UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA

CONCEPCIÓN – CHILE

ELABOR UN PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN LA DISPONIBILIDAD DE LOS DIVERSOS EQUIPOS QUE CONFORMAN ELAREA DE MOLIENDA EN BOCAMINA.

JORGE FERNANDEZ GOMEZ

MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO EN MANTENIMIENTO INDUSTRIAL

Profesora Guía: Eduardo Aracena

2019

Dedicatoria

De forma especial, quiero agradecer a Dios y mi familia por guiar cada uno de mis pasos, por darme la fortaleza y la sabiduría para vencer los obstáculos de la vida y por permitirme hoy sonreír de forma excepcional por cada uno de mis logros.

Contenido

INTRODUCCIÓN 4

CAPITULO I: ANTECEDENTES GENERALES 5

1.1 Contexto del Estudio 5

1.2 Objetivos 6

1.3 Metodología a emplear 6

1.4 Plan de Metodologia 7

CAPITULO II: DESARROLLO 7

2.1 Antecedentes de la empresa 7

2.2 Estructrura Planta Boca Mina. 9

2.3 Análisis de Criticidad Funcional. 17

2.4 Plan de Mantenimiento para la planta de molienda de carbon. 25

2.5 Pautas de Mantenimiento. 32

CAPITULO III: CONCLUSION Y RECOMENDACIONES 34

3.1 Discusión de resultados 34

3.2 Conclusiones 37

3.3 Bibliografia 38

3.4 Anexos 39

INTRODUCCIÓN

El mundo del mantenimiento es un mundo cambiante, como resultado de nuevas expectativas, nuevos patrones de fallas de equipo y nuevas técnicas.

Estos cambios han generado otros variados requerimientos en la industria, que siente la necesidad de innovar las estrategias o enfoques de la función mantenimiento.

Una buena revisión de las estrategias de mantenimiento debe partir de cero e incluir la revisión de los requerimientos de mantenimiento de cada una de las partes o componentes de los equipos en funcionamiento. Esto, debido a que las exigencias de mantenimiento han cambiado dramáticamente en los últimos tiempos y la evaluación de políticas así como la selección de las tareas de mantenimiento que se deben llevar a cabo, son aspectos que realizan constantemente la mayoría de los ingenieros; pero nuevas técnicas y nuevas opciones aparecen a un ritmo tan acelerado, que estas evaluaciones y selecciones no se pueden llevar a cabo de forma aleatoria e informal.

Es por esto que el desarrollo de este plan de mantenimiento mezcla diversas estrategias y técnicas de mantenimiento orientadas a mitigar, detectar y controlar en forma oportuna las causas de fallas con un alto impacto al proceso productivo.

El estudio tendrá una metodología estrictamente definida y se tomará desde su inicio con un levantamiento jerárquico, seguido de análisis de criticidad antes de la definición de técnicas y posteriores pautas de mantenimiento para todos los equipos de la planta.

CAPITULO I: ANTECEDENTES GENERALES

1.1 CONTEXTO DEL ESTUDIO

Origen del tema

El tema nace de la necesidad de Enel Chile Central Bocamina de realizar un plan de mantenimiento, que asegure la disponibilidad de los diversos equipos existentes en el área de molienda de carbón, la cual alimentara a Bocamina II, con carbón mineral para el proceso de generación de energía eléctrica.

Justificación

De no realizar periódicamente actividades de mantenimiento básico e inspecciones a los diversos activos que conforman el área de molienda de Carbón, estos están expuestos a fallas severas y/o pérdida de su función principal, lo cual trae consigo una alta probabilidad de detener el proceso de alimentación de carbón mineral hacia la caldera de Bocamina II.

Es por esto que se determina realizar tareas periódicas de inspección operacional, mantenimiento preventivo y mantenimiento predictivo a los diversos equipos existentes en el área.

Alcances

El estudio de este trabajo estará acotado desde la recepción del carbón, proveniente de los alimentadores gravimétricos, hasta la descarga del mineral en los en los molinos correspondientes a la unidad 2 de Central Bocamina, considerando los sistemas involucrados.

1.2 OBJETIVOS

Objetivo general:

Elaborar un plan de mantenimiento basado en la disponibilidad de los diversos equipos que conforman el área de molienda de Carbón.

Objetivos específicos:

- Identificar los procesos, subprocesos, equipos y componentes que conforman esta área.
- Utilizar metodologías que permitan identificar equipos críticos, semicríticos y no críticos, de tal manera de orientar de forma adecuada el mantenimiento.
- Definir estrategias y técnicas de mantenimiento que se utilizarán en la confección del plan.

1.3 METODOLOGÍA A EMPLEAR

Identificar los procesos, subprocesos, equipos y componentes que conforman esta área.

- Describir proceso de producción, planos del equipo
- Realizar levantamiento de todos los equipos y componentes que conforman esta área.
- Realizar diagramas para lograr identificar la participación de los equipos en el proceso.

Utilizar metodologías que permitan identificar equipos críticos, semicríticos y no críticos, de tal manera de orientar de forma adecuada el mantenimiento.

- Realizar un estudio de análisis de criticidad funcional que permita definir cuál es la importancia del equipo en el proceso de generación
- Definir estrategias y técnicas de mantenimiento que se utilizarán en la confección del plan.

1.4 PLAN DE METODOLOGIA

- Realizar la evaluación del plan mantenimiento que asegure la menor cantidad de fallas correctivas a mi equipo, según estudios de otros modelos y previa reunión con equipo de mantención involucrados en el plan de mantenimiento.

CAPITULO II: DESARROLLO

2.1 ANTECEDENTES DE LA EMPRESA

ENEL CHILE

Enel Chile, es la principal empresa generadora de energía eléctrica del país, posición que responde a uno de sus compromisos más importantes como es satisfacer las necesidades de abastecimiento energético que Chile requiere para su crecimiento y desarrollo. Hasta el año 2015, la compañía operaba un total de 4893 MW de potencia, lo que representa el 36% de la capacidad instalada en el mercado local. De ello el 70% es capacidad instalada hidráulica, el 28,9% térmica y el 1,29% eólica.

La compañía participa en el Sistema Interconectado Central (SIC), principal sistema eléctrico del país, que abarca desde Taltal a Chiloé, territorio en que vive cerca del 93% de la población, donde su capacidad instalada aporta un total de 4711 MW, equivalente al 48%.

La compañía opera más de 25 centrales de generación ubicadas en distintas zonas del país, las que con la aplicación de diversas tecnologías, contribuyen a dar respuesta a la progresiva demanda energética.

CENTRAL TÉRMICA BOCAMINA

Proceso de generación de Central Bocamina 2

Central Termoeléctrica Bocamina Unidad II., tiene como finalidad la generación de energía eléctrica a partir de la combustión del carbón y posterior calentamiento de agua en caldera para producir vapor. El vapor es conducido a través de una batería de tubos al interior de la caldera, para posteriormente hacer girar los alabes de la turbina cuyo eje rotor gira de forma solidaria con el generador produciendo energía eléctrica, una vez enfriado el vapor en el condensador y convertido otra vez en agua, es enviada nuevamente a los tubos de la caldera para iniciar nuevamente el ciclo de vapor. La capacidad combinada de 350 MW Unidad II.

El carbón mineral (principal materia prima del proceso) es adquirido en el mercado internacional llegando por vía marítima al puerto de Cabo Froward, donde es desembarcado a razón de 1000 a 1200 ton/hrs, hasta las canchas de almacenamiento de la Central. Desde los sitios de acopio de la Central, mediante cintas transportadoras, el carbón es llevado a silos de almacenamiento que alimentan a los molinos, donde es triturado hasta una granulometría que permita su rápido encendido. Una vez pulverizado se inyecta, mezclado con aire caliente a presión, a la caldera para su combustión.

En la Caldera la energía química del combustible es transformada en energía calórica. Por efecto del calor el agua se transforma en vapor. El vapor de alta presión y temperatura

generado en la caldera se conduce a la turbina y generador, transformando la energía contenida en el vapor, en energía eléctrica.

El vapor, una vez que ha realizado su trabajo en la turbina, pasa al condensador, para cambiar su estado desde vapor a agua condensada, y volver hacia la caldera, conformando así un ciclo cerrado de trabajo. Para realizar el cambio de fase (vapor a líquido), el condensador es refrigerado mediante agua de mar.

Los gases productos de la combustión del carbón, previo a su descarga por chimenea, son conducidos hacia un filtro de mangas y un equipo de desulfuración, a objeto de cumplir con la Norma de emisión de contaminantes para Centrales Termoeléctrica

2.2 ESTRUCTRURA PLANTA.

Figura 1: Esquema del proceso de central térmica bocamina.

