endesa Chile) es una empresa de generación eléctrica chilena, filial de ENERSIS y subsidiaria de la empresa española Endesa y esta de la italiana. En él y sus filiales operan 179 unidades en cuatro países de Latinoamérica, con una capacidad instalada total de 13.455MW. Si se incluye el 50% de la potencia de la Central Termoeléctrica Atacama, de la sociedad de control conjunto Gas Atacama, se alcanza un total de 182 unidades, con una capacidad instalada de 13.846 MW

## **1.2 VISIÓN, MISIÓN Y VALORES**

La misión, visión y valores de Endesa están dirigidos a contribuir, mediante actuaciones propias, al cumplimiento de los objetivos estratégicos del Grupo ENEL y a consolidar nuestra posición como referente en el mercado de la energía, pensando siempre en el beneficio de nuestros grupos de interés y en el valor de nuestros accionistas.

### 1.2.1 Visión

Ser un operador del negocio energético y de servicios conexos, centrado en la electricidad. Una compañía multinacional responsable, eficiente y competitiva, comprometida con la seguridad, la salud y el medioambiente. Una empresa preparada para competir globalmente.

### 1.2.2 Misión

Maximizar el valor de la inversión de sus accionistas. Servir a sus mercados superando las expectativas de sus clientes. Contribuir al desarrollo y realización de sus empleados.

### 1.2.3 Valores de ENEL

**Personas:** Aseguramos las oportunidades de desarrollo basadas en el mérito y en la aportación profesional. Seguridad y Salud: nos comprometemos decididamente con la seguridad y salud laboral, promoviendo una cultura preventiva.

**Trabajo en equipo:** fomentamos la participación de todos para lograr un objetivo común, compartiendo información y conocimientos.

**Conducta ética:** Actuamos con profesionalidad, integridad moral, lealtad y respeto a las personas.

**Orientación al cliente:** Centramos nuestro esfuerzo en la satisfacción del cliente, aportando soluciones competitivas y de calidad.

**Innovación:** Promovemos mejoras continuas e innovación para alcanzar la máxima calidad desde criterios de rentabilidad.

**Orientación a resultados:** Dirigimos nuestras actuaciones hacia la consecución de los objetivos del proyecto empresarial y de la rentabilidad para nuestros accionistas, tratando de superar sus expectativas.

**Comunidad y medioambiente:** Nos comprometemos social y culturalmente con la comunidad y adaptamos nuestras estrategias empresariales a la preservación del medioambiente.

**Trabajo en equipo:** Fomentamos la participación de todos para lograr un objetivo común, compartiendo la información y los conocimientos.

**Conducta Ética:** Actuamos con profesionalismo, integridad moral, lealtad y respeto a las personas.

**Orientación al Cliente:** Centramos nuestro esfuerzo en la satisfacción del cliente, aportando soluciones competitivas y de calidad.

**Innovación:** Promovemos la mejora continua y la innovación para alcanzarla máxima calidad desde criterios de rentabilidad.

**Orientación a Resultados:** Dirigimos nuestras actuaciones hacia la consecución de los objetivos del proyecto empresarial y de la rentabilidad para nuestros accionistas, tratando de superar su expectativa

**Comunidad y Medioambiente:** Nos comprometemos social y culturalmente con la comunidad. Adaptamos nuestras estrategias empresariales a la preservación del Medioambiente”.

### **1.3 COMPLEJO TERMICO BOCAMINA 2**

Ubicada en la Octava Región del Bío-Bío en la ciudad de Coronel, este complejo cuenta con dos unidades de generación.

La unidad I, puesta en servicio en el año 1970, tiene una capacidad de 128 MW denominados “potencia firme”, los cuales son aportados al sistema interconectado central (SIC) a través de la Subestación Hualpén transportados por líneas de 154 KV.

La unidad II, puesta en servicio en el año 2012, tiene una capacidad de 350MW, los cuales son aportados al sistema interconectado central a través de la Subestación Lagunillas transportados por líneas de 220 KV.

Las Centrales están compuestas en términos generales de una cancha de acopio del carbón, que se maneja a través de una serie de cintas transportadoras, La caldera es la encargada de generar el vapor que posteriormente será el que moverá la turbina que en su eje tiene acoplado el alternador quien finalmente genera la electricidad que la Central aporta al sistema.



Figura 1- 1 Bocamina2  
[www.enel.cl](http://www.enel.cl)

La administración de esta Central depende directamente de la gerencia de explotación de ENEL Chile, por lo que sus planes estratégicos están orientados al cumplimiento de los objetivos corporativos de ENEL, y de esta forma se definen los objetivos para la Dirección de Bocamina, de los cuales se desprenden los objetivos específicos para cada área funcional de la organización, el organigrama por lo tanto es jerárquico y orientado a las áreas funcionales que requiere una Central de este tipo, tal como se muestra:

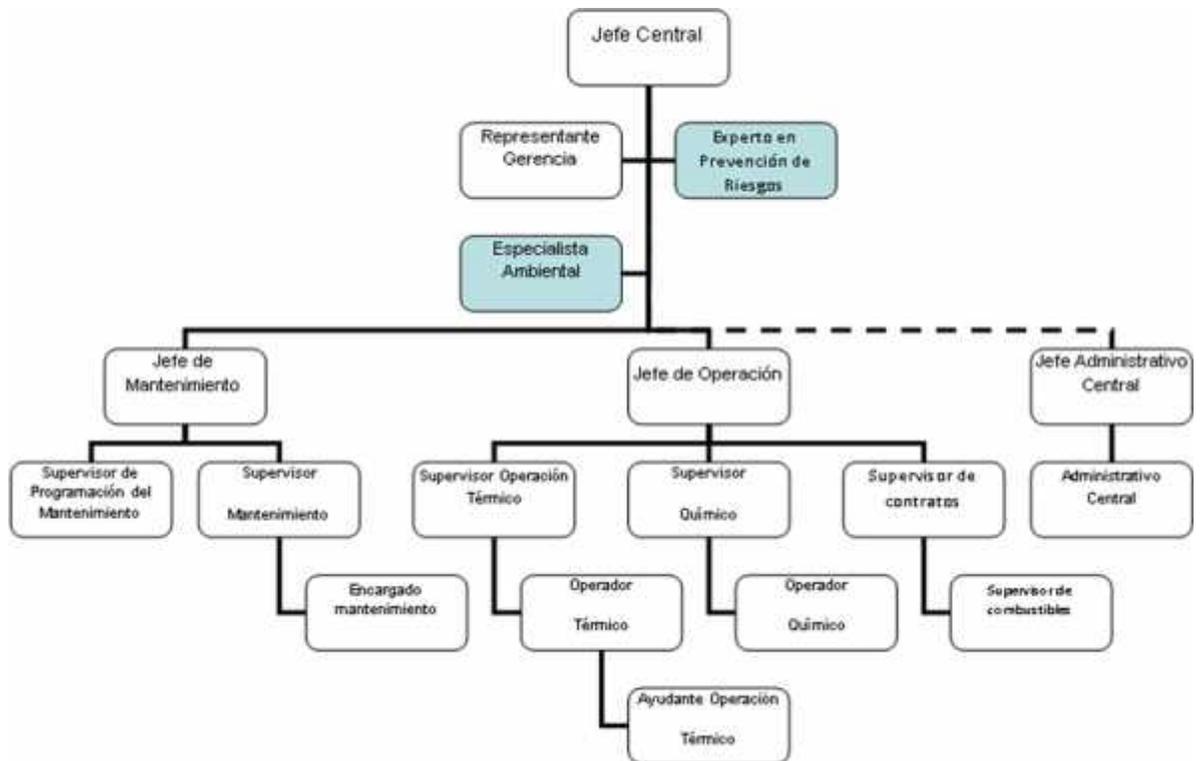


Figura 1- 2 Organigrama de la Empresa

## **CAPITULO 2: MARCO TEORICO**

## 2. MARCO TEORICO

### 2.1. MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

#### 2.1.1 Objetivos del Mantenimiento Industrial

En cualquier empresa, el mantenimiento debe cumplir con dos objetivos fundamentales:

- Reducir costos de producción.
- Garantizar la seguridad industrial.

Cuando se habla de reducir los costos de producción se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Optimizar la disponibilidad de equipos e instalaciones para la producción.
- Reducir los costos de las paradas de producción ocasionadas por deficiencia en el mantenimiento de los equipos, mediante la aplicación de una determinada cantidad de mantenimiento en los momentos más apropiados.
- Incrementar la vida útil de los equipos.

Uno de los objetivos evidentes del mantenimiento es el de procurar la utilización de los equipos durante toda su vida útil. La reducción de los factores de desgastes, deterioros y roturas, garantizan que los equipos alcancen una mayor vida útil.

Maximizar el aprovechamiento de los recursos disponibles para la función del mantenimiento.

Es aquí donde se debe analizar la conveniencia o no de continuar prestando el servicio de mantenimiento a una máquina que presenta problemas de funcionamiento o buscar su reemplazo.

**Reducir los costos de operación y reparación de los equipos:**

La planificación del mantenimiento reduce los costos de operación y reparación de los equipos industriales. Los programas para la lubricación, limpieza y ajustes de los equipos permiten una reducción notable en el consumo de energía y un aumento en la calidad de los productos terminados. A mayor descuido en la conservación de los equipos, mayor será la producción de baja calidad.

Referente al tema de la seguridad industrial, podemos decir que el objetivo más importante desde el punto humano es garantizar con el mantenimiento la seguridad de operación de los equipos.

Para poder cumplir estos objetivos es necesario realizar algunas funciones específicas a través del departamento de mantenimiento, tales como:

- 1) Administrar el personal de mantenimiento
- 2) Programar los trabajos de mantenimiento
- 3) Establecer los mecanismos para retirar de la producción aquellos equipos que presentan altos costos de mantenimiento.
- 4) Proveer al personal de mantenimiento de las herramientas adecuadas para sus funciones.
- 5) Mantener actualizadas las listas de repuestos y lubricantes.
- 6) Capacitar al personal de mantenimiento sobre los principios y normas de seguridad industrial.
- 7) Disponer adecuadamente de los desperdicios y del material recuperable.

## 2.2 TIPOS DE MANTENIMIENTO

Dentro de los tipos de mantenimientos tenemos la siguiente clasificación

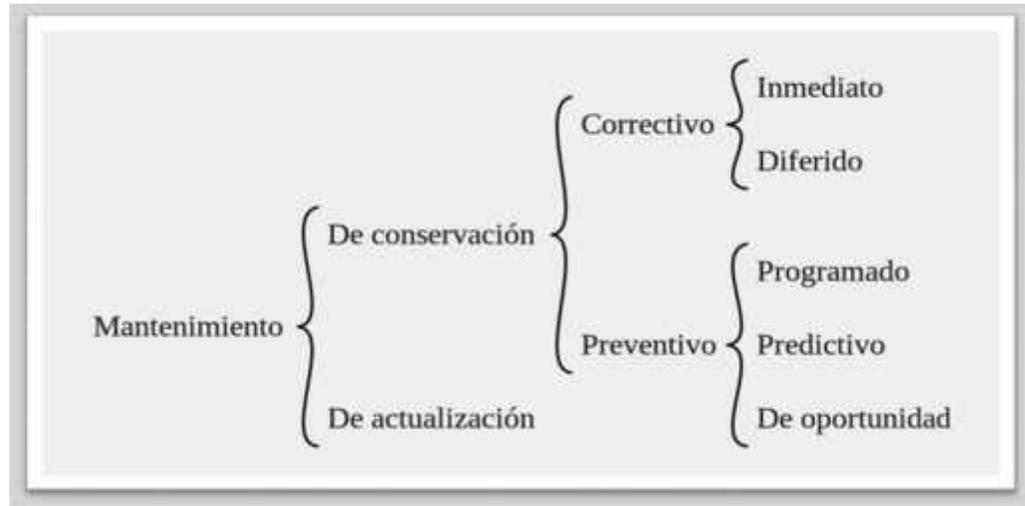


Figura 2- 1 Tipos de Mantenimiento  
[www.gestiopolis.com/definicionde-un-plan-de-mantenimiento](http://www.gestiopolis.com/definicionde-un-plan-de-mantenimiento)

### 2.2.1 Mantenimiento de Conservación

Es el destinado a compensar el deterioro sufrido por el uso, los agentes meteorológicos u otras causas. En el mantenimiento de conservación pueden diferenciarse en:

### 2.2.2 Mantenimiento Correctivo

Es aquel que se ocupa de la reparación una vez que se haya producido la falla, dentro de este tipo de mantenimiento podríamos contemplar de dos tipos:

#### 2.2.2.1 Mantenimiento Correctivo Inmediato

Es el que se realiza inmediatamente de percibir la avería, con los medios disponibles destinados a este fin.

#### 2.2.2.2 Mantenimiento Correctivo Diferido

Al producirse la avería o defecto, se produce un paro de la instalación o equipamiento de que se trate, para posteriormente afrontar la reparación, solicitándose los medios para ese fin.

#### 2.2.3 Mantenimiento preventivo

Puede definirse como la programación de actividades de inspección de los equipos, tanto de funcionamiento como de limpieza y calibración, que deben llevarse a cabo en forma periódica con base en un plan de aseguramiento y control de calidad. Su propósito es prevenir las fallas, manteniendo los equipos en óptimas condiciones óptimas para la operación.

La característica principal de este tipo de mantenimiento es la de inspeccionar los equipos, detectar las fallas en su fase inicial y corregirlas en el momento oportuno.

**Podemos observar de tres tipos:****2.2.3.1 Mantenimiento Preventivo Programado**

Se realiza por programa de revisiones, ya sea por tiempo de funcionamiento, kilometraje, horas de uso, etc.

**2.2.3.2 Mantenimiento Preventivo Predictivo**

Se interviene el equipo, prediciendo el momento que el equipo quedara fuera de servicio mediante un seguimiento de su funcionamiento determinado su evolución, y por tanto el momento en el que las reparaciones deben efectuarse.

**2.2.3.3 Mantenimiento Preventivo de Oportunidad**

Es el que aprovecha las paradas o periodos de no uso de los equipos para realizar las operaciones de mantenimiento, realizando las revisiones o reparaciones necesarias para garantizar el buen funcionamiento de los equipos en el nuevo periodo de utilización.

**2.2.4 Mantenimiento de Actualización**

Su propósito es compensar la obsolescencia tecnológica, o las nuevas exigencias, que en el momento de construcción no existían o no fueron tenidas en cuenta pero que en la actualidad si tienen que serlo.

### **Mantenimiento Productivo Total (T.P.M.)**

Mantenimiento productivo total es la traducción de TPM (Total Productive Maintenance). El TPM es el sistema Japonés de mantenimiento industrial, la letra M representa acciones de MANAGEMENT y mantenimiento. Es un enfoque de realizar actividades de dirección y transformación de empresa. La letra P está vinculada a la palabra “Productivo” o “Productividad” de equipos pero hemos considerado que se puede asociar a un término con una visión más amplia como “Perfeccionamiento” la letra T de la palabra “Total” se interpreta como “Todas las actividades que realizan todas las personas que trabajan en la empresa”.

Es un sistema de organización donde la responsabilidad no recae sólo en el departamento de mantenimiento sino en toda la estructura de la empresa, “El buen funcionamiento de las máquinas o instalaciones depende y es responsabilidad de todos”.

El sistema está orientado a lograr:

- Cero accidentes
- Cero defectos
- Cero fallas

#### **2.2.5 RCM (mantenimiento centrado en la rentabilidad)**

El RCM o Mantenimiento centrado en la rentabilidad es una metodología para el desarrollo de un plan de mantenimiento basada en el análisis de fallos de la instalación. De las tres metodologías propuestas en esta serie de artículos dedicados a la elaboración de planes de mantenimiento, basar este plan de mantenimiento en un exhaustivo análisis de fallos es sin duda la que mejores

resultados puede dar, pues estará orientado a evitar los fallos que pueda tener la instalación.

Cuando se habla de RCM o de la implementación de RCM se tiende a pensar en una metodología compleja, farragosa y de difícil aplicación. Nada más lejos de la realidad, con pocos recursos pero con un buen conocimiento de la instalación y algo de tiempo se puede desarrollar esta metodología y beneficiarse de sus excelentes resultados, espectaculares en algunos casos. En el mundo de la aviación, por ejemplo, el plan de mantenimiento se diseña aplicando RCM, y a nadie se le escapa que para el número de horas de vuelo que acumula la aviación mundial se reportan muy pocos accidentes.

## **2.3 VENTAJAS DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL**

### **2.3.1 Mantenimiento Correctivo**

La verdad es que para este tipo de mantenimiento no es fácil encontrar ventajas, salvo que sea un correctivo planificado. De ser un mantenimiento correctivo sin planificar, por lo general es algo urgente porque la máquina está parada, hay prisas y las ventajas no aparecen por ningún lado.

Así pues, nos centramos en las

### **2.3.2 Ventajas de un correctivo planificado:**

1. Las instalaciones y los equipos se mantienen más tiempo trabajando aunque a veces por debajo de su rendimiento normal por la avería.

2. Los costes de las reparaciones suelen ser más reducidos, aunque no siempre, porque a veces una avería pequeña que se mantiene en funcionamiento genera una avería mayor, incrementando los costes.
3. Se logra una mayor uniformidad en lo que respecta a carga de trabajo del personal encargado del mantenimiento, ya que la programación de actividades así lo facilita y lo promueve.
4. Dado que el personal tiene que trabajar en buenas condiciones para que el mantenimiento sea efectivo, se logran conformar equipos muy fiables y de alta especialización en situación de fuertes medidas de seguridad.

