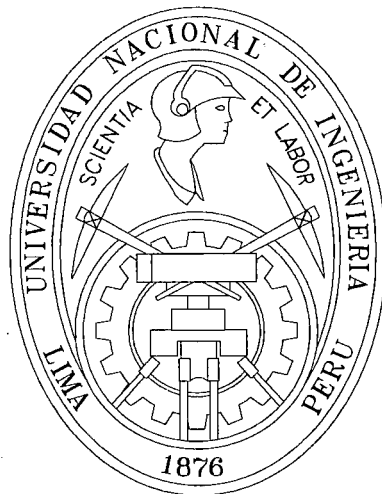


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**



**PROPUESTA DE UNA NUEVA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO  
PARA LA PLANTA CONCENTRADORA DE COBRIZA.**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO MECANICO**

**KIM PAVEL MONTES ROJAS**

**PROMOCION 1998-II**

**LIMA-PERU**

**2003**

**Digitalizado por:**

**Consortio Digital del  
Conocimiento MebLatam,  
Hemisferio y Dalse**

*A mi Madre a quien le debo la  
vida y mis éxitos.*

*A mi Padre por enseñarme la  
perseverancia y tenacidad*

*A mi esposa e hijo por ser mi  
motivación diaria.*

<b>CAPITULO 1 : INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
<b>CAPITULO 2 : GENERALIDADES</b>	<b>5</b>
2.1 MINA COBRIZA	5
2.1.1 Ubicación	5
2.1.2 Historia	7
2.1.3 Doe Run Perú – Cobriza División	8
2.1.4 Organigrama	9
2.2 ASPECTOS PRODUCTIVOS	9
2.2.1 Mineralización	9
2.2.2 Producto	10
2.2.3 Variación de la Producción	11
2.3 PLANTA CONCENTRADORA DE PAMPA DE CORIS	12
2.3.1 Organigrama	14
2.3.2 Proceso Productivo en la Planta	15
2.3.3 Abastecimiento de Energía Eléctrica y Agua	21
2.3.4 Servicios	22
2.3.5 Problemática Metalúrgica	22
<b>CAPITULO 3 : GESTION DE MANTENIMIENTO ACTUAL</b>	<b>23</b>
3.1 ORGANIZACIÓN	23
3.1.1 Jefe de Mantenimiento	24
3.1.2 Sobrestante	24
3.1.3 Grupos de Trabajo	25
3.2 RECURSOS	25
3.2.1 Humano	25
3.2.2 Infraestructura	26
3.2.3 Equipos y Herramientas de Mantenimiento	27
3.3 EQUIPOS EN PLANTA	27
3.4 POLÍTICA DE TRABAJO	28
3.4.1 Distribución de Personal	28
3.4.2 Safety #1	29
3.4.3 Planeamiento	30
3.4.4 Mantenimiento Correctivo	30
3.4.5 Mantenimiento Preventivo	31
3.5 EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN	31
<b>CAPITULO 4 : FILOSOFIA PARA LA NUEVA GESTION DE MANTENIMIENTO</b>	<b>34</b>
4.1 PLANEAMIENTO Y PROGRAMACIÓN DE LOS TRABAJOS	36
4.1.1 Planeamiento	38
4.1.2 Programación	39
4.1.3 Determinación de Recursos para el Área de Mantenimiento	41
4.1.4 Técnica de Programación	42
4.1.5 Sistema de Ordenes de Trabajo	43
4.1.6 Flujo de las Ordenes de Trabajo	50
4.1.7 Reporte de Reparación de Máquina	51
4.1.8 Inventario y adquisición	51
4.1.9 Sistema computarizado de administración de mantenimiento (SCAM)	53
4.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO	54
4.2.1 Definición	55
4.2.2 Ventajas del Mantenimiento Preventivo	56
4.2.3 Metodología para implementar el Sistema de M.P.	57
4.3 MANTENIMIENTO PREDICTIVO (MPD)	58
4.3.1 Definición	59
4.3.2 Ventajas y Desventajas	59
4.3.3 Técnicas de Mantenimiento Predictivo	60

4.3.4	Termografía .....	60
4.3.5	Tribología.....	62
4.3.6	Ultrasonido (Acústica).....	64
4.3.7	Análisis Vibracional .....	65
4.3.8	Equipo colector de Vibraciones .....	77
4.3.9	Actividades para la implementación del MPd. ....	78
4.4	MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (MCC).....	78
4.4.1	Definición .....	79
4.4.2	Definición de la Estrategia. ....	82
4.4.3	Proceso de Falla del Equipo.....	84
4.4.4	Comprensión de las fallas del equipo. ....	86
4.4.5	Implementación del RCM .....	88
4.4.6	Consecuencias de las fallas. ....	92
4.4.7	Mediciones .....	93
4.4.8	Ventajas del MCC.....	94
4.4.9	Problemas en la implementación del MCC .....	95
4.5	MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM).....	102
4.5.1	Definición .....	103
4.5.2	Objetivos .....	108
4.5.3	Desarrollo del TPM .....	110
4.5.4	Efectividad del Equipo.....	112
4.5.5	TPM y las Fallas de Equipo.....	114
4.5.6	Costo del Ciclo de Vida.....	118
4.5.7	Implementación del TPM.....	119
4.5.8	Desarrollo del Programa del TPM.....	121
4.5.9	Los doce pasos de desarrollo del TPM. ....	121
4.5.10	Resumen. ....	127
4.5.11	Problemas en la implementación del TPM.....	129
4.6	MEJORAMIENTO CONTINUO .....	134
4.6.1	Definición .....	134
4.6.2	Benchmarking.....	135
4.6.3	Problemas en la implementación del Mejoramiento Continuo.....	138
4.6.4	Optimización financiera estadística .....	143
4.6.5	Desarrollo de los indicadores .....	144
4.6.6	Cálculo de la Productividad de Mantenimiento.....	148
<b>CAPITULO 5 : PROPUESTA DE CAMBIO EN LA GESTION.....</b>		<b>152</b>
5.1	NUEVA ORGANIZACIÓN DEL AREA DE MANTENIMIENTO.....	152
5.1.1	Misión .....	152
5.1.2	Visión .....	153
5.1.3	Objetivos .....	154
5.1.4	Políticas de Mantenimiento .....	155
5.1.5	Nuevo Organigrama.....	155
5.2	IMPLEMENTACIÓN DEL PLANEAMIENTO Y PROGRAMACIÓN .....	159
5.2.1	Determinación de los Recursos para el Area de Planeamiento .....	159
5.2.2	Técnica de Programación .....	161
5.2.3	Sistema de Órdenes de Trabajo.....	163
5.2.4	Flujo de las Órdenes de Trabajo.....	164
5.2.5	Registro de Calidad de Reparación.....	164
5.2.6	Implementación de un SCAM .....	167
5.3	IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO (MP) .....	170
5.3.1	Determinación de Equipos importantes .....	170
5.3.2	Programas de Trabajo.....	176
5.4	IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO (MPD) .....	186
5.4.1	Programa de Mantenimiento.....	186
5.4.2	Puntos de Inspección.....	188
5.4.3	Niveles aceptables de los parámetros a controlar.....	188

5.4.4	<i>Aplicación Práctica</i> .....	193
5.5	<b>IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM)</b> .....	198
5.5.1	<i>Equipos Críticos</i> .....	198
5.5.2	<i>Aplicación del RCM al Alimentador vibratorio 02-0701</i> .....	198
5.5.3	<i>RCM en la Chancadora Primaria 02-0101</i> .....	201
5.6	<b>IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM)</b> .....	202
5.6.1	<i>Acciones para la implementación del TPM</i> .....	204
5.6.2	<i>Mantenimiento Autónomo</i> .....	206
5.6.3	<i>Círculos de Calidad</i> .....	207
5.6.4	<i>Documentación y Registros</i> .....	209
5.6.5	<i>Ejemplo aplicativo</i> .....	213
5.7	<b>IMPLEMENTACIÓN DEL MEJORAMIENTO CONTINUO</b> .....	213
5.7.1	<i>Indicadores corporativos</i> .....	214
5.7.2	<i>Indicador Financiero</i> .....	216
5.7.3	<i>Indicador por desempeño y efectividad</i> .....	217
5.7.4	<i>Indicador de desempeño táctico</i> .....	221
<b>CAPITULO 6 : EVALUACION ECONOMICA</b> .....		<b>224</b>
6.1	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>224</b>
6.1.1	<i>Calculo de la Inversión</i> .....	224
6.1.2	<i>Calculo del beneficio total</i> .....	226
6.2	<b>INDICADORES ECONÓMICOS</b> .....	<b>226</b>
6.2.1	<i>Valor Actual Neto (VAN)</i> .....	227
6.2.2	<i>Tasa Interna de Retorno (TIR)</i> .....	228
6.2.3	<i>Periodo de Recuperación de Capital (PRC)</i> .....	229
<b>CONCLUSIONES</b> .....		<b>231</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....		<b>234</b>
<b>DIAGRAMAS Y ESQUEMAS</b> .....		<b>236</b>
<b>APENDICE</b> .....		<b>246</b>

## PROLOGO

El mundo competitivo y globalizado que se vive actualmente, hace que toda gestión tenga una mentalidad de mejora continua, de lo contrario cae en la rutina y queda obsoleta, lo que origina altos costos de mantenimiento y baja productividad de los equipos.

La presente Tesis **“Propuesta de una Nueva Gestión de Mantenimiento para la Planta Concentradora de Cobriza”**, desea exponer como implementar una moderna gestión de mantenimiento teniendo como punto de partida una gestión centrada en el Mantenimiento Correctivo, que es la que se encontró en Cobriza.

En el primer capítulo, “Introducción”, se indica los objetivos del presente trabajo así como también la importancia y alcance del mismo.

El segundo capítulo, “Generalidades”, muestra un panorama de la Mina Cobriza como una unidad productiva de la empresa transnacional DOE RUN COMPANY.

El tercer capítulo, “Gestión de Mantenimiento Actual”, describe las características de la gestión de Mantenimiento que se tenía a mi ingreso a Doe Run Perú y que es nuestro punto de partida.

El cuarto capítulo, “Filosofía para la Nueva Gestión de Mantenimiento”, presenta el marco teórico de los diferentes componentes que forman parte de la gestión moderna de Mantenimiento y que sirven de referencia para el presente trabajo.

El quinto capítulo, “Propuesta de Cambio en la Gestión”, muestra la aplicación del capítulo anterior, partiendo de un nuevo organigrama e implementando las diferentes técnicas de mantenimiento en la gestión.

Finalmente el sexto capítulo, “Evaluación económica”, tiene por finalidad demostrar la viabilidad del presente trabajo, para esto se analiza económicamente los resultados que se han obtenido hasta la fecha y las proyecciones que se tienen, y en base a la evaluación con los indicadores económicos se determina la rentabilidad de la propuesta.

Deseo agradecer en este último párrafo, el apoyo brindado por mi asesor de Tesis, Ing. Salvador Onofre, que supo orientarme adecuadamente para hacer que este trabajo tenga un mayor alcance aplicativo y pueda así no solamente expresar los beneficios que se tuvo en Cobriza sino también pueda servir de buena referencia para otras empresas.

## **CAPITULO 1**

### **INTRODUCCION**

Debido a la necesidad de optimizar los costos de mantenimiento y de disminuir las reparaciones de emergencia en Planta Concentradora de la Mina Cobriza. Se tiene como objetivo el definir una nueva gestión de mantenimiento con el cual se deberán obtener resultados a corto, mediano y largo plazo. Estos resultados deben reflejarse en el aspecto de seguridad, económico y productivo.

El precio de varios metales se han estancado en los últimos años en un valor bajo no esperado, esto ha obligado a varias industrias mineras en el mundo a cerrar o parar por un tiempo sus operaciones en espera de que los precios vuelvan a seguir subiendo. Un ejemplo en nuestro país lo es la Mina Tintaya en el Cuzco que por mas de un año paralizó sus operaciones en espera de que el precio del Cobre suba para poder reiniciar.

La mina Cobriza no está aislada de este problema, ya que su principal producto es el Cobre. Es por tal motivo que se hizo necesario y de importancia que todas las áreas evalúen su gestión para poder optimizar sus costos, aumentando la productividad y mejorando la calidad.



Algo que también se debe destacar es que la propuesta dada considera bastante el valor humano, ya que es el elemento clave para la aplicación de la nueva gestión, partiendo de la premisa que “si una persona no esta motivada, entonces no es eficaz ni productiva”.

La implementación de esta nueva gestión tiene un amplio alcance, así podemos mencionar:

- ❖ En seguridad, debido en gran medida a la reducción de trabajos no programados se tendrá controlado la seguridad del personal y del equipo.
- ❖ En lo productivo, se incrementara la productividad de la Planta al tener menos paradas imprevistas y equipos más confiables. Por el lado de mantenimiento se dará un mejor uso eficiente y eficaz a los recursos.
- ❖ En lo económico, a través del uso mas eficiente de los recursos los presupuestos se optimizaran y esto unido con una mayor producción, se tendrán mejores márgenes de ganancia.
- ❖ En lo social, se creara un mejor ambiente de trabajo a través del trabajo en equipo entre el área de operaciones y mantenimiento, para que así en forma conjunta se puedan alcanzar las metas establecidas.

## **CAPITULO 2**

### **GENERALIDADES**

#### **2.1 Mina Cobriza**

##### **2.1.1 Ubicación**

La Mina Cobriza, está situada a 2300 metros de altura sobre el nivel del mar, se encuentra localizada en el Distrito de San Pedro de Coris, Provincia de Churcampa y Departamento de Huancavelica. Se encuentra a una distancia de 534 Km. de la Ciudad de Lima. La vía de comunicación con La Oroya y el Callao es por carretera. Otra vía de acceso es: por vía aérea Lima - Ayacucho 35 minutos, Ayacucho - Cobriza vía carretera 173 Km.

La palabra "CORIS", es un derivado del quechua CORI, que significa ORO, posiblemente en respuesta a la abundante producción de plata en época colonial (Vea la Ilustración 2.1).

Su ubicación geográfica se define:

- Longitud Oeste 14° 23'
- Longitud Sur 12° 30'
- Altura sobre el nivel del mar 2 300m
- Área 38 hectáreas

Su topografía es montañosa y por lo tanto accidentada, se ubica al margen oeste del río Mantaro, en la zona que el río tiene la dirección noroeste, formando la Península de Churcampa.

Ilustración 2.1: Vista de Cobriza



### 2.1.2 Historia

En 1898 se inicia el primer cateo del yacimiento COBRIZA, el que fue llamado "CASQUE". En 1905 se explota alcaparrosa de cobre, con el fin de obtener cobre metálico por precipitación con fierros viejos en el paraje PARCO, a orillas del río Mantaro.

De este modo los sulfatos Raymondi, los yacimientos Casque o las alcaparrosas pasaron a formar lo que hoy es conocido como el yacimiento COBRIZA.

Los años subsiguientes comenzaron las primeras labores de explotación, produciéndose las primeras asociaciones entre los mineros - metalurgistas de la zona. En 1953 el prospecto Cobriza es ofrecido en calidad de venta a la Cerro de Pasco Corporation y esta envía al Geólogo Ulrich Petersen Blume, para hacer estudios detallados del prospecto. Al término de su investigación recomendó "Si la opción de compra en forma ventajosa no era posible, el prospecto debería ser abandonado, pero sin dejar de estar atento cuando las condiciones sean favorables".

En 1956 la opción de compras fue firmada por un período de tres años. En 1959 antes de la finalización de la opción, el consultor R. G. Lacy visita el prospecto y recomienda: "De inmediato pagar la opción y comenzar un programa intenso de explotación".

En 1960 se inicia una intensa explotación del yacimiento Cobriza, lo realiza los Geólogos R. W. Phendler (1960-1961), R.S. Thompsen y Petersen (1961) y H.W. Kotel (1961-1963).

El mineral pallaqueado procedente de los desarrollos, se envía a La Oroya. En Enero de 1966 el mineral se transporta a la Planta Concentradora Santa Rosa alquilada por la Cerro de Pasco Corporation y sirve como “planta piloto”. En Noviembre del mismo año, se completa la construcción de la Planta Concentradora de Cobriza, iniciando sus operaciones el 12 de Diciembre de 1967 procesándose inicialmente 1000 TCSD; posteriormente la planta sufre dos expansiones, llegándose a procesar 2100 y 2600 TCSD; las operaciones de esta planta se paralizan el 14 de Junio de 1981, al trasladarse las operaciones a la nueva Planta Concentradora en Pampa de Coris.