Tal como se denota en la figura 1 se la describe cada sector de la planta:

1. Patio de carbón

2. Correa transportadora
3. Caldera
4. Ducto vapor
5. Turbina
6. Generador
7. Trafo
8. Patio alta tensión
9. Casa de bombas
10. Tubería sifón
11. Tubería descarga
12. filtro mangas
13. chimenea
14. silo de ceniza
14. escoria
16. vertedero

AREA DE PLANTA MOLIENDA DE CARBON

- **Principio de Funcionamiento del Molino.**

El principio de trabajo de este tipo de molinos se basa en unos rodillos que se mueven en una trayectoria circular y girando alrededor de su eje, sobre un lecho de material de alimentación situado sobre una placa, pista o bandeja de molienda horizontal giratoria.

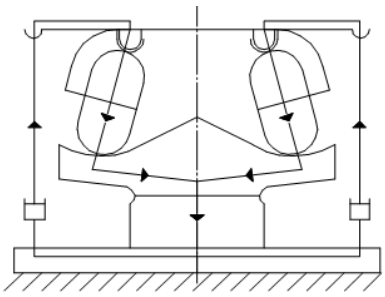


Figura 2: Se demuestra el alineamiento del rodillo.

- **Características del Molino.**

El molino de a rodillo Raymond es del tipo de clasificación interna por aire. La base del molino cuenta con un anillo de molienda que está rígidamente fijo a ella. Debajo del anillo de molienda están las aberturas tangenciales de aire por las que éste penetra a la cámara de molienda. Cuenta además con un eje vertical impulsado desde la parte inferior que sujeta los muñones de rodillo. Los rodillos de la base giran sobre sus propios cojinetes, al mismo tiempo que se desplazan en torno al anillo. La fuerza centrífuga obliga a los rodillos pivotantes a oprimirse contra el anillo. La materia prima proveniente del alimentador gravimétrico cae entre los rodillos y el anillo, en donde es triturado. Tanto el movimiento centrífugo del aire como el de la reja mueven el material grueso hacia la línea de presión. El aire arrastra los finos y los transporta hacia arriba, partiendo de la zona de molienda, haciendo cierta clasificación en este punto. También se monta un clasificador de aire por encima de la zona de molienda para regresar el material de tamaño excesivo.

DIAGRAMA DE BLOQUE DEL MOLINO

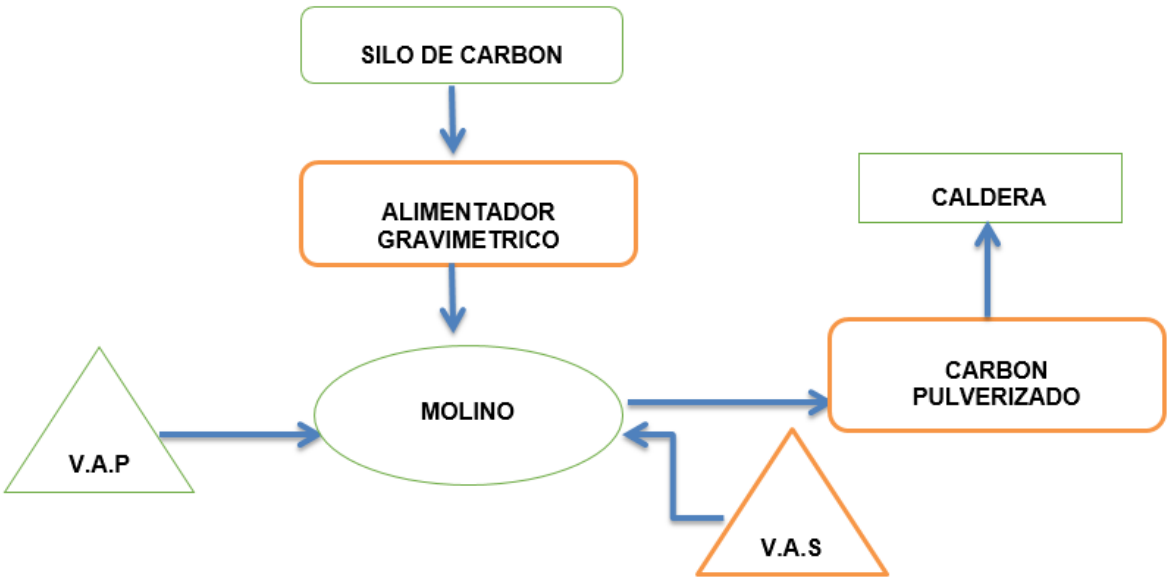


Figura 3: Diagrama Bloque de Molino.

PRINCIPALES FUNCIONES

- **SILO DE CARBON**: Abastecer de materia prima a los molinos
- **ALIMENTADOR GRAVIMETRICO**: Medir y transportar la cantidad de material que ingresa a los molinos
- **MOLINO**: pulverizar el carbón en condiciones óptimas para su combustión en el hogar
- **V.A.P**.: Secar y transportar el carbón pulverizado para la combustión
- **V.A.S**.: Crear una contra presión para evitar la contaminación del material en el medio ambiente
- **CALDERA**: Calentar el agua mediante la combustión del carbón para luego generar vapor.

ESQUEMA Y PLANO DEL MOLINO

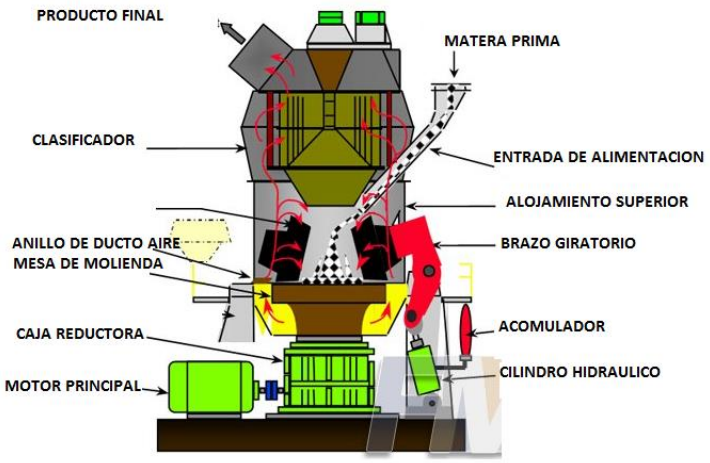


Figura 4: esquema de componentes principales de Molino.

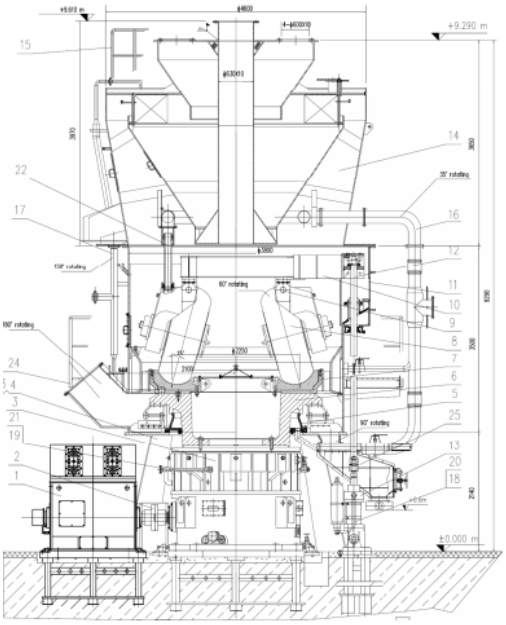


Figura 5: Plano de molino de rodillo.