### 2.3.3 Desventajas del mantenimiento industrial correctivo

En cuanto a los contras que presente el tipo de mantenimiento industrial correctivo, destacan:

1. Se pueden producir algunos fallos en el momento de la ejecución, lo que podría provocar un retraso en la puesta en marcha correcta de todos los equipos.
2. El precio de algunas reparaciones en concreto se podría elevar demasiado, algo que afecta a los presupuestos de la empresa. A veces hay que adquirir repuestos y equipos no planificados o con urgencia.
3. No existe una garantía total del tiempo que pueda llevar la reparación de un fallo en concreto.
4. Las roturas suelen venir en el momento más inoportuno y muchas veces en picos de producción, donde las máquinas trabajan deben trabajar a tope.

#### 2.3.4 Mantenimiento industrial preventivo

En lo que respecta al mantenimiento industrial preventivo, podemos definirlo como una técnica cuya eficacia se basa en un mantenimiento enfocado a la prevención de fallos en los equipos. Con este método se busca que las actividades estén siempre controladas para que el funcionamiento sea más fiable y eficiente, previendo los errores antes de que se produzcan.

Así pues, es muy útil en la gestión de proyectos, por ejemplo. Es decir, es una forma excelente de evitar posibles contingencias futuras que puedan costar un sobrecoste elevado a la empresa.

#### 2.3.5 Ventajas del mantenimiento industrial preventivo

En cuanto a las ventajas del mantenimiento industrial preventivo, caben destacar las siguientes:

1. Sin duda, se reducen porcentualmente los riesgos de error y fugas, que son mucho menos probables.
2. En comparación con otro tipo de mantenimiento, el coste es mucho menos elevado, especialmente frente a los fallos no planificados, que se reducen considerablemente con esta técnica.
3. Se reducen los paros imprevistos, lo que aumenta la productividad y los tiempos de trabajo constante.
4. Permite un mayor control sobre la producción y facilita la planificación de planes, instalación de nuevos dispositivos, aplicaciones de nuevas técnicas, etc.

### 2.3.6 Contras del mantenimiento industrial preventivo

En lo referente a las desventajas del tipo de mantenimiento industrial preventivo, destacamos:

1. Es más complejo diagnosticar el nivel de desgaste que sufren las piezas que forman los diversos equipos.
2. Se ha de buscar un personal mucho más especializado y las recomendaciones del fabricante cobran especial valor. De lo contrario, este tipo de mantenimiento será poco eficaz y muy costoso.

### 2.3.7 Mantenimiento industrial predictivo

Por último, destacamos el **mantenimiento industrial predictivo**. En este caso encontramos una técnica basada en el mantenimiento a través de inspecciones periódicas para determinar la operatividad y estado de los equipos. Se produce a través del conocimiento de las variables, que ayudan a descubrir el verdadero estado y la prevención de fallos.

Este tipo de mantenimiento industrial basa su **eficacia en la prevención de variables** como vibración, presión, temperatura, etc., que actúan como indicio del estado de los equipos. Es muy técnico y requiere unos altos conocimientos de análisis, ya que se trabaja con equipos de elevada sofisticación.

### 2.3.8 Ventajas del mantenimiento industrial predictivo

Veamos a continuación cuáles son las ventajas del mantenimiento industrial predictivo:

1. La operatividad de la maquinaria es más continua, ya que las pausas en caso de error son breves al detectarse de forma temprana.
2. Es muy fiable, ya que usa un personal muy cualificado que realiza cálculos de alta exactitud.
3. La necesidad de personal es menor, por lo que se reducen los costes en contratación.
4. Los repuestos y equipos empleados tienen una alta durabilidad. Las revisiones se hacen en base a resultados, por lo que se buscan piezas que cumplan con lo estipulado.

### 2.3.9 Contras del mantenimiento industrial predictivo

Pero también existen una serie de contras del mantenimiento industrial predictivo que merece la pena señalar para que sean tenidos en cuenta:

1. Implica programación, por lo que una avería puede demorarse más tiempo en ser solucionada.
2. Los equipos requeridos son más costosos, ya que son especiales, muy precisos, y, por tanto, de un presupuesto muy elevado.
3. El personal, pese a ser menor en número, ha de tener una alta cualificación. Así pues, tiene que conocer muy bien su área, pero hay menos opciones de mercado para encontrar a colaboradores realmente cualificados.

**CAPÍTULO 3: DESCRIPCION DEL PROCESO BOCAMINA 2**

### **3. DESCRIPCION DEL PROCESO BOCAMINA 2**

#### **3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA PLANTA**

En una Planta Termoeléctrica podemos identificar dos grandes sistemas que están relacionados directamente con la transformación de energía a partir del combustible, estos son: Combustión (Carbón-Aire-Gases) y Generación de Vapor (Agua-Vapor-Condensado y Sistema de Refrigeración).

Para el proceso de la combustión se utilizan como combustibles el diésel y el carbón. El primero se utiliza para el encendido de la Caldera y para elevar la temperatura dentro del Hogar, y el segundo, para mantener y completar la combustión en régimen normal de funcionamiento.

El carbón es enviado a la caldera por una cinta transportadora, que vierte su contenido en 4 Tolvas que alimentan a los Molinos de Carbón, donde éste es pulverizado y se mezcla con un flujo de aire precalentado. Esta mezcla carbón pulverizado y aire, ingresa a la caldera por los Quemadores, donde se inicia la combustión dentro del hogar.

Los Ventiladores de Tiro Forzado suministran el aire necesario para la combustión del carbón, que alcanza dentro del Hogar de la Caldera, temperaturas del orden de 1200°C a 1500°C, además de producir en complemento con los Ventiladores de Tiro Inducido, el movimiento y extracción de los gases.

Los gases de la combustión, durante su recorrido al interior de la caldera, entregan calor al agua para completar el cambio de estado de líquido a vapor y sobrecalentar el vapor a las condiciones necesarias para entregar a la turbina; cabe señalar que el agua y vapor circula por el interior de tubos de acero a modo de serpentines. Los gases de la combustión, una vez concluido su paso por la caldera y efectuado la transferencia de calor al agua-vapor, deben pasar

por procesos de filtro y limpieza antes de ser evacuados al ambiente a través de la Chimenea.

A la salida de la caldera y posterior al paso por el Calentador de aire regenerativo, las gases pasan por el Filtro de Mangas donde se retiene material particulado por filtros, luego son impulsados por los Ventiladores de Tiro Inducido hacia el proceso FGD (Tubo Gas Desulfurización) donde se le extraen los óxidos de azufre y finalmente se envían al ambiente por la chimenea.

En el proceso de Generación de Vapor, el agua utilizada es extraída de pozos profundos y almacenada en el estanque de agua cruda, ésta se purifica químicamente para obtener Agua Desmineralizada, la que es almacenada en el estanque de agua desmineralizada. Cuando el proceso entra en régimen, el Domo (estanque donde coexisten agua y vapor) recibe el agua precalentada por los Economizadores (309°C) e impulsada por las Bombas de Alimentación. Desde el Domo el agua desciende por 4 tubos principales de irrigación para luego ser impulsada por las bombas de circulación a través de las paredes de tubos del Evaporador donde el agua pasa a un estado de vapor saturado (361°C) y vuelve al domo. De esta manera, dentro de éste tenemos agua caliente en su parte inferior y vapor saturado en la parte superior.

Para que el vapor sea utilizado en la turbina, no debe contener humedad, por lo que pasa a través de cuatro Sobrecalentadores donde se le aumenta la temperatura unos 180°C llegando a 541°C con una presión de 171bar. Este “vapor sobrecalentado” es llevado a la Turbina de Alta Presión, donde desarrolla trabajo para mover la turbina a 3000rpm. El vapor resultante sale de la turbina de Alta presión y vuelve a la caldera, con una temperatura de 342°C, donde ingresa a los Recalentadores y se le aumenta la temperatura a

541°C, con una presión de 40,5 bar. Este nuevo vapor es ingresado a la Turbina de Media Presión y posteriormente a la Turbina de Baja Presión.

En las tres etapas de la turbina se realizan extracciones de vapor para transferir calor al agua de alimentación que va al domo, este aumento de temperatura se logra en los precalentadores, y de esta manera mejora el rendimiento del ciclo.

El eje de la turbina está acoplado al eje del Generador, produciendo la energía eléctrica con el movimiento giratorio en el Generador. La energía es conducida por barras capsuladas al Transformador Principal y luego al Patio de alta Tensión, entregando energía al Sistema Interconectado Central.

Una vez que el vapor completa su ciclo de trabajo, debe ser llevado a su estado original (Agua) para que inicie nuevamente el proceso.

Esto se logra pasando el vapor a través del Condensador de superficie, donde cambia de estado y es impulsado por las Bombas de Extracción de Condensado hacia al estanque Desaireador, para luego ser enviada al Domo por la Bombas de Alimentación. Para poder realizar este cambio de estado, el vapor es enfriado bruscamente al interior del Condensador, donde se produce el intercambio el calor con el Agua de Refrigeración (Agua de mar) que circula a través de una gran cantidad de tubos. Esta agua es devuelta al mar con una ganancia de temperatura de  $7^{\circ}\text{C}$ , aproximadamente. Cabe mencionar que la diferencial de temperatura entre la entrada y salida de agua de refrigeración no debe superar los  $8,17^{\circ}\text{C}$ , si esta diferencial es superada Endesa se verá obligado a reducir carga térmica para cumplir con los compromisos adquiridos.