El 14 de Octubre de 1999 dentro del proceso de privatización, Cobriza es adquirido por la empresa DOE RUN PERU, que pertenece a la transnacional DOE RUN COMPANY, con sede en Estados Unidos y que también es dueña de la Fundición de La Oroya en el departamento de Junin.

### **2.1.3 Doe Run Perú – Cobriza División**

Doe Run Perú pertenece a la Transnacional Doe Run Company, con sede en Missouri - EEUU. En nuestro país, la Mina Cobriza y la Fundición de la Oroya pertenecen a esta compañía.

La filosofía empresarial es:

- La seguridad es el alma de nuestra organización (Safety #1).
- Comunicación en tiempo real entre todos los miembros de la organización (Communication #2).

- Preservar el medio ambiente para las futuras generaciones.

En el Apéndice A se puede leer la “Misión de la Empresa”.

#### **2.1.4 Organigrama**

La Mina Cobriza cuenta con un recurso humano de 420 personas distribuidas en las diferentes áreas tanto operativas como administrativas.

El organigrama organizativo de la Mina se muestra en el Diagrama 01: “Organigrama Mina Cobriza” (Ver al final de la Tesis en Diagramas/Esquemas). Allí se aprecia que el liderazgo principal recae en el Gerente, quien cuenta con dos asistentes que le ayudan a enfocar el control en la parte de costos y procesos. Luego se distinguen cinco grupos bien definidos en la cual se distingue que “SEGURIDAD” es un área independiente y con la importancia necesaria debido a la filosofía de la empresa que es: “Safety, number 1”

## **2.2 Aspectos Productivos**

### **2.2.1 Mineralización**

La mineralización en el Distrito Minero de Cobriza, consiste principalmente de Calcopirita, Hornablenda, Arsenopirita, Pirrotita y Magantita; por el momento solo las calizas Cobriza son de importancia, aún cuando la presencia de galena argentífera tiene importancia económica.



### 2.2.3 Variación de la Producción.

A continuación veremos las variaciones de la producción mensual de los últimos diez años, las variaciones que ha tenido se han producido principalmente por la disminución de los recursos de mineral que ha tenido la mina.

Por ejemplo el año 2000 se decidió bajar la producción de 6500 ton/día con una ley de 0,85% a una producción de 4500 ton/día con una ley de 1.18, esto debido a que era antieconómico la producción con una ley muy baja y bajando el tonelaje con una mayor ley se estaría compensando la cantidad de Cu metálico producido.

La disminución de producción, también involucró la disminución de mano de obra directa en todas las áreas productivas.

En la Tabla 2.1 se comparara la capacidad instalada de producción mensual de la Planta Concentradora, con respecto a lo "Tratado" o real.

La disminución del tonelaje tratado se debe a que las reservas de la Mina van disminuyendo, lo que forzó bajar la producción y que el uso de la planta llegara solo a 50% de su capacidad productiva de la Planta.



Tabla 2.1: Comparación entre Capacidad instalada y Toneladas Tratadas en Planta Concentradora.

<b>Año</b>	<b>Capacidad ton/mes</b>	<b>Tratado ton/mes</b>	<b>% Utilización</b>
1993	273 000	173 346	63,50
1994	273 000	177 504	65,02
1995	273 000	211 749	77,56
1996	273 000	233 036	85,36
1997	273 000	218 051	79,87
1998	273 000	183 741	67,30
1999	273 000	198 156	72,58
2000	273 000	183 245	67,12
2001	273 000	156 015	57,15
2002	273 000	145 409	53,26

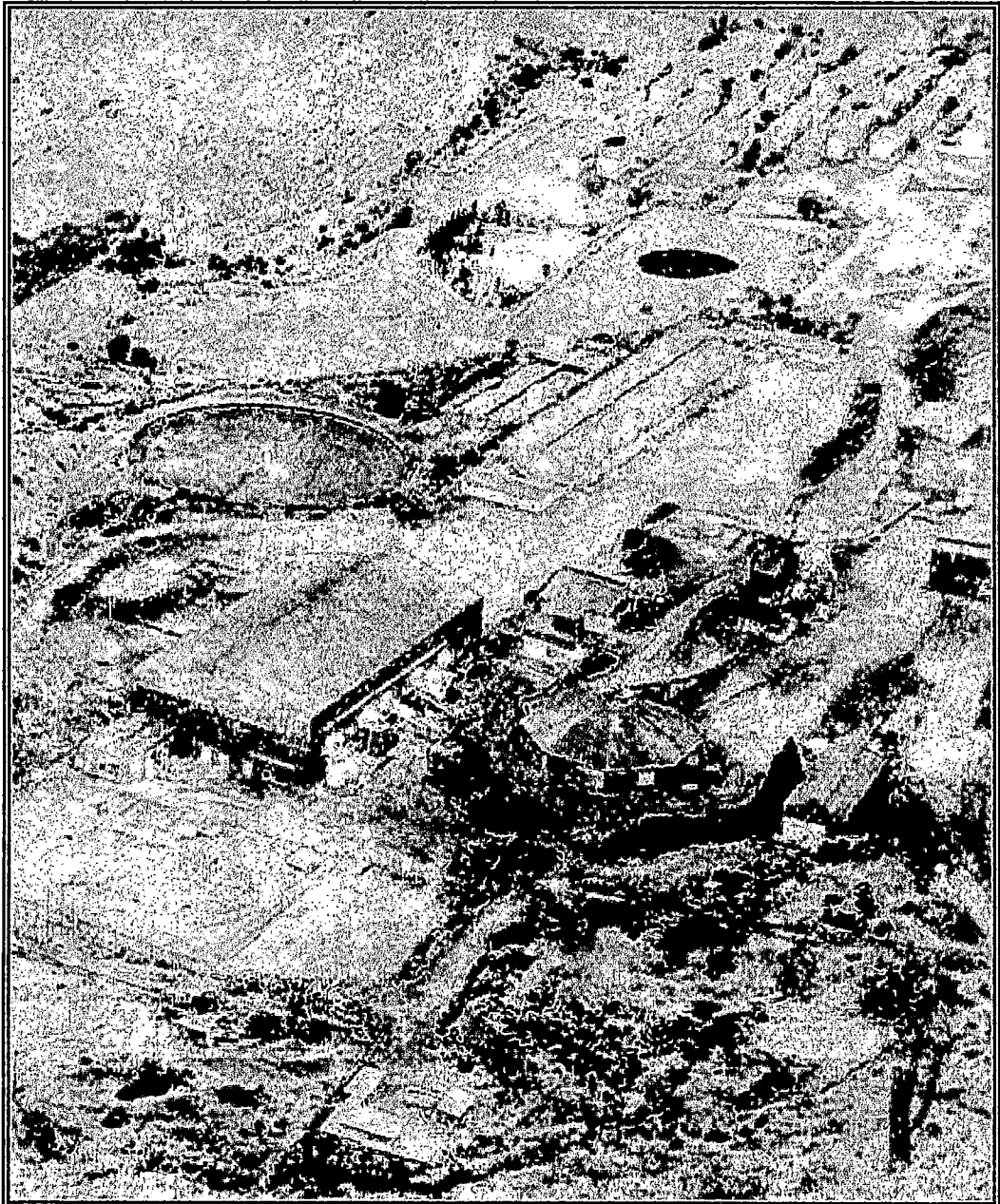
### 2.3 Planta Concentradora de Pampa de Coris

La planta concentradora de "Pampa de Coris", está ubicada en la explanada del mismo nombre.

Esta planta fue diseñada para procesar 3 175 148 TMS/año de un mineral de cobre, a una alimentación nominal de 9072 TMS/día, con una técnica de concentración por flotación convencional, para producir 203 209 TMS/año de concentrado de cobre, con una ley de 25.4% Cu. Fue inaugurada el 29 de Mayo de 1982 por el Presidente Constitucional de la República Arquitecto Fernando Belaunde Terry, el Ministro de Energía Dr. Pedro Pablo Kuczynski Godard y el Presidente Ejecutivo de Centromín Perú S.A. Ing. Félix Remy Alvarez Calderón, esta planta inicia sus operaciones continuas el 10 de Junio de 1 982 pero se paralizó por problemas técnicos el 13 de Junio. El 14 de Junio de 1982

reinicia sus operaciones continuas. En la ilustración 2.2 se puede observar una vista de la Planta Concentradora.

Ilustración 2.2: Vista de la Planta Concentradora



### 2.3.1 Organigrama

Dentro de su organización la Planta Concentradora tiene una particularidad, esta es que el Superintendente de Planta no solo es responsable de la parte operativa, como es lo común, sino también esta a cargo del Mantenimiento de la Planta. Esto le da ventajas a la organización que a continuación indicamos:

- La planta al momento de controlar los costos, puede en algunos casos excederse en el presupuesto de mantenimiento siempre que en el presupuesto operativo haya dejado de gastar en algo, lo mismo se puede dar en sentido contrario.
- Como el único responsable de la operatividad de la producción y equipos es el Superintendente de Planta, entonces cuando un equipo requiere su reparación a la brevedad posible se da la prioridad para que este equipo pare para su reparación antes de que su falla sea mayor y tenga que asumir la responsabilidad de las consecuencias, lo mismo se da en caso inverso.
- Es común que cuando la parte Operativa es independiente de la parte de Mantenimiento haya discusiones frecuentes en las cuales cada uno responsabiliza al otro cuando se incumple la producción. Cuando existe un solo líder para estas dos áreas, se busca alcanzar objetivos comunes trabajando en equipo.

El organigrama que tiene Planta Concentradora se muestra en el Diagrama 02 “Organigrama de Planta Concentradora”.

### 2.3.2 Proceso Productivo en la Planta

Las etapas o secciones que comprende la planta concentradora Pampa de Coris son igual a una convencional de procesamiento de minerales de flotación y son:

- Chancado
- Molienda
- Flotación
- Eliminación de agua
- Disposición de relaves

#### *a Circuito de Chancado*

En el Diagrama 05 se muestra esquemáticamente el circuito de chancado. (Ver al final de la Tesis en Diagramas y Esquemas).

El mineral extraído de la mina con tamaños hasta de 36'' es reducido en una primera etapa de chancado hasta tamaños de menos 7'', operación que se realiza en una chancadora giratoria de 42''x 70'', marca NORBERG, HEAVY DUTY de 400 HP con set regulable por un sistema hidráulico. La alimentación a la chancadora se efectúa directamente de los carros mineros que salen de la mina en 2 trenes con 16 y 17 carros de 25 ton. c/u, esta primera etapa tiene una duración operativa en promedio de 20 minutos por cada convoy. El producto de chancado es acumulado en un pocket de 50 ton. de capacidad aproximadamente este mineral pasa a un alimentador vibratorio de 60''x 240'' para luego por medio de una faja transportadora de 42''x

1,361 pies ser almacenado en el llamado stock pile de gruesos de 10,000 ton. Esta etapa cuenta con una sala de control; donde se controla las operaciones, tiene instalado un circuito de TV para el control de flujo del alimentador vibratorio hacia la faja de descarga de la chancadora.

El mineral del stock pile de gruesos es extraído por 3 alimentadores electromagnéticos hacia una faja transportadora de 36''x 853 pies para alimentar a una zaranda vibratoria de 6'x 16' con rejillas de 1-1/2''. El producto grueso de la zaranda ingresa a una chancadora cónica Standard de 7' marca Symons de 350 HP, que constituye la etapa de chancado secundario. El producto fino de la zaranda y la descarga de la chancadora secundaria se juntan en una faja transportadora de 42''x 1,501', la misma que también recibirá la descarga de las chancadoras terciarias. Esta faja transportadora transfiere el mineral a una tolva de 1,000 ton., de la cual se extrae la carga por 3 alimentadores electromagnéticos que a su vez alimentan a 3 zarandas vibratorias de 8'x 20' y mallas combinadas de 3/8'' y de 1/2''. Los productos finos de la zaranda constituyen el producto final de chancado, que son transportados por medio de una faja de 36''x 853' hacia el denominado stock pile de finos de 5 000 ton. de capacidad; los gruesos o rechazos de los cedazos retornan mediante una faja transportadora de 36''x 1000' a otra tolva de transferencia de 500 ton., de donde se descargan mediante dos fajas alimentadoras a 2 chancadoras cónicas Symons de cabeza corta (Short Head) de 350 HP, cuyas descargas van a juntarse con el

producto fino de la zaranda de 6'x 16' más la descarga de la chancadora secundaria descrito anteriormente, formando así un circuito cerrado en esta etapa de chancado terciario, esta segunda etapa es controlada desde una sala de donde se opera el circuito y sus variables. La regulación del set de descarga de las chancadoras secundaria y terciaria se realiza por medio de un sistema hidráulico que se ubican a un lado de la chancadora.

*b Circuito de Molienda*

En el Diagrama 06 se muestra esquemáticamente el circuito de molienda. (Ver al final de la Tesis en Diagramas y Esquemas).

En la Figura I.4, se muestra esquemáticamente el circuito de molienda.

La carga del stock pile de finos, por medio de 6 alimentadores (4 operativos) de faja con velocidad variable, es extraído hacia dos fajas transportadoras de 36''x 483' en paralelo para alimentar cada una a dos módulos de molienda de características similares. Cada uno de los módulos consta de dos molinos de bolas (primario y secundario) de 14'x 18' marca MARCY con motores sincrónicos de 2,000 HP. La descarga en pulpa del molino primario se efectúa por un trommel hacia un sumidero del cual por medio de 2 bombas centrífugas (una de repuesto), es clasificada en una batería de hidrociclones de 20" en circuito cerrado, la descarga fina (overflow) va al sumidero de la descarga del molino secundario y la descarga gruesa (underflow)

retorna y se junta con el alimento fresco del molino primario, del sumidero del molino secundario la pulpa por medio de dos bombas centrífugas va a su vez a clasificarse en otra batería de hidrociclones de 15" que opera en circuito cerrado con el molino secundario, la descarga gruesa (underflow) de los hidrociclones secundarios representan la alimentación del molino, mientras que la descarga fina (overflow) de ambos módulos previamente acondicionada constituye la alimentación de carga a los circuitos de flotación.

Adicionalmente a los circuitos de molienda, se tiene un circuito de remolienda del relave de la 1ra. limpiadora de flotación, lo cual se efectúa en un molino de bolas MARCY de 10.5' x 17' con motor de 1,000 HP que opera en circuito cerrado con una batería de hidrociclones, el producto de este circuito retorna conjuntamente con el producto de molienda a la cabeza de flotación.

#### *c Circuito de Flotación y Filtrado*

En el Diagrama 07 se muestra esquemáticamente el circuito de flotación y Filtrado. (Ver al final de la Tesis en Diagramas y Esquemas).

Esta sección está conformada por dos módulos en las etapas "rougher y scavenger", y un solo módulo para las etapas de limpieza y concentración en la celda columna. La etapa rougher consta de dos bancos paralelos de 14 celdas Wemco cada uno, con una capacidad de 500 pies cúbicos por celda, las primeras 6 celdas conforman la etapa de

“rougher primario” y las 8 celdas restantes el “rougher secundario” (por problemas operativos las 4 últimas celdas corresponden el “rougher secundario”). La etapa “scavenger” está conformada también por dos bancos paralelos de 18 celdas Wemco cada uno, con 500 pies cúbicos por celda, las 8 primeras celdas constituyen la etapa “scavenger primario” y las últimas 10 el “scavenger secundario”. El circuito de limpiadoras consta de 3 etapas de limpieza, la primera y segunda limpiadora consta de 7 celdas Wemco de 300 pies cúbicos por celda y la tercera limpiadora de 4 celdas también de 300 pies cúbicos por celda, ahora viene trabajando una celda columna de 3.08m x 10 m, opera como una 3ra. etapa de limpieza.