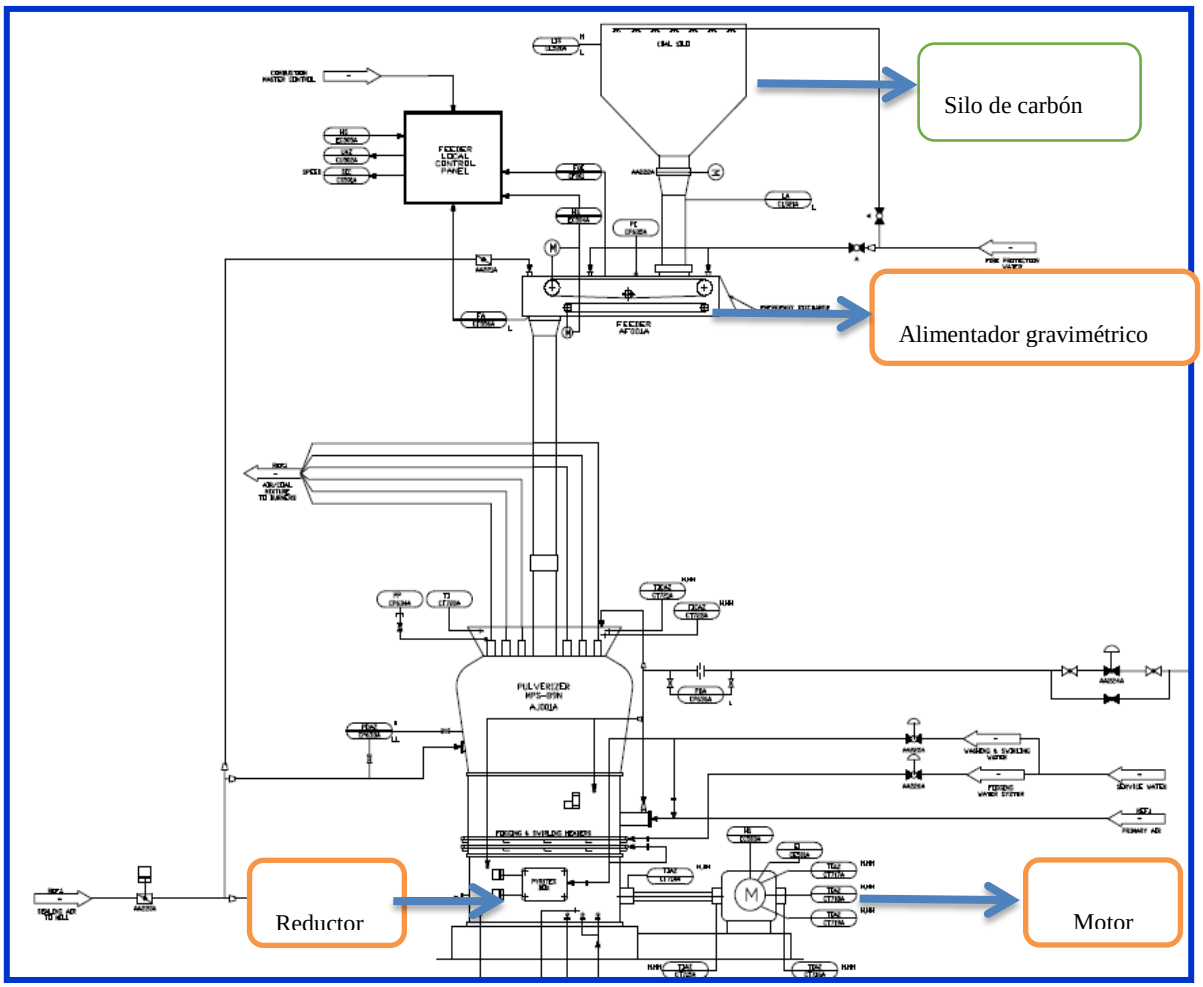


Figura 6: Layout de molino de carbón.

ÁRBOL JERÁRQUICO DE ZONA DE MOLIENDA

El primer paso en el desarrollo del plan de mantenimiento es identificar todos los procesos, subprocesos, equipos y componentes existentes en el área de molienda.

Es por esto que se desarrolla en un comienzo una planilla matriz, llamada "Árbol Jerárquico", en el cual se encuentra el detalle de todos los ítems que componen la Planta.

La Norma Internacional ISO 14224:2006 establece la siguiente jerarquía para el desarrollo de la Matriz. Como se puede observar la pirámide taxonómica nos permite Identificar y registrar sistemáticamente los activos de los cuales una empresa es responsable o que posee, es la piedra angular para resolver los cuestionamientos más críticos a la hora de resolver problemas y tomar decisiones,

Podemos observar que en la parte más alta del gráfico se encuentra la "Planta" y en último lugar el "Componente".

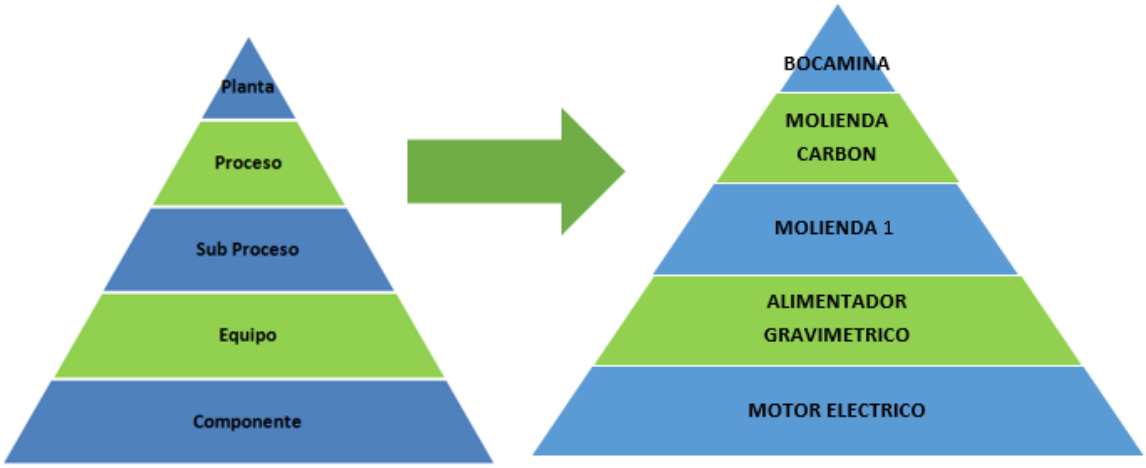


Figura 7: Árbol Jerárquico de planta pirámide taxonómica.

De forma estratégica se ha realizado en esta planilla la asociación de los diversos equipos y componentes por "Familias", de manera de agilizar los posteriores Análisis de Criticidad Funcional.

Las familias de Equipos y Componentes definidas en el desarrollo del Árbol Jerárquico se descomponen de la siguiente forma.**(SE ADJUNTA TABLA CARPETA DE ANEXOS N1**)

Arbol Jerarquico Central Termoelectrica Bocamina 2 Area de Molienda

Central Termoelectrica Bocamina

PROYECTO DE TITULO U.T.F.S.M

(Proceso)	(Sub proceso)	(Equipo)	(Componente y/o Parte)	AREA	Familia Componente	Equipo Padre
MOLIENDA DE CARBON						
	MOLIENDA N°1					
		VALVULA AISLADORA ALIMENTADOR GRAVIMETRICO N°1				
			VALVULA COMPUERTA	MECANIC	VALVULA COMPUERTA	VALVULA AISLADORA ALIMENTADOR GRAVIMETRICO N°1
			INDICADOR APERTURA	INSTRUM	SENSOR POSICION	
			INDICADOR CIERRE	INSTRUM	SENSOR POSICION	
		ALIMENTADOR GRAVIMETRICO N°1				
			ESTRUCTURA	OBRA	ESTRUCTURA ALIMENTADOR	ALIMENTADOR GRAVIMETRICO N°1
			MOTOR ELECTRICO N°1	ELECTRIC	MOTOR BAJA (400 V)	
			MOTOR ELECTRICO N°2	ELECTRIC	MOTOR BAJA (400 V)	
			DETECTOR FLUJO CARBON	INSTRUM	DETECTOR FLUJO	
			VALVULA 3 VIAS ALIMENTADOR INDICADOR PRESION	MECANIC	VALVULA 3 VIAS	
			INDICADOR PRESION	INSTRUM	INDICADOR PRESION	
			GABINETE CONTROL ALIMENTADOR	ELECTRIC	GABINETE	
			INTERRUPTOR NIVEL PALETA	INSTRUM	INTERRUPTOR NIVEL	
			SENSOR NIVEL CAPACITIVO	INSTRUM	SENSOR NIVEL CAPACITIVO	

Figura 8: Árbol Jerárquico de Molino.

JERARQUIA	CANTIDAD
PROCESO	1
SUB-PROCESO	12
EQUIPO	107
COMPONENTES	537
TOTAL	**657**

Figura 9: Estadísticas generales del Árbol jerárquico.

ESPECIALIDAD COMOPONENTES	CANTIDAD	PORCENTAJE
MECANICA	284	52,9%
ELECTRICA	36	6,7%
INSTRUMENTACION	180	33,5%
OBRA CIVIL	36	6,7%
CONTROL DE INCENDIO	1	0,2%
TOTAL	**537**	**100,0%**

Figura 10: Cantidad de componentes clasificados por especialidad.

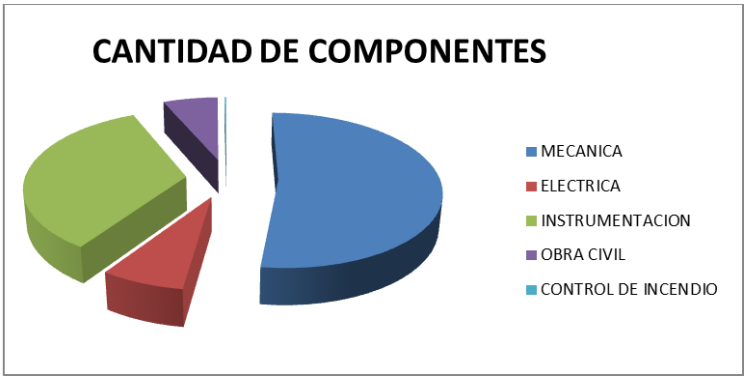


Figura 11: Gráfico de componentes representado por especialidad.

El complejo levantamiento de este Árbol jerárquico es posible mediante la extracción de información desde planos, manuales y listados de equipos, complementados con visitas a terreno por todo el interior de la planta.

Sin duda esta es una de las etapas más extensas debido a la cantidad de información disponible que debe ser ordenada y procesada por el ejecutor de la planilla, para lograr una compresión total y detallada del funcionamiento de la planta.

2.3 ANÁLISIS DE CRITICIDAD FUNCIONAL.

Con el fin de identificar aquellos equipos críticos de la planta, es necesario aplicar estudios de criticidad.