### 3.2 ESQUEMA GENERAL DE LA PLANTA

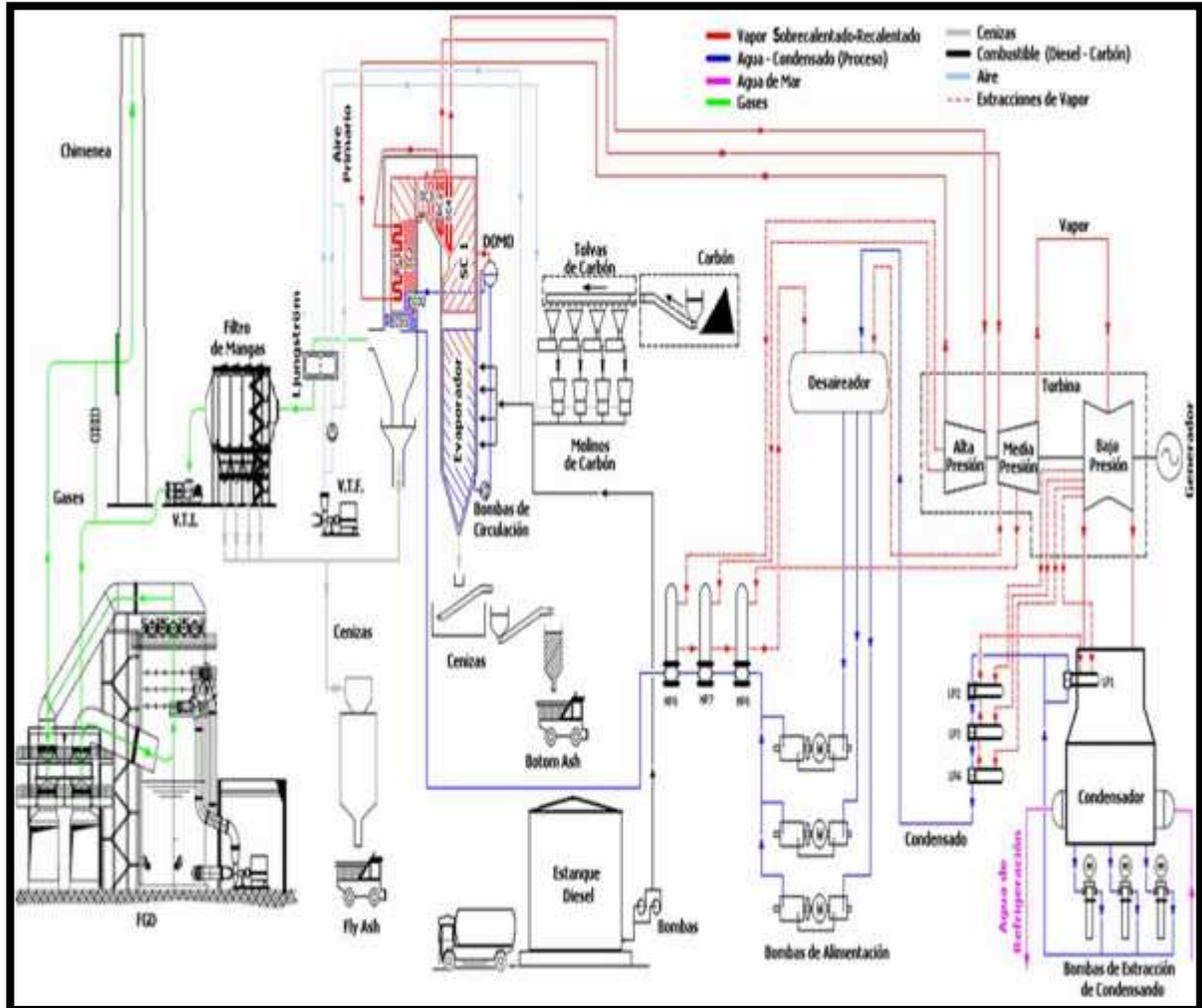


Figura 3- 1 Esquema General de la Planta  
www.enel.cl

### 3.3 DIAGRAMA DE FLUJO DE LOS GASES

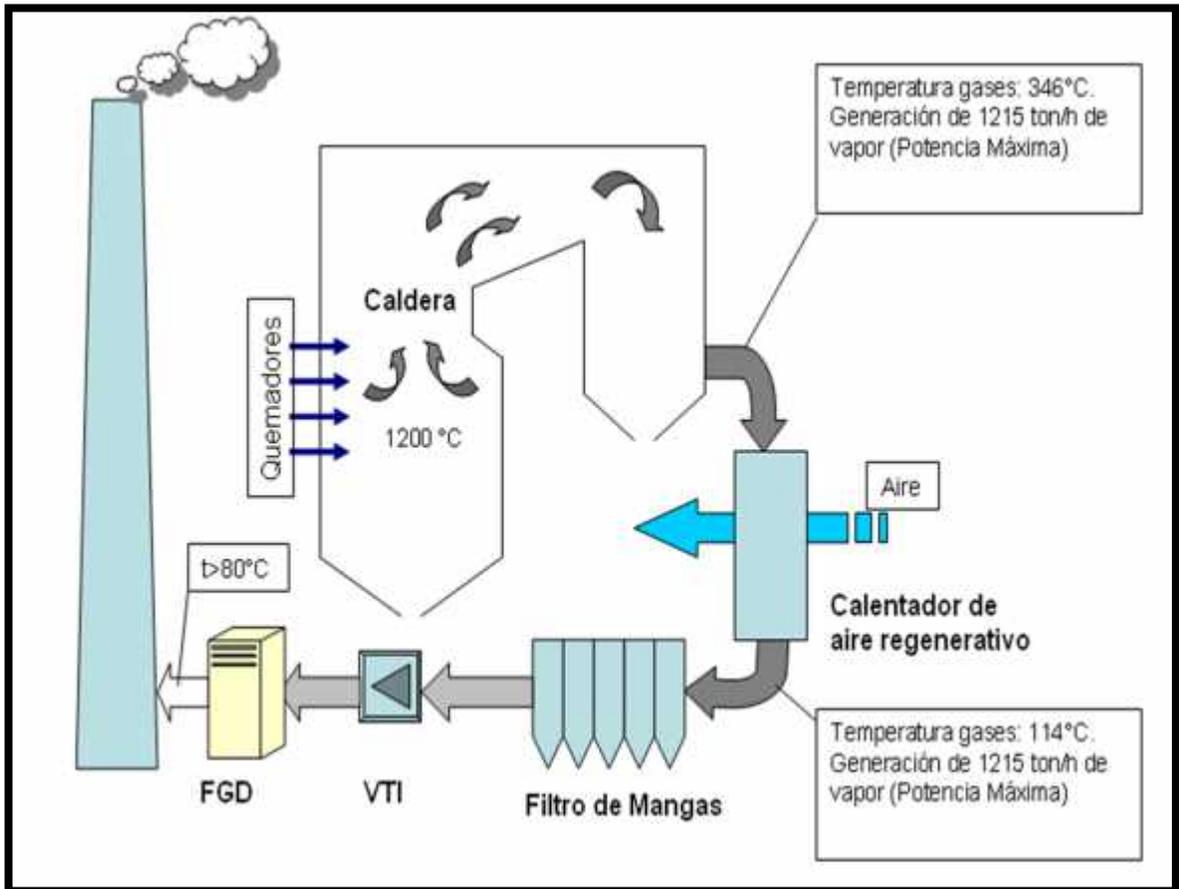


Figura 3- 2 Diagrama de flujo de Gases  
www.enel.cl

### 3.4 DIAGRAMA DE FLUJO DE CENIZAS

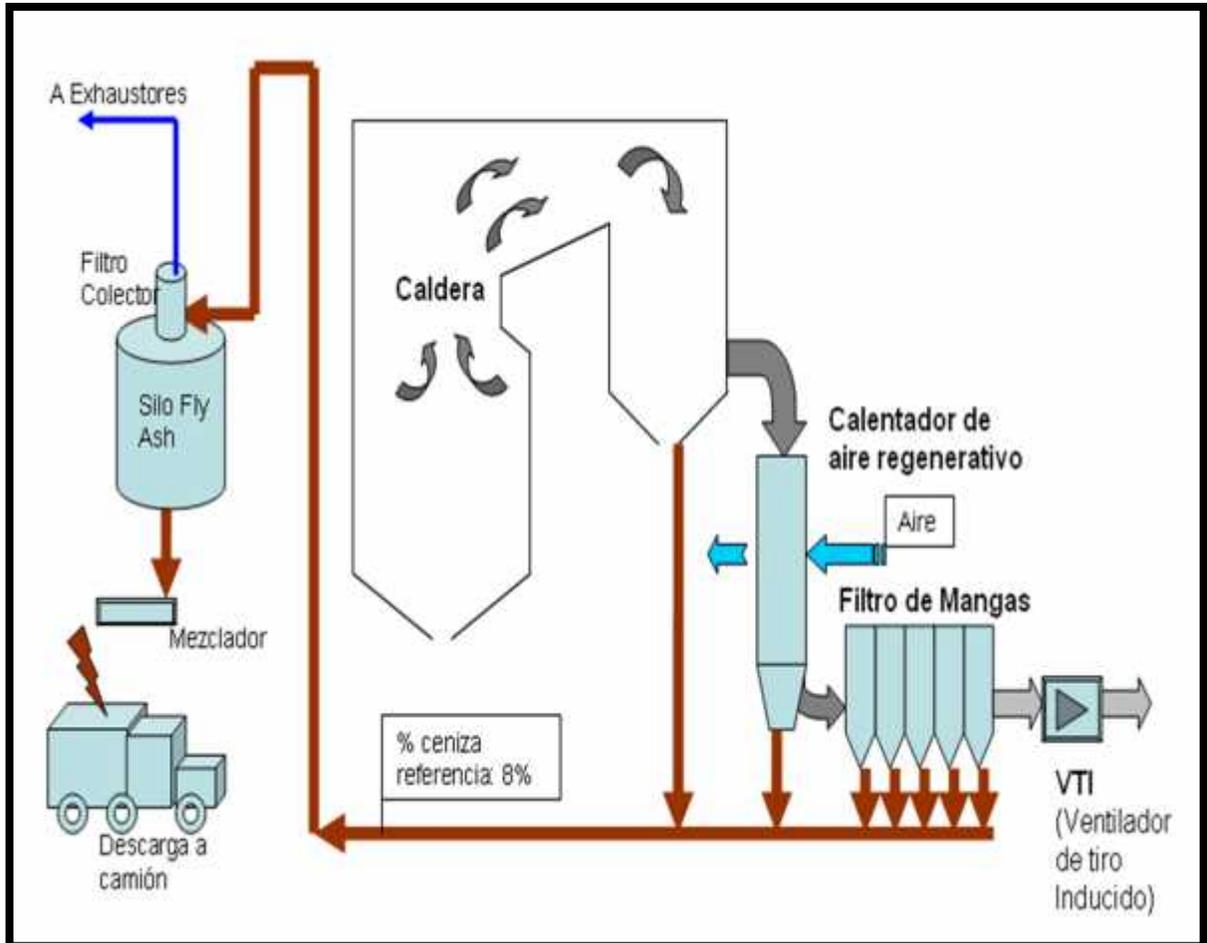


Figura 3- 3.- Diagrama de flujo de Cenizas  
www.enel.cl

### 3.5 DIAGRAMA GENERAL FLUJO DE AIRE – GASES

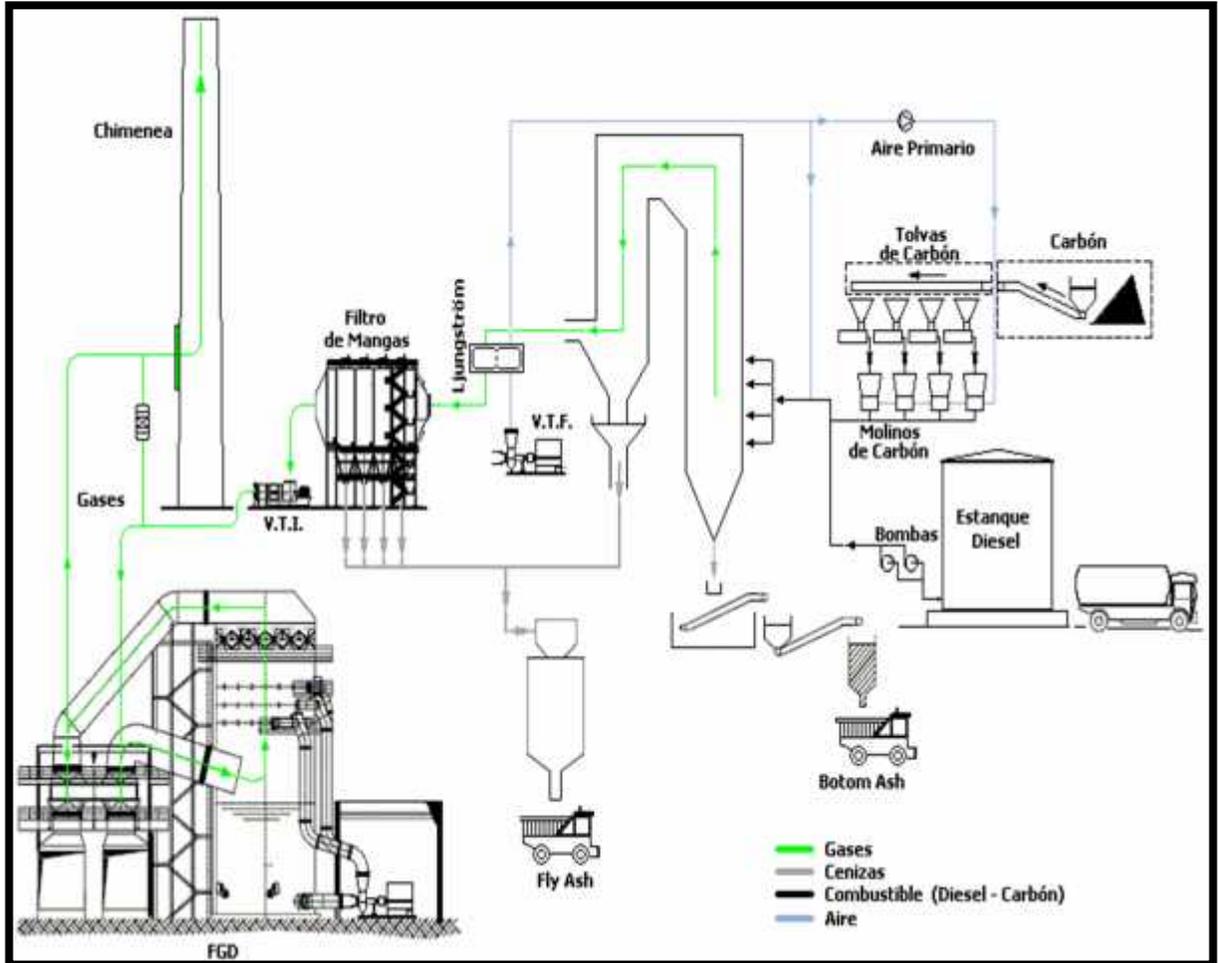


Figura 3-4 Diagrama de flujo de Aire-gases  
[www.enel.cl](http://www.enel.cl)

### 3.6 DIAGRAMA AGUA – VAPOR

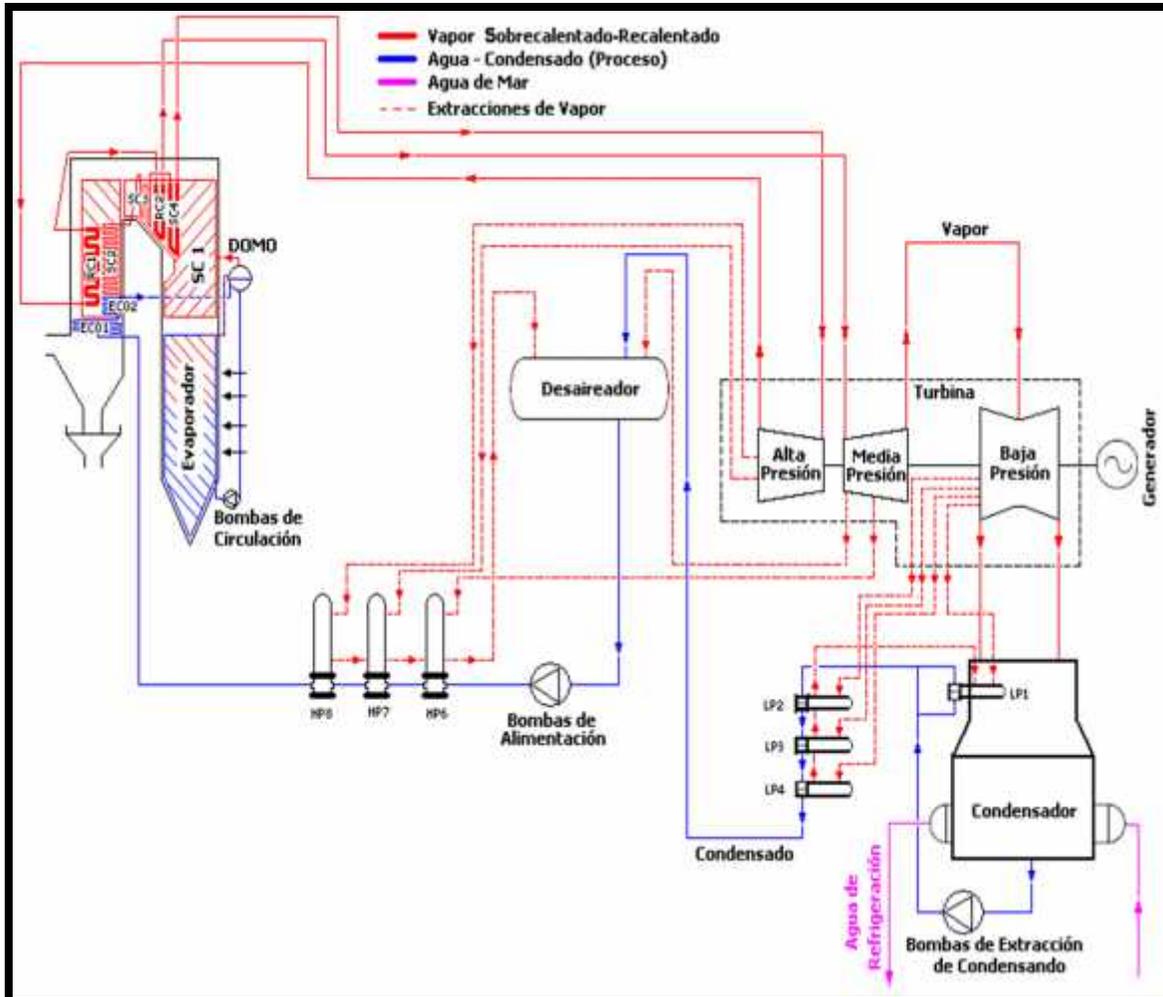


Figura N°3- 5 Diagrama Agua-vapor  
www.enel.cl

### 3.7 DIAGRAMA DE CONDENSADO

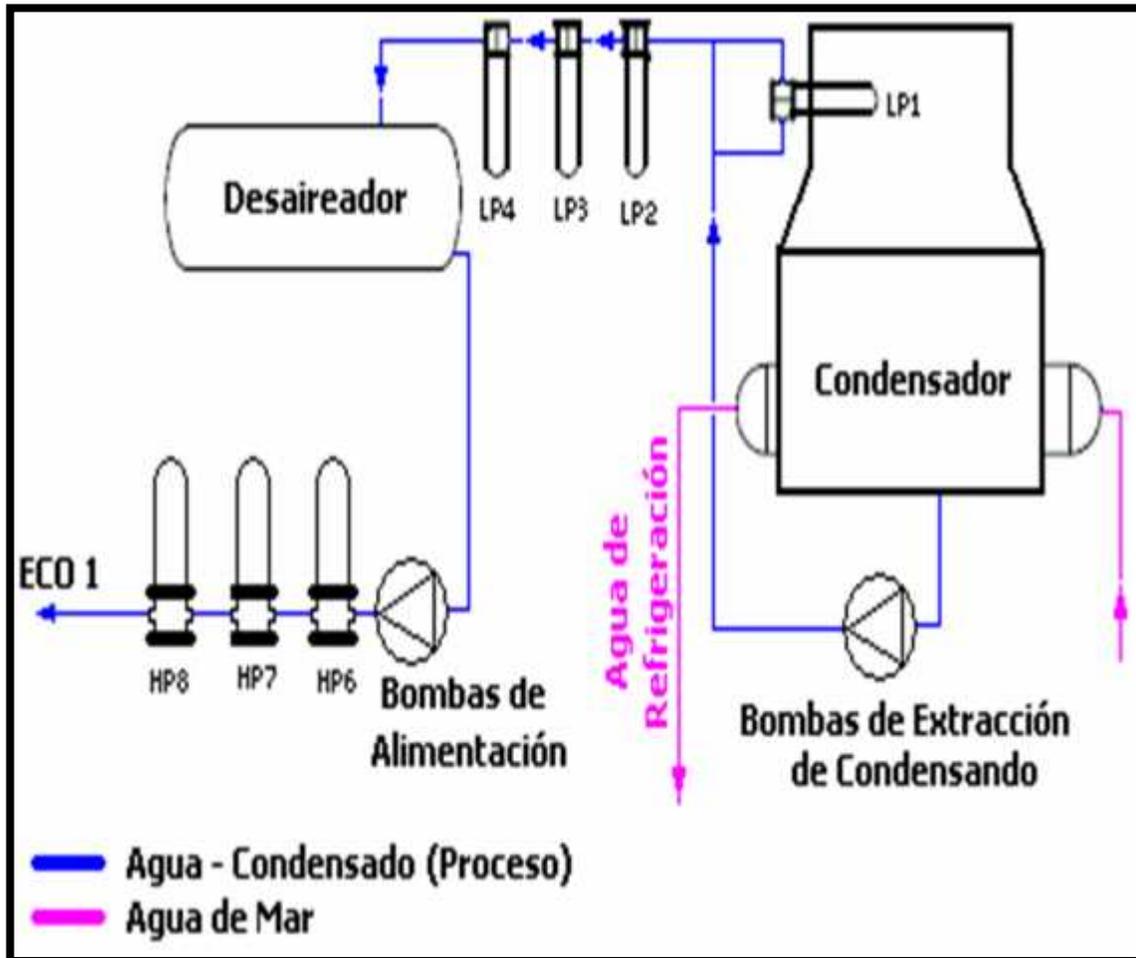


Figura N°3- 6 Diagrama de Condensado  
[www.enel.cl](http://www.enel.cl)

### 3.8 DIAGRAMA DE FLUJO MOLINO DE CARBÓN

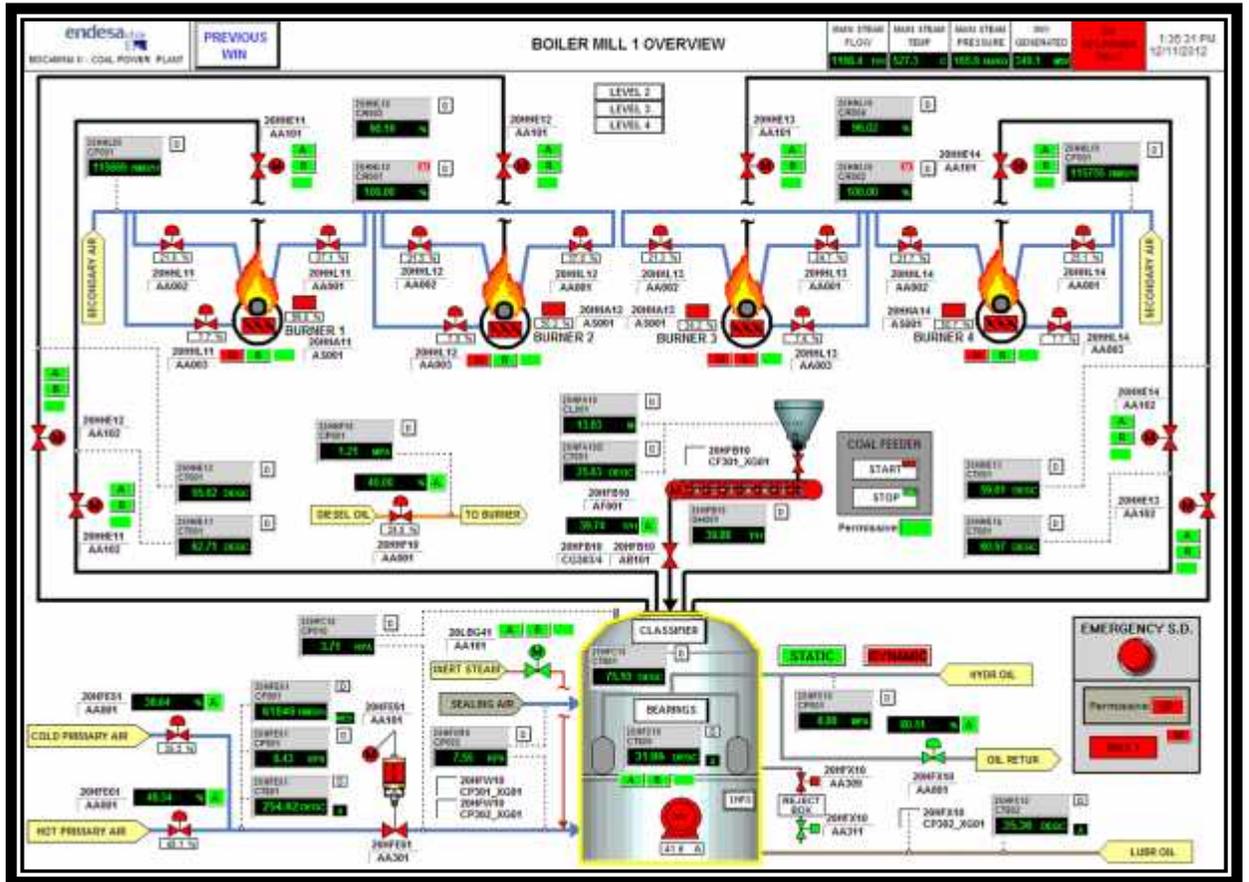


Figura 3- 7 Diagrama de flujo Molino de Carbón  
[www.enel.cl](http://www.enel.cl)