La pulpa producto de molienda secuencial mente pasa por la etapa “rougher” a la “scavenger” y los productos intermedios siguen el flujo que a continuación se describen: La cabeza de flotación “rougher” primario está conformado por el producto de molienda, los productos de remolienda, del concentrado “scavenger” primario y del segundo banco del “rougher” secundario que son distribuidos por acción de la gravedad correspondiente a cada módulo “rougher”, el concentrado “rougher” primario juntamente con el concentrado del 1er. banco del “rougher” secundario y el relave de la 2da. limpiadora es bombeado a la 1ra. limpiadora, el concentrado de la 1ra. limpiadora es bombeada a la 2da. limpiadora, el relave pasa a remolienda, el concentrado de la 2da. limpiadora es bombeada a la celda columna de donde se extrae el concentrado final, la 3ra. limpiadora recepciona el



relave de la columna obteniéndose de aquí también un concentrado final, su relave es bombeado a la 2da. limpiadora, el concentrado del 2do. "scavenger" retorna a la cabeza del primer "scavenger" y su relave constituye el relave final que es enviado a la planta de relleno hidráulico, en la cual se hace una clasificación de la pulpa en un nido de ciclones, transportando la parte gruesa (underflow) se bombea a la mina y la parte fina se envía mediante un canal al río Mantaro.

El concentrado final de flotación mediante bombeo se llevan a un espesador Dorr Oliver de 100 pies de diámetro, en donde por sedimentación de los sólidos se extrae gran proporción de agua clarificada. La descarga del espesador con aproximadamente 60 a 70% de sólidos se envía a dos filtros de tambor de 12'x 24' marca Dorr Oliver, se filtra el agua, obteniéndose un concentrado con 14% de humedad en promedio, que después de ser oreado y bajado la humedad a promedios de 11.5% en el patio de concentrados es enviado en camiones a la Fundición de La Oroya

*d Disposición de Relaves*

Los efluentes de la planta concentradora, constituidos básicamente por los relaves, se utilizan para las labores de relleno hidráulico de la mina Cobriza. Actualmente se usa de 50 a 70% de volumen total, el resto se vierte a la cuenca del río Mantaro

### 2.3.3 Abastecimiento de Energía Eléctrica y Agua

#### *a Distribución de energía eléctrica*

La energía eléctrica es suministrada desde el sistema de fuerza del río Mantaro, con una línea de transmisión de 69 kV, terminando en dos transformadores de 20/10/4.16 kV. localizado en la sub-estación de Pampa de Coris.

El sistema de distribución para los procesos de planta se realiza desde dos transformadores; 10.0 kV. para la planta en general y 4.16 kV. para los motores de los molinos.

Se tiene salas de control eléctrico en el edificio de chancado primario, chancado fino, molienda y flotación; esto con la finalidad de acortar la distancia a los puntos de uso.

#### *b Distribución de agua*

El agua de procesos se obtiene del río Huaribamba, la cual es transportada por gravedad a dos tanques, estando en una altura que da suficiente presión de agua fresca, la otra contiene 50% de agua reciclada de recuperación de los procesos, que debería obtenerse del rebose del espesador de relaves (paralizado), la cual, se deposita en unos estanques para ser bombeado al tanque en referencia. Para las épocas de estiaje se cuenta con un sistema de bombeo del río Mantaro.

#### 2.3.4 Servicios

Las operaciones de producción están apoyadas por un conjunto de servicios que son:

- Mantenimiento mecánico
- Mantenimiento eléctrico
- Instrumental y mantenimiento electrónico
- Servicio de superficie: limpieza de planta, suministro diario de insumos, preparación de reactivos, despacho de concentrados, etc.
- Laboratorio experimental
- Laboratorio analítico y control de calidad

#### 2.3.5 Problemática Metalúrgica

Actualmente los resultados metalúrgicos son bastantes buenos, la presencia de bismuto en el mineral repercute en la valorización del concentrado, ya que actualmente no se cuenta con un proceso ó reactivos específicos para la depresión de éste elemento contaminante; eventualmente las presencias de zinc y plomo perjudican el grado del concentrado cobre; presencia de óxidos y metálico de cobre perjudican en la recuperación metálica de cobre.

## CAPITULO 3

### GESTION DE MANTENIMIENTO ACTUAL

#### 3.1 Organización

En el Diagrama 03: “Organigrama Inicial de Mantenimiento” (Ver al final de la tesis en Diagramas/Esquemas) se encuentra la organización que se tenía al ingresar a la Empresa. Mi puesto era el de Asistente, este puesto no había y se creo con mi ingreso. Mi contratación se debió porque se quería mejorar la gestión de mantenimiento, ya que en los años precedentes hubo problemas consecutivos en los equipos críticos que provoco perdidas considerables de producción. La intención del Superintendente de Planta fue de evitar que se repita una situación similar y asegurar una buena disponibilidad de equipos.

Al observar el organigrama se puede apreciar que se dispone de un sobrestante y 18 mecánicos, lo cual aparentemente cubre con todos los requerimientos; en el siguiente punto se tocara este punto.

La particularidad del organigrama que se tiene es que el Jefe de Mantenimiento reporta al Superintendente de Planta Concentradora, Ingeniero

Metalurgista, quien es responsable tanto de la parte productiva como tambien del mantenimiento. Esta característica particular no se da en el Area de Mina en el cual existe un Superintendente de Mina y uno de Mantenimiento.

Ahora se definirá las funciones y responsabilidades de cada miembro:

### **3.1.1 Jefe de Mantenimiento**

- Coordinar con Operaciones los problemas en Planta.
- Supervisar los trabajos de mantenimiento.
- Implementación de Procedimientos Seguros de Trabajo (PST)
- Inspección de los equipos.
- Planificación de los trabajos.
- Gestión de compra y control de repuestos.
- Control de costos.
- Disponibilidad las 24 horas en caso de alguna emergencia.
- Control administrativo del personal.

### **3.1.2 Sobrestante**

- Basándose en las indicaciones del Jefe de Mantenimiento distribuye el personal mecánico.
- Supervisar todos los trabajos dando las pautas técnicas y de seguridad que sean necesarias.
- Reportar a la Jefatura del resultado de los trabajos.
- Realizar el tareo del personal.

### 3.1.3 Grupos de Trabajo

Entiéndase por grupo de trabajo aquel formado para atender las diferentes áreas según el Organigrama. En cada grupo había un mecánico experimentado que indirectamente lideraba el trabajo. Para el grupo se cita las siguientes funciones y responsabilidades:

- o Realizar el trabajo encomendado por el Sobrestante cumpliendo las normas de seguridad.
- o Coordinar con el Sobrestante acerca de los problemas encontrados o reportados en el área designada.

## 3.2 Recursos

### 3.2.1 Humano

El área de Mantenimiento Mecánico cuenta con un Jefe de Mantenimiento Mecánico y un Jefe de Mantenimiento Eléctrico-Electrónico. La parte Mecánica cuenta a su vez con un Sobrestante y 24 técnicos mecánicos (entre soldadores, mecánicos propiamente y operadores de maestranza) y la Parte Eléctrica-Electrónica cuenta con un Sobrestante y 5 técnicos eléctricos y 2 electrónicos.

El sistema de trabajo de todo el personal, incluido la jefatura era de 21 x 7, esto es, 21 días se trabaja 9.5 horas incluido domingo, para luego descansar 7 días. Con este sistema e incluyendo dos personas de vacaciones se tiene en forma efectiva a 17 mecánicos, 4 eléctricos y 1 electrónico.

Las especialidades en la parte mecánica se distinguen de la siguiente forma:

- 5 Soldadores
- 6 Mecánicos experimentados
- 7 Mecánicos de apoyo
- 1 Mecánico de equipo pesado y liviano
- 2 Operador de Tornos
- 1 Lubricador
- 2 Operadores de equipo liviano y pesado (grúas principalmente)

En la parte eléctrica electrónica se distingue:

- 5 Eléctricos
- 2 Electrónicos

### **3.2.2 Infraestructura**

El área de mantenimiento cuenta con la siguiente infraestructura:

- Las oficinas de Mantenimiento ubicados en el Taller Principal
- Un taller principal, en la cual se encuentra el taller eléctrico, electrónico, de maestranza, soldadura, fajas, bombas, equipo pesado y liviano; además de encontrarse la bodega de herramientas y repuestos básicos.
- Pequeños talleres cercanos a zonas de trabajos frecuentes, como son: área de Chancado y área de Zarandas.

### 3.2.3 Equipos y Herramientas de Mantenimiento

- En equipos móviles se cuenta con: una camioneta para traslado de repuestos menores, un camión grúa de 5Tn para traslado de repuestos grandes y algunas maniobras de trabajo; y una grúa tipo castillo de 30Tn para izar repuestos o montajes en alturas considerables.
- Maquinas de soldar y equipos de oxicorte se cuentan con siete, dos en el taller principal y los otros en diferentes puntos de la Planta
- En herramientas se cuenta con gatas hidráulicas desde 1 hasta 10Tn de capacidad, extractores de rodamiento desde 30mm hasta 700mm, tecles para izaje desde 1/2Tn hasta 5Tn, estrobos de capacidad y largo de varias medidas, llaves mixtas desde ½” hasta 3”; stilson y creshent desde 6” hasta 36”; dados y palancas para las medidas similares a las llaves mixtas.

### 3.3 Equipos en Planta

Los equipos en Planta tienen una codificación característica de seis dígitos, en la tabla 3.1 se indica como esta constituido el Código y que representa cada número.

La lista de equipos existentes en Planta se presenta en el Anexo B: “Lista de Equipos”



Tabla 3.1: Codificación de Equipos en Planta.

<b>XX-YYZZ</b>	
XX <math>\diamond</math> área de Ubicación YY <math>\diamond</math> Tipo de Equipo ZZ <math>\diamond</math> Numero secuencial	
XX	YY
02 : Chancado Primario	01 : Chancadora
03: Chancado Secundario y Terciario	02 : Molino de bolas
04 : Almacenamiento de Finos	03 : Zaranda
05 : Molienda y Filtrado	04 : Espesador
06 : Reactivos	05 : Ciclón
	06 : Faja Transportadora
	07 : Alimentador de Carga
	15 : Bomba Centrifuga
	17 : Compresora
	22 : Muestreador
	23 : Filtro Tambor
	26 : Celda de Flotación

### 3.4 Política de Trabajo

#### 3.4.1 Distribución de Personal

Basándose en los reportes del Jefe de Guardia de turno noche el Jefe de Mantenimiento determina los trabajos a realizar, incluyendo algún trabajo de importancia o critico que el día anterior se haya reportado. El sobrestante basándose en los trabajos indicados coordina con los lideres

de cada grupo de trabajo los trabajos reportados en su área para que prioricen esos trabajos. El grupo de aquella área que no tiene reportes de trabajo se encarga de inspeccionar su área y preparar repuestos en stand by. Si un área esta muy cargada en sus responsabilidades, los primeros en dejar su función son el bodeguero, el tornero y el lubricador para ir a reforzar el grupo de trabajo, recién en segundo lugar se toma en apoyo los grupos no tienen emergencias en sus áreas.

### **3.4.2 Safety #1**

Como es filosofía de Doe Run Company, “Safety #1” se implementa toda una gestión nueva en el control de riesgos. Así el objetivo es controlar las condiciones y actos inseguros para evitar incidentes y así tender a cero la probabilidad de un accidente.

Por otro lado se implementó el uso del PST que son las siglas de “Procedimiento Seguro de Trabajo” el cual se hace obligatorio su elaboración o revisión antes de iniciar cualquier trabajo. Una aplicación se muestra dentro del Procedimiento Ejecutivo mostrado en el Anexo E.

La Ilustración 3.1, muestra la clasificación de la criticidad para ser usada al momento de elaborar el PST.

Ilustración 3.1: Criticidad de una Actividad en el PST

		<b>Determinación de la Criticidad de una Actividad en el PST</b>			
		A Baja Criticidad 1,2 y 3	B Moderada Criticidad 4,5 y 6	C Alta Criticidad 9 y 12	D Super Criticidad 16
Severidad	Muerte	4	8	12	16
	Incapacidad Permanente	3	6	9	12
	Incapacidad Temporal	2	4	6	8
	Lesiones Leves	1	2	3	4
		1	2	3	4
		Mensual 1 trabajador	Semanal 1 trabajador	Diario 1 trabajador	Cada guardia 1 ó mas trabajadores
			Mensual 2 a 5 trabajadores	Semanal 2 a 5 trabajadores	Diario 2 o más trabajadores
				Mensual más de 5 trabajadores	Semanal más de 5 trabajadores
		<b>Frecuencia</b>			

### 3.4.3 Planeamiento

El planeamiento era solo a nivel de elaboración de presupuestos, para lo cual se estiman en los principales trabajos a realizarse y se analizan los costos obtenidos en el presente año; con estos datos se estima el presupuesto del próximo año.

### 3.4.4 Mantenimiento Correctivo

El principal método de trabajo es del tipo Correctivo, es decir, cuando un equipo falla recién se hace la reparación a través del grupo de trabajo del área involucrada.

Debido a esta actitud de trabajo habia muchos roces entre el Area de Mantenimiento y Operaciones.

#### **3.4.5 Mantenimiento Preventivo**

Se aplica solamente para el cambio de forros de las chancadoras y molinos, de los cuales su historial de cambio lo lleva el líder de grupo de las áreas involucradas. Este control de cambio de los forros se lleva en forma eficiente debido principalmente a la responsabilidad e iniciativa de los líderes de grupo.

### **3.5 Evaluación de la Gestión**

En los siguientes puntos se resume la gestión en base a los puntos mencionados anteriormente.

- La filosofía de Seguridad “Safety #1” ha dado muy buenos resultados, el principal es haber eliminado drásticamente el número de accidentes con pérdida de tiempo (incapacitantes). Esto no es sólo a nivel de mantenimiento sino tambien a nivel de toda Cobriza.
- Las responsabilidades del Jefe de Mantenimiento no son cumplidas eficientemente debido a que no se abastece para evaluar el estado de las actividades en Planta y realizar la gestión administrativa propia del Mantenimiento. Debido a su recargada carga de trabajo, con mi ingreso se definió que yo vea la parte de campo y él la parte administrativa.
- La labor del Sobrestante era principalmente la de supervisar los trabajos, no cumplía correctamente con el reporte a la Jefatura del

resultado de los trabajos por lo que su falta de comunicación con la Jefatura perjudicaba también el implementar el Planeamiento en la gestión. Un factor en este sentido era la avanzada edad del sobrestante por lo que era negativo a cambiar la forma de trabajo del correctivo al planificado.

- El liderazgo en los grupos de trabajo la ejercía implícitamente el de más categoría o antigüedad, pero cuando había alguna falla imprevista en el área, este evitaba la responsabilidad aludiendo culpa en los más jóvenes.
- La falta de motivación en el personal hacía que el personal no se identificara con el trabajo, y solo realizaban lo que explícitamente se les indicaba. Por ello la labor de inspección no era una tarea implícita en los grupos de trabajo con lo cual se esperaba las fallas para recién reparar.
- La distribución en el organigrama existente, involucraba a un personal técnico de 18 personas, pero en forma efectiva se tenía 16 personas lo que involucraba que principalmente las labores del bodeguero y tornero se descuiden. Ambos puestos son tan importantes como las áreas en Planta ya que se encargan de habilitar repuestos y materiales para los diferentes trabajos.
- En lo relacionado a Infraestructura, debido al número de trabajos realizados en el área de Molienda y Flotación era necesario implementar un taller cerca para realizar trabajos menores de soldadura y fabricación de estructura. Por otro lado el Taller Principal de

Mantenimiento requería delimitar las zonas de trabajo para mantener un orden adecuado a los estándares de seguridad, además de fabricar estantes para guardar los materiales.

- Relacionado con los equipos y herramientas, no había un cuidado adecuado por parte del personal técnico para su conservación. Así los equipos móviles no tenían un mantenimiento programado y el caso mas critico era el de la grúa de tipo castillo que mas de cinco años que no tenia un mantenimiento; las herramientas se deterioraban y se perdían con frecuencia lo que hacía que no se cuente inclusive con herramientas básicas.
- La codificación de equipos en Planta era la adecuada..
- Debido a la carencia del Planeamiento en la gestión de mantenimiento que indique los trabajos necesarios a realizar cada día, la decisión de los trabajos a realizar estaba ligada directamente a lo requerido y/o reportado por el área operativa.
- El mantenimiento correctivo era la principal función del área de Mantenimiento, no había visión de dar énfasis al planeamiento ni al mantenimiento preventivo ni proactivo.
- Un aspecto muy importante de la gestión de mantenimiento era que solo existía un único Responsable tanto para el Area de Mantenimiento como para Operaciones, esto es el Superintendente de Planta, este detalle facilitará la implementación de la nueva propuesta a realizar principalmente en lo referente a TPM.