El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional y administrar el riesgo. El mejoramiento de la confiabilidad operacional de cualquier instalación, sistemas y componentes está asociado a cuatro aspectos fundamentales:

- Confiabilidad del proceso.
- Confiabilidad humana.
- Confiabilidad de los equipos.
- Mantenimiento de los equipos.

La criticidad es proporcional al Riesgo, y se define en base a 3 parámetros:

- **Procedimiento**

El "Análisis de Criticidad Funcional (ACF)" está basado en la Norma internacional ISO-14224:2006, las cuales entregan herramientas que permiten manejar la información disponible de una manera ordenada, clara y confiable, obteniendo una jerarquización de equipos de acuerdo al impacto producido por cada estado de falla de estos, que no permita al proceso, desarrollar en forma normal su función. Además, como principal característica ayudan a orientar el programa de mantenimiento hacia equipos que realmente requieren una mayor atención y detención a la hora de tomar decisiones.

El primer paso es definir la función principal y falla funcional de cada equipo y a continuación evaluar la severidad, ocurrencia y detectabilidad correspondiente a cada falla funcional, para determinar el RPN respectivo a cada ítem.

Cabe señalar que para determinar la severidad de cada falla funcional, la norma ISO-14224 identifica las causas de esta falla funcional como "Mecanismos de falla" y que son:

- Falla mecánica
- Falla material
- Falla instrumentación
- Falla eléctrica
- Influencia externa

FALLAS MECANICAS					FALLA MATERIAL			
FILTRACIONES		DEFORMACION			CAVITACION		ROTURA	
VIBRACIONES		SOLTURA			CORROSION		FATIGA	
DESALINEAMIENTO		ADHERENCIA			EROSION		SOBRE CALENTAMIENTO	
					DESGASTE		EXPLOSION	
FALLA INSTRUMENTACION								
FALLA SIST. CONTROL		NO ENTREGAR SEÑAL			FALLA ELECTRICA			
DESCALIBRACIONES		FALLA DE SOFTWARE			CORTO CIRCUITO		SOBRECARGA ELECTRICA	
SEÑALES ERRONEAS					CIRCUITO ABIERTO		ALIMEN. POTENCIA	
					FALLA AISLADA Y TIERRA			
		INFLUENCIA EXTERNA						
		ATASCO		CONTAMINACION				
		BLOQUEO		IMPACTO EXTERNO				

Figura 12: Mecanismos de falla según la norma ISO-14224:2006

Para cada uno de estos mecanismos de falla se evalúa el índice de severidad según los 5 aspectos a considerar (Pérdida de producción, Seguridad laboral, Medio ambiente, Eficiencia de producción y Costo del mantenimiento).

Cabe señalar que esta evaluación es en parte subjetiva, de acuerdo a experiencia y conocimiento de cada persona que lo realice. Debido a esto, las evaluaciones son realizadas en forma conjunta, entrevistando a personal de Enel especialista en cada una de las áreas (Mecánica, Eléctrica y Control & Instrumentación), logrando un consenso entre las partes para cada una de las calificaciones y ponderaciones a utilizar.

Severidad: Se entiende como la seriedad con la cual se presente una falla. El valor del índice de severidad crece en función de: **(SE ADJUNTA ANEXO DE TABLAS N2)**

- Riesgo a la seguridad laboral (RSL)
- Riesgo al medio ambiente (RMA)
- Riesgo al proceso productivo (RPP)
- Riesgo a la disminución de eficiencia (REF)
- Riesgo a los costos de mantenimiento (RCM)

PORCENTAJES ASOCIADOS A LA SEVERIDAD	ESCORE (PORCENTAJE)
RIESGO A LA SEGURIDAD LABORAL	20%
RIESGO AL MEDIO AMBIENTE	20%
RIESGO ALPROCESO PRODUCTIVO	30%
RIESGO A LA DISMINUCION DE EFICIENCIA	15%
RIESGO AL COSTO DEL MANTENIMIENTPO	15%

Figura 13: Porcentajes asociados a cada factor perteneciente a la severidad.

Tabla de evaluación de severidad

Tabla de Valorización de la Severidad (S)			
A) RSL (¿Qué nivel de RSL posee la falla funcional del Proceso/Subproceso?)		SCORE	20%
Calificación	Descripción	Escala	Sub-Score
CATASTROFICO	1) Falla Funcional que potencialmente podría producir el fallo de las funciones principales del sistema y por consiguiente causar daños con carácter catastrófico al personal	10	2,00
CRITICO	2) Falla Funcional que potencialmente podría producir el fallo de las funciones principales del sistema y por consiguiente causar serios daños al personal	7	1,40
MAYOR	3) Falla Funcional que potencialmente podría producir el fallo de las funciones principales del sistema y por consiguiente causar considerables daños al mismo, pero que no constituye una amenaza seria de daño o para la vida del personal.	5	1,00
MEDIO	4) Falla Funcional que potencialmente podría degradar la funcionalidad del sistema sin dañarlo de forma apreciable o sin amenazar la integridad y la vida del personal	3	0,60
MENOR	5) Falla Funcional que potencialmente podría degradar las funciones del sistema pero que no causaría daño al mismo y no constituye una amenaza para la integridad y la vida del personal	1	0,20
B) RMA (¿Qué nivel de RMA posee la falla funcional del Proceso/Subproceso?)		SCORE	20%
Calificación	Descripción	Escala	Sub-Score
CATASTROFICO	1) Falla Funcional que potencialmente podría producir el fallo de las funciones principales del sistema y por consiguiente causar daños con carácter catastrófico al medio ambiente	10	2,00
CRITICO	2) Falla Funcional que potencialmente podría producir el fallo de las funciones principales del sistema y por consiguiente causar serios daños al mismo y al medio ambiente	7	1,40
MAYOR	3) Falla Funcional que potencialmente podría producir el fallo de las funciones principales del sistema y por consiguiente causar considerables daños al mismo, pero que no constituye una amenaza seria de daño para el medio ambiente	5	1,00
MEDIO	4) Falla Funcional que potencialmente podría degradar la funcionalidad del sistema sin dañarlo de forma apreciable y sin amenazar el medio ambiente	3	0,60
MENOR	5) Falla Funcional que potencialmente podría degradar las funciones del sistema pero que no causaría daño al mismo y no constituye una amenaza para el medio ambiente	1	0,20
C) RPP (Que nivel de RPP posee la falla funcional del Proceso/Subproceso?)		SCORE	30%
Calificación	Descripción	Escala	Sub-Score
MUY ALTO	1) Falla Funcional que potencialmente podría producir el fallo de las funciones principales del sistema con una muy alta probabilidad de causar la detención del proceso productivo	10	3,00
BAJO	4) Falla Funcional que potencialmente podría degradar la funcionalidad del sistema sin dañarlo de forma apreciable con una baja probabilidad de producir la detención del proceso productivo	5	1,50
NULO	5) Falla funcional que potencialmente podria degradar las funciones del sistema, pero que no causaria daño al mismo. Que constituye una amenaza de carácter nula para la detencion del proceso productivo.	1	0,30
D) REF (Que nivel de REF posee la falla funcional del Proceso/Subproceso?)		SCORE	15%
Calificación	Descripción	Escala	Sub-Score
ALTO	1) La falla funcional pertinente del activo produce altas alteraciones en la Eficiencia de la produccion	5	0,75
MODERADO	2) La falla funcional pertinente del activo produce moderadas alteraciones en la Eficiencia de la produccion	3	0,45
BAJO	3) La falla funcional pertinente del activo produce bajas alteraciones en la Eficiencia de la produccion	2	0,30
NULO	4) La falla funcional pertinente del activo no produce una alteracion en la Eficiencia de la produccion	1	0,15
N/A	N/A	0	0,00
D) RCM (Que nivel de RCM posee la falla funcional del Proceso/Subproceso?)		SCORE	15%
Calificación	Descripción	Escala	Sub-Score
Muy Alto	1) El costo esperado de reparación/reemplazo es mayor a US$ 120.000.	10	1,5
Alto	2) El costo esperado de reparación/reemplazo está entre US$ 60.000 y US$ 120.000.	7	1,05
Moderado	3) El costo esperado de reparación/reemplazo está entre US$ 15.000 y US$ 60.000. (Equipos Mayores)	5	0,75
Bajo	4) El costo esperado de reparación/reemplazo se encuentra entre US$ 600 y US$ 15.000. (Redes - Equipos Menores)	3	0,45
Muy Bajo	5) El costo esperado de reparación/reemplazo es inferior a US$ 600. (Componentes Menores)	1	0,15

Del mismo modo que la evaluación de severidad (consenso) se califica la ocurrencia y defectibilidad de cada falla funcional. **(SE ADJUNTA ANEXO DE TABLAS N2)**

- **Tabla de evaluación de ocurrencia:** se entiende como la frecuencia con la que se produce una determinada falla, como resultado de una causa especifica. Un valor alto indica una frecuencia elevada.