### 3.8 DIAGRAMA DE PROCESO MOLINO DE CARBÓN

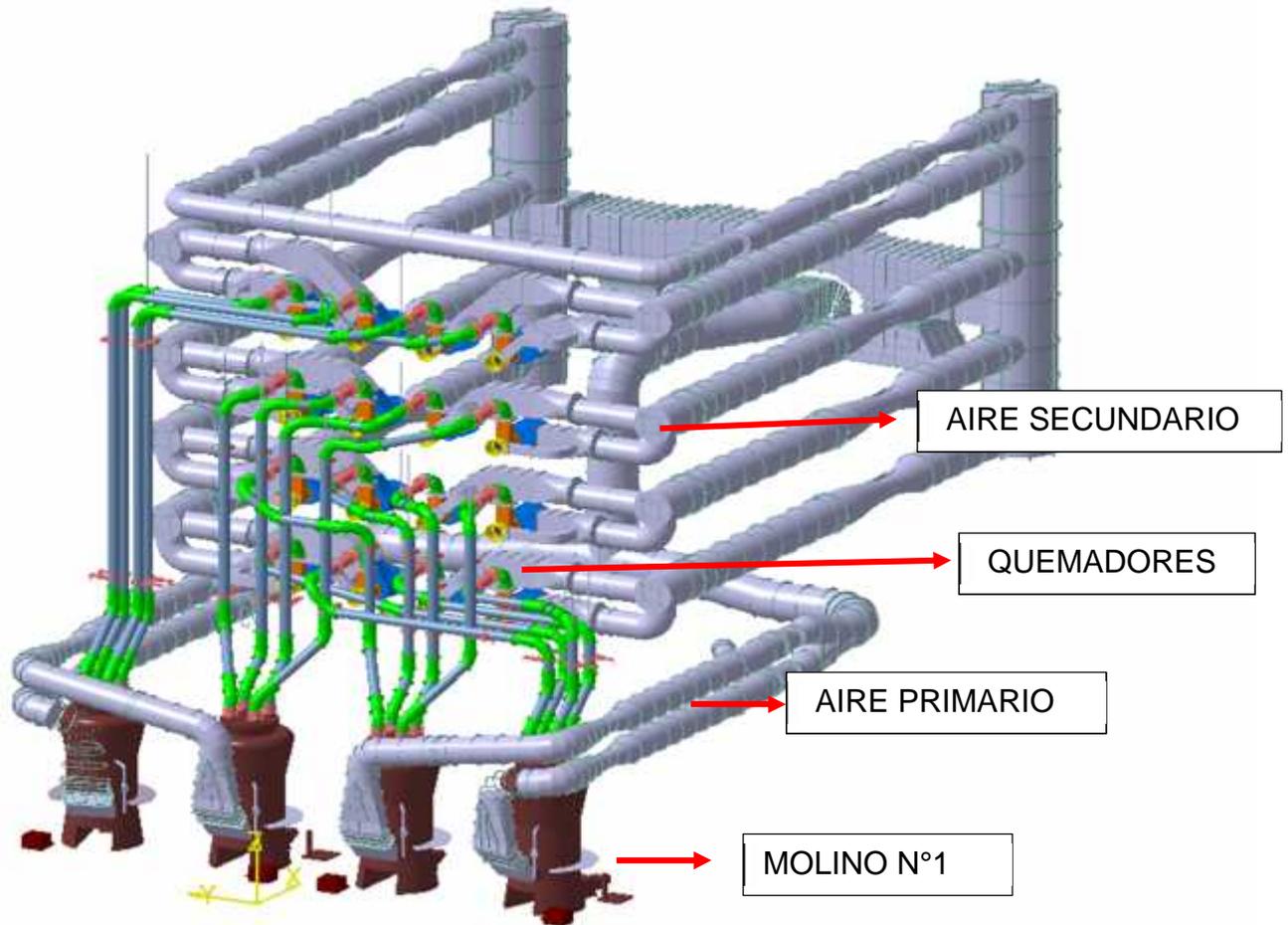


Figura 3- 8: Proceso Molino  
[www.enel.cl](http://www.enel.cl)

### **3.10.- IDENTIFICACIÓN CRITICIDAD DEL MOLINO**

Con respecto a los criterios de criticidad del Molino, se determinó que este equipo es crítico ya que no tiene remplazo en caso de emergencia, debido a la configuración de trabajo de la Planta, para mantener la producción nominal deben mantenerse en servicio el Molino 1-2-3 ,el Molino 4 se encuentra stand-by debido a que su puesta en servicio pone en riesgo los tubos del sobrecalentado de la Caldera , debido a que la ubicación de los quemadores. Estos se encuentran en la parte más alta Hogar de la caldera lo que genera mayor temperatura y riesgo de tubos rotos.

- Con 3 Molinos en servicio se genera 350 MW.
- Con 2 Molinos en servicio se genera 240 MW.
- Con 1 Molino en servicio no es recomendable por el costo y por la estabilidad Térmica

Por lo tanto los molinos de carbón son críticos en la producción y deben mantenerse disponibles.



Figura 3- 9: Molino de carbón  
[www.enel.cl](http://www.enel.cl)

## **CAPITULO 4: DEFINICIONES TECNICAS**

#### **4. DEFINICIONES TECNICAS**

##### **4.1 DESCRIPCIÓN DEL MOLINO**

El molino de carbón modelo ZGM113 es de tipo rodillo a media velocidad, cuya parte de muela está formado por anillos y tres rodillos fijados y de rotación. El carbón crudo cae en el anillo por el tubo central del molino, y el anillo rotante lo traslada por medio de la fuerza centrífuga a la vía de rodillos, con los cuales se pulen los carbones. Los tres rodillos están bien distribuidos a lo largo del círculo en la rueda de molino. La fuerza de rodillos se produce por el sistema de presión hidráulica, la cual actúa igualmente en los tres rodillos por el sistema de tres puntos estables. La fuerza se traslada a la base pasando el anillo, rodillos, estante de presión, tirante, rueda de transmisión, reductor de velocidad, cilindro hidráulico y panel bajo .La molienda y el secado del carbón crudo se desarrollan al mismo tiempo. El aire primario entra en alrededor del anillo por alcachofa que seca y mueve la mixtura de polvo de carbón pulido al separador en el superior del molino, en el cual se separan. El polvo grueso separado se vuelve al anillo para otra vez de molienda y el polvo fino y calificado es traído del separador por el aire primario.

ZGM113 molino de carbón aplica motor asíncrono de jaula de ardilla, transmitiendo momento de fuerza por engranajes cónicos y los de estrella. El reductor de velocidad sufre al mismo tiempo el peso de arriba y la presión vertical y horizontal de molienda.

La estación de aceite lubricante adjunto al reductor de velocidad se usa para filtrar y enfriar aceite de engranajes con el motivo de asegurar las partes dentro de un buen estado lubricante.

La estación de bombas de aceite de alta presión se encarga de subir y bajar el rodillo por el tanque.

Generalmente un molino tiene una máquina de aire de sellado, también puede ser que algunos molinos tengan una máquina común. El aire de sellado se usa para hermetizar la rueda rotante del molino, tirante y los rodillos. Si aplica separador rotante, éste también necesita aire de sellado.

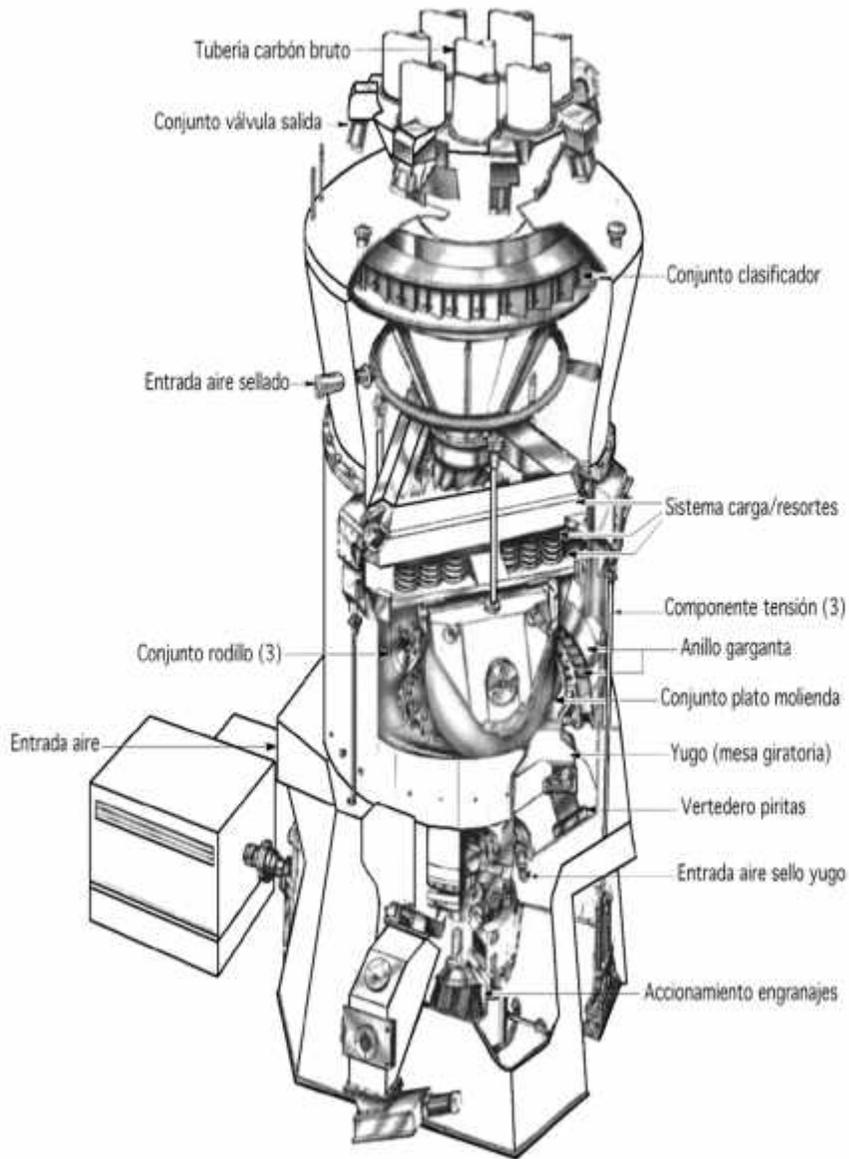


Figura 4- 1 Componentes Molino de Carbón  
[www.enel.cl](http://www.enel.cl)

#### 4.1.1 Base de Plataforma

La base de plataforma está compuesta por el reductor, el motor, los tirantes, engranajes de transmisión, perno de anclaje y su caja. Después del ajuste cada plataforma, la caja de engranajes, la de motores y la de tirantes se fijan en la base por pernos de anclaje, mientras la plataforma de engranajes de transmisión por anclaje. Estación de aceite lubricante y de alta presión se instalan en la base .

#### 4.1.2 Motor Eléctrico Principal

Esta máquina eléctrica está concebida para accionar máquinas rotativas en entornos industriales o para la transformación de energía. Se caracteriza por su alta seguridad, su larga vida útil y su gran fiabilidad.

##### Dato motor

Potencia:	560 KW
Velocidad:	989 1/min
Frecuencia:	50 Hz
Tensión:	6600 V
Conexión:	Y
Fac. Potencia:	0,80
Corriente:	64 A



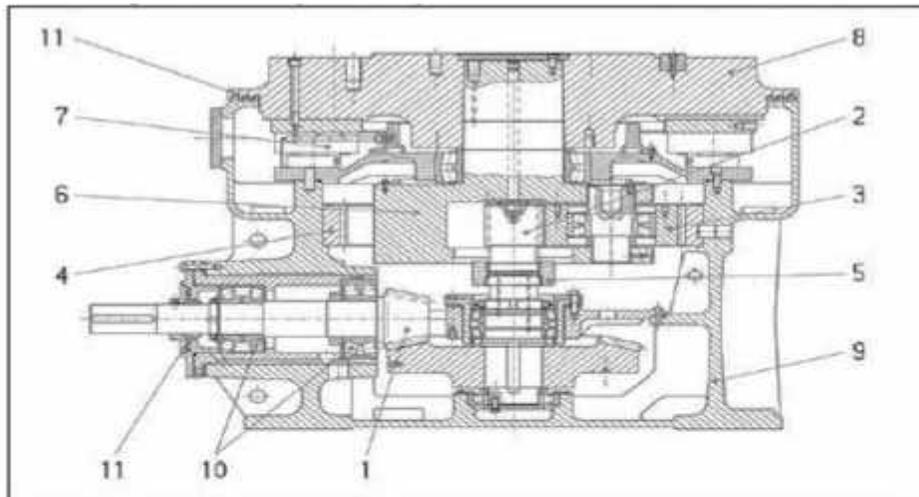
Figura 4- 2 Motor eléctrico  
www.enel.cl

### 4.1.3 Acoplamiento

Se transmite la potencia por acoplamiento entre el motor eléctrico y el reductor de velocidad. Antes de actuar el molino de carbón, revisa la orientación de rotación.

### 4.1.4 Reductor de velocidad

El reductor de velocidad es de tipo de engranajes cónicos verticales, el cual no sólo transmite el momento de fuerza de la rueda de molino sino también sufre la presión de rodillos y la vibración del molino. Partes de este equipo:



- |  |                             |
|--|-----------------------------|
| 1) Etapa de engranaje cónico           | 7) Cojinete de empuje axial |
| 2) Engranaje sol o planeta             | 8) Carcasa del reductor     |
| 3) Engranaje planetario                | 9) Carcasa                  |
| 4) Engranaje interior o corona dentada | 10) Rodamientos del piñón   |
| 5) Acoplamiento de engranaje doble     | 11) Sello de laberinto      |
| 6) Carcasa planetaria                  |                             |

#### 4.1.5 Base de la Máquina

La base de la máquina principalmente sufre el peso de la cubierta, el separador y otras partes grandes y la fuerza de torsión horizontal producida en el funcionamiento del molino. Bajo la base está el reductor de velocidad, arriba se instala equipo de estanqueidad y el agujero de su lado para fijar la caja de residuos.

#### 4.1.6 Caja de Residuos (Piritero)

La caja de residuos está formada por la puerta corredora hidráulica y el cuerpo de caja. La puerta corredora hidráulica se instala en la base, la cual se usa para separar el escape de carbón de piedra entre la caja de aire primario y la de residuos. El espiral en la puerta da presión en el tablero para mantenerla hermética. La puerta corredora hidráulica tiene señales de abrir y cerrar. Si usa dos puertas corredoras hidráulicas verticales, las dos tienen que enclavarse mutuamente.

#### 4.1.7 Equipo Hermético de la Base

El equipo hermético de la base del molino en funcionamiento de presión positivo está formado por anillos relativos superior e inferior, los herméticos como tales, anillo de carbón y espirales.

Todo el equipo se instala en la base por anillos de transición. Los dos anillos herméticos gráficos se dividen en 20 partes en abanico. El espiral apretado en la

rueda de transmisión forma sellado flotante para evitar daño causado por desviación de eje central en montaje y funcionamiento.

Cuando el molino trabaja en presión positiva, para asegurar la función hermética, debe garantizar que la presión hermética del aire es más alta que la del aire primario  $\Delta P$  2kPa, la diferencia es supervisada. La mayoría del aire de sellado es soplada en la sala de aire primario, sólo una poca parte sale en la atmósfera, así puede evitar la salida de aire primario y de polvo de carbón mejorando el ambiente alrededor del molino.

#### 4.1.8 Rueda de Transmisión y Equipo de Reglón

La rueda de transmisión y el reductor aplican conexión rígida para trasladar momento de torsión, la cual se instala en la pestaña del reductor y se fijan en ella por 20 unidades de pernos M48. En el funcionamiento del molino, el momento de fuerza de reductor transmite a la rueda por la fuerza de fricción entre la pestaña y la cara de la rueda de transmisión, la cual causa la rotación del molino por los tres cerrojos. Además de transmitir el momento de torsión, la rueda sufre la presión y pesos de los equipos superiores y al mismo tiempo transmite la fuerza al cuerpo de reductor y base del molino.

#### 4.1.9 Anillo de molienda

Los anillos de molienda y de alcachofa están formado por las partes rotantes y inmóviles. La parte rotante abarca bandeja, cartón de revestimiento (12 unidades) tapa cónica , las cuales rotan por la rueda de transmisión. La paleta de alcachofa y bandeja de anillos se unen juntos y rotan con el molino. La parte inmóvil se fija en la cubierta. Sobre la distancia entre la parte rotante e inmóvil puede consultar planos de instalación.

Cartón de revestimiento es incrustado en la bandeja de anillos y fijado por pernos de percha. (Debe untar grasa de MoS<sub>2</sub> en las partes de contacto de la bandeja y los pernos.)

La función de tapa cónica es distribuir los carbones caídos en la rueda de molino y evitar la salida de agua y carbón en los espacios inferiores.

#### 4.1.10 Equipo de Rodillos

El equipo de rodillos está formado por el estante, eje, cubierta, centro, cojinete, taco.

Los rodillos están entre la rueda de molino y el estante, con ángulo de 15°, y son fijados por el estante de presión. En el proceso la cubierta sólo desgasta en un lado, si tiene desgaste grave puede cambiar de otro lado para buen aprovechamiento de materiales.

Los rodillos funcionan bajo alta temperatura, es más alta en el interior (puede llegar a 120°C) , Para garantizar buena utilización de cojinetes, debe aplicar SHC aceite de engranaje y cojinete de alta viscosidad, alta índice de glutinosidad, alta estabilidad en

temperatura alta. Vierte 29 litros de aceite en cada rodillo y realiza dos sellados con aceite hermético, entre los cuales el primero para el ambiente exterior, y el segundo para el interior. Entre los dos aceites herméticos se mete grasa lubricante contra alta temperatura para lubricar la boca de sellado.