## CAPITULO 4

### FILOSOFIA PARA LA NUEVA GESTION DE MANTENIMIENTO

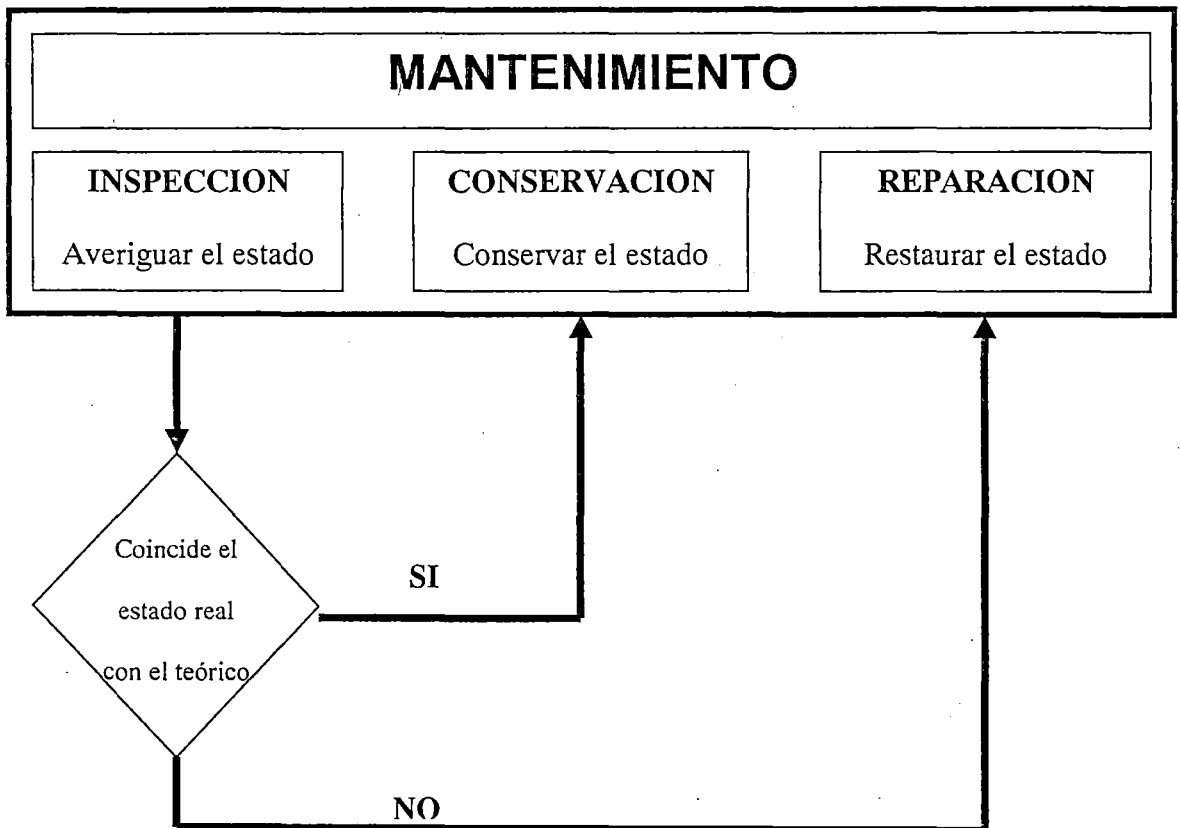
En su expresión básica las medidas tomadas en el mantenimiento se subdividen en tres formas (ver también Ilustración 4.1):

- ❖ Inspección
- ❖ Conservación
- ❖ Reparación

Para comprender estos conceptos se debe considerar que **estado real** se entiende al estado en que realmente se encuentran, en un momento determinado las instalaciones, los edificios, los equipos de producción y demás instrumentos técnicos de trabajo. Por **estado teórico** se entiende el estado en que, según se ha establecido y exigido, tienen que indicar los instrumentos de control de trabajo en un caso determinado.

De esta concepción básica se desprenden varias filosofías que han permitido que el Mantenimiento evolucione y que serán las que aplicará el presente trabajo.

Ilustración 4.1: Concepto Básico de Mantenimiento



En los tiempos actuales una función administrativa que ha comenzando a surgir como clave para la futura competitividad de las organizaciones es la gestión o administración de mantenimiento.

La administración de mantenimiento es *la administración de todos los activos que posee una compañía, basada en la maximización del rendimiento sobre inversión en activos*. Esta definición incluye las filosofías contenidas en las muchas técnicas más populares que utilizan las compañías en la actualidad.

Las técnicas que cobija la definición de administración de mantenimiento, sin estar limitada, incluyen lo siguiente:

- ❖ Planeamiento y Programación de Trabajos.



- ❖ Mantenimiento preventivo
- ❖ Inventario y adquisición
- ❖ Sistemas de órdenes de trabajo
- ❖ Sistemas Computarizados de Administración de Mantenimiento (SCAM)
- ❖ Capacitación Técnica e Interpersonal
- ❖ Mantenimiento Proactivo o Participación Operacional
- ❖ Mantenimiento Predictivo
- ❖ Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad
- ❖ Mantenimiento Productivo Total
- ❖ Optimización Financiera Estadística
- ❖ Mejoramiento Continuo

Cada una de estas iniciativas es elemento fundamental para el proceso de administración de mantenimiento. Un breve examen de cada una revelará su importancia.

#### **4.1 Planeamiento y Programación de los Trabajos**

El planeamiento y programación en el mantenimiento, es hoy en día una herramienta indispensable que afecta directamente al mejor control y mayor aprovechamiento de los recursos. Entendiéndose por recurso al personal, material y equipos de mantenimiento.

El planificar y programar tiene un costo, involucra tener un personal exclusivo tanto para la inspección como para la actualización de datos, pero los resultados compensa la inversión; a continuación se cita los principales beneficios del tener un sistema de planificación y programación:

- Mayor porcentaje de utilización del tiempo del personal técnico.
- Los tiempos de intervención a los equipos son estimados y controlados, por lo tanto se optimiza la duración del trabajo
- Permite anticipar las necesidades de repuestos, materiales, mano de obra y terceros para la ejecución de trabajos.
- Efectividad en la coordinación con operaciones.
- Ejecución en la tarea de mantenimiento en forma ordenada.
- Permite coleccionar datos para la mejora de frecuencia, procedimientos, nuevos materiales, análisis de fallas y análisis de costos.
- La imagen de Mantenimiento mejora por su profesionalismo en realizar los trabajos.

Además un buen sistema de planeación obtiene:

- Conocimiento de los aspectos positivos y negativos de las actividades.
- Informes programados a corto, mediano y largo plazo.
- Cambios surgidos durante la ejecución.
- Índices de gestión de mantenimiento.
- Informes sobre costos, tiempo perdido, mantenimiento repetitivo, indicadores de gestión, horas extras, fallas previstas.
- Informe especializado con análisis después de cada trabajo.

A continuación se detallará los puntos a considerar en la implementación del planeamiento y la programación.

#### 4.1.1 Planeamiento

Es el conjunto de actividades que a partir de las necesidades de Mantenimiento definen el curso de acción y las oportunidades mas apropiadas para satisfacerlas indicando los recursos necesarios y definiendo los medios para asegurar su oportuna disponibilidad; los aspectos que deben ser cubiertos por la planeación son:

- Las actividades de mantenimiento
- Manejo de repuestos
- Desarrollo de Recursos Humanos
- Manejo de Contratistas Externos
- Recursos físicos
- Recursos de capital

La planeación es definir el qué, porqué y el cómo a nivel global y sus productos son:

- Conocer las necesidades del cliente y de las instalaciones.
- Conocer los recursos disponibles globales.
- Conocer el alcance y magnitud de los trabajos.
- Información sobre costos, duración, garantías y factor de servicio.
- Estandarización y procedimientos de trabajo.
- Elaborar y difundir cronogramas globales de trabajo con recursos y costos para facilitar la toma de decisiones.

### 4.1.2 Programación

Se define como programación a todas las acciones tendientes a organizar la ejecución de un conjunto de tareas en un periodo generalmente pre-establecido; distribuyendo frente a las necesidades derivadas de la carga de trabajo programable los recursos con la finalidad de optimizarlos.

La programación es definir el cómo detallado, el cuándo, el con qué y el con quién se realizan las actividades y sus productos son:

- Acordar y determinar según los recursos cuándo hacer las labores.
- Retroalimentar para la elaboración de programas de trabajo
- Entregar cronogramas de trabajo y rendimiento
- Conocer previamente el detalle de las actividades y realizar, teniendo en cuenta recursos, costos, tiempo y procedimientos.
- Definir con operaciones los trabajos y cronogramas de actividades
- Conseguir los recursos (Equipos, materiales, personas, repuestos, etc.) a tiempo.
- Calcular los costos del programa
- Programa diario de trabajo.

#### *a Programación del trabajo diario.*

El informe diario del supervisor es un documento que cumple tres funciones:

- Se usa para programar el trabajo que ha de ser continuarse al día siguiente.
- Se utiliza para obtener el tiempo de duración real del trabajo, para compararse con el estimado en la Orden de Trabajo.
- Se emplea como un documento de ingreso de información en el Sistema Contable.

Los criterios que se utiliza para el programa diario son:

- El programador confecciona un programa preliminar teniendo en cuenta que deben ser incluidas las ordenes de trabajo que no se terminaron en el día, los trabajos de mantenimiento correctivo planificado que se hayan presentado y aquellos que deben realizarse según las programaciones semanales que se tiene (Tales como los programas de mantenimiento preventivos anuales, programas de mantenimiento predictivo, entre otros).
- El programador determina el total de mano de obra disponible por especialidad y comienza a dar entrada en el programa de las tareas. Se deberá incluir del 10 al 20% de las prioridades mas bajas, las cuales podrán ser puestas de lado si surgieran emergencias; además se deberá añadir del 10 al 20% de trabajos pendientes.
- Reunión de planeamiento diario en la cual se toman decisiones definitivas para los programas del trabajo del día siguiente.

### 4.1.3 Determinación de Recursos para el Área de Mantenimiento

En base al cuadro mostrado a continuación se obtendrá el puntaje que nos ayudara a obtener el número de planeadores requeridos.

Tabla 4.1: Cálculo del número de Planners

TABLA PARA CALIFICACION		
DESCRIPCION	PUNTAJE	
1. Tipo de planificación / programación	Separada (dos persona una programa y la otra planifica)	1
	Combinada (una persona programa y planifica)	2
2. Especialidades asumidas	Una especialidad	1
	Dos especialidades	2
	Tres especialidades	3
	Cuatro especialidades	4
3. Detalle de planificación, indicando: - Especialidad - Herramientas especiales - Materiales	Solo instrucciones generales.	1
	Descripción de tareas importantes	3
	Descripción detallada de tareas	5
	Descripción del método de trabajo	7
4. Precisión del estimado	Datos históricos	3
	Métodos de rangos	5
	Estudio de tiempos	7
	Estándares predeterminados	9

NUMERO DE PLANEADORES	
PUNTAJE OBTENIDO	RELACION TRABAJADOR / PLANIFICADOR
6 – 8	40 – 50 / 1
9 – 11	35 – 40 / 1
12 – 14	30 – 35 / 1
15 – 17	25 – 30 / 1
18 – 20	20 – 25 / 1
21 - 22	15 – 20 / 1

#### 4.1.4 Técnica de Programación

El método de Gantt es un método gráfico de programación en el que la planificación y programación de actividades se realiza al mismo tiempo, es decir que la longitud de la barra que representa cada tarea indica las unidades de tiempo requerido.

El CPM (Critical Path Method) es una técnica de programación en la que se considera que los tiempos de las actividades son fijos y se pueden variar cambiando el nivel de los recursos utilizados.

En la técnica del CPM se utiliza flechas que relacionan una tarea con otra de tal forma que muestra la secuencia de las actividades y la interdependencia de ellas.

##### *a Ventajas*

Esta técnica proporciona a la dirección la posibilidad de tener la siguiente Información:

- Que trabajos serán realizados primero y cuando se deben realizar los acopios de materiales.
- Cuántos trabajos hay y cuantos serán requeridos en cada momento.
- Cuales son las actividades críticas que al retrasarse cualquiera de ellas retrasan la duración del proyecto.
- Si el proyecto está atrasado donde se puede reforzar para contrarrestar la demora y que costos produce.

- Cual es la planificación y programación de un proyecto con duración óptima.

*b Metodología*

Para desarrollar esta técnica es necesario realizar lo siguiente:

- Establecer las actividades que el proyecto requiere.
- Definir la secuencia ó restricciones de estas actividades.
- Determinar las actividades que pueden realizarse simultáneamente.
- Definir los tiempos estimados para cada actividad.
- Usar flechas que expresen la interdependencia de las tareas.
- La interdependencia que existe entre cada actividad nos permite analizar que cualquier demora en la realización de alguna actividad dará como resultado una ampliación o desviación en la duración del todo el evento.
- Es muy importante identificar los cuellos de botella para darle más atención a esa actividad ya que varios grupos de trabajo podrían estar a la espera de la culminación de dicha tarea para que inicien sus labores.

#### **4.1.5 Sistema de Ordenes de Trabajo**

La iniciativa de órdenes de trabajo en administración de activos incluye la documentación y el rastreo del trabajo de mantenimiento realizado. Se utiliza un sistema de órdenes de trabajo para iniciar, rastrear y registrar todas las actividades de mantenimiento e ingeniería.



El proceso puede comenzar como una solicitud que requiere aprobación. Una vez aprobada, el trabajo se planea, luego se programa, se realiza y finalmente se registra. A menos que la disciplina se haya implementado y se haga cumplir para seguir este proceso, la información se perderá y nunca podrá llevarse a cabo un verdadero análisis.

Desafortunadamente, muchas organizaciones registran solamente una pequeña parte de sus acciones de ingeniería y mantenimiento y se pierde gran parte de la información. Cuando llega el momento de realizar un análisis de la información, este se hace de manera incompleta e inexacta. Por lo tanto, la administración no respalda las decisiones tomadas, con base en esa información, y la confianza en el departamento de mantenimiento se ve aún más erosionada.

La solución requiere de un exhaustivo uso del sistema de órdenes de trabajo para registrar todas las actividades de ingeniería y mantenimiento. A menos que la información se rastree desde la solicitud de trabajo hasta su realización, la información será fragmentada e inútil. Si el 100% de todas las actividades de mantenimiento e ingeniería se rastrean a través del sistema de órdenes de trabajo, entonces la planeación y programación pueden ser efectivas.

La planeación y programación requieren que alguien realice las siguientes actividades:

- Revisar la orden de trabajo entregada
- Aprobar el trabajo

- Planear las actividades de trabajo
- Programar las actividades de trabajo
- Registrar las actividades de trabajo terminadas.

A menos que siga un proceso disciplinado para las actividades anteriores, la compañía nunca logrará incremento en la productividad y reducción en el tiempo de inactividad de los equipos. Esto deja la sensación de que la planeación del mantenimiento es una labor puramente de oficina. A su vez, la función de planeación se hace vulnerable a los primeros recortes cuando se analiza la posibilidad de cualquier tipo de reducción de los gastos generales. Es conveniente planear semanalmente al menos un 80% de todo el trabajo de mantenimiento. Además, cada semana debería cumplirse la programación en un 90%.

La orden de trabajo es el documento administrativo fundamental de mantenimiento. Cumple tres funciones básicas:

- Se usa para autorizar y definir el trabajo que deberá ser realizado por mantenimiento.
- Se utiliza como un documento de control básico dentro de mantenimiento en el planeamiento, ejecución y control del trabajo programado.
- Se usa como documento que suministra la información para el Sistema Contable.

El formato de una orden de trabajo presenta varios campos. La definición de los campos y la descripción mas detallada de los mas importantes se detalla a continuación.

*a Definición de campos*

Los campos que tiene una O.T. se describen a continuación en la Tabla 4.2.

*b Tipo de trabajo*

La clasificación está en función de la actividad a realizar:

- **MANTENIMIENTO PREVENTIVO (MP).**- Considerado en este rubro las siguientes actividades de Mantenimiento: Inspecciones visuales mediante hoja de rutas, cambio de partes por desgaste (frecuencia en días, semanas, etc.), inspecciones que involucren desarmar el equipo y lubricación.
- **MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE EMERGENCIA (ME).**- Todas aquellas actividades de Mantenimiento no Planificados y que requieren realizar una acción inmediata.
- **MANTENIMIENTO CORRECTIVO PLANIFICADO (MC).**- Aquellas actividades de Mantenimiento cuya reparación se realizará entre 1 – 2 semanas de generada la OTM y que son generadas por la inspección (hoja de rutas) y Solicitudes de Usuarios (Producción).