TABLA DE EVALUACION DE OCURRENCIA			
ITEMS	DESCRIPCCION	FRECUENCIA	CALIFICACION
A	FRECUENTE	F>3 VECES /AÑO	5
B	PROBABLE	1 VEZ/AÑO <F<=3 VECES /AÑO	4
C	OCACIONAL	1 VEZ /AÑO	3
D	REMOTO	1 VEZ /3 AÑOS <=F<1 VEZ /AÑO	2
E	IMPROBABLE	F<1 VEZ /3 AÑOS	1

Figura 14: Tabla de evaluación de Ocurrencia.

Tabla de evaluación de detectabilidad: Es la probabilidad de que el sistema detecte la presencia de una falla. A mayor valor en la escala, mayor es la dificultad de que los sistemas o métodos utilizados para la detección, puedan detectar la falla. **(SE ADJUNTA ANEXO DE TABLAS N2)**

En baseANE a estos tres parámetros definidos y evaluados es posible determinar el Riesgo asociado a cada falla del proceso, sub-proceso o activo que se analice.

items	Probabilidad de que el control detecte la falla.	Calificación
MUY ALTO	1) Probabilidad MUY ALTA que el sistema de control detecte la falla funcional	1
ALTO	2) Probabilidad ALTA que el sistema de control detecte la falla funcional	2
MEDIO	3) Probabilidad MEDIA que el sistema de control detecte la falla funcional	3
BAJO	4) Probabilidad BAJA que el sistema de control detecte la falla funcional	4
NULO	5) Probabilidad NULA que el sistema de control detecte la falla funcional.	5

Figura 15: Tabla evaluación de detectabilidad.

$$Severidad = RSL + RMA + RPP + REF + RCM$$

NIVEL N° 5 (EQUIPO)	FUNCIÓN PRINCIPAL	FALLA FUNCIONAL	MECANISMOS DE FALLA	RPP	REF	RCM	REC	RSL	RMA	SEV MECANISMO DE FALLA	SEV EQUIPO
VALVULA AISLADORA ALIMENTADOR GRAVIMETRICO N°1	DAR O QUITAR PASO DE CARBON DESDE SILO HACIA ALIMENTADOR GRAVIMETRICO	NO DAR O QUITAR PASO DE CARBON DESDE SILO HACIA ALIMENTADOR GRAVIMETRICO									5,3
			FALLA MECANICA	3	0,2	0,1	0	1	1	5,3	
			FALLA DE MATERIAL	1,5	0,1	0,1	0	1	0,6	3,3	
			FALLA DE INSTRUMENTACIÓN	0,3	0,1	0,1	0	0,2	0,6	1,3	
			FALLA ELECTRICA	1,5	0,1	0,1	0	0,6	0,6	2,9	
			INFLUENCIA EXTERNA	1,5	0,2	0,1	0	0,6	0,6	3	

Figura 16: Resultado de la evaluación de severidad para los diversos mecanismos de falla.

NIVEL N° 5 (EQUIPO)	FUNCIÓN PRIMARIA	FALLA FUNCIONAL	Probabilidad de falla que el Proceso/Subproceso posee, en un tiempo determinado	OCC
VALVULA AISLADORA ALIMENTADOR GRAVIMETRICO N°1	DAR O QUITAR PASO DE CARBON DESDE SILO HACIA ALIMENTADOR GRAVIMETRICO	NO DAR O QUITAR PASO DE CARBON DESDE SILO HACIA ALIMENTADOR GRAVIMETRICO	Pi ≥ 0,2	5
ALIMENTADOR GRAVIMETRICO N°1	MANTENER UNA ALIMENTACION DE CARBON HACIA MOLINO	NO MANTENER UNA ALIMENTACION DE CARBON HACIA MOLINO	Pi ≥ 0,2	5
VALVULA AISLADORA HACIA MOLINO	DAR O QUITAR PASO DE CARBON DESDE ALIMENTADOR GRAVIMETRICO HACIA MOLINO	NO DAR O QUITAR PASO DE CARBON DESDE ALIMENTADOR GRAVIMETRICO HACIA MOLINO	Pi ≥ 0,2	5

Figura 17: Resultado de la evaluación de ocurrencia para los diversos mecanismos de falla.

NIVEL Nº 5 (EQUIPO)	FUNCIÓN PRIMARIA	FALLA FUNCIONAL	¿Cuál es la probabilidad que el sistema de control, detecte la falla funcional?	DET
VALVULA AISLADORA ALIMENTADOR GRAVIMETRICO N°1	DAR O QUITAR PASO DE CARBON DESDE SILO HACIA ALIMENTADOR GRAVIMETRICO	NO DAR O QUITAR PASO DE CARBON DESDE SILO HACIA ALIMENTADOR GRAVIMETRICO	2) Probabilidad ALTA que el sistema de control detecte la falla funcional	2
ALIMENTADOR GRAVIMETRICO N°1	MANTENER UNA ALIMENTACION DE CARBON HACIA MOLINO	NO MANTENER UNA ALIMENTACION DE CARBON HACIA MOLINO	4) Probabilidad BAJA que el sistema de control detecte la falla funcional	4
VALVULA AISLADORA HACIA MOLINO	DAR O QUITAR PASO DE CARBON DESDE ALIMENTADOR GRAVIMETRICO HACIA MOLINO	NO DAR O QUITAR PASO DE CARBON DESDE ALIMENTADOR GRAVIMETRICO HACIA MOLINO	3) Probabilidad MEDIA que el sistema de control detecte la falla funcional	3
PESOMETRO ALIMENTADOR GRAVIMETRICO N°1	VERIFICAR EL PESO PARA DAR PASO A CARBON HACIA MOLINO	NO VERIFICAR EL PESO PARA DAR PASO A CARBON HACIA MOLINO	1) Probabilidad MUY ALTA que el sistema de control detecte la falla funcional	1

Figura 18: Resultado de la evaluación detectabilidad para los diversos mecanismos de falla.

Tabla de análisis de criticidad funcional

La siguiente tabla nos representa la criticidad de los equipos obteniendo el valor RPN, que significa "numero de riesgo prioritario".

Después de clasificación de la severidad, ocurrencia y detección el valor RPN se puede calcular fácilmente multiplicando estos tres números, donde el valor

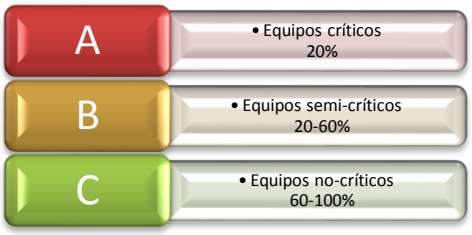
$$RPN = S \times O \times D$$

RPN MAX	RPN MIN	RANGO
87,00	8	79
RANGO DE CORTE		
	A	>=
87,00		71,2
>	B	>=
71,2		31,7
>	C	>=
31,7		8

EQUIPO	SEVERIDAD (SEV)	OCURRENCIA (OCC)	DETECTABILIDAD (DET)	RPN	CRITICIDAD
VALVULA AISLADORA ALIMENTADOR GRAVIMETRICO N°1	5,45	5	2	55	B
ALIMENTADOR GRAVIMETRICO N°1	3,6	5	4	72	A
VALVULA AISLADORA HACIA MOLINO	3,15	5	3	48	B
PESOMETRO ALIMENTADOR GRAVIMETRICO N°1	3,95	2	1	8	C
CLASIFICADOR MOLINO N°1	3	3	3	27	C
LINEA AIRE SELLO MOLINO N°1	5,2	4	2	42	B

Figura 19: Resultado de tabla de análisis de criticidad funcional.

Finalmente, se utiliza el Análisis de Pareto para determinar los rangos de criticidad según el RPN, dentro del universo de equipos existentes de la planta de manejo de carbón. Los rangos de porcentaje a utilizar en el Pareto son:



Resultados de Análisis de Criticidad Funcional

Los resultados del ACF indican que de un total de 107 equipos, solo 8 son los equipos críticos de la planta. Estos son (por familias):

- ALIMENTADOR GRAVIMETRICO N°1
- MOLINO CARBON N°1
- ALIMENTADOR GRAVIMETRICO N°2
- MOLINO CARBON N°2
- ALIMENTADOR GRAVIMETRICO N°3
- MOLINO CARBON N°3
- ALIMENTADOR GRAVIMETRICO N°4
- MOLINO CARBON N°4

EQUIPOS	CANTIDAD
CRITICIDAD A	8
CRITICIDAD B	68
CRITICIDAD C	31
TOTAL	107

Figura 20: Tabla estadística de resultados de ACF.

Cabe señalar que los modos de falla de los componentes se han definido de acuerdo a información genérica, información de los propios fabricantes y la experiencia de personal técnico de mantenimiento de la Central. Una vez más, como resultado de un consenso la información se ha procesado y sólo se consideran aquellos modos de falla más comunes y críticos.

Una vez realizado por completo el estudio y conocidos los "componentes" más críticos de la planta de molienda es posible definir las diversas estrategias y técnicas de mantenimiento para mitigar y controlar las causas de falla que puedan presentarse.