Hay dos tamaños de cojinetes en rodillos, el grande es cojinetes de columnas, el pequeño es cojinete centrípeto esférico, los cuales sufren respectivamente fuerza radial y axial de rodillos.

La función de estante es transmitir la fuerza de eje articulado a los rodillos, el cual conecta con el sistema de aire de sellado por su conducto. El aire de sellado entra en el exterior de sellado de aceite y forma círculo hermético para prevenir la entrada de polvo de carbón y su estropicio, y al mismo tiempo tiene función de control de la temperatura de rodillos.

Se instala el respirador en los rodillos que conecta el aire de sellado con el interior de tanque de aceite eliminando mal efecto causado por diferente presión y temperatura y asegurando presión normal y buen ambiente. Hay agujero de exploración de nivel de aceite en los rodillos, después de usarlo debe apretar la válvula.

#### 4.1.11 Estante de presión

El estante tiene una estructura en forma de triángulo equilátero, en el cual se instala la pieza de guía. El sistema hidráulico da presión por el equipo de tirantes en los tres ángulos del estante. En el fondo de estante puede fijar la base de eje articulado. Hay estructura de localización en el estante para la orientación y transmisión de fuerza tangencial. El ajuste de la distancia entre las piezas de guía debe seguir el centro de panel de tirante de tres ejes.

#### 4.1.12 Equipo de Eje Articulado

El equipo de eje articulado está formado por la base y el eje articulado.

La base se fija en el fondo de estante de presión, el eje articulado conecta el estante de rodillos y el estante de presión. Su función es transmitir la fuerza hidráulica a los rodillos y hacer su movimiento libre en cierto ámbito, realizando extrusión y molienda y elevando la eficiencia al mismo tiempo. Subir el estante de presión por sistema hidráulico puede elevar la función de rodillos.

#### 4.1.13 Tanque de Presión

El molino disponen de tres tanques de presión que se distribuyen regularmente según ángulo de 120°, cada tanque tiene un acumulador y su parte superior conecta con tirante, y en parte inferior se instalan cojinetes, conectando el tanque y cartón de tirantes por el cerrojo.

El diámetro del tanque es 200mm, diámetro de la biela es 125mm, recorrido del émbolo es 300mm, presión nominal es 20MPa.

#### 4.1.14 Separador

El separador es de tipo de inmóvil centrífuga que tiene punta redonda. La capacidad contra explosión del molino es 3.5 bar. Principalmente está formado por cubiertas del separador, puerta, cuerpo cónico interior, cubierta de polvo, control de la puerta, salida de polvo y de carbón etc. Su función es separar los granos gruesos de la mixtura transmitida de la zona de molienda, los cuales vuelven a la zona y los polvos normativos entran en caldera. El ajuste de fineza del polvo de carbón es realizado por la amplitud de los clasificadores.

#### 4.1.15 Sistema de conductos de aceite de alta presión

El sistema de conductos de aceite de alta presión sirve de conectar la estación y tanque de aceite y residuo, en el cual contiene conducto de aceite y su bucle.

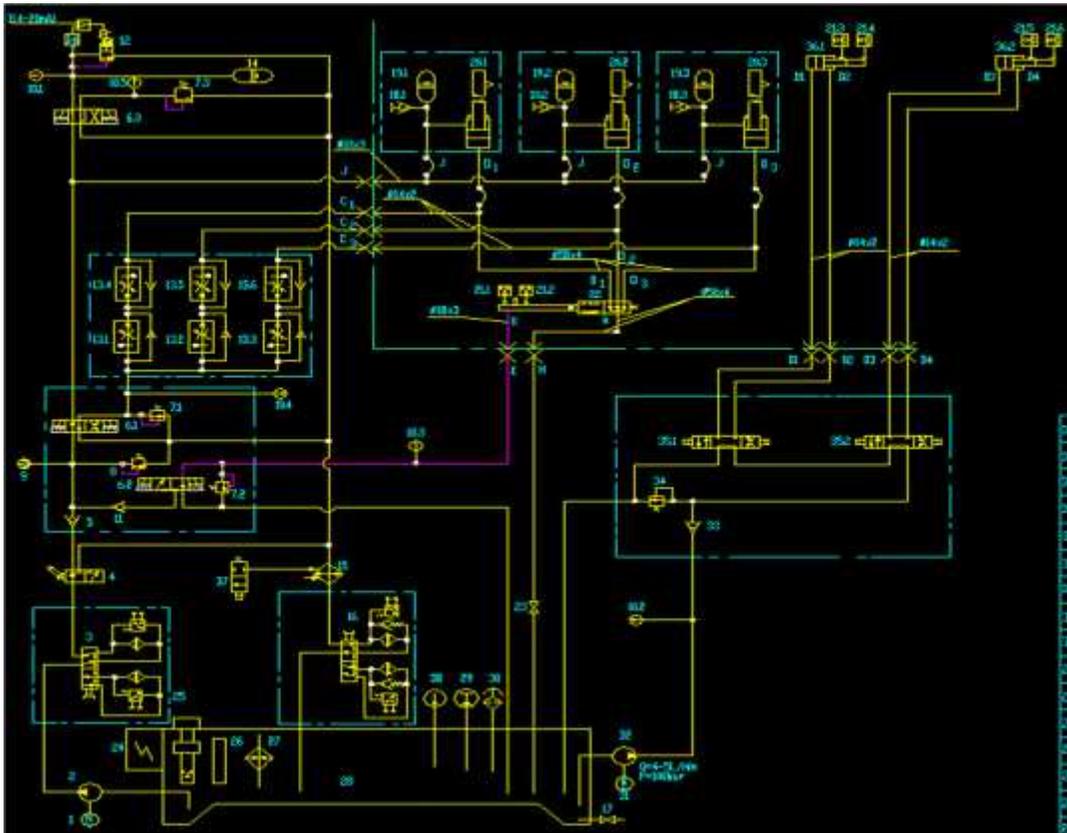


Figura 4- 3: Circuito aceite alta Presión  
www.enel.cl

#### 4.1.16 Sistema de Aceite Lubricante

El sistema de aceite lubricación sirve para el reductor de velocidad, el cual contiene conductos de aceite.

<b>Datos de la unidad de lubricación</b>	
Capacidad del estanque	850 litros
Flujo máximo	250 l/m
Presión	4 bar
Presión máx. de trabajo	1,3 bar
Temperatura de trabajo de aceite	28 y 45°C
tipo de aceite	Lubricante industrial de engranaje de azufre y fósforo N320

#### 4.1.17 Circuitos aceite lubricante

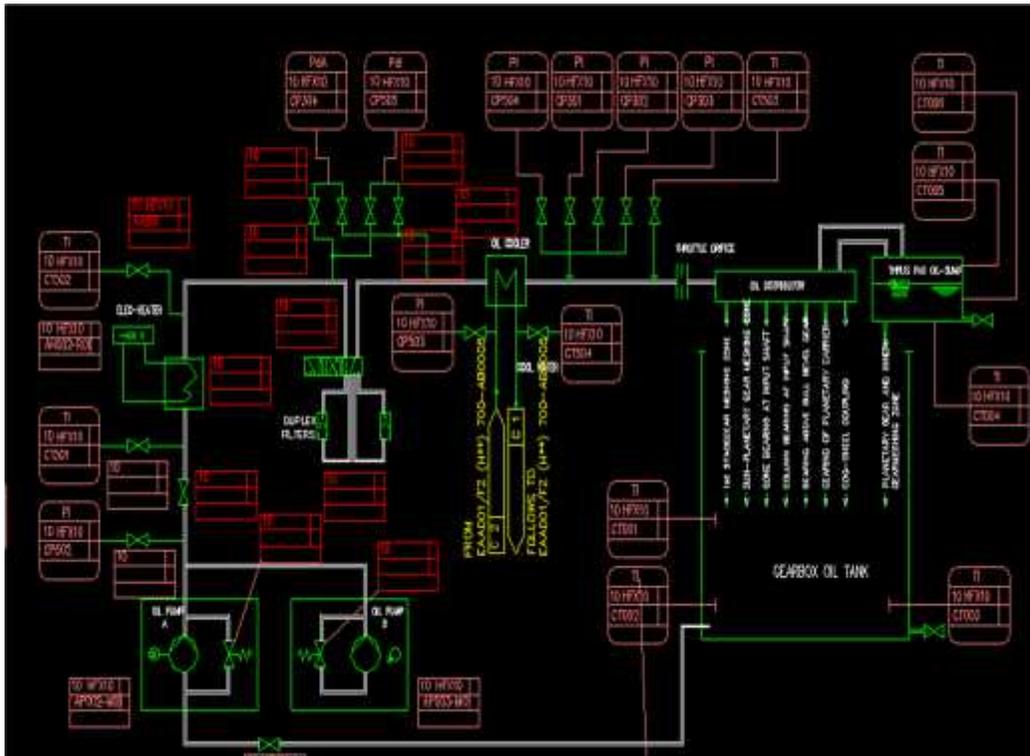


Figura N°4- 4 Circuito aceite Lubricación  
www.enel.cl

#### 4.1.18 Estación de Aceite de Alta Presión

La estación sirve de ofrecer fuerza para tanque de aceite de presión y residuos, el cual da presión, asciende y baja los rodillos en acción y suspensión o controla la puerta de caja de residuos.

#### 4.1.19 Sistema Hidráulico

Los sistemas hidráulicos son utilizados en las máquinas proporcionando a estas la fuerza hidráulica necesaria para un funcionamiento productivo y eficaz. La energía hidráulica utiliza un líquido denominado “fluido hidráulico” que aplica una fuerza a través de la presión, y la transmite a los diferentes componentes del sistema hidráulico de la máquina, por ejemplo, los motores y los cilindros. Estos líquidos usados en los sistemas hidráulicos poseen algunas características ideales para ejercer su función de la manera más eficaz (densidad y viscosidad apropiadas, incompresibilidad, buen poder lubricante, etc.). Uno de los fluidos más usados es el aceite.



Figura 3- 18 Sistema Hidráulico

Además del fluido, los sistemas hidráulicos más comunes se componen de los siguientes elementos:

**Las Tuberías:** Son los conductos por los que se distribuye el fluido. Pueden ser de cualquier forma o largo, metálicas o flexibles (mangueras).

**Las Electro-válvulas:** Poseen un completo control sobre los fluidos y lo distribuyen por las tuberías transmitiendo la fuerza a cualquier punto de la máquina.

**Los Filtros:** Son los encargados de eliminar los residuos y contaminantes del fluido hidráulico, para evitar daños en los distintos componentes del sistema.

**Tanque hidráulico:** La función principal es la de almacenar el aceite hidráulico, pero también ejerce otras funciones importantes como la de enfriarlo o permitir que el aire se separe de este.

**Las Bombas:** Son las encargadas de convertir la energía mecánica (generada desde una fuente externa) en energía hidráulica con el fin de aumentar la presión de este. El tamaño y la velocidad de la bomba determinan la velocidad del flujo.

**Los Cilindros Hidráulicos:** Son actuadores que convierten la energía hidráulica en energía mecánica a través de la presión.

**Las válvulas de Alivio:** Son las válvulas que controlan la presión del sistema para evitar daños en los componentes. La válvula permanece cerrada si la presión no supera el límite preestablecido, y se abrirá si este es superado, evitando así la sobrepresión del sistema.

**El Enfriador:** Elimina el calor del fluido hidráulico evitando calentamientos innecesarios.

#### **4.2.- FALLA DEL MOLINO DE CARBÓN**

El día 16/06/2017 se aprecia un aumento de vibraciones en Molino 1 que provoca su disparo, al realizar inspección del eje piñón de ataque se encuentra zona externa dentada dañada, la corona con golpes leves, la corona se desplazó hacia abajo, que se puede asociar a la rotura de un rodamiento o descanso de empuje que están más abajo en el interior de la caja reductora. Se debe retirar la caja reductora y realizar el desarme completo para evaluar el alcance del daño.

##### **Desarrollo y Hallazgos**

Se realiza retiro de aceite lubricación (1000 [L] aprox.), retiro de machón motor/reductor; apertura de escotillas de inspección; se retira camisa porta eje y rodamientos de piñón de ataque. Entre otros hallazgos se encuentra el piñón de ataque dañado en zona externa de los dientes helicoidales, la corona se aprecia levemente golpeada y caída. Se retira cilindro hidráulico de rodillo central y soporte, además se retira piritero, acumulador hidráulico y sellos de grafito; retiro de sensores y conexiones eléctricas; retiro de carbón interior molino; corte y desinstalación tubería aire sello de molino.

##### **Acciones realizadas**

Se contacta a proveedor en China BPEG (Beijing Power Equipment Group CO, LTD) de Caja Reductora modelo SXJ160B para cotizar una nueva caja reductora, la asistencia de especialista y mejorar los plazos de entrega. Paralelamente se contacta a empresa local que ha realizado el retiro, reparación y montaje de este equipo en otras centrales térmicas. Se cotizan los rodamientos de caja reductora. Todos los pedidos internos se encuentran en aprovisionamiento.



Figura 3- 11 Componente dañado



Figura 3- 10 Componente dañado



Figura 3- 12 Componente dañado



Figura 3- 13 Componente dañado

**CAPÍTULO 5: PLAN DE MANTENIMIENTO PROPUESTO**

## **5.1 ESTUDIO RCM**

En este punto llevaremos a cabo el estudio RCM de los molinos de carbón utilizados con el fin de elaborar posteriormente los planes de mantenimiento preventivo que aseguren la fiabilidad deseada del equipo.

Dicho estudio constará de dos partes:

5.1.1 Hoja de información: En ella se describirán las funciones principales del molino y los fallos que pueden producirse con sus respectivas consecuencias.

5.1.2 Hoja de decisión: En ella se programan las tareas de mantenimiento a realizar para minimizar los fallos descritos anteriormente, indicando los períodos y el personal que debe realizar.

## 5.2 ESTUDIO DE FALLAS

HOJA DE INFORMACIÓN. ESTUDIO RCM						
	Función		Falla		Tipo de Falla	Consecuencias de Falla
1	Moler aproximadamente la cantidad de carbón de 18,6 T/h suministrada por el alimentador y clasificarlo hasta obtener una finura de granulometría de 0,074 mm en un 80% con una temperatura de 80°C en la descarga	A	El molino de carbón no muele el mínimo de carbón suministrado por el alimentador	1	Desgaste total de las muelas del molino	Aumento de la presión diferencial. La granulometría del molino es incorrecta, el rechazo de inmolturables aumenta y la regulación de la caldera es defectuosa. Es necesario hacer una medida de muelas y toma de huelgos. En el peor de los casos hay que cambiar las muelas
				2	Desgaste total de la mesa molienda del molino	Aumento de la presión diferencial. La granulometría del molino es incorrecta, el rechazo de inmolturables aumenta y la regulación de la caldera es defectuosa. Es necesario hacer una toma de huelgos y cambio de mesa o recargue de la misma en caso de que no admita otro reajuste
				3	Baja presión en las muelas < 25 Kg.cm2 por suciedad en el sistema de regulación hidráulico del molino	Aumento de la presión diferencial. La granulometría del molino es incorrecta, el rechazo de inmolturables aumenta y la regulación de la caldera es defectuosa. En caso de tener que sacar la planta hidráulica de servicio, deberá arrancarse el molino de reserva. Tiempo para subsanar la avería 7 horas.
				4	Baja presión en las muelas < 25 Kg.cm2 por fallo de electroválvula del sistema de regulación hidráulico del molino	Aumento de la presión diferencial. La granulometría del molino es incorrecta, el rechazo de inmolturables aumenta y la regulación de la caldera es defectuosa. En caso de tener que sacar la planta hidráulica de servicio, deberá arrancarse el molino de reserva. Tiempo para subsanar la avería 7 horas.
		B	El molino muele solo parte del carbón suministrado por el alimentador	1	Desgaste parcial de las muelas del molino	Aumenta la presión diferencial. La granulometría del molino es incorrecta, el rechazo de inmolturables aumenta y la regulación de la caldera es defectuosa. Es necesario hacer un cambio de posición de levas. Deberá ponerse en servicio el molino de reserva. Tiempo del cambio de posición de levas 1 día.
				2	Pletinas seguridad tuercas regulación ejes cilíndricos hidráulicos muelas molino rotas.	Aumenta la presión diferencial. La granulometría del molino es incorrecta, el rechazo de inmolturables aumenta y la regulación de la caldera es defectuosa. Es necesario hacer un reajuste del cilindro hidráulico. Deberá ponerse en servicio el molino de reserva. Tiempo de reajuste 1 día.
				3	Desgaste parcial de la mesa molienda del molino.	Aumenta la presión diferencial. La granulometría del molino es incorrecta, el rechazo de inmolturables aumenta y la regulación de la caldera es defectuosa. Es necesario hacer una toma de huelgos y un ajuste entre mesa y muelas. Deberá ponerse en servicio el molino de reserva. Tiempo para subsanar la avería 7 horas.