Tabla 4.2: Definición de Campos

ARTICULO	ACCION
Pedido por	<u><i>El Originador</i></u> Firma su nombre.
Fecha	<u><i>El Originador</i></u> Registra la fecha en que la Orden de Trabajo es originada.
Aprobado Por	<u><i>La Supervisión</i></u> De la parte de operaciones firma de acuerdo con los límites aprobados.
Permiso Requerido	<u><i>El Originador</i></u> Indica el tipo de permiso o si no es necesario permiso alguno. Si “otro” es indicado, anota en la descripción que es lo que se requiere.
Devolver después del estimado	<u><i>El Originador</i></u> Marca este espacio si desea que la orden de Trabajo le sea devuelta, después de que la estimación del costo sea hecha, esté o no dentro de los límites de su aprobación.
Orden de Trabajo N°	<u><i>La Sección de Programación</i></u> Asigna un número a la orden de Trabajo en una secuencia numérica.
Descripción	<u><i>El Originador</i></u> Describe el trabajo a ejecutarse, estableciendo los detalles en forma clara y concisa, para que el personal de Mantenimiento sepa lo que debe hacerse y donde está localizado el trabajo.
Requerido	<u><i>El Originador</i></u> Indica la fecha requerida trabajo.
Cuenta	<u><i>El Originador</i></u> Indica la cuenta o centro de costos a la cual será cargado los costos del trabajo.
Equipo	<u><i>El Originador</i></u> Indica el código del equipo al cual esta relacionado el trabajo.
Planta	<u><i>El Originador</i></u> Indica la planta a la que pertenece el equipo
Tipo de trabajo	<u><i>La Sección de Programación</i></u> Asigna en base al detalle descrito en el punto b)

- **MANTENIMIENTO PREDICTIVO (MPd).**- Son aquellas actividades de Mantenimiento que midan la condición de los Equipos con el uso de instrumentos (Ej. Análisis Vibracional)
- **FABRICACION (MF).**- Son aquellas actividades realizadas en el taller y que involucran restauración o fabricación de elementos de máquinas.
- **CONSERVACION (MN).**- Están consideradas las actividades de: ajustes, calibración, pintado y trabajos relacionados con la seguridad.
- **MANTENIMIENTO INTEGRAL (MI).**- Son reparaciones mayores que se realizan a los equipos y que generalmente se consideran como inversiones.

*c* **Prioridad**

La asignación de prioridades a las Órdenes de Trabajo para Mantenimiento, es la expresión del grado de urgencia ó necesidad para ejecutar un determinado trabajo de Mantenimiento.

El uso adecuado de este sistema de codificación, permitirá a la Sección Programación, preparar sus programas en forma planificada y ordenada, le permitirá de igual forma asignar y coordinar la necesidad de recursos como mano de obra, materiales, equipos, facilidades finalmente cumplir con todas las solicitudes de trabajo a su debido tiempo.

El uso del sistema de prioridades permita a Mantenimiento

- Organizar las OTs y que elabore una relación de OTs que recibió previamente.
- Reconocer y acelerar el trabajo realmente urgente e importante.
- Archivar y sacar las Ordenes de Trabajo en base a prioridades.
- Equipar las solicitudes de trabajo con las formas disponibles en el momento para desarrollar soluciones alternadas.

Las prioridades se clasifican en la Tabla 4.3 mostrada a continuación.

Tabla 4.3: Código de Prioridades

CODIGO	DESCRIPCION
<b>Emergencia 1 Pr1</b>	Solo se aplica verdaderas emergencias tales como cuando se esta perdiendo una gran cantidad de dinero o cuando el trabajo debe realizarse inmediatamente con el fin de corregir condiciones peligrosas de seguridad. Estos se inician y se continúan hasta su termino incluyendo el uso sobre tiempo.
<b>Prioridad # 2 Pr2</b>	Se aplica al trabajo de naturaleza <i>Urgente</i> que deberá ser terminado tan pronto como sea posible. Este trabajo será programado dentro de las 24 o 48 hrs., después de recibida la Orden de Trabajo.
<b>Prioridad # 3 Pr3</b>	Se aplica al trabajo cuya terminación es menos crítica. Normalmente estos trabajos serán programados para ser iniciadas dentro de la semana después de haber recibido la Orden de Trabajo.
<b>Prioridad # 4 Pr4</b>	Los trabajos serán usados para formar un colchón de trabajos pendientes y serán atendidos en el orden cronológico en el cual fueron recibidas. Normalmente deberán ser atendidas dentro de las tres semanas después de recibida la Orden de Trabajo.

#### 4.1.6 Flujo de las Ordenes de Trabajo

La secuencia que debe seguir una orden de trabajo desde la solicitud hasta su archivo, se detalla a continuación en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4: Flujo de una Orden de Trabajo

<b>1</b>	<b><u>EL ORIGINADOR</u></b> Describe el trabajo a ejecutarse y anota otra información aplicable. Obtiene las aprobaciones necesarias y remite la Orden de Trabajo al Jefe de Mantenimiento, reteniendo una copia.
<b>2</b>	<b><u>JEFE DE MANTENIMIENTO</u></b> Verifica, añade información pertinente, estima la tarea, y la remite a Planeamiento reteniendo una copia.
<b>3</b>	<b><u>PLANEADOR/PROGRAMADOR</u></b> Le asigna un número de Orden de Trabajo, la consignación en el registro de Órdenes de Trabajo, hace duplicados y manda copias al Coordinador, Autorizador y Contabilidad.
<b>4</b>	<b><u>PLANEADOR/PROGRAMADOR</u></b> La sitúa según su prioridad y la registra en el proceso de programación. Cuando la Orden de Trabajo está programada, la entrega con el programa al Supervisor de área. Otras copias son enviadas al Almacén para preparación del material y a los talleres y otros, si fuera necesario.
<b>5</b>	<b><u>SOBRESTANTE</u></b> Revisa la Orden de Trabajo y la tarea que abarca, verifica el material, ordenando material adicional si es necesario, asigna el personal técnico para el trabajo, obtiene la forma aprobatoria del "cliente" Supervisor y entrega la Orden de Trabajo al Coordinador.
<b>6</b>	<b><u>EL JEFE DE MANTENIMIENTO</u></b> Revisa y añade información pertinente y la remite a Programación.
<b>7</b>	<b><u>PLANEADOR/PROGRAMADOR</u></b> Retiene una copia para el archivo central del Departamento de Mantenimiento junto con dibujos y otras informaciones y remite una copia marcada "terminada" para ingresos de datos.

#### **4.1.7 Reporte de Reparación de Máquina**

Es importante que exista un registro de cómo se realizó el trabajo solicitado a través de una orden de trabajo, este registro o reporte deberá especificar las causas que originaron la falla, que repuestos se cambiaron, o que valores arrojaron las mediciones para que se decida reutilizar un repuesto, además especificara observaciones necesarias que deban guardarse en el historial del equipo.

En la Tabla 4.5 se muestra la clasificación de los distintos tipos de fallas que se pueden encontrar y así poder mantener un estándar al momento de reportar.

#### **4.1.8 Inventario y adquisición**

Los programas de inventario y adquisición deben centrarse en proveer las partes correctas en el tiempo justo para el mantenimiento y reparación de los activos.

El objetivo es tener suficientes repuestos, sin tener demasiados. Sin embargo, se hace aparente la interdependencia entre las iniciativas de administración de activos: Ningún proceso de inventario y adquisición pueden aplicarse en forma económica a un proceso de mantenimiento reactivo. Sin embargo, si la mayoría del trabajo de mantenimiento se planea con varias semanas de anticipación, entonces se pueden optimizar las prácticas utilizadas en el proceso de inventario y adquisición.



Tabla 4.5 Códigos de falla para el Reporte

<b>CODIGOS PARA REPORTE</b>		
<b>DENOMINACION</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>CODIGO</b>
<b>Causas por Factor Humano</b>	Diseño Inadecuada	11
	Mal Manejo	12
	Mal Regulado	13
	Insuficiente Lubricación	14
	Mal Reparado	15
	Accidente, Golpes en Oper.	16
<b>Causas por condiciones de trabajo</b>	Sobrecarga	21
	Vibración	22
	Suciedad, cuerpos extraños	23
	Incrustación	25
	Corrosión, Oxidación	25
	Rozamiento, fricción	26
	Alta Temperatura	27
	Humedad Excesiva	28
<b>Falla Básica</b>	Fatiga	31
	Desgaste	32
	Fractura	33
	Torsión	34
	Desajuste	35
	Obstrucción, traba	36
	Corto circuito	37
	Fugas Diversas	38
	Baja Eficiencia	39
<b>Condición del Repuesto</b>	No necesario	0
	En almacén	1
	Fabricado en Planta	2
	Fabricado por terceros	3
	Reparado y reinstalado	4
	No disponible	5

Actualmente, ¿cuál es el nivel típico de desempeño en las compañías?

Muchas compañías presentan niveles de servicio inferiores al 90%, lo que significa que la falta de existencias se incrementa en más del 10% respecto a las solicitudes recibidas. Este nivel de servicio deja que los clientes se las arreglen solo (con el mantenimiento), almacenando reservas personales y eludiendo los canales de adquisición estándar para

obtener sus materiales. Estas acciones no se hacen por razones personales, sino más bien porque el mantenimiento desea proporcionar un servicio a sus clientes (operaciones o instalaciones), las cuales son en realidad un mecanismo de defensa personal.

Para impedir que esto suceda, es necesario instituir el tipo de controles de inventario (almacenamiento) que permitan que los niveles de servicio alcancen de un 95% a 97% con información totalmente exacta. Cuando se logra este nivel de desempeño en cuanto a inventario y adquisición se está listo para emprender el próximo paso en la administración de activos.

#### **4.1.9 Sistema computarizado de administración de mantenimiento (SCAM)**

En la mayoría de las compañías se acumula suficiente información de las funciones de mantenimiento e ingeniería como para requerir la computarización del flujo de información. La computarización facilita la recolección, procesamiento y análisis de información. El uso de Sistemas Computarizados de Administración de Mantenimiento (SCAM) se ha hecho popular en la mayoría de los países del mundo. Este programa de computadora maneja las funciones vistas anteriormente, y respalda la administración de activos.

El SCAM se ha utilizado por casi una década en algunos países con resultados muy diversos. Un estudio reciente efectuado en Estados Unidos muestra que la mayoría de las compañías usaban menos del

50% de la capacidad del SCAM. Lo que esto significa para estas compañías es que la información que recopilaban era altamente dudosa y probablemente muy inexacta. A menos que esto se corrija, nunca podrán lograr una verdadera administración de activos dado que no habrá métodos para rastrear los costos de los activos ni para calcular el RSI.

Los software de gestión de mantenimiento más reconocidos se tiene a SAP y MAXIMO, el primero es usado en Tintaya, Minsur y Yanachocha, el segundo en Backus y últimamente esta siendo implementado en Doe Run Perú – Oroya Division.

#### **4.2 Mantenimiento Preventivo**

El programa de mantenimiento preventivo (MP) es la clave para cualquier proceso exitoso de administración de activos. El programa de mantenimiento preventivo reduce la cantidad de mantenimiento reactivo hasta un nivel lo suficientemente bajo como para que puedan ser efectivas las otras técnicas en el proceso de administración. Sin embargo, por ejemplo, la mayoría de compañías en Estados Unidos tienen problemas por enfocar correctamente sus programas de MP. De hecho, los estudios han mostrado que sólo el 20% de las compañías en Estados Unidos consideran que sus programas de MP son efectivos.

Esto indica que la mayoría de compañías necesitan centrarse en lo fundamental del mantenimiento si pretenden desarrollar cualquier tipo de proceso de administración de activos. Las actividades efectivas de

mantenimiento preventivo le permiten a una compañía lograr una relación de 80% (o más) de mantenimiento proactivo a 20% (o menos) de mantenimiento reactivo. Una vez que las relaciones están por lo menos a este nivel, se hacen más efectivas las otras técnicas en el proceso de administración de activos.

Desde una perspectiva financiera, y debido a sus ineficacias inherentes, el mantenimiento reactivo cuesta por lo general de dos a cuatro veces más que el mantenimiento proactivo. Este aumento en el costo influye marcadamente en el RSI (rendimiento sobre la inversión). En el RSI se tienen en cuenta los gastos de mantenimiento a la luz de los ahorros potenciales o de evitar costos. Los ahorros por lo general provienen del mejoramiento en la eficiencia del mantenimiento. El evitar costos incluye evitar pérdidas de producción, costos agregados de energía, costos aumentados del contratista, o falta de disponibilidad de la instalación. Dado que el proceso de administración de activos se basa en el RSI, es de gran importancia para todas las compañías tener como base un exitoso programa de MP.

#### **4.2.1 Definición**

Es el conjunto de trabajos planificados que se realizan entre intervalos de tiempo prefijados, teniendo un Programa de Mantenimiento que incluye cambio de repuestos, ajustes e inspecciones que buscando mejorar la Confiabilidad y Disponibilidad de los Equipos e Instalaciones.

Los intervalos de tiempo prefijados para el mantenimiento de un equipo se obtiene mediante la información suministrada por:

- Los fabricantes de Equipos
- Experiencia del Personal de Mantenimiento y operadores.
- Historial de los Equipos.

El punto de partida que se empleara para la elaboración del Programa de Mantenimiento Preventivo para la Planta Concentradora será en base a la información de los dos primeros puntos mencionados, a medida que se vayan registrando adecuadamente la información relacionada a los trabajos, se podrá optimizar el intervalo de tiempo entre cada reparación basándonos ya en el Historial del Equipo.

Dentro de las tareas básicas de un Programa de Mantenimiento Preventivo, se tienen:

- Limpieza.
- Lubricación.
- Inspección.
- Ajuste/Calibración.

Como tareas más tecnificadas que incluye el Mantenimiento Preventivo que requiere planificar los recursos, empleo de distintas herramientas, mayor destreza del personal y que el tiempo y recurso son mayores; se tienen:

- Reparaciones parciales o totales a un equipo
- Reemplazo de piezas y componentes.

#### **4.2.2 Ventajas del Mantenimiento Preventivo**

- Disminución de Paradas imprevistas.

- Mejor Conservación de los Equipos.
- Se reduce las horas extras del Personal de Mantenimiento.
- Disminución de reparaciones grandes.
- Mayor disponibilidad de equipos.
- Determinación de Equipos con alto Costo de Mantenimiento.
- Mejoras en las condiciones de Seguridad.
- Costo de Mantenimiento Preventivo menores que el Correctivo.

#### **4.2.3 Metodología para implementar el Sistema de M.P.**

A continuación los pasos a seguir para la implementación, hay puntos con los cuales ya se tiene implementado en Cobriza, así que se detallara aquellos que no se cuentan:

1. Difusión de la filosofía y ventajas del M.P.
2. Inventario y Codificación de Equipos (ya se tiene implementado, ver capítulo III, punto 3 “Equipos en Planta”)
3. Determinación del Estado del Equipamiento, la cual se debe realizar a través de instrumentos o inspección visual para que a partir de ese momento se calculen los intervalos de tiempo para su próximo mantenimiento.
4. Clasificación de los Equipos de acuerdo a su importancia, determinando que equipos son mas críticos que otros.
5. Elaborar estándares de trabajo.
6. Implementación de las Ordenes de Trabajo (se toco en el punto anterior en este mismo capítulo “Planeamiento de Trabajos”)

7. Establecer rutas y frecuencias del M.P.
8. Historial de los Equipos.
9. Informes del M.P.
10. Plantear una organización adecuada para la Planificación y Control del Mantenimiento Preventivo, por lo cual el organigrama propuesto considera un planeador y personal técnico para inspecciones, lubricación y mantenimientos programados.

Compromiso de la Alta Dirección para asignar los Recursos necesarios.

#### **4.3 Mantenimiento Predictivo (MPd)**

Una vez que la participación operacional ha liberado los recursos de mantenimiento e ingeniería, estos deben enfocarse en tecnologías predictivas que se aplican a los activos. Por ejemplo, el equipo rotativo es evidentemente necesario para el análisis de vibración, como lo es el equipo eléctrico para la termografía, y así sucesivamente. En algunos casos los dispositivos que monitorean los activos pueden estar conectados a un sistema automático del edificio, a un sistema de control distribuido, o a un sistema de Controladores Lógicos Programables (PLCs) y todos los parámetros se monitorean en un ambiente de tiempo real.