2.4 PLAN DE MANTENIMIENTO PARA LA PLANTA DE MOLIENDA DE CARBON.

Después de obtenidos los resultados del Análisis de Criticidad Funcional es hora de definir las estrategias de mantenimiento a utilizar, con el objetivo de desarrollar un plan de mantenimiento que permita reducir las paradas imprevistas, los costos de mantenimiento y un mejor control de personal, materiales y equipos.

Figura 21: Enfoque metodológico de la estrategia.

- **DEFINICIÓN DE ESTRATEGIAS DE MANTENIMIENTO**

La base de este plan se encuentra en la experiencia del personal de mantenimiento, instrucciones genéricas y recomendaciones de los propios fabricantes. Del mismo modo que en los capítulos anteriores, toda información ha de ser analizada mediante reuniones periódicas que involucran a personal de mantenimiento (Supervisores y programadores de mantenimiento) y a quien desarrolla este proyecto de título.

El producto de mezcla y comparación entre estas tres (3) fuentes de información es la clave para obtener tareas de mantenimiento adecuadas y acordes a las necesidades de esta planta de molienda de carbón.

En general, las estrategias de mantenimiento a utilizar para controlar, prevenir y detectar las causas de posibles fallas en los componentes de esta planta de carbón serán:

A. Basadas en la condición (Mantenimiento predictivo y Mantenimiento operacional)
B. Basadas en intervalos de tiempo (Mantenimiento preventivo)
C. Ninguna estrategia (Mantenimiento reactivo)

A) Estrategia basada en la condición

Diversas técnicas predictivas para el análisis de equipos mecánicos y eléctricos, junto a monitoreos básicos de condición serán las estrategias que ayudarán a una detección temprana de una falla potencial.

El siguiente esquema muestra las diversas técnicas predictivas a utilizar:

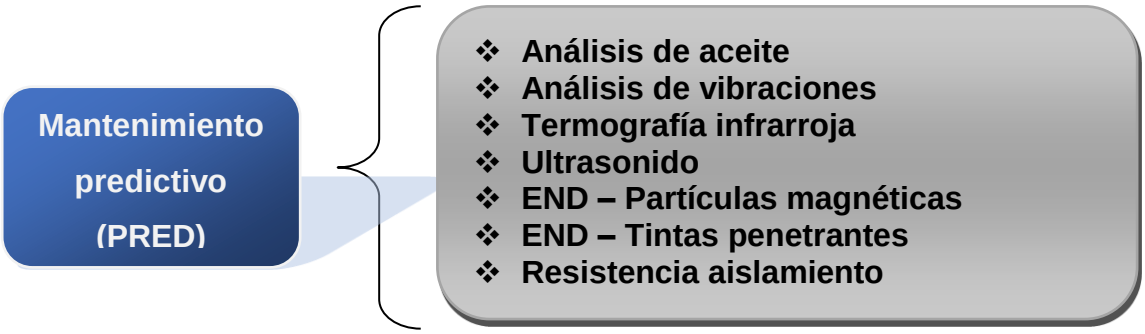


Figura 22: Diagrama mantenimiento Predictivo.

De la misma manera, el mantenimiento operacional, con un breve detalle de las actividades:

Figura 23: Diagrama mantenimiento Operacional.

Aquellas inspecciones sintomáticas de vibraciones y temperatura se realizarán con el apoyo de instrumentación básica; un Vibrómetro (lápiz analizador de vibraciones) y un Pirómetro láser (Medición e temperatura sin contacto) respectivamente. El propósito de utilizar estos elementos de apoyo es registrar cada lectura y realizar posterior entrega de información al área de mantenimiento, que sumados a los análisis predictivos permitirá conocer una tendencia del estado del componente.

B) Estrategia basada en intervalos de tiempo

En esta estrategia se interviene la máquina a ciertos intervalos de tiempo prefijados o según determinados criterios para realizar actividades de reacondicionamiento, aun cuando la máquina esté operando satisfactoriamente.

El siguiente esquema indica los tipos de actividades a realizar con un breve detalle de estas:

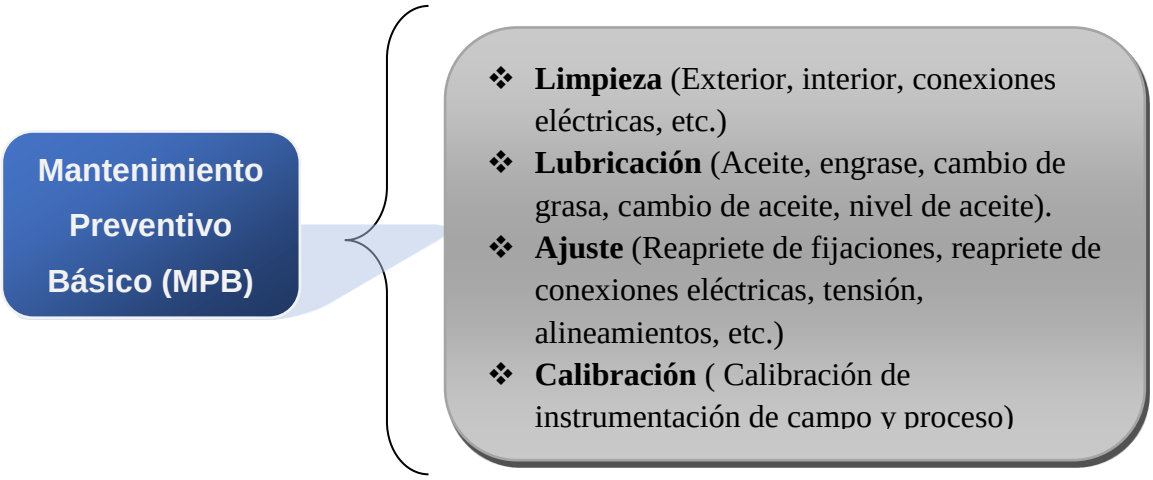


Figura 24: Diagrama Mantenimiento Preventivo Básico.

Debido a que no se posee historial de mantenimiento de los activos de esta área, se propone el desarme de éstos con el propósito de inspeccionar detalladamente el estado de los elementos internos que los conforman. Si durante estas inspecciones, apoyado de las técnicas basadas en condición, se determina el reemplazo de algún elemento, el reemplazo se realiza y registra en el historial del componente. En el futuro, sobre la base de estos registros y con información de monitoreo será posible determinar el reemplazo específico de alguna parte. (Ej: Rodamientos, retenes, O-rings, etc.)

C) Ninguna estrategia de mantenimiento

Esta estrategia se utilizará en baja cantidad y solamente en aquellos componentes de baja criticidad, cuya falla funcional tenga un mínimo o nulo impacto sobre el proceso, además de tener un costo muy bajo y rápido reemplazo. Este es el caso de luminarias, rociadores, aspersores, extintores, mangueras, sprinklers y cajas contra incendio, ya que el costo de reemplazo versus el costo de HH por chequeos periódicos del estado es mucho menor.

PAUTAS GENÉRICAS DE MANTENIMIENTO

Para efectos de este trabajo de título se ha decidido realizar pautas genéricas de mantenimiento por familia de equipos, con el fin de agrupar pautas y no generar archivos similares una gran cantidad de veces.

Para confeccionar las pautas de mantenimiento se elaboró un listado de tareas que se ejecutan diariamente en el área de molienda de bocamina 2, resultando un catálogo de **154** tareas, (se adjunta anexo de tablas) el resumen de las tareas se resumirá en la tabla y el grafico que se muestra a continuación.

Catálogo de Tareas Genéricas de Mantenimiento			
Tareas de Mantenimiento Operacional	**Estrategia de Mantto.**	**Estado de Equipo**	**Especialidad**
Prueba efectiva funcionamiento	Mantto. Operac.0	E/S	OP
Chequear des alineamiento	Mantto. Operac.1	E/S	OP
Chequear perdidas de hormigón	Mantto. Operac.1	E/S	OP
Insp. auditiva ruidos anómalos	Mantto. Operac.1	E/S	OP

Figura 25: Ejemplo de Tabla de Catálogo General de Tareas

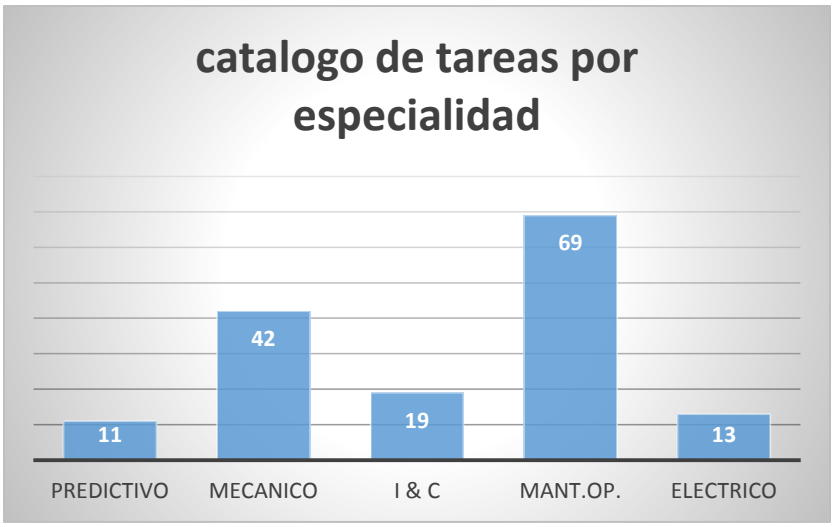


Figura 26: Grafico de catálogo de tareas.