				4	Baja presión de muelas < 85 Kg.cm <sup>2</sup> por suciedad en el sistema de regulación hidráulico de molino.	La granulometría del molino es incorrecta, el rechazo de inmolturables aumenta y la regulación de la caldera es defectuosa. En caso de tener que sacar la planta hidráulica de servicio, deberá ponerse en servicio el molino de reserva. Tiempo para subsanar la avería 7 horas.
				5	Baja presión de muelas < 85 Kg.cm <sup>2</sup> por fallo de electroválvula del sistema de regulación hidráulico de molino.	La granulometría del molino es incorrecta, el rechazo de inmolturables aumenta y la regulación de la caldera es defectuosa. En caso de tener que sacar la planta hidráulica de servicio, deberá ponerse en servicio el molino de reserva. Tiempo para subsanar la avería 7 horas.
				6	Baja presión en las muelas < 85 Kg.cm <sup>2</sup> por presión incorrecta en pulmones del sistema de regulación hidráulico del molino.	La granulometría del molino es incorrecta, el rechazo de inmolturables aumenta y la regulación de la caldera es defectuosa. En caso de tener que sacar la planta hidráulica de servicio, será necesario poner en servicio el molino de reserva. Tiempo para subsanar la avería 7 horas.
		C	<b>El molino es incapaz de clasificar el carbón molido a una finura de granulometría superior a 0,074 mm</b>	1	Rotura por desgaste rodamientos motor eléctrico separador rotativo del Molino.	Dispara el separador rotativo del molino. Dispara el alimentador y este a su vez dispara el molino. Puntualmente implica la puesta en servicio de mecheros de fuel oil. Deberá ponerse en servicio el molino de reserva. Tiempo para reparar la avería 2 días.
				2	Rotura por falta de grasa en rodamientos motor eléctrico separador rotativo del molino	Dispara el separador rotativo del molino. Dispara el alimentador y este a su vez dispara el molino. Puntualmente implica la puesta en servicio de mecheros de fuel oil. Deberá ponerse en servicio el molino de reserva. Tiempo para reparar la avería 2 días.
				3	Rotura de palas clasificadoras del separador rotativo del molino por desgaste.	La rotura de las palas del separador rotativo del molino puede afectar a la regulación de la caldera. Disminuyen los inmolturables. Puede afectar a la presión diferencial del molino. Para la reparación deberá ponerse en servicio el molino de reserva. Tiempo para reparar la avería 2 días.
				4	Fallo del térmico del motor eléctrico del separador rotativo del molino (dispara sin motivo).	Hay alarma de disparo del motor del separador rotativo del molino. Dispara el alimentador y dispara el molino. Puntualmente implica la puesta en servicio de mecheros de fuel oil. Deberá ponerse en servicio el molino de reserva. Tiempo de reparación de la avería 2 días.

				5	Fallo del térmico del motor eléctrico del separador rotativo del molino (no dispara cuando debería).	Se quema el motor eléctrico del separador rotativo del molino. Dispara el separador rotativo, dispara el alimentador y el molino. Puntualmente implica la puesta en servicio de mecheros de fuel oil. Deberá ponerse en servicio el molino de reserva. Tiempo para reparar la
				6	Fallo de los fusibles del motor eléctrico del separador rotativo del molino.	Hay alarma fallo cubículo del motor eléctrico del separador rotativo del molino. Dispara el separador rotativo, dispara el alimentador y el molino. Puntualmente implica la puesta en servicio de mecheros de fuel oil. Deberá ponerse en servicio el molino de reserva. Tiempo para reparar la avería 2 horas.
				7	Relé del cubículo del separador rotativo del molino en mal estado.	Hay alarma fallo cubículo motor eléctrico separador rotativo del molino. Dispara el separador rotativo, dispara el alimentador y el molino. Puntualmente implica la puesta en servicio de mecheros de fuel oil. Deberá ponerse en servicio el molino de reserva. Tiempo para reparar la avería 2 horas.
				8	Convertidor de demanda del separador rotativo del molino falla por exceso.	Hay alarma desviación demanda posición del separador rotativo del molino. La velocidad del separador aumenta hasta un máximo, no coincide con la demanda de control. La regulación de la caldera es defectuosa. Aumenta la presión diferencial del molino. Aumenta el rechazo de inmolturables. Origina problemas de regulación del combustible. Se debe parar el molino y poner en servicio
				9	Convertidor de demanda del separador rotativo del molino falla por defecto.	Hay alarma desviación demanda posición del separador rotativo del molino. La velocidad del separador disminuye hasta un mínimo, no coincide con la demanda de control. La regulación de la caldera es defectuosa. Aumenta la presión diferencial del molino. Aumenta el rechazo de inmolturables.
						Problemas de regulación del combustible. Se debe parar el molino y poner en Servicio el molino de reserva. Tiempo para subsanar la avería 4 horas.
				10	Desgaste del silembloc acoplamiento del motor reductora del separador rotativo del molino.	Aumento de las vibraciones del motor reductora del separador rotativo del molino. Puede llegar a romper internos de la reductora. Debería pararse el molino y poner en servicio el molino de reserva. Tiempo para la reparación 1 día.

				11	Rotura de internos reductora del separador rotativo del molino por degradación del aceite.	Dispara el separador rotativo del molino. Dispara el alimentador y el molino. Puntualmente implica la puesta en servicio de mecheros de fuel oil. Deberá ponerse en servicio el molino de reserva. Tiempo para reparar la avería 2 días.
				12	Rotura de internos reductora separador rotativo del molino por falta de lubricación.	Dispara el separador rotativo del molino. Dispara el alimentador y el molino. Puntualmente implica la puesta en servicio de mecheros de fuel oil. Deberá ponerse en servicio el molino de reserva. Tiempo para reparar la avería 2 días.
				13	Rotura de correas del separador rotativo del molino por desgaste.	Dispara el separador rotativo del molino. Dispara el alimentador y el molino. Puntualmente implica la puesta en servicio de mecheros de fuel oil. Deberá ponerse en servicio en molino de reserva. Tiempo para reparar la avería 2 días.
				14	Rodamientos del separador rotativo del molino gripados por falta de grasa.	Dispara el separador rotativo del molino. Dispara el alimentador y el molino. Puntualmente implica la puesta en servicio de mecheros de fuel oil. Deberá ponerse en servicio el molino de reserva. Tiempo para reparar al avería 15 días.
				15	Rodamientos del separador rotativo del molino gripados por desgaste.	Dispara el separador rotativo del molino. Dispara el alimentador y el molino. Puntualmente implica la puesta en servicio de mecheros de fuel oil. Deberá ponerse en servicio el molino de reserva. Tiempo para reparar al avería 15 días.
				16	Toma del transmisor diferencial de caudal de aire primario del molino parcialmente obstruida.	Falsea la medida de caudal del molino influyendo en la regulación del caudal de aire primario. Afecta a la granulometría y regulación de la caldera. Puede ocasionar el disparo del molino por bajo caudal de aire primario, lo que implicaría la puesta en servicio de mecheros de fuel oil. Deberá ponerse en servicio el molino de reserva. Tiempo para subsanar la avería 2 horas.
				17	Transmisor de presión diferencial del caudal de aire primario del molino fallado.	Falsea la medida de caudal del molino. Sale alarma de sensor anormal. Pasa a manual forzado. Deberá ponerse en servicio el molino de reserva. Tiempo para subsanar la avería 3 horas.

				18	Fallo termopar compensación caudal aire primario del Molino.	Falsea la medida del caudal del molino influyendo en la regulación del caudal de aire primario del molino. Afecta a la granulometría y la regulación de la caldera. Puede implicar la puesta en servicio del molino de reserva. Tiempo para subsanar la avería 2 horas.
		<b>D</b>	<b>Temperatura de descarga del molino mayor o menor de 80°C</b>	1	Fallo del sistema de control	Estudio aparte.
				2	Lazo control aire / temperatura fallo.	No regula correctamente el lazo de control aire / temperatura. Para la reparación se requiere que el molino este fuera de servicio. Debe ponerse en servicio el molino de reserva. Tiempo de reparación de la avería 3
				3	Lazo control regulación aire frío del molino falla	No regula correctamente el caudal de aire. El operador debe pasar a manual la regulación de la temperatura y caudal. Para la reparación se requiere que el molino esté fuera de servicio. Deberá ponerse en servicio del molino de reserva. Tiempo para reparar la avería 5 horas.
				4	Convertidor I/P registro (damper) aire frío molino falla.	Dificulta la regulación del caudal de aire y de temperatura. Puede disparar el molino por bajo caudal de aire primario. Deberá ponerse en servicio el molino de reserva. Tiempo para subsanar la avería 4 horas.
				5	Posicionador registro (damper) aire frío molino falla.	Dificulta la regulación de caudal de aire y temperatura. Puede implicar la puesta en servicio de mecheros de fuel oil. Deberá ponerse en servicio el Molino de reserva. Tiempo para subsanar la avería 4 horas.
				6	Pistón damper aire frío del molino falla.	Dispara el molino y el alimentador. Puntualmente implica la puesta en servicio de mecheros de fuel oil. El pistón de aire frío deberá ser ajustado o cambiado. Deberá ponerse en servicio el molino de reserva. Tiempo para subsanar la avería 6 horas.
				7	Lazo regulación aire caliente del molino falla.	No regula correctamente el caudal de aire. Cierra la compuerta de aire caliente a 95°C. El operador no puede actuar sobre la regulación de temperatura y caudal del molino. El molino es disparado por el operador .
						mecheros de fuel oil. Deberá ponerse en servicio el molino de reserva. Tiempo

				8	Convertidor I/P registro (damper) aire caliente molino falla.	Dificulta o impide la regulación de caudal de aire y temperatura. Implica puntualmente la puesta en servicio de mecheros de fuel oil. Deberá ponerse en servicio en molino de reserva. Tiempo para subsanar la avería 4 Hr.
				9	Posicionador registro (damper) aire caliente molino falla.	Dificulta o impide la regulación de caudal y temperatura. Implica puntualmente la puesta en servicio de mecheros de fuel oil. Deberá ponerse en servicio el molino de reserva. Tiempo para subsanar la avería 4 horas.
				10	Pistón damper aire caliente molino falla.	Dificulta o impide la regulación de caudal de aire y temperatura. Implica puntualmente la puesta en servicio de mecheros de fuel oil. Deberá ponerse en servicio el molino de reserva. Tiempo para subsanar la avería 6 hr.
				11	Damper aire caliente molino agarrotado por suciedad.	Impide la regulación de caudal de aire y temperatura. En el peor de los casos habrá que parar el molino para subsanar la avería. Deberá ponerse en servicio el molino de reserva. Tiempo para aligerar el damper 6 hr.
				12	Desgaste dampers aire caliente Molino.	Dificulta la regulación de caudal de aire y temperatura. La reparación requiere parada del grupo. Tiempo para subsanar la avería 5 días.
				13	Sistema aire primario falla.	Se estudiará aparte.
				14	Sistema regulación aire primario falla.	Se estudiará aparte.
				15	Obstrucción en transmisor de caudal de aire primario a molino.	El aire es insuficiente para mantener la demanda de carbón hacia la caldera. Dispara el molino por alta presión diferencial o por bajo caudal de aire primario. Puntualmente implica la puesta en servicio de mecheros de fuel oil. Tiempo para reparar la avería 2 horas.
2	<b>Capacidad del molino de regular las muelas sobre la mesa molienda</b>	A	<b>Incapacidad del molino de regular las muelas sobre la mesa molienda</b>	1	Tornillo de elevación de muelas gripado por falta de grasa en el molino.	No se pueden regular las muelas en caso de necesidad. Deberá arrancarse el molino de reserva. Tiempo para reparar la avería entre 7 horas.

3	Capacidad del molino de rechazar los inmolturables y recogerlos en su respectivo calderón	A	Incapacidad del molino de rechazar los inmolturables	1	Desgaste de los arrastradores del molino.	Aumenta la presión diferencial del molino y da alarma. Los inmolturables pueden llegar a acumularse en la cámara de inmolturables. Aumentan las vibraciones y los inmolturables acaban por combustionar. Hay que parar el molino y poner en servicio el molino de reserva. Tiempo de subsanar la avería 1 día.
				2	Rotura por erosión de los tornillos de sujeción de los arrastradores del molino.	Aumenta la presión diferencial del molino y da alarma. Los inmolturables pueden llegar a acumularse en la cámara de inmolturables. Aumentan las vibraciones y los inmolturables acaban por combustionar. Hay que parar el molino. Implica puntualmente la puesta en servicio de mecheros de fuel oil. Deberemos poner en servicio el molino de reserva. Tiempo para subsanar la avería entre 1 y 5 días dependiendo de la magnitud de la avería.
				3	Rotura del muelle pala del arrastrador del Molino.	Aumenta la presión diferencial del molino y da alarma. Los inmolturables se acumulan en la cámara de inmolturables. Aumentan las vibraciones y los inmolturables acaban por combustionar. Hay que parar el molino. Implica puntualmente la puesta en servicio de mecheros de fuel oil. Deberemos poner en servicio el molino de reserva. Tiempo para subsanar la avería 1 día.
				4	Salida Molino obstruida por objeto extraño.	Aumenta la presión diferencial del molino y da alarma. Los inmolturables pueden llegar a acumularse en la cámara de inmolturables. Aumentan las vibraciones y los inmolturables acaban por combustionar. Hay que parar el molino. Implica puntualmente la puesta en servicio de mecheros de fuel oil. Deberemos poner en servicio el molino de reserva. Tiempo para subsanar la avería 1 día.
		B	Incapacidad del molino de recoger en su residuos	1	Secuencia de compuertas piritero falla.	Sale alarma. Se puede actuar manualmente. Tiempo de subsanar la avería 3 horas.
				2	Final de carrera compuerta superior (carga) del piritero falla.	Sale alarma. Se puede actuar manualmente. Tiempo de subsanar la avería 3 horas.
				3	Final de carrera compuerta inferior (descarga) del Piritero falla.	Sale alarma. Se puede actuar manualmente. Tiempo de subsanar la avería 3 horas.

				4	Electro válvula piritero falla.	Sale alarma. Se puede actuar manualmente. Tiempo de subsanar la avería 3 horas.
				5	Fuga entre cámaras del pistón de la compuerta superior del piritero del molino	Sale alarma. El operador para el molino. Se pone en servicio el molino de reserva. Tiempo de subsanar la avería 5 horas.

					inmoleables en posición cerrada.	va. Tiempo de subsanar la avería 1 día.
				6	Compuerta inferior del piritero atascada por inmoleables en posición cerrada.	Sale alarma. El operador para el molino. Se pone en servicio el molino de reserva. Tiempo de subsanar la avería 1 día.
				7	Detecto de nivel del piritero obstruido por polvo de carbón.	Sale alarma. El operador para el molino. Se pone en servicio el molino de reserva. Tiempo para subsanar la avería horas.
				8	Detector de nivel del piritero falla.	Sale alarma. El operador para el molino. Se pone en servicio el molino de reserva. Tiempo para subsanar la avería 5 horas.
				9	Automatismos en panel local fallan.	Se estudiará aparte.
<b>4</b>	<b>Ser capaz de mantener la estanqueidad</b>	<b>A</b>	<b>Incapaz de mantener la estanqueidad</b>	1	Fugas por erosión de la junta vitáulic en válvulas de descarga del molino.	El carbón sale al exterior ensuciando la zona. La acumulación del carbón produce un aumento de riesgo de fuego. Se puede parchear con el molino en servicio. La sustitución de la junta implica la parada de grupo. Tiempo para la sustitución 5 horas.
				2	Fuga por erosión de la junta vitáulic en la tubería de transporte aire-carbón hasta quemadores.	El carbón sale al exterior ensuciando la zona. La acumulación del carbón produce un aumento de riesgo de fuego. Se puede parchear con el molino en servicio. La sustitución de la junta implica la parada de grupo. Tiempo para la sustitución 2 días.
				3	Fuga por desgaste de las tuberías de transporte aire-carbón hasta quemadores.	El carbón sale al exterior ensuciando la zona. La acumulación del carbón produce un aumento del riesgo de fuego. El desgaste de las tuberías requiriera reparación en parad de grupo. Tiempo para la reparación 3 días.

				4	Fuga por prensa del eje de actuación de la compuerta de aire caliente del molino.	Sale aire y ceniza ensuciando la zona. Hay que parar el molino y poner en servicio el molino de reserva. En el peor de los casos deberá ponerse en servicio los mecheros de fuel oil, parando todos los molinos y los ventiladores de aire primario. Tiempo para subsanar la avería 5 horas.
				5	Rotura junta externa sellado cámara inmolturables Molino.	Fuga de aire de cierres al exterior. Si la fuga es muy grande puede ocasionar el disparo del molino por baja presión de aire de cierres lo que implicaría puntualmente la puesta en servicio de mecheros de fuel oil y la puesta en servicio del molino de reserva. Tiempo de la reparación en función de la avería de 3 a 5 días.
				6	Rotura junta interna sellado cámara de inmolturables Molino.	Fuga de aire de cierres al interior de la cámara de inmolturables. Si la fuga es muy grande entra carbón en la cámara de sellado produciendo desgaste prematuro de las juntas externas. Puede ocasionar disparo del molino por baja presión de aire de cierres lo que implicaría la puesta en servicio
						Mecheros de fuel oil y la puesta en servicio del molino de reserva. Tiempo de a reparación en función de la avería de 3 a 5 días.
				7	Degradación de juntas tóricas del sistema hidráulico del molino.	Fuga de aceite del sistema hidráulico del molino. El aceite se deposita sobre el piso ensuciando la zona y pudiendo provocar accidentes por caídas. En caso de tener que sacar la planta hidráulica de servicio, deberá ponerse en servicio el molino de reserva. Tiempo para reparar la avería 3 horas.
				8	Degradación de las juntas en el sistema de lubricación del reductor planetario del molino.	Fuga de aceite en el sistema de lubricación del reductor planetario del molino. El aceite se deposita sobre el piso ensuciando la zona y pudiendo provocar accidentes por caída. En caso de tener que sacar la planta de lubricación de servicio será necesario poner en servicio el molino de reserva. Tiempo para

				9	Desgaste de los retenes del reductor del separador rotativo del molino.	Fuga de aceite del reductor del separador rotativo del molino. El aceite se deposita sobre el piso ensuciando la zona y pudiendo provocar accidentes por caídas. La pérdida de nivel de aceite en la reductora puede provocar roturas.
				10	Poros por corrosión en el refrigerante del aceite de lubricación del molino.	Sube el nivel de aceite por la entrada de agua en el cárter del reductor planetario. La bomba de lubricación aspira agua. Se pierde la lubricación del reductor planetario pudiendo provocar roturas internas. Deberá ponerse en servicio el molino de reserva. Tiempo para subsanar la avería dependiendo de la magnitud de la misma, entre 3 y 5 días.
				11	Fuga de carbón por el eje de regulación de las muelas por falta de grasa.	El carbón sale al exterior ensuciando la zona. Tiempo para el engrase de los sellos 10 minutos.
				12	Fuga por falta de grasa en el sello de la mesa molienda del molino.	Entra el polvo de la atmósfera al interior del sistema de transmisión por falta de grasa en el sello, pudiendo provocar averías internas en el molino. Tiempo para engrase del sello 10 minutos.
5	Capaz de evitar la entrada de carbón en las zonas lubricadas del molino a través de aire de sellado o cierres con el molino en servicio, a una presión superior a 1200 mm.ca. En presencia de un	A	No evita la entrada de carbón a las zonas lubricadas del molino	1	Rotura por desgaste de los rodamientos de motor eléctrico del ventilador de aire de cierres.	El ventilador de aire de cierres en servicio dispara y entra en servicio el ventilador de reserva. En caso de que el ventilador de reserva también falle, dispararan todos los molinos en servicio y posteriormente el grupo. Tiempo para subsanar la avería 1 día.
				2	Rotura por falta de grasa en los rodamientos del motor eléctrico del ventilador de aire de cierres.	El ventilador de aire de cierres en servicio dispara y entra en servicio el ventilador de reserva. En caso de que el ventilador de reserva también falle, dispararan todos los molinos en servicio y posteriormente el grupo. Tiempo para subsanar la avería 1 día.
				3	Fallo del térmico del motor eléctrico del ventilador de aire de cierres. Actúa cuando no debería.	Hay alarma de disparo motor y alarma de baja presión de aire de cierres. Dispara el ventilador en servicio y entra en funcionamiento el ventilador de reserva. En caso de que el ventilador de reserva también falle, dispararan todos los molinos en servicio y posteriormente el grupo. Tiempo para sustituir el térmico 3 horas.