La idea no es comprar toda la tecnología disponible, sino investigar y comprar la tecnología que solucione o mitigue los problemas existentes en el equipo. Las inspecciones predictivas deben planearse y programarse utilizando

las mismas técnicas que se utilizan para las tareas preventivas. Toda la información debe registrarse en un SCAM o estar en interfase con él.

#### **4.3.1 Definición**

Se basa en el monitoreo, a través de mediciones periódicas, del estado de funcionamiento del equipo, considerando el estado de la máquina según su condición de trabajo. Se decide el mantenimiento de acuerdo a su condición (vibración, temperatura, ultrasonido o análisis de aceite).

Si los elementos de un equipo se encuentran bien, éste sigue operando, en caso contrario se evalúa su estado y de acuerdo a este análisis se decide su mantenimiento.

El programa de mantenimiento predictivo genera datos, con los cuales podemos hacer seguimiento y tomar acciones.

El mantenimiento predictivo, se puede realizar cada vez mejor gracias a las nuevas tecnologías que se han desarrollado.

#### **4.3.2 Ventajas y Desventajas**

Como ventajas se tiene:

- Maximiza la confiabilidad y disponibilidad del equipo.
- Se obtiene la máxima vida útil de los componentes de una máquina o equipo.
- Inspecciones con sólo los sentidos humanos, pueden ser de bajo costo.
- Permite una detención antes que un daño severo ocurra en el equipo.



- El programa de producción puede ser modificado para extender la vida del equipo.
- La causa de la falla puede ser analizada.
- Se puede planificar el mantenimiento.
- La mano de obra se puede organizar previamente.
- Los repuestos se pueden ensamblar previamente.
- Se conoce con precisión cuando y que debe ser cambiado en la máquina.

En contraparte la desventaja que se tiene con el MPd.

- El monitoreo de vibraciones, la termografía, el análisis de aceite requiere de equipos especializados y personal entrenado para su uso.

#### **4.3.3 Técnicas de Mantenimiento Predictivo.**

Las principales técnicas usadas son:

- Termografía.
- Tribología (Análisis de lubricantes).
- Ultrasonido.
- Vibraciones (Análisis Espectral).

#### **4.3.4 Termografía**

Es una de las técnicas del mantenimiento predictivo que puede ser usada como monitoreo de condición de una planta industrial, estructuras y sistemas.

Usa instrumentos basados en monitorear la emisión de energía infrarroja, es decir, la temperatura.

Detectando áreas de diferentes temperaturas, siendo estas más calientes o más frías del estándar.

Los instrumentos mas típicos para realizar termografía son:

*a Termómetro infrarrojo:*

Se utiliza para obtener la temperatura de un punto específico de una máquina o de una superficie.

Generalmente se usa para monitorear la temperatura de un punto crítico, en conjunto con el monitoreo de vibraciones. Por ejemplo, los soportes de rodamientos de una máquina.

*b Cámara infrarroja:*

Es una cámara que puede captar imágenes infrarrojos, ya sea para obtenerlas como infrarrojas, ya sea para obtenerlas como fotografías o bien vídeo. Se utiliza para obtener la temperatura de toda el área enfocada, el usuario puede ver la emisión térmica por el visor de la cámara.

Obteniendo las imágenes de temperaturas, es posible diagnosticar una falla prematura.

Ventajas:

- No es necesario contacto físico.
- No necesita sensores en el lugar de medición (Mide a Distancia).
- Se puede inspeccionar rápidamente.

- Se puede diagnosticar rápidamente.
- De fácil uso.

Desventajas:

- Utiliza equipos de alto costo.
- Requiere de personal entrenado

#### 4.3.5 Tribología

Es el término general referido al diseño y dinámica de la lubricación de los descansos del eje de la soportación estructural de una máquina.

Las principales técnicas utilizadas son:

##### *a* *Análisis de Lubricantes:*

Es la técnica de análisis para determinar la condición del lubricante usado en un equipo mecánico o eléctrico.

Un buen análisis de lubricante debe considerar:

- Viscosidad.
- Contaminación.
- Dilución de combustible.
- Contenido de sólidos.
- Hollín de combustible.
- Oxidación.
- Contenido de partículas.

*b Análisis de espectrografía*

Este análisis nos permite medir rápidamente la cantidad de elementos presentes en el aceite lubricante. Estos elementos generalmente se clasifican como metales, contaminantes o aditivos. El resultado nos da que algunos elementos pueden estar por encima de los valores de clasificación estándar.

*c Análisis de Ferrografía*

Esta técnica es similar a la Espectrografía, pero se tiene 2 grandes diferencias:

- Método de separación de partículas usando un campo magnético, con lo cual obtenemos separación de las partículas ferrosas o magnéticas.
- Pueden separarse y analizarse partículas > 10 micrones. Normalmente, la Ferrografía captura partículas de hasta 100 micrones.

*d Análisis de partículas:*

El análisis de partículas es relativo al análisis de lubricantes, pero solamente referido a estudiar las partículas. Este análisis nos provee información directa acerca de la condición de la máquina, ya que estudia la forma, tamaño, composición y cantidad de la partícula como tal.

Con este análisis se puede monitorear la tendencia del contenido de sólidos del lubricante de una máquina.

El análisis de partículas normalmente tiene 2 etapas:

1. El monitoreo rutinario y la elaboración de tendencias del contenido de sólidos del aceite. Es decir, la cantidad, composición y tamaño de la partícula, es un indicador de la condición mecánica de la máquina. Una máquina normal, tendrá niveles bajos de sólidos, con tamaño menores que 10 micrones.
2. Esta relacionado con la materia de la partícula de la muestra de aceite, según clasificación se tiene 5 tipos:
  - **Gomas:** Es normal en una máquina el desgaste de las gomas.
  - **Por corte:** Causado por la penetración de una superficie con otra.
  - **Fatiga rodillos:** Contacto rodillo con descansos.
  - **Combinado rodillo y deslizamiento:** Contacto de superficies con sistemas de engranajes.
  - **Deslizamiento severo:** Causado por cargas excesivas en un sistema de engranajes.

#### 4.3.6 Ultrasonido (Acústica)

Esta técnica de Mantenimiento Predictivo, usa principios similares al Análisis del Vibración.

Ambas técnicas monitorean el ruido que produce una máquina o sistemas mecánicos de una planta.

El ultrasonido monitorean altas frecuencias (ultrasonido), 20 a 100 kHz.

La principal aplicación del ultrasonido es detección de falla en rodamientos, detección de fugas y medición de espesores.

Ideal para detectar fugas en válvulas, trampas de vapor, piping, intercambiadores, etc.

El flujo turbulento de una fuga, genera altas frecuencias que son captadas por el ultrasonido.

Ventajas:

- Fácil Uso.
- Rápida Respuesta.
- No Requiere Procesar Información.
- Bajo Costo Por Instrumentación.

#### **4.3.7 Análisis Vibracional**

Las vibraciones en una maquina pueden provenir de la máquina misma o de origen externo.

De la maquina misma:

- Fuerzas inherentes al funcionamiento mismo de la máquina.
- Fuerzas generadas por fallas de algún componente.
- Fuerzas generadas por cambios en las condiciones de funcionamiento.

De origen externo:

- Otra máquina o sistema cercano, que al trabajar produzca vibraciones mayores a la normal, la que puede ser transmitida a través del piso, tuberías, muros, soportes, etc.

Las manifestaciones características de la vibración se definirán a continuación y una cartilla ilustrativa de diagnóstico se adjunta en el Apéndice C

*a Desbalanceo*

Se debe a que el centro de masas de las diferentes secciones transversales que componen el rotor no se encuentran sobre el eje de rotación.

Esto genera fuerzas centrifugadas descompensatorias que hacen vibrar la máquina.

Sus características son:

- La frecuencia de la vibración generada principalmente es a: "1x".
- En desbalanceamientos severos se puede generar una 2<sup>a</sup>, 3<sup>a</sup> y 4<sup>a</sup> armónica (2x, 3x y hasta 4x), que se diagnostican como desalineamiento o soltura.
- La forma de la onda vibratoria debiera ser aproximadamente senoidal, de amplitud constante.

- La diferencia de fase entre la vibración horizontal y vertical será aprox. De  $90^\circ$  o  $270^\circ$  debido a la rotación de la fuerza centrífugada que genera la vibración.
- La vibración radial generalmente es predominante, debido a que las fuerzas excitadoras son radiales.
- La fuerza centrífugada que origina la vibración es función del cuadrado de la velocidad, por lo que al aumentar las RPM, aumenta drásticamente la vibración del equipo.

Considerar que generalmente el desbalanceo se produce por desplazamiento del centro de masas del rotor respecto al eje de rotación debido a:

- Deposito de suciedad, sales, producto procesado.
- Perdida de material por erosión, corrosión, abrasión.
- Desprendimiento de parte de alabes o depósitos.
- Objetos extraños en el rotor.

*b Desalineamiento*

Se produce cuando el eje de los rotores de dos maquinas acoplados no coinciden, lo que se puede deber a:

- Problemas de montaje.
- Desalineamiento en operación (esfuerzos producidos en fundaciones).

La desalineación produce dos fuerzas, la axial y la radial. Las que generan vibraciones radiales y axiales.



Las características principales son:

- El desalineamiento normalmente genera una vibración compuesta por la componente sincrónica  $1x$ , pudiendo presentarse vibraciones de 2º orden ( $2x$ ) y múltiplos.
- La característica mas significativa de una vibración que se deba a desalineamiento, o eje deformado, es que se presenta tanto en sentido radial como axial.
- El desalineamiento axial tiene como característica una alta componente  $2x$  en dirección axial.
- El desalineamiento radial tiene como característica una alta componente  $2x$  en dirección horizontal.
- Para ambos tipos se presentan componentes  $3x$  y  $4x$  en casos más severos.
- En general, cada vez que la amplitud de la vibración axial sea superior a la mitad de la lectura radial mas elevada, horizontal o vertical, se deberá sospechar de un desalineamiento o eje deformado.

Existen 3 tipos de desalineamiento posibles en los acoplamientos:

1. **Angular:** Se forma un ángulo entre las líneas de los ejes.
2. **Paralelo:** Las líneas centrales de los ejes se encuentran desplazadas en forma paralela.
3. **Combinado:** Desalineamiento angular y paralela.

*c Soltura mecánica*

La soltura mecánica produce una vibración a una frecuencia 2 veces la de la velocidad rotativa: “2x” radial.

Las Solturas Mecánicas a veces también generan vibraciones sub-armónicas a las fracciones de  $1/2x$  ó  $1/3x$ , debido a rodamientos sueltos en su alojamiento, o cuando tienen mucho juego radial por desgaste de las pistas de rodadura.

Normalmente, la amplitud global de la vibración es variable.

La vibración características de la Soltura mecánica, no se produce, a menos que intervenga otra fuerza excitadora, como un desequilibrio o desalineamiento.

En general, la Soltura Mecánica se presenta cada vez que la fuerza de la vibración a  $2x$ , supera la mitad de la fuerza de la vibración a la velocidad rotativa de  $1x$ .

*d Rodamientos*

Las fallas de rodamientos en estado incipiente son virtualmente indetectables por cambios en la vibración global, debido a su pequeño nivel respecto a otras vibraciones que la ocultan. De aquí que sea necesario un Análisis Espectral.

Las frecuencias de las componentes generadas por rodamientos defectuosos pueden ser:

***Frecuencias características:*** Son las frecuencias con las que los elementos rodantes pasan por defecto en la pista externa o interna, o las

generadas por fallas en el mismo elemento rodante. Ellas se determinan suponiendo que los elementos sólo ruedan por las pistas. En la práctica se produce un deslizamiento que hace variar ligeramente estas frecuencias.

*Frecuencias Naturales:* Las frecuencias naturales de los elementos del rodamiento, carcaza, canastillo, excitadas por los impactos entre los elementos rodantes (bolas, cilindros,...) y las pistas del rodamiento, se caracterizan por ser erráticas y se producen a **altas frecuencias**.

Veamos las frecuencias características que como dijimos, son las frecuencias con que los elementos rodantes pasan por un defecto en una de las pistas, bola o canastillo.

Estudios de cálculo de frecuencias de falla para diferentes tipos de rodamientos revelan que se mantienen ciertas relaciones que son función del número de bolas y de la frecuencia de rotación del eje.

Existen fórmulas empíricas para el cálculo de frecuencias de falla de los rodamientos:

Frecuencia del paso de bola por la pista externa:

$$f_e = 0,4 * f_r * n$$

Frecuencia del paso de bola por la pista interna:

$$f_i = 0,6 * f_r * n$$

Frecuencia del tren de elementos rodantes (bolas y canastillo):

$$f_t = 0,4 * f_r$$

donde:

$$f_r = \text{rpm} / 60$$

n = número de bolas

Ejemplo:

Si, RPM = 1500 y n = 12 bolas

Entonces:  $f_r = 1500/60 = 25$

$$f_e = 0,4 * 25 * 12 = 120 \text{ cpm}$$

$$f_i = 0,6 * 25 * 12 = 180 \text{ cpm}$$

$$f_t = 0,4 * 25 = 10 \text{ cpm}$$

Los valores del número de bolas como otros datos para un cálculo mas exacto de las frecuencias características del rodamiento, se muestran en las tablas adjuntadas en el Apéndice C.

Los rodamientos con defectos de pista, bola o rodillo normalmente ocasionan una vibración de alta frecuencia, cosa que suele producirse a una velocidad varias veces la velocidad rotatoria de la parte, del orden de 30 veces la velocidad de giro del eje.

La razón por que se encuentra tanto la frecuencia elevada junto con la frecuencia, a veces inestable, se encuentra al examinar los rodamientos defectuosos e investigando la naturaleza de las fuerzas excitadoras que genera un rodamiento defectuoso.

Por ejemplo, consideremos la vibración generada por un rodamiento que tenga una bola con un sitio plano:

- A medida que rueda la bola, el desperfecto hace contacto intermitente con las pistas interior y exterior del rodamiento, lo que produce una vibración a una ó dos veces la frecuencia a la que rueda la bola.
- La frecuencia de la bola será varias veces la velocidad de giro (rpm), la vibración que resulta será más bien elevada en comparación con la frecuencia de la velocidad rotatoria.
- La amplitud de la vibración dependerá entonces, de cuán defectuoso esté el rodamiento.

En realidad, todos los componentes de un rodamiento, las pistas, bolas, canastillo, el eje rotor y la caja descanso inclusive, tiene su propia y única frecuencia natural, por lo que un defecto del elemento rotativo del rodamiento, puede producir una fuerza de tipo intermitente e impactivo, que hará que dichas partes vibren a sus frecuencias naturales respectivas. Estas frecuencias naturales son elevadas.

Recordemos que:

- Los rodamientos son los dispositivos de mayor precisión que se fabrican y por eso no fallan prematuramente, a menos que sea por consecuencia de alguna fuerza externa, como la generada por un desbalanceo o desalineación.
- Las frecuencias de falla se producen a Altas Frecuencias.
- Según la norma ISO 2372, la amplitud máxima de severidad vibratoria por falla de rodamientos es 1,2gs.

e *Resonancia*

Se produce cuando la frecuencia de las fuerzas de excitación coinciden con alguna frecuencia natural de vibrar de algún elemento, dado que en la práctica los términos “Frecuencia Natural”, “Resonancia” y “Velocidad Crítica”, tienen a confundirse, por lo que haremos la siguiente diferencia:

***Frecuencia Natural:*** Es la capacidad de vibrar que posee cada cuerpo, dependiendo de sus características físicas y materiales.

***Velocidad crítica:*** es la velocidad a la cual se produce la mayor deflexión del eje.

***Resonancia:*** La resonancia solo amplifica vibraciones de otras fuentes de excitación, no genera vibraciones, sin embargo, esta amplificación puede ser muy severa.

***Resonancias armónicas:*** Se genera a un múltiplo de la frecuencia de la fuerza excitadora.

***Resonancia sub-armónicas:*** Se genera a una fracción de  $\frac{1}{2}$ ,  $\frac{1}{3}$ ,  $\frac{1}{4}$ ,...etc. de la frecuencia de la fuerza excitadora.