Estas pautas tienen como objetivo presentar las diversas tareas de mantenimiento asociadas a los componentes, de acuerdo a las estrategias definidas anteriormente (SE ADJUNTA TABLA)

La información entregada en la tabla de pauta genérica de mantenimiento corresponde a:

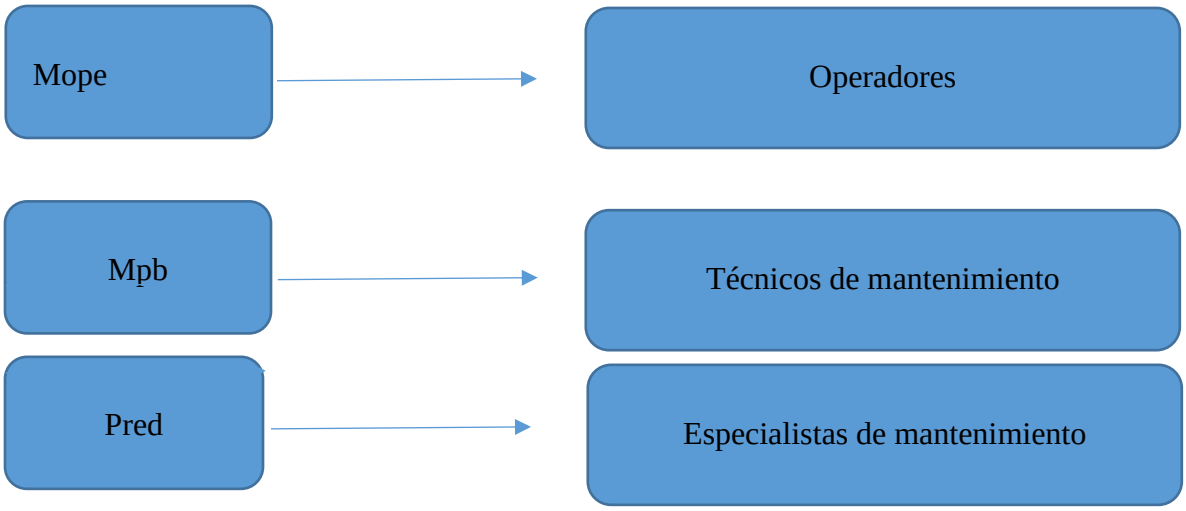
1. Proceso
2. Sub proceso
3. Equipo
4. Componentes
5. Especialidad
6. Criticidad
7. Estrategia de mantenimiento (MOPE, MPB, PRED)
8. Tarea de mantenimiento
9. Frecuencia en días
10. Duración en horas
11. Condición del equipo (en servicio, fuera de servicio)

Se han considerado los siguientes intervalos de tiempo (frecuencias) para realizar tareas de mantenimiento la frecuencia en que se realizaran las tareas se cuantificaran en días y el tiempo de se medirá en horas.

FRECUENCIA EN DIAS	
1D	**1D**
1S	**7D**
0.5M	**15D**
1M	**30D**
1.5M	**45D**
3M	**90D**
6M	**180D**

Figura 27: Frecuencia de días de mantenimiento.

Analizando las pautas de mantenimiento todos los trabajos o inspecciones a ejecutar se realizaran con un mínimo de 2 técnicos para asegurar la integridad física de cada trabajador a excepción de la ruta de mantenimiento operacional.



La combinación de estrategias, las frecuencias y cantidad de actividades de mantenimiento difieren entre componentes de una misma "familia", basado en los resultados de los análisis de criticidad. A continuación se muestra el caso de un motor eléctrico para un equipo A, un equipo B y un equipo C:

2.5 PAUTAS DE MANTENIMIENTO.

COMPONENTE	CRITICIDAD	ESTRA. DE MANTENI.	ESPEC.	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRE.	DUR.	CONDICION
MOTOR ALIMENTADOR GRAVIMETRICO	A	M.OPE	ELEC.	Insp. Visual (caja conexiones, flexible,etc.)	7	2	E/S
	A	M.OPE	OPER.	Insp. ruidos anómalos	1	1	E/S
	A	PRED.	PRED.	Medir temp. rodamientos y carcasa	7	2	E/S
	A	PRED.	PRED.	Registro vibraciones rodamientos	14	2	E/S
	A	MPB	ELEC.	Limpieza general externa	30	5	E/S
	A	MPB	ELEC.	Reaprete conexiones eléctricas	60	5	F/S
	A	MPB	ELEC.	Reapriete anclaje y tapas	60	5	E/S
	A	MPB	ELEC.	Medir y verif. protecciónes internas	30	9	F/S
	A	MPB	ELEC.	Medir corrientes partida y trabajo	30	9	F/S
	A	MPB	MEC.	Engrase de rodamientos	60	5	E/S
	A	MPB	ELEC.	Medición aislamiento motor y cable	60	5	F/S
	A	MPB	PRED.	Medición resistencia óhmica bobinas	45	5	F/S
	A	PRED.	PRED.	Análisis de vibraciones	30	5	E/S
	A	PRED.	PRED.	Termografía	7	2	E/S

Figura 28: Pauta de mantenimiento para un motor criticidad A.

COMPONENTE	CRITICIDAD	ESTRA. DE MANTENI.	ESPEC.	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRE.	DUR.	CONDICION
MOTOR VENTILADOR AIRE SELLO	B	M.OPE	ELEC.	Insp. Visual (caja conexiones, flexible,etc.)	7	1	E/S
	B	M.OPE	OPER.	Insp. ruidos anómalos	7	1	E/S
	B	PRED.	PRED.	Medir temp. rodamientos y carcasa	30	1	E/S
	B	PRED.	PRED.	Registro vibraciones rodamientos	30	2	E/S
	B	MPB	ELEC.	Limpieza general externa	60	5	E/S
	B	MPB	ELEC.	Reaprete conexiones eléctricas	90	9	F/S
	B	MPB	ELEC.	Reapriete anclaje y tapas	90	5	E/S
	B	MPB	ELEC.	Medir y verif. protecciónes internas	45	9	F/S
	B	MPB	ELEC.	Medir corrientes partida y trabajo	45	9	F/S
	B	MPB	MEC.	Engrase de rodamientos	45	5	E/S
	B	MPB	ELEC.	Medición aislamiento motor y cable	60	6	F/S
	B	MPB	PRED.	Medición resistencia óhmica bobinas	60	4	F/S
	B	PRED.	PRED.	Análisis de vibraciones	45	8	E/S
	B	PRED.	PRED.	Termografía	15	5	E/S

Figura 29: Pauta de mantenimiento para un motor criticidad B.

COMPONENTE	CRITICIDAD	ESTRA. DE MANTENI.	ESPEC.	TAREAS DE MANTENIMIENTO	FRE.	DUR.	CONDICION
MOTOR EXTRACTOR DE AIRE	c	M.OPE	OPER.	Chequeo de ruidos anormales	90	1	E/S
	c	M.OPE	OPER.	chequeo de estado de pintura y conexiones	90	1	E/S
	c	MPB	ELEC.	limpieza general externa	180	1	E/S
	c	MPB	ELEC.	Reapriete conexiones eléctricas	180	1	F/S
	c	MPB	ELEC.	desarme e inspeccion general	180	2	F/S
	c	PRED.	ELEC.	medicion de resistencia aislamiento	180	1	F/S
	c	PRED.	PRED.	Termografia	180	1	E/S

Figura 30: Pauta de mantenimiento para un motor criticidad C.

CAPITULO III: CONCLUSION Y RECOMENDACIONES

3.1 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Para mostrar las siguientes tablas y gráficos se ha considerado el total de tareas de mantenimiento que se realizarán, considerando el producto entre las pautas genéricas y el total de equipos y componentes asociadas a cada una.

La figura N° 3.1 muestra la cantidad de actividades de mantenimiento, clasificadas por tipo de estrategia que se utilizó, siendo la estrategia basada en la condición del componente la cual representa más del 70% del total de tareas propuestas.

Sólo un 1.6% representa a aquellas acciones reparativas, equivalente a la cantidad de los 7 componentes sobre los cuales no se realizará ningún tipo de mantenimiento. Estos son luminaria, rociadores, aspersores, extintores, mangueras, sprinklers y cajas contra incendio.

TIPO DE ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO	CANTIDAD DE ACTIVIDADES	
BASADA EN CONDICION	109	23,52%
BASADA EN TIEMPO	322	74,89%
NINGUNA ESTRATEGIA	7	1,60%
TOTAL	438	100,0%

Figura 31: cantidad porcentual de actividades por tipo de mantenimiento.