**5.3 PROPUESTA PARA PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO  
MOLINO DE CARBÓN**

**5.3.1 MPB 1 AÑO MOLINO Y PIRITA (Eléctrico)**

	<b>Actividades a realizar</b> Identifique molino 1-2-3-4.	<b>SI</b>	<b>NO</b>
1.	<b>MOTOR BBA ALTA PRESION LUBRICACION MOLINO</b>		
a.	Inspeccionar y reapretar conexiones de fuerza, puesta a tierra y regletas de conexiones	( )	( )
b.	Inspeccionar carcasa, anclaje, canalización caja conexiones, ventilador, graseras	( )	( )
c.	Realizar limpieza externa y pintar	( )	( )
2.	<b>. MOTOR BBA, LUBRICACION MOLINO</b>		
a.	Inspeccionar y reapretar conexiones de fuerza, Puesta a tierra y regletas de conexiones.	( )	( )
b.	Inspecciones carcasa, anclaje, canalización caja conexiones, ventilador, graseras.	( )	( )
c.	Realizar limpieza externa y pintar.	( )	( )
3.	<b>MOTOR MOLINO</b>		
a.	Inspeccionar y reapretar desconexiones, bornes de fuerza, aisladores y regletas de instrumentación y calefacción.	( )	( )
b.	Inspeccionar carcasa, tapas cojinetes cajas de conexiones, ventilador ductos de ventilador, anclajes y puestas a tierra.	( )	( )
c.	Realizar limpieza Borne de fuerza y aisladora.	( )	( )
d.	Realizar limpieza carcasa, tapa de ventilación, ductos de ventilación ductos de ventilación y ventilador.	( )	( )
e.	Medir resistencia de calefacción.	( )	( )
f.	Medir sondas de temperaturas.	( )	( )
g.	Realizar touch-up pintura.	( )	( )

Si encuentran daños en la inspección, REPARAR y/o CAMBIAR

**Observaciones:**

### 5.3.2 MPB 1AÑO MOLINO Y PIRITA (Mecánico)

	Actividades a realizar	SI	NO
	Identifique Molino 1-2-3-4		
1.	<b>REDUCTOR</b>		
a.	Inspeccionar contacto diente y patrón.	( )	( )
b.	Inspeccionar acoplamiento.	( )	( )
c.	Inspeccionar SIST. Lubricación.	( )	( )
d.	Chequear apriete de pernos.	( )	( )
e.	Chequear filtro aceite SIST. Lubricación.	( )	( )
2.	<b>BATIDOR</b>	( )	( )
a.	Inspeccionar anillo entrada.	( )	( )
b.	Inspeccionar clasificadores (tapas, tensores, eje accionamiento, caja, transmisión).	( )	( )
c.	Inspeccionar pernos y cuñas.	( )	( )
d.	Inspeccionar rodillo (desgaste).	( )	( )
e.	Inspeccionar y revisar nivel aceite rodillo.	( )	( )
f.	Inspeccionar mesa molienda.	( )	( )
g.	Inspeccionar rastra piritero.	( )	( )
h.	Inspeccionar puertas rechazo clasificador.	( )	( )
i.	Inspeccionar carcasa rechazo clasificador.	( )	( )
j.	Comprobar y ajustar muelle tensionador molino.	( )	( )
3.	<b>BBA,LUBRICACION MOLINO</b>		
a.	Inspeccionar acople transmisión.	( )	( )
b.	Inspeccionar y limpiar filtro succión.	( )	( )
4.	<b>BBA, ALTA PRESION LUBRICACION MOLINO</b>		
a.	Inspeccionar acople transmisión.	( )	( )
b.	Inspeccionar y limpiar filtro succión.	( )	( )
5.	<b>PIRITERO MOLINO</b>		
a.	Inspeccionar ducto piritero.	( )	( )
6.	<b>VALVULA DE PIRITAS 1 MOL</b>		
a.	Inspeccionar guía, packing cilindros, sellos, prensas.	( )	( )
7.	<b>VALVULA DE PIRITAS 2 MOL</b>		
a.	Inspeccionar guía, packing cilindros, sellos, prensas.	( )	( )
8.	<b>VALVULA BSO _MOL</b>		
a.	Inspeccionar guía, packing cilindros, sellos, prensas.	( )	( )
9.	<b>VALVULAS BSO _MOL_</b>		

Si encuentran daños en la inspección, REPARAR O CAMBIAR

### 5.3.3 MPB 5 AÑOS MOLINOS Y PIRITA (Mecánico)

	<b>Actividades a realizar</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
	Identifique Molino 1- 2- 3- 4		
1.	<b>MOTOR BBA.ALTA PRESION LUBRICACION</b>		
a.	Inspeccionar.	( )	( )
b.	Realizar.	( )	( )
2.	<b>MOTOR BBA.LUBRICACION MOLINO</b>		
a.	Inspeccionar estator, rotor y bobinas.	( )	( )
b.	Realizar limpieza bobinado, estator y rotor.	( )	( )
3.	<b>MOTOR MOLINO</b>		
a.	Inspeccionar estator (núcleo, bobinas, amarras, fijaciones, cuñas, etc.)	( )	( )
b.	Realizar limpieza bobina de estator.	( )	( )

Si encuentra daños en la inspección, REPARAR y/o CAMBIAR.

**Observación:**

### 5.3.4 MPB 2 AÑOS ENFRIAMIENTO DE MOLINOS (Mecánicos)

	<b>Actividades a realizar</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
	ENFRIADOR DE ACEITE MOL.1		
1.	<b>ENFRIADOR DE ACEITE MOL.1</b>		
a.	Limpiar interior tubos.	( )	( )
2.	<b>VALVULA DE BOLA ALIMENTACION MOL.1</b>		
a.	Revisar interior.	( )	( )
3.	<b>VALVULA MANUAL DE SALIDA MOL.1</b>		
a.	Lubricar hilo de vástago.	( )	( )
	ENFRIADOR DE ACEITE DE MOLINO 2		
1.	<b>ENFRIADOR DE ACEITE MOL.2</b>		
a.	Limpiar interior tubos.	( )	( )
2.	<b>VALVULA DE BOLA ALIMENTACION MOL.2</b>		
a.	Revisar interior.	( )	( )
3.	<b>VALVULA MANUAL D SALIDA MOL.2</b>		
a.	Lubricar hilo de vástago.	( )	( )
	ENFRIADOR DE ACEITE DE MOLINO 3		
1.	<b>ENFRIAR DE ACEITE MOL.3</b>		
a.	Limpiar interior tubos.	( )	( )
2.	<b>VALVULA DE BOLA ALIMENTACION MOL.3</b>		
a.	Revisar interior.	( )	( )
3.	<b>VALVULA MANUAL DE SALIDA MOL.3</b>		
a.	Lubricar hilo de vástago.	( )	( )
	ENFRIADOR DE ACEITE DE MOLINO.4		
1.	<b>ENFRIADOR DE ACEITE MOL.4</b>		
a.	Limpiar interior tubos.	( )	( )
2.	<b>VALVULA DE BOLA ALIMENTACION MOL.4</b>		
a.	Revisar interior.	( )	( )

Si encuentra daños en la inspección, REPARAR y/o CAMBIAR.

**Observaciones:**

### 5.3.5 MPB 4 AÑOS ENFIAMIENTO DE MOLINOS (Mecánicos)

<b>ENFRIADOR DE ACEITE DE MOLINO 1</b>				<b>SI</b>	<b>NO</b>
1.	Evaluar	Elementos	Interiores de:		
a.	Válvula.	Manual de	Salida Mol.1	( )	( )
2.	Evaluar	Estado de	Sellos de :		
a.	Mirilla.	Flujo D.	Descarga Mol.1	( )	( )
3.	Limpiar	Interior	Mirilla de :		
a.	Mirilla.	De flujo D.	Descarga Mol.1	( )	( )
4	<b>Reemplazar flexible de :</b>				
b	Flexible de descarga Mol.1			( )	( )
5	<b>Evaluar estado de válvula de :</b>				
a	Válvula de bola alimentación Mol.1			( )	( )

<b>ENFRIADOR DE ACEITE DE MOLINO.2</b>				<b>SI</b>	<b>NO</b>
1.	Evaluar	Elementos de interiores de:			
a.	Válvula	Manual de salida Mol.2		( )	( )
2.	Evaluar	Estado de sellos de :			
a.	Mirilla	De flujo descarga Mol.2		( )	( )
3.	Limpiar	Interior de Mirillas de :			
a.	Mirilla	De flujo descarga Mol.2		( )	( )

4.	<b>Reemplazar flexible de :</b>				
a.	Flexible alimentación Mol.2			( )	( )
b.	Flexible de descarga Mol.2			( )	( )
5.	<b>Evaluar estado de válvula de :</b>				
a.	Válvula de bola alimentación Mol.2			( )	( )

<b>Enfriador de aceite de Molino 3</b>					
1.	Evaluar elementos interiores de:				
a.	<b>Válvula manual de salida Mol.3</b>			( )	( )
2.	Evaluar estado de sellos de :				
a.	<b>Mirilla de flujo descarga, Mol 3</b>			( )	( )
4.	<b>Reemplazar flexible de:</b>				
b.	Flexible de descarga Mol.3				
5.	<b>Evaluar estado de válvula de:</b>				
a.	Válvula de bola alimentación Mol.3			( )	( )

**5.3.6 ENFRIADOR DE ACEITE MOLINO**

<b>1.</b> <b>a.</b>	<b>Evaluar</b> Válvula	<b>Elementos</b> Manual de	<b>Interiores de :</b> Salida Mol.4		
2. a.	Evaluar Mirilla	Estado de De flujo D	Sellos de: Descarga Mol.4		
3. a.	Limpiar Mirilla	Interior De flujo D	Mirillas de : Descarga Mol.4	( )	( )
4.	<b>Reemplazar flexible de:</b>				
a.	Flexible Alimentación Mol.4			( )	( )
b.	Flexible de Descarga Mol.4			( )	( )
5.	<b>Evaluar estado de</b> <b>Válvula de:</b>				
a.	Válvula de bola alimentación Mol.4			( )	( )

Si encuentra daños en la inspección, REPARAR y/o CAMBIAR.

**Observaciones:**

**5.3.7 MPB 3 MESES MOLINO Y PIRITA (Mecánicos)**

	<b>Actividades a realizar</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
<b>I</b>	<b>Molino 1</b>		
a.	Analizar vibraciones	( )	( )
b.	Análisis Ultrasonido	( )	( )
<b>2.</b>	<b>MOTOR MOLINO</b>		
b.	Análisis ultrasonido	( )	( )
<b>II</b>	<b>MOLINO 2</b>		
<b>1</b>	<b>REDUCTOR MOLINO</b>		
b.	Análisis ultrasonido	( )	( )
<b>2.</b>	<b>MOTOR MOLINO</b>		
b.	Análisis de ultrasonido	( )	( )
<b>III</b>	<b>MOLINO 3</b>		
<b>1</b>	<b>REDUCTOR MOLINO</b>		
b.	Análisis ultrasonido	( )	( )
<b>2.</b>	<b>MOTOR MOLINO</b>		
b.	Análisis ultrasonido	( )	( )
<b>IV</b>	<b>MOTOR MOLINO 4</b>		
<b>1</b>	<b>REDUCTOR MOLINO</b>	( )	( )
b.	Análisis ultrasonido	( )	( )
<b>2.</b>	<b>MOTOR MOLINO</b>		
a.	Analizar Vibraciones	( )	( )
b.	Análisis ultrasonido	( )	( )

Si encuentra daños en la inspección, REPARAR y/o CAMBIAR.

**Observaciones:**

**5.3.8 PREDICTIVO 6 MESES MOLINO Y PIRITA (Mecánicos)**

	<b>Actividades a realizar</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>
	Identifique Molino 1-2-3-4 MOLINO DE RODILLOS		
1.	Analizar aceites de :		
a.	Reductor Molino	( )	( )
2.	<b>ANALIZAR VIBRACIONES BOMBA DE :</b>		
a.	Bba. Alta presión Lubricación Molino	( )	( )
b.	Bba lubricación Molino	( )	( )
3.	<b>ANALIZAR VIBRACIONES MOTOR DE :</b>		
a.	Bba Alta presión Lubricación Molino	( )	( )
b.	Bba .lubricación Molino	( )	( )
4.	<b>REALIZAR ANALISIS ULTRASONIDO BOMBA a:</b>	( )	( )
b.	Bba , Lubricación Molino	( )	( )
5.	<b>REALIZAR ANALISIS ULTRASONIDO a:</b>		
a.	Bba. Alta Presión Lubricación Molino		
b.	Bba. Lubricación Molino		
6.	<b>REALIZAR inspección termográfica general a:</b>		
a.	Molino de rodillos		

Si encuentra daños en la inspección, REPARAR y/o CAMBIAR

**Observaciones:**

## **5.4 PUESTA EN SERVICIO MOLINO**

### **5.4.1 Condiciones Previas**

- Verificar que no existan documentos vigentes, asociados al molino y/o auxiliares.
- Verificar desacoplado motor de mantenimiento Jigger.
- Verificar energizado motor principal del molino asociado.
- Verificar energizado motor bombas. De aceite de lubricación.
- Verificar energizado motor bomba de aceite hidráulico.
- Verificar disponible alimentador gravimétrico correspondiente.
- Verificar en servicio agua refrigeración circuito cerrado.
- Verificar energizado y disponible ventilador aire de sellos.
- Verificar disponible vapor auxiliar, para Inertización de molinos.
- Verificar abierta compuerta de aislación del piritero.
- Verificar cerrada compuerta de rechazo del piritero.
- Verificar nivel depósito del piritero.
- Verificar abierta o abrir compuerta descarga silo.
- Poner en servicio sistema fluidización, silos de carbón.
- Verificar abiertos clasificadores del molino.
- Verificar 12 quemadores de diesel en servicio (incluidos los 4 del nivel a encender).

#### 5.4.2 Secuencia de la puesta en servicio Molinos de carbón

a) Puesta en servicio del aceite de lubricación e hidráulico del molino

- En pantalla DCS Boiler\_Mill\_Auxiliary coal mill 1 Systems, se selecciona la opción oil
- Entrará en servicio el calentador de aceite de lubricación
- Entrará en servicio una de las dos bombas de aceite de lubricación (20HFX10 AP003 ó 20HFX10 AP002) presión mayor a 0,105 Mpa.
- Cuando la temperatura del aceite lubricación (señal 20HFX10 CT802) sea mayor a 28°C y menor a 60°C. dará permisivo para que el molino entre en secuencia de arranque.
- Entrará en servicio bomba de aceite hidráulico 20HFX10 AP001.
- Según lógica, v/v reguladora de presión 20HFX.10AA101 parte abierta un 5%.
- Cuando la temperatura de aceite hidráulico sea mayor a 30°C. Dará permisivo para continuar con la secuencia de arranque.