Las características de la resonancia son:

- o La frecuencia de la vibración a las velocidades críticas, es a 1x.  
Las resonancias armónicas generan vibraciones a un múltiplo de la frecuencia de la fuerza excitadora (generalmente “n”x).
- o Al aumentar o disminuir la velocidad de la máquina, las vibraciones disminuirán significativamente (forma fácil de detectar el problema).

### *f Distorsiones*

La distorsión causa vibraciones de una manera indirecta, sea generando desalineamiento, causando roces internos u otros.

Las distorsiones generalmente se generan por:

1. Fuerzas excesivas de cañerías y distorsión de fundaciones, ocasionando a veces que el pié de la carcaza se desprende de la placa base.
2. Por el a veces llamado “pié flojo”. Esto sucede:
  - Si los soportes de una máquina no están en un mismo plano.
  - Si la máquina es apretada a una base no pareja, o no plana.
  - Choque térmicos.

Las características:

- Generalmente genera una alta vibración a 1x y a veces un 2x o 3x.
- Genera una vibración direccional. La fase entre las vibraciones horizontales y verticales en un descanso, son de aproximadamente 0° ó 180°.

### *g Engranajes*

Es fácil identificar la vibración provocada por los problemas de los engranajes, porque normalmente se produce la vibración a una frecuencia igual a la del engranado, esto es:

Nº dientes del engranaje x RPM engranaje defectuoso
---

Los problemas más comunes de los engranajes que producen vibraciones a las frecuencias del engranado, incluyen el desgaste excesivo de los engranajes, lubricación defectuosa o material extraño dentro de los dientes del engranaje.

La frecuencia de engrane vibratoria se debe en algunos casos a la desviación en el perfil del diente respecto a su forma ideal de involuta.

Las principales fuentes de tales vibraciones son, entre otros:

- La flexión del diente bajo carga.
- Los errores geométricos del perfil del mismo debido al proceso de maquinado o al desgaste.

#### *h Otros*

Entre otros factores causales de vibraciones, se conocen también:

- **LATIDO:** Vibración que se produce entre dos máquinas cuando las frecuencias de las fuerzas excitadoras alternadamente y de modo continuo, entran en fase.
- **FROTAMIENTO:** Es el efecto de contacto entre las partes rotativas y estacionarias de una máquina, que pueden generar frecuencias a 2 veces la velocidad rotativa.
- **CHOQUES TERMICOS:** Se produce por cambios de temperatura en los sistemas, genera una vibración de muy baja frecuencia por lo que es difícil de medir.



- VARIACIONES DE CARGA: Los cambios de carga en una máquina generalmente producen cambios en la componente  $1x$ .
- PROBLEMAS ELECTRICOS: Debido a diferencia en las fuerzas magnéticas, y se producen a la frecuencia de la línea eléctrica,  $1x = 3000$  cpm.
- EFECTOS HIDRAULICOS Y AERODINAMICOS: El paso de elementos fijos, por ejemplo, el rodete de una bomba que pasa frente a los álabes directrices, producen perturbaciones locales de presión generando una vibración con frecuencia igual al número de álabe pro RPM del eje.

Para el calculo de las frecuencias de falla, se deben tener los siguientes datos:

#### BOMBAS CENTRIFUGADAS Y VENTILADORES :

- Velocidad de giro (RPM)
- Número de álabes del rodete.

#### MOTORES:

- Velocidad de giro (RPM)
- Número de polos
- Frecuencia de la red eléctrica (60 Hz).

#### RODAMIENTOS:

- Velocidad de rotación (RPM)
- Tipo de rodamiento

- Cantidad de elementos rodantes
- Diámetro de los elementos rodantes
- Diámetro primitivo
- Angulo de contacto.

#### ENGRANAJES:

- Velocidad de rotación (RPM)
- Número de dientes
- Tipo de engrane
- Configuración del engranaje.

### **4.3.8 Equipo colector de Vibraciones**

El análisis de la señal vibratoria se ha constituido en uno de los elementos indispensables para el Diagnóstico de Fallas.

El solo conocimiento de la amplitud global de las vibraciones no permite sino estar en las puertas de un problema y desconoce sus verdaderas características y origen.

La utilización del osciloscopio, señal en el Dominio del tiempo, puede ayudarnos, pero el problema no es sencillo, y se requiere de un buen conocimiento de ondas y una excelente resolución para discernir la naturaleza de los componentes distorsionadores de la onda principal.

Por ello es que desde hace unas décadas las empresas industriales han venido demandando la aplicación de equipamiento instrumental que les

permita conocer la naturaleza y características de las frecuencias principales del fenómeno vibratorio.

Década 60	ANALIZADOR SINTONIZABLE
Década 70	ANALIZADOR ESPECTRAL
Década 80	ANALIZADOR COLECTOR

#### **4.3.9 Actividades para la implementación del MPd.**

- Listado de Equipos a incluir en el Programa.
- Niveles aceptables de los parámetros a controlar.
- Niveles normales de los parámetros y condición actual de las máquinas
- Selección de puntos de chequeo periódico.
- Selección del intervalo para chequeos periódicos.
- Arranque de un sistema de Registro de Datos
- Entrenamiento del Personal (Inspectores)

#### **4.4 Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC)**

Una vez que la información esta registrada, las técnicas de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC) se aplica a los esfuerzos preventivos y predictivos para optimizar los programas. Si un activo en particular es sensible al medio ambiente, está relacionado con la seguridad, o es extremadamente importante para la operación, entonces se escogen y utilizan las técnicas apropiadas de MP / MPd.

Si un activo va a restringir o impactar la producción o la capacidad operacional de la compañía, entonces se aplica otro nivel de actividades de MP

/ MPd teniendo un costo tope en mente. Si por descuido se dejó que un activo fallara y fuera costoso reemplazarlo o reconstruirlo, debe entonces especificarse otro nivel de actividades de MP / MPd. Siempre existe la posibilidad de que sea más económico dejar que algunos activos funcionen hasta que fallen. Esta acción se considera en el MCC.

Las herramientas del MCC requieren que la información sea efectiva. Por esta razón el proceso del MCC se utiliza después de que la organización haya logrado un nivel de madurez que asegura información exacta y completa de activos.

#### **4.4.1 Definición**

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM) es un enfoque evolucionista para la Confiabilidad del equipo. Se centra en la optimización de los programas de mantenimiento preventivo y predictivo para aumentar la eficiencia del equipo (tiempo de funcionamiento, desempeño y calidad) mientras que minimiza los costos de mantenimiento relacionados. El enfoque del RCM para determinar si una falla debe ser tomada en cuenta se ilustra en el Diagrama 08 (ver al final de la Tesis en Diagramas/Esquemas).

En Diagrama mencionado tiene en cuenta las consecuencias de una falla cuando se evalúan las tareas de mantenimiento preventivo o predictivo. Por ejemplo, si por falla se pone en peligro un aspecto normativo como la seguridad de un empleado o el medio ambiente,

entonces los programas preventivo y predictivo se deben modificar de tal forma que la consecuencia pueda:

- Prevenirse por el adecuado mantenimiento preventivo.
- Monitorearse por técnicas predictivas de modo que pueda identificarse el tiempo de la falla y pueda cambiarse el componente defectuoso antes de que ocurra la falla, o
- Evitarse cambiando el diseño del equipo a fin de eliminar el componente que eventualmente llegaría a fallar.

Si la falla causara una importante interrupción en la producción o pérdida en el proceso, entonces el mismo proceso se aplicaría para eliminar el problema.

Si la respuesta a las dos primeras preguntas del diagrama de decisiones fueron no, entonces la última pregunta es: ¿Causaría la falla un daño considerable al equipo y sería costosa la reparación? Si la respuesta es sí, entonces se aplicaría el proceso preventivo y predictivo.

Si la respuesta es no, entonces dejar que el equipo funcione hasta que falle es una alternativa aceptable (“funcionar hasta que falle” es la filosofía de que el equipo debe estar en funcionamiento hasta que falle en vez de realizarle mantenimiento preventivo).

En realidad, aunque parece simple, el proceso conlleva un análisis significativo en cada uno de sus pasos. Considérese la comprensión de la dinámica de operación del equipo que se requiere para identificar las posibles fallas del componente y todas las consecuencias de cada una de ellas. Entonces hay que considerar el nivel de comprensión de las

técnicas preventivas y predictivas para tomar una decisión sobre que técnica prevendría o detectaría una falla.

Así, la razón por la que la mayoría de los proyectos de MCC se realizan en equipo es que ningún individuo tiene todo el conocimiento para tomar todas las decisiones en el proceso de MCC.

Es bien conocido que una parte esencial para lograr una alta confiabilidad y mitigar los riesgo catastróficos, es tener buen Mantenimiento Preventivo. Se sabe también que niveles altos de Mantenimiento Preventivo no son óptimos ni económicos. John Day de la Empresa Alumax resalta que el 70% de las fallas son causadas por nuestras acciones u omisiones. Estudios realizados por HSBRT muestran que en general mas del 50% de las ordenes de mantenimiento son predecibles. Es decir, las fallas han podido ser evitadas.

Existe un costo de capital en el desarrollo e implementación de la estrategias de mantenimiento de equipo y planes de Mantenimiento Preventivo y un costo operativo asociado con la ejecución de este Mantenimiento Preventivo. El objetivo aquí es invertir (gasto dinero) para ganar un retorno (ahorro de dinero) y es importante para nosotros continuamente chequear para asegurarnos que nuestras tareas preventivas estén añadiendo valor y así obtener un retorno para el negocio.

La visión que se tiene en la nueva gestión de mantenimiento es tener un alto nivel de conocimiento de los modos de falla de sus equipos

críticos y un programa de mantenimiento preventivo para cada uno que será continuamente mejorado y optimizado para el negocio.

#### 4.4.2 Definición de la Estrategia.

El mantenimiento centrado en la Confiabilidad (RCM, iniciales en ingles de Reliability – Centered Maintenance) es una estrategia para alcanzar la máxima confiabilidad del equipo y una extensión de la vida útil del equipo al mas bajo costo. La implementación identifica las funciones específicas del equipo en su contexto operacional exacto. Luego, los estándares de funcionamiento del equipo son identificados para cada función y las fallas son definidas si el estándar de funcionamiento no es alcanzado. Basado en las consecuencias de las fallas, un programa de mantenimiento caracterizado por técnicas de “monitoreo de la condición” es aplicado para identificar las *fallas potenciales* (equipo esta comenzando a fallar) en forma precisa y rápida para prevenir su deterioro hacia una falla funcional (equipo deja de operar). De esta manera, la vida del equipo es extendida y las consecuencias de las fallas funcionales son reducidas o evitadas.

Modernos equipos industriales de producción tienen que cumplir metas con mayor demanda de producción y calidad. Por lo tanto, estos han sido diseñados con mayor confiabilidad. Pero, también han llegado a ser altamente complejos. De esta manera, mejor personal calificado es requerido para entender esta confiabilidad mejorada. RCM es una estrategia efectiva para alcanzar esta mayor confiabilidad.

Pocas organizaciones de mantenimiento están notando la mejor confiabilidad diseñada dentro del equipo industrial moderno. Mismo que estos aplican tecnologías mas modernas de mantenimiento y obtienen mejor información del funcionamiento del equipo, son rara vez exitosos. Esencialmente, muchos no han alterado las estrategias tradicionales de mantenimiento construidas solamente en acciones “basadas en el tiempo” como inspecciones, servicios, reemplazo de repuestos principales y overhauls. RCM contradice los preceptos tradicionales que la confiabilidad del equipo esta directamente relacionado al tiempo de operación del mismo.

En contraste, identificando la naturaleza de las fallas en un equipo, RCM especifica una estrategia que reduce las consecuencias de la falla del equipo. Considere por ejemplo un camión de 190Tn, que es usado en minería. Su función primaria es mover mineral o desmonte de un punto de carga hacia una Chancadora o zona de disposición de desmonte. El camión tiene que llevar a cabo esta función dentro de un estándar específico de realización, que es:

Llevar una carga de 190 Tn ya sea de subida o bajada con una pendiente de 12% y una velocidad mayor a 30 MPH durante todas las condiciones de clima para períodos de 24 horas, parando solo para rellenar combustible, chequeos periódicos del operador y cambios de guardia.

Cualquier condición que no cumple con el funcionamiento estándar establecido, constituiría una falla. Hay dos tipos de fallas:



- Falla Potencial.- Es una condición física identificable que indica que el proceso de falla ha comenzado.
- Falla Funcional.- Es la inhabilitación de una unidad o componente del equipo para cumplir un funcionamiento estándar especificado.

Para intervenir con anticipación en la detección de fallas potenciales y distinguirlos con precisión de la condición normal de operación, técnicas de “monitoreo de la condición” como el análisis vibracional son usados. Ellos detectan el deterioro con mucha mayor precisión y confiabilidad que lo pueda hacer el humano. El análisis que acompaña la implementación del RCM asegura que las técnicas de “monitoreo de la condición” son aplicados correctamente de acuerdo a la prioridad que evitan las consecuencias de las fallas.

#### **4.4.3 Proceso de Falla del Equipo.**

La comprensión del proceso de falla del equipo es esencial. Generalmente, componentes de cualquier equipo mecánico están sujetos a desgaste, corrosión y fatiga. Como el deterioro incrementa, la confiabilidad del equipo decrece. A menos que sea detectado y corregido, el deterioro de componentes se incrementa hasta que el equipo falla. Mantenimiento observa, detecta y corrige el proceso de falla. Ellos hacen esto a través de inspecciones y servicios en intervalos establecidos. Luego, anticipan el tiempo probable al cual los

componentes fallaran para remplazarlos y realizar “overhauls” en fechas predeterminadas.

Un “overhaul” aplicado a un equipo completo, se inspecciona cada componente o ensamble, si justifica se reemplaza con uno nuevo o se reconstruye el componente para que el equipo quede en las condiciones de uno nuevo.

El mantenimiento industrial bajo la filosofía de “overhauls” basados en el tiempo, ha prestado menos atención a como fallan los componentes y las consecuencias de su falla. Experiencias con RCM demuestra que se asume sin un buen juicio que un componente ya no sirve y llega a ser menos confiable cuando el tiempo de operación aumenta. De esta manera, el procedimiento estándar operacional en el mantenimiento industrial intenta restaurar las condiciones del equipo a través de reemplazos periódicos y “overhauls”. Haciendo esto, mantenimiento ha tendido a bloquear el proceso de falla y la pregunta de que constituye una falla.

En consecuencia, este bloqueo ha liderado la estrategia del mantenimiento para evitar paradas y pérdida de producción en vez de una basada en un rango mas amplio de las consecuencias por la que falla un equipo. Debido a que estas consecuencias impactan en todo, desde el entorno hasta lo económico, estos demandan una mayor atención de la que reciben.

El “monitoreo de la condición”, que puede obtener evidencia precisa que una falla esta ocurriendo, es de lejos una mejor respuesta para

evitar fallas y sus consecuencias que aquellos que están basados en el tiempo de operación. Por lo tanto, la implementación de RCM requiere una comprensión explícita del proceso de falla y de la importancia de la aplicación de técnicas de monitoreo de la condición para prevenir fallas y evitar sus consecuencias.

#### **4.4.4 Comprensión de las fallas del equipo.**

Una implementación exitosa de RCM requiere la comprensión de las fallas y como ocurren. Las fallas tienen que ser considerados prioritarios en el contexto del usuario. De esta manera, una desviación de la condición original del equipo que es insatisfactorio al usuario del equipo constituiría una falla. Por ejemplo:

Un motor que trabaja discontinuamente a alta velocidad, es considerado una falla para un conductor de carros de carrera, pero quizás no para el conductor de cada día. Similarmente, una llanta gastada pero que mantiene el aire, permitiría manejar en la ciudad, pero su falta de cocada es una falla para un conductor en invierno.

Una falla es una condición insatisfactoria. Pero, la diferencia entre insatisfactorio y satisfactorio depende de la clase del equipo y las condiciones operativas. Para ilustrar:

Un motor de un volquete en minería, con baja comprensión impediría que el equipo suba una pendiente de 12% con una carga de 190 Tn. Para mantenimiento, el volquete funciona, pero para el Supervisor de

Mina quien tiene que cumplir con metas de producción, el volquete ha fallado.