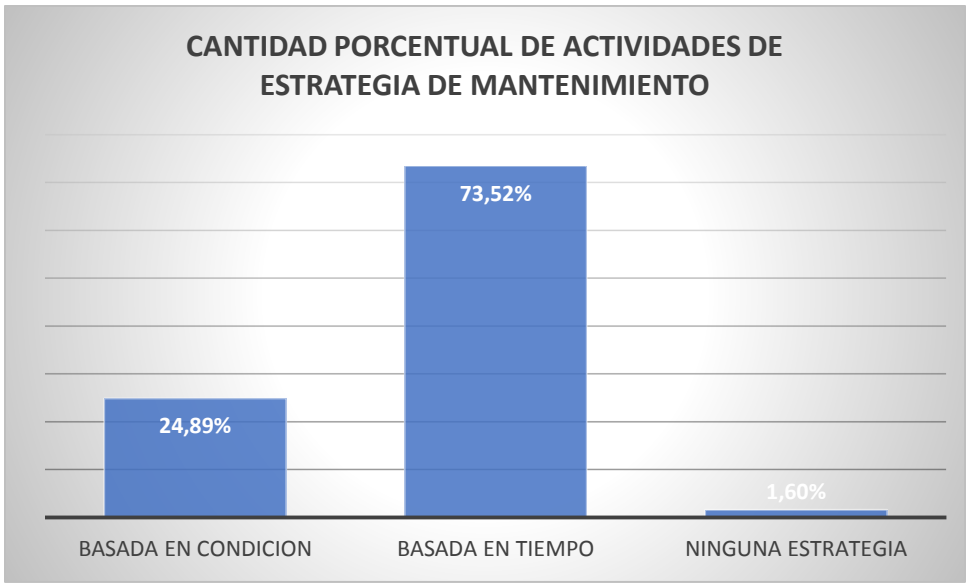


Fig. 3.2 Representación gráfica de actividades de mantenimiento por estrategia

En el siguiente gráfico (Fig. 3.3), se han clasificado las actividades de acuerdo a los tipos de mantenimiento asociados a cada estrategia utilizada.

Claramente puede observarse que el mantenimiento preventivo y el reactivo mantienen sus porcentajes, con respecto al gráfico anterior (Fig.3.2). La única diferencia que existe, se produce debido a que la estrategia de mantenimiento basado en la condición está compuesta por el mantenimiento predictivo y el mantenimiento operacional, cuyo detalle por separado se menciona a continuación:

TIPO DE MANTENIMIENTO	CANTIDAD DE ACTIVIDADES	
MANTENIMIENTO OPERACIONAL	43	9,82%
MANTENIMIENTO PREVENTIVO BASICO	322	73,52%
MANTENIMIENTO PREDICTIVO	66	15,07%
MANTENIMIENTO REACTIVO	7	1,60%
TOTAL	438	100,00%

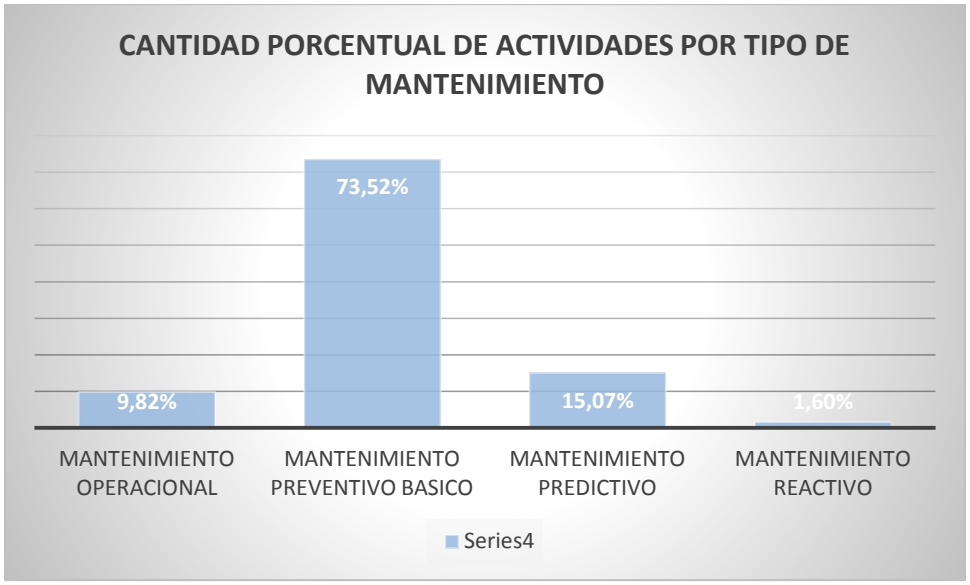


Fig. 3.3 Representación gráfica de actividades de mantenimiento por tipo de mantenimiento

Es importante destacar que la mayor cantidad de actividades efectuadas, serán las Inspecciones sintomáticas realizadas por los operadores de terreno, los que utilizando los sentidos humanos (visión, audición, tacto y olfato) e instrumentación básica apoyarán en forma continua la labor del área de mantenimiento del área de molienda Central Bocamina. Además de mencionar como ventaja la rapidez con que se realiza y el costo mínimo asociado, en comparación a los otros tipos de actividades.

3.2 CONCLUSIONES

Se ha logrado conocer en detalle la enorme cantidad de equipos y componentes que conforman este proyecto del área de molienda bocamina, tanto en el área mecánica, eléctrica, instrumentación como en el área de operación de una planta industrial, que sin duda enriquecen la formación profesional del ejecutor proyecto de título.

Se han definido metodologías de trabajo y desarrollo para cada uno de los análisis, con el objetivo de obtener resultados confiables y además que permitan claridad en la información entregada.

El árbol jerárquico basado en la Norma internacional ISO – 14224:2006, fue la base de este seminario, ya que permitió manejar una gran cantidad de información dispersa con respecto a los componentes existentes en la planta, así como también agruparlos por áreas, con el propósito de facilitar los análisis posteriores.

Del mismo modo los Análisis de criticidad realizados (ACF) se basan en Normas internacionales, que definen una estructura y procedimientos rigurosos para realizarlos. El objetivo de tanta rigurosidad es obtener resultados concretos y con bases que permitan orientar el mantenimiento hacia aquellos activos que requieran una mayor atención

La combinación de estrategias de mantenimiento utilizadas en la confección de las pautas genéricas de mantenimiento, tienen como objetivo detectar tempranamente cualquier condición anómala del activo, monitorearlos periódicamente o anticiparse a cualquier situación catastrófica mediante un reacondicionamiento. Adicionalmente programar aquellas intervenciones que afecten la disponibilidad del equipo.

Los equipos determinados como críticos, según los análisis de criticidad, han recibido una mayor atención a la hora de definir las estrategias, técnicas de mantenimiento y las frecuencias de ejecución. Para este tipo de equipos se aplica una mayor cantidad de técnicas predictivas y monitoreo de condición, además de frecuencias mayores para cada tarea.

De forma contraria, para aquellos activos de menor criticidad la aplicación de técnicas predictivas y preventivas junto a las frecuencias de ejecución disminuyen.

Considerando el total de actividades propuestas, la gran diferencia porcentual que existe entre aplicar técnicas de mantenimiento preventivo, predictivo y de monitoreo de condición (**109 actividades equivalentes al 23,52%),** frente al mantenimiento preventivo

(**73.52% restante**), refleja la proactividad que se deseaba obtener en los resultado de este plan. Solo un **(1.60%)** representa no aplicar una tarea de mantenimiento, debido a que simplemente existen componentes que no requieren de un monitoreo básico de su estado y menos de un reemplazo programado.

Es importante recalcar la labor a desempeñar por los operadores de planta, quienes realizarán un **(9.82%)** del total de tareas de mantenimiento propuestas. La importancia de sus inspecciones, pruebas y verificaciones será una herramienta valiosa e importante para el área de mantenimiento de Central Bocamina.

3.3 BIBLIOGRAFIA

- "Facilitador de RCM". Cude capacitación para personal de Endesa, Central Bocamina. Agosto año 2003.

- Norma Internacional ISO-14224:2006 "Industrias del Petróleo y del gas natural" – Recolección e intercambio de información de confiabilidad y mantenimiento para equipo. Segunda edición año 2006.

- Planos y documentos del proyecto Nueva Planta de Manejo de Carbón

3.4 ANEXOS

SE ADJUNTA CARPETA DE ANEXOS DATALLANDO LAS CARACTERICTICAS DE CADA TABLA

- “ANEXO N1 TABLA DE ARBOL JERARQUICO DEL AREA DE MOLIENDA”
- “ANEXO N2 TABLA DE EVALUACION DE OCURRENCIA, DETECTABILIDAD Y SEVERIDAD DE LOS EQUIUPOS”
- “ANEXO N3 RESULTADO DEL ANALISIS DE CRITICIDAD FUNCIONAL”
- “ANEXO N4 CATALOGO GENERAL DE TAREAS DE MANTENIMIENTO”
- “ANEXO N5 PAUTAS DE MANTENIMIENTO”