## b) Calentamiento molino

- En pantalla DCS Boiler\_Mill\_Auxiliary coal mill 1 Systems, se selecciona la opción Heating
- Entra en servicio ventilador de aire de sello 20HFW10AN001
- Abre válvula de vapor de inertización 20LBG41AA101/2/3/4 del molino (2 min)
- Entra en servicio sistema de aire primario, (aire de sello presión mayor 2Kpa que el aire primario), según secuencia xx
- Abre válvula de corte o cierre rápido 20HFE61AA301.
- Abre damper de descarga primario de mezcla aire carbón a quemador 20HHE11AA101
- Abre damper de descarga primario de mezcla aire carbón a quemador 20HHE11AA102
- Abre damper de descarga primario de mezcla aire carbón a quemador 20HHE12AA101
- Abre damper de descarga primario de mezcla aire carbón a quemador 20HHE12AA102
- Abre damper de descarga primario de mezcla aire carbón a quemador 20HHE13AA101
- Abre damper de descarga primario de mezcla aire carbón a quemador 20HHE13AA102
- Abre damper de descarga primario de mezcla aire carbón a quemador 20HHE14AA101

- Abre damper de descarga primario de mezcla aire carbón a quemador 20HHE14AA102
- Abre compuerta de aire primario frío 20HFE51AA001, para aumentar flujo de aire primario sobre las 45.000 m<sup>3</sup>/hr
- Abre compuerta aire primario caliente 20HFE61AA001, para aumentar temperatura del molino a 90 °C (temperatura normal de trabajo 75 °C)

c) Secuencia de arranque del molino

- En pantalla DCS Boiler\_Mill\_Auxiliary coal mill 1 Systems, se selecciona la opción complete
- Entrará en servicio mesa de molienda.
- Abre Jumper descarga alimentador a molino
- Entrará en servicio alimentador Gravimétrico (18 ton/hr), se forma cama de carbón para evitar vibraciones, cuando bajen los rodillos( 2 min)
- Descienden rodillos de molienda.
- Nota: A medida que se aumenta la velocidad del alimentador, la presión de aceite hidráulico aumenta también para ajustarse a curva dada por lógica.

## 5.5 CONTROL OPERACIONAL

Vibración del Molino	Amplitud de vibración menor a 0,05 mm
Ruido del Molino	Menor a 85 db. Medido a un metro de distancia
Mirilla control desgaste	Medir espesor de la capa de carbón.
Control caja de rechazo	Realizar retiro de rechazo de piritita cada 12 hrs.
Hermetismo del Molino	Verificar fugas de carboncillo por juntas.
Tirante	Verificar si la arandela es ágil y hermética, y no hay fuga de polvo.
Ventiladores aire de sello	Verificar ruidos, vibraciones y diferencial del filtro de aire. La diferencial entre el aire de sello y el aire primario debe mantenerse a 1,5 Kp
Aceite lubricación de alta presión	Controlar presión del aceite (152,9 Kg/cm <sup>2</sup> ), ausencia de fugas, presión diferencial (alarma 5.098 Kg/cm <sup>2</sup> )
Aceite lubricación de baja presión	Controlar temperatura y presión
Reductor de baja velocidad	Controlar ruidos, temperatura y nivel de aceite
Motor principal	Controlar niveles de corriente, nivel y temperatura de aceite de ambos descansos, vibraciones.
Rodillos	Controlar nivel de aceite de lubricación de los rodillos.

## **CAPÍTULO 6: ANÁLISIS DE COSTOS DEL MANTENIMIENTO DEL MOLINO**

## 6. ANÁLISIS DE COSTOS DEL MANTENIMIENTO DEL MOLINO

Descripción del Servicio y alcance Técnico				
TRABAJO EN MOLINO 10 DESMONTAJE ,DESARME Y ARMADO DE RODAMIENTOS NUEVOS MONTAJE REDUCTOR				
CLIENTE PROPORCIONARA TODOS LOS PERNOS Y EMPAQUETADURAS PARA ARMADO DE REDUCTOR (DAÑADOS)				
SE CONSIDERA TRANSLADO DE REDUCTOR AREA TURBINA				
TRABAJO ESTA CONSIDERA TURNO DIA DE 11 HRS DE LUNES A SABADO POR 25 DIAS				
CLIENTE PROPORCIONARA TODOS LOS COMPONENTES DE REPUESTOS DE REDUCTOR Y MOLINOS QUE SE INDIQUEN				
CLIENTE ENTREGA DESCONEXION ELECTRICA Y SISTEMA HIDRAULICO				
CLIENTE PROPORCIONARA TECNICO POR PARTE DEL PROVEEDOR DE RODAMIENTO Y ACCESORIOS ARMADO REDUCTOR				
SE ENTREGARA PLANOS PARA DEFINIR AJUSTE DE CORONA CON PIÑON ( FABRICANTE REDUCTOR)				
COSTO ADICIONAL EN HH PERSONAL POR RETRAZO DE INSUMOS POR CLIENTE				
MATERIAL Y REPUESTOS (indicar % gestión compra materiales)	0%	\$ 10.624.000		
PERSONAL (subtotal de acuerdo a detalle itemizado)		\$ 34.364.000		
Equipos y Servicios (subtotal de acuerdo a detalle itemizado)		\$ 23.560.000		
GG y Util.: (indicar % según costos y/o HH)	20,00%	\$ 13.709.600		
VALOR TOTAL OFERTA POR CADA SP/OT		\$ 82.257.600		V°B° JEFE V°B° ADM

COMPRA MATERIALES, REPUESTOS Y EQUIPOS	Unidad	Cantidad	P/U Unidad	VALOR	
INSUMOS LIMPIEZA				\$ 1.850.000	
LIMPIEZA QUIMICA REDUCTOR				\$ 1.580.000	
EQUIPO PARA DESMONTAJE Y MONTAJE RODAMIENTOS				\$ 4.540.000	
PIEZAS PARA FIJAR ROLES , MESA Y RETIRO REDUCTOR				\$ 2.654.000	
SUB TOTAL				\$ 10.624.000	
DETALLE PERSONAL POR ESPECIALIDAD	PERSONAS	Unidad	Total HH	P/U Unidad	VALOR
SUPERVISOR	1		275,00	\$ 16.000	\$ 4.400.000
PREVENCIONISTA	1		275,00	\$ 14.000	\$ 3.850.000
MAESTROS MECANICOS	6		1650,00	\$ 10.000	\$ 16.500.000
SOLDADOR	1		275,00	\$ 14.000	\$ 3.850.000
CONTROL DE CALIDAD	1		275,00	\$ 12.000	\$ 3.300.000
TECNICO ESPECIALISTA	1		154,00	\$ 16.000	\$ 2.464.000
					-
					-
					-
SUB TOTAL					\$ 34.364.000
EQUIPOS Y SERVICIOS	Unidad	Cantidad	P/U Unidad	VALOR	
CONTENEDOR DE HERRAMIENTAS MENORES	GL			\$ 2.800.000	
EQUIPO DE GRUA Y CAMA BAJA	GL			\$ 4.800.000	
IMPLEMENTO SEGURIDAD	GL			\$ 4.200.000	
COLACION Y MOVILIZACION	GL			\$ 6.375.000	
INSTALACION DE FAENA ( OFICINA , BAÑOS , VESTIDORES )				\$ 1.885.000	
CAMION PLUMA				\$ 3.500.000	
				\$ -	
SUB TOTAL				\$ 23.560.000	

**6.2 COTIZACIÓN CAJA REDUCTORA**

Quotation for ZGM113N Vertical Coal Mill Spare Parts , Project Name: Bocamina 2

No	ITEM DESCRIPTION	QTY	Unit Price in USD	Total Price in USD	Remark
1	Gearbox Bearings 1 Set=8 Pcs	2 Sets	2490	4890	Pos.4\8\18\19\22\24 All Chinese brand
2	Thrust pad	2 Sets	9920	19840	Pos.9
3	Dust ring & O rings	2 Sets	490	980	Pos.28\29\31\32
4	Halfsphere & cushion for thrust pad	2 Sets	345	690	Pos.10\11
5	Adjusting pads of spiral bevel shaft and spiral bevel wheel	2 Sets	345	690	Too small to mark on drawings
6	Spiral bevel wheel & shaft	2 Sets	27550	55100	Pos.17\23
7	Packing cost			354	5 wooden cases  Gross weight: 3900kg
	<b>Total Ex-work Price</b>			<b>82544</b>	
8	Inland transportation & airport handling cost			810	
	<b>Total FOB Beijing airport Price</b>			<b>83354</b>	
9	Freight & insurance charge			16964	
	<b>Total CIF Santiago airport Price</b>			<b>100318</b>	

**6.3 ESTUDIO ECONOMICO**

Quotation for ZGM113N Vertical Coal Mill Spare Parts

Project Name: Bocamina 2

Client Name: Enel Chile

Our ref. No.: BPEG\S17061\ENEL\DT170619

NOTA.CONSIDERAR TRASLADO 12 DIAS EN AVION

4 MESES EN BARCO

<b>No</b>	<b>ITEM DESCRIPTION</b>	<b>QTY</b>	<b>Unit Price in USD</b>	<b>Total Price in USD</b>	<b>Remark</b>
1	Gearbox model SXJ160B	1 Pc	169983	169.983	For 1 mill
2	Packing, inland transportation, port handling charge			3.121	
	<b>Total FOB Tianjin Price</b>			<b>173.104</b>	
3	Freight & insurance charge		fit in 1*20' Flat Rack container	6.300	Wooden case Gross weight: 21 tons Package dimension
	<b>Total CIF Coronel Price</b>			<b>179.404</b>	285*245*230cm

**6.4 DETALLE DEL PLAN DE MANTENIMIENTO**

ACTIVIDAD TURNO 8 HR	MECANICOS	ELECTRICOS	VALOR HH	NºHORAS	TOTAL 1 \$	TOTAL 4
MPB 1 AÑO MOLINO Y PIRITA (Electricos)	NO	2	\$ 16.000	48 HH	\$ 768.000	\$ 3.072.000
MPB 1AÑO MOLINO Y PIRITA (Mecanicos)	6	1	\$ 16.000	448 HH	\$ 7.168.000	\$ 28.672.000
MPB 5 AÑOS MOLINOS Y PIRITA	2	NO	\$ 16.000	48 HH	\$ 768.000	\$ 3.072.000
MPB 2 AÑOS ENFRIAMIENTO DE MOLINOS	4	NO	\$ 16.000	192 HH	\$ 3.072.000	\$ 12.288.000
MPB 4 AÑOS ENFIAMIENTO DE MOLINOS	4	2	\$ 16.000	288 HH	\$ 4.608.000	\$ 18.432.000
ENFIADOR DE ACEITE MOLINO	2	NO	\$ 16.000	48 HH	\$ 768.000	\$ 3.072.000
MPB 3 MESES MOLINO Y PIRITA	2	NO	\$ 16.000	64 HH	\$ 1.024.000	\$ 4.096.000
PREDICTIVO 6 MESES MOLINO Y PIRITA	2	1	\$ 16.000	72 HH	\$ 1.152.000	\$ 4.608.000
					<b>\$ 19.328.000</b>	<b>\$ 77.312.000</b>
					<b>1 MOLINO</b>	<b>4 MOLINOS</b>

## **6.5 ANÁLISIS DE COSTOS ANTE UNA EVENTUAL SALIDA DE SERVICIO DE LA CENTRAL**

### **Como se puede producir?**

Los molinos de carbón son equipos críticos. Ya que su funcionamiento es vital para el proceso de generación de energía, es por esto que se debe realizar un plan de mantenimiento para cada uno de estos equipos.

Por ende se deben mantener los Molinos en óptimas condiciones para no producir fallas en ellas ya que si se genera un problema, dejara la central sin producir electricidad.

En el año 2017 el costo Promedio de la energía fue 32US [MW/HR]. A diferencia del año 2016 que el costo promedio fue 64US [MW/HR]

Con este valor realizaremos un ejercicio de cuanto deja de percibir la planta ante una eventual bajada de carga o salida de servicio de la central por falla del molino de carbón.

### **6.5.1 ESTUDIO ECONOMICO**

- En el año 2017 en valor promedio del MW fue 32 US VS 64 US el 2016.
- Con este valor realizaremos un ejercicio de cuanto deja de percibir la planta ante una eventual bajada de carga o salida de servicio de la Central

6.5.2 Para un mínimo técnico

<b>350 MW/HR - 240MW/HR (Reducción mínimo técnico)</b>	<b>= 110 MW/HR es lo que debiera dejar de generar.</b>
110 MW/HR x 32 US Costo promedio de 1 MW	3.520 US/HR cada hora de no generación
En un DIA 3.520 US/HR X 24 HR	84.480 US/ DIAS de no generar los 110 MW.

6.5.3 Con central fuera de servicio

- $350 \text{ Mw/HR} \times \text{US\$}32 = \text{US\$} 11.200$  por cada hora de no generación .
- $\text{US\$}11200 \times 24 \text{ Hr} = \text{US\$} 268.800$  por día planta fuera de servicio.

#### 6.5.4 Molino fuera de Servicio

- Tiempo fuera de servicio Molino 1: 26 días se mantuvo fuera de servicio por daño en Caja Reductora.
- Producto de la falla en Molino 1 la Planta estuvo 26 días a mínimo técnico generando 240 MW. Lo que significó una pérdida de 110 MW/HR.

#### 6.5.5 Perdidas por molino fuera de servicio

Datos:

- $110\text{MW/HR} \times \text{US}\$32 = \text{US}\$3520$  por Hora.
- $\text{US}\$3520 \times 24 \text{ HR.} = \text{US}\$84480$  por cada día de no generar los 110 MW.
- $\text{US}\$84480 \times 26 \text{ Días} = \text{US}\$2195440. = \text{CLP } \$1.391.579.644.$

#### 6.5.6 Costos totales

1. Energía no generada por Molino fuera de servicio: US\$ 2.195.440.
2. Kit Repuestos y Reductor : US\$ 279.722.
3. Costo de trabajo de retiro y armado Reductor: US\$ 130.567.
4. Propuesta Plan de Mantenimiento: US\$ 150.000

## 6.6 GRAFICO DE COSTOS

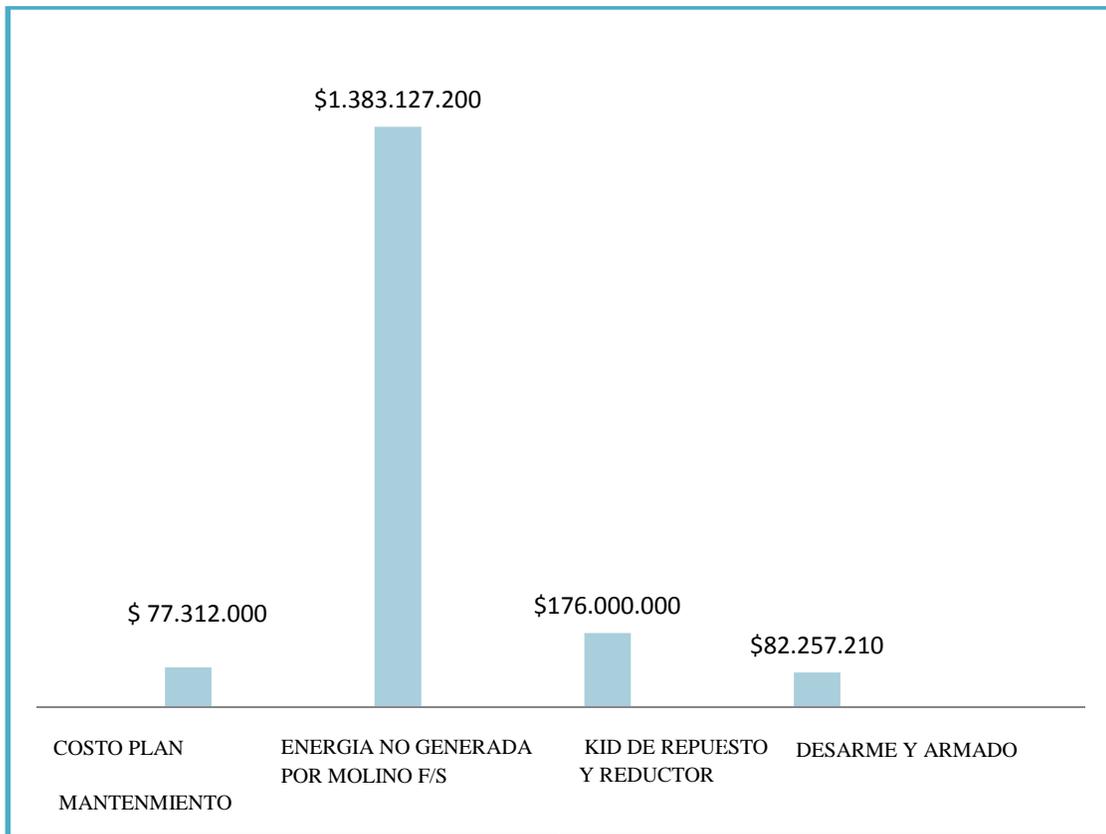


Figura 6- 1 Gráfico de costos

## **CONCLUSION**

Al aplicar un programa de mantenimiento preventivo efectivo a través de la vigilancia sistemática de las condiciones de aceite, temperatura, vibraciones e inspecciones visuales, se permite analizar el estado del reductor y tomar las acciones necesarias para conservar al reductor en óptimas condiciones.

También del presente trabajo de título podemos concluir que, es necesario realizar un plan de mantenimiento ya que genera muchos beneficios para el equipo y la producción.

Por lo tanto con los valores obtenidos se puede determinar la importancia de realizar planes de mantenimiento a los molinos de carbón ya que con esto reduciremos las detenciones inesperadas del equipo y aumentaremos la seguridad de las personas.

También se logra disminuir la probabilidad de falla por ende obtendremos confiabilidad del equipo, reduciendo tiempo de reparación, también disminuirémos de fallas repetitivas, reducción en la frecuencia de fallas y por ultimo una mayor eficiencia en el trabajo en equipo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

O&M MOLINO - KSB\_00.

Manual Molinos de carbón O&M.

Circuito Molinos de Carbón Bocamina 2.

### **Páginas web**

[WWW.MANTENIMIENTOMUNDIAL.COM](http://WWW.MANTENIMIENTOMUNDIAL.COM)

[WWW.SOLOMANTENIMIENTO.COM](http://WWW.SOLOMANTENIMIENTO.COM)

[WWW.ENELDISTRIBUCION.CL/LA-COMPANIA/POLITICA-SOSTENIBILIDAD](http://WWW.ENELDISTRIBUCION.CL/LA-COMPANIA/POLITICA-SOSTENIBILIDAD)