Similarmente, un reductor que pierde aceite tiene una falla desde el punto de vista del Departamento de Seguridad porque el aceite derramado es una condición insegura que puede provocar un accidente en el personal que trabaja alrededor. Sin embargo, para mantenimiento se considerara que el reductor tiene una falla cuando la fuga es excesiva y pone en peligro su operatividad. Por otro lado el Supervisor de Operaciones, la falla se habrá dado solamente cuando el reductor deje de mover la faja transportadora.

Desde el punto de vista de mantenimiento, las fallas son clasificadas como fallas potenciales (una indicación que el proceso de falla ha comenzado) o como fallas funcionales (no realiza las funciones designadas como estándar). Las fallas potenciales incluyen:

- Vibración señala el inicio de una posible falla de rodamiento, desbalanceo, desalineamiento.
- Roturas indican el inicio de la fatiga en el metal.
- Puntos calientes muestran el deterioro en los refractarios de un horno en Fundición.
- Partículas metálicas en un reductor indica una posible falla de los engranajes.
- Excesivo desgaste de las cocadas en las llantas.

El desarrollo del mas efectivo Programa de Mantenimiento requiere que las fallas funcionales sean definidas y que la detección usando el monitoreo de la condición sea especificado.

#### 4.4.5 Implementación del RCM

La implementación sigue un procedimiento de ocho pasos comenzando con la selección del equipo mas crítico y terminando con un programa completo para evitar las consecuencias de una falla.

1. Selecciona el equipo mas críticos. Asumamos que el equipo mas critico en una operación particular sea la flota de volquetes de 190 Tn.
2. Identifica las funciones del equipo mas crítico. Que es lo que hacen exactamente estos volquetes en el contexto operativo?
3. La función primaria de la flota de volquetes de 190 Tn es mover mineral o desmante de un punto de carga hacia la Chancadora o la Zona de acumulación de desmante.

Establecer la Operación Estándar. Que tan bien tiene que operar el volquete en las condiciones que opera? Cada volquete tiene que estar habilitado para:

Transportar 190 Tn de carga en subida o bajada con una pendiente de 12% a velocidades mayores a 25 MPH durante todas las condiciones de clima por periodos de 24 horas, parando solo a cargar combustible, chequeos periódicos del operador y cambios de guardia.

4. Determinar los tipos de falla. Cualquier condición que no permite a un volquete cumplir con la operatividad estándar, constituiría una falla.

En los volquetes, fallas potenciales típicas serían:

- Vibración señala el inicio de una falla en la transmisión.
- Fisuras indican el inicio de la fatiga en la carcasa del volquete.
- Partículas metálicas en el aceite del motor indica posible falla de los rodamientos.

Una falla funcional en el volquete no le permitiría cumplir su operación estándar como:

- Presión hidráulica es insuficiente para levantar la tolva
- Baja compresión del motor reduce la fuerza del motor.
- Cortos eléctricos inactivan los accesorios de prevención (luces, circulina, etc.)

también tenemos que ser conscientes de las fallas ocultas en donde las fallas no aparecen hasta que se da la falla funcional.

Típicamente, estos incluirían:

- El operador pisa el pedal de freno y el volquete sigue en movimiento.
- El operador activa la palanca para levantar la tolva pero no responde.

5. Enumera las consecuencias de las fallas. ¿Cuál será el resultado si una falla específica ocurre?

Las consecuencias de una falla pueden ir desde un inconveniente hasta algo catastrófico. Por ejemplo, Un volquete donde no funcionan las luces de peligro, puede ser reparado y puesto en su condición estándar con una parada corta que duraría el encontrar y cambiar un fusible. Sin embargo, un volquete sin frenos puede acelerar su velocidad, colisionar con otro volquete, dañar ambos equipos, lesionar a los conductores y bloquear la vía por seis horas.

En el contexto completo, tenemos que considerar que el mantenimiento puede afectar todas las fases de la operación industrial. Típicamente, sin un equipo confiable, las metas de producción no pueden ser cumplidas. Luego un equipo no confiable puede lesionar al operador, crear condiciones inseguras. Por todas estas razones, evitar las consecuencias de una falla tiene que ser un objetivo primario para el mantenimiento.

6. Clasifica por importancia las consecuencias de las fallas. Porque un equipo moderno de producción industrial ha crecido en complejidad, el número de formas como puede fallar se ha multiplicado. Por lo tanto, las consecuencias de las fallas tienen que ser clasificadas para guiarnos en tomar las acciones preventivas y correctivas. Por ejemplo:
  - Fallas relacionadas con la Seguridad, dañan al personal tanto como al equipo.
  - Fallas operacionales ocasionan pérdida de producción más el costo de la reparación.

- o Fallas no operacionales resulta solamente en el costo de la reparación.

En la industria, los aspectos mas importantes son la prevención o reducción de las consecuencias en las fallas de seguridad y las operacionales. Por lo tanto, la técnica mas competente de monitoreo de la condición son aplicadas al equipo mas critico para la seguridad de los individuos y el proceso productivo.

7. Aplicar la técnica mas efectiva de Monitoreo de la Condición. Para detectar las fallas potenciales con anticipación y precisión, técnicas de monitoreo de la condición como análisis vibracional son usados. Estos son capaz de detectar deterioros en la condición del equipo con una mucho mayor precisión y confiabilidad que lo hace el hombre. Estas técnicas también detectan fallas ocultas que el hombre no esta en condiciones de hacerlo. Con las disponibilidad de técnicas mas efectivas y confiables de monitoreo de la condición, la condición en tiempo real del equipo puede ser monitoreado con mas precisión. Esto permite que un equipo siga operando mientras continua cumpliendo con su operatividad estándar, antes que remplazar el componente al primer indicio de falla potencial. En contraparte, esta aproximación nos da una mayor vida de los componente y los equipos.
8. Establecer un plan general de mantenimiento. Basado en las consecuencias de las fallas, un programa de mantenimiento caracterizado por técnicas de monitoreo de la condición es aplicado



para identificar las fallas potenciales en forma precisa y rápida para prevenir su deterioro y llegar a una falla funcional. El mas efectivo programa de mantenimiento es construido en base a los puntos anteriores:

- Equipo critico es identificado
- función del equipo es determinado
- Operación estándar es establecida
- Tipos de falla son identificados, componente por componente
- Las consecuencias de las fallas son determinadas para cada falla
- Las consecuencias de las fallas son clasificados para dar prioridad a acciones preventivas.
- Lo mejor, las mas aplicables técnicas de monitoreo de la condición son aplicadas.

Luego, las técnicas de monitoreo de la condición seleccionadas, son incluidas dentro programa de mantenimiento existente para proteger la flota de Volquetes de las fallas funcionales y sus consecuencias.

#### **4.4.6 Consecuencias de las fallas.**

Mientras el equipo crece en complejidad, el número de formas de falla se multiplican. Por lo tanto, consecuencias de la falla son clasificadas por grados. Por ejemplo:

- Una falla de seguridad pone en riesgo tanto al personal como al equipo.

- Una falla operacional resulta en pérdida de producción más el costo de reparación.
- Una falla no operacional resulta solamente en el costo de reparación.
- Una falla oculta incrementa la posibilidad de otras fallas por la razón de la interacción indetectada de componentes que impactan el uno contra el otro.

La seriedad de las consecuencias determina entonces la prioridad de las técnicas de monitoreo de la condición a aplicar. En la industria, los aspectos más importantes son la prevención o reducción de las consecuencias de seguridad y fallas operacionales. Por lo tanto, los tipos de técnicas de monitoreo más competente son aplicadas al equipo más crítico en lo referente a seguridad de individuos y el proceso productivo.

#### **4.4.7 Mediciones**

- Medir y monitorear el número de acciones correctivas que han sido generadas en cada PM y usarlo esto para ayudar a identificar oportunidades de mejora. Medir en forma global el promedio del número de acciones correctivas generadas en 10 PMs (esta debe ser de 3 a 4) y usar esto como una medida de progreso global del mantenimiento preventivo.

- o Lograr más del 90% de cumplimiento del programa en las rutinas del mantenimiento preventivo. Las organizaciones de Clase Mundial exceden el 90%.

#### 4.4.8 Ventajas del MCC

Al igual que con otras partes del programa de mantenimiento, es necesario lograr un rendimiento financiero sobre la inversión en el programa antes que la administración permita su continuación. El programa MCC produce un rendimiento financiero por lo menos en estas tres áreas importantes:

##### *a Tiempo de funcionamiento del equipo*

Puesto que el equipo es cuidadosamente monitoreado por los programas de MP Y MPd, existen pocas averías, si las hay, lo cual significa un máximo tiempo de funcionamiento para el equipo de la planta, con lo cual indicadores de gestión tales como Vida del Equipo y Tiempo Promedio entre Fallas se verán incrementadas. Respecto al rendimiento de la producción, este aumenta ya que el equipo está en línea constantemente. Cuando se calcula el costo de la producción incrementada, debe mostrar un rendimiento significativo sobre la inversión en el MCC.

##### *b Capacidad del equipo.*

Además de aumentar el tiempo de funcionamiento el programa de MCC mejora la eficiencia del desempeño. El equipo funciona ahora a

una determinada velocidad y capacidades, por ejemplo, al 70% u 80% de lo que fue diseñado para producir. Esto deja un 20% o 30% de rendimiento sobre el activo como pérdida de producción. Si se realiza esta producción, los ahorros pueden ser significativos. El proceso del MCC puede ayudar a recuperar esta capacidad perdida.

*c Recursos para el trabajo de mantenimiento.*

En este nivel de madurez, la organización de mantenimiento no se encuentra apagando incendios. Los ahorros no provienen de mayor productividad de la mano de obra; por el contrario, provienen de eliminar el trabajo de mantenimiento en forma de tareas inefectivas de mantenimiento preventivo que se hacen con demasiada frecuencia, o inspecciones predictivas efectuadas también con demasiada frecuencia o que son innecesarias.

#### **4.4.9 Problemas en la implementación del MCC**

Actualmente, la mayoría de las organizaciones, aparte de las aerolíneas y la industria nuclear, no se esfuerzan realmente en implementar MCC. Es posible que ensayen un pequeño proyecto en alguna de sus secciones, pero no tienen un verdadero enfoque organizado o estructurado para aplicar MCC. Por qué la mayoría de las compañías no tienen éxito con el MCC? Los siguientes son ocho problemas comunes que impiden el éxito del MCC.

*a Insuficiente información sobre fallas en el equipo*

Para que el programa de MCC sea efectivo se necesita disponer de información histórica sobre las fallas del equipo, a saber, tipos de fallas, frecuencia y causas. Sin esta información el programa de MCC estará basado en conjeturas. El MCC es una función de ingeniería aplicada. La información de ingeniería no se procesa exitosamente en otras disciplinas de ingeniería y tampoco debe procesarse en el MCC.

La razón por la que la mayoría de las personas desean ensayar el MCC con la información de fallas del equipo es que tratan de incorporar el MCC demasiado pronto en el proceso de mejoramiento. El MCC es una técnica avanzada que se utiliza sólo cuando se están implementado programas efectivos de mantenimiento preventivo y predictivo. En este caso, un sistema de órdenes de trabajo o SCAM ya está recolectando la información de fallas y reparaciones del equipo.

Sin estas herramientas el programa de MCC virtualmente no tiene probabilidades de éxito.

*b Resultados deficientes en la aplicación de MP y MCC*

El programa de mantenimiento preventivo tiene como objetivo reducir las actividades de mantenimiento reactivo a menos del 20% de todo el trabajo de mantenimiento. El programa de mantenimiento predictivo tiene el propósito de eliminar todas las fallas no planeadas. Si estos dos programas no están produciendo resultados. Por qué cualquier compañía querría pasarse al MCC? Probablemente está ensayando el

“sabor del mes” o jugando “sopa de letras”. Como se ha mostrado en las secciones que cubren los programas de MP Y MPd, tales programas son exitosos cuando se implementan con un enfoque disciplinado.

Si no se aplican las disciplinas necesarias para que sean exitosos los programas de MP y MPd, ¿Cómo podría cualquier compañía pensar que sería exitosa con un enfoque de ingeniería para mantenimiento que requiera disciplina y estructura?

En tal caso, introducir un programa de MCC reflejaría una falta de comprensión de la evolución del mantenimiento. La compañía también carecería de disciplina organizacional para hacer exitosa cualquier iniciativa de mejoramiento. Concentrarse en las bases y madurar el programa de mejoramiento con un enfoque conveniente hará que el programa de MCC sea exitoso.

*c Insuficiente capacitación en metodología de MCC.*

El MCC tiene un enfoque lógico y estructurado. No permite que un individuo ande de un lado a otro ensayando varias piezas. Es necesario concentrarse pues el MCC es una metodología que debe aprenderse a cabalidad si una compañía quiere ser exitosa. Existen varios enfoques en la metodología del MCC. Algunos son flexibles, mientras que otros son más rígidos. Unos requieren mucha información, y otros menos. Algunos enfoques tienen más éxito en unas industrias que en otras. Depende de la compañía seleccionar el enfoque de MCC que satisfaga sus necesidades. Sin embargo, una vez que se ha escogido el enfoque,

todos los empleados involucrados en el MCC deben estar capacitados a un alto nivel de competencia en las técnicas apropiadas de MCC.

Uno de los principales factores que contribuyen a la falta de capacitación es no comprender la complejidad del MCC. Si se le considera sólo como otra “cuestión de mantenimiento”, entonces la complejidad se puede malinterpretar. El programa de MCC, puede considerarse como uno de los muchos aspectos que cubre el mantenimiento y que los empleados deben llegar a entender, pero este no es el caso. La inversión en capacitación se recuperará muchas veces por la aplicación del MCC. Sin capacitación sobre la aplicación del MCC nunca se lograrán los beneficios máximos para la organización.

*d Falta de aceptación organizacional.*

Este problema se relaciona con el anterior. La falta de aceptación o de apoyo organizacional se origina por la falta de comprensión de lo que realmente significa un MCC y de los beneficios que se pueden lograr a partir de un exitoso programa de MCC.

Existen dos aspectos principales: La capacitación y el arte de vender. La capacitación se enfoca en el desarrollo de los aspectos del MCC. ¿Cuáles son las oportunidades? ¿Cuáles son las pérdidas actuales? ¿En cuánto se puede reducir las pérdidas? ¿Cuánto costará el MCC? Estas son preguntas que deben responderse para lograr apoyo administrativo a largo plazo.

El arte de vender implica presentar el negocio de tal manera que la alta gerencia lo entienda claramente como para respaldarlo. Cuando se le vende a la administración el concepto de MCC, recuerde que muy pocos administradores o controladores de planta entienden realmente lo que significa el TPEF y el TPDR (Tiempo Promedio de Reparación). Sin embargo, se captará su atención si se les muestra un análisis de costo-beneficio o un estudio de caso de rendimiento sobre la inversión. Entonces, si se usan términos y herramientas que ellos entiendan, terminarán aceptando el programa.

*e Personal insuficiente para el programa.*

El MCC no es una actividad de tiempo libre que se realiza en vez de otras iniciativas de mantenimiento. Es una tarea adicional que requiere una financiación adicional para herramientas y personal. Después de todo generará ahorros adicionales. A pesar de las actuales tendencias para no aumentar el personal, si se quiere que el programa de MCC sea exitoso, la compañía tendrá que destinarle personal. De lo contrario, las personas que realicen el MCC tomarán atajos y producirán resultados menos que óptimos, por lo cual nunca se obtendrá el rendimiento sobre la inversión que era posible.

La mayoría de las compañías invertirán sin dudarle US\$ 200.00 para obtener US\$ 1 millón de rendimiento en un año, estaría dispuesta a hacer cola en un banco de inversiones para lograr semejante negocio. En sus plantas pueden hacer el mismo negocio, sin embargo es un



negocio al que nunca se le ha hecho publicidad. Lo que deben hacer las compañías es cambiar su forma de pensar sobre la cantidad de personal que se necesita.

*f Actividades reactivas o instantáneas de MCC.*

Este problema surge después que una compañía experimenta una falla en una máquina y alguien lee un artículo sobre cómo el MCC resolvió el problema de las averías en otra compañía. La persona y la compañía quedan atrapadas con el término confiabilidad, aunque en realidad nunca lo entienden. Todo lo que saben es que puede ser la panacea que resolverá el problema. El MCC no es la panacea, pero si es una valiosa herramienta especialmente cuando se conjuga con un programa disciplinado de mejoramiento de mantenimiento.

Cualquiera que piense que el MCC es una solución rápida o una actividad a corto plazo debe recordar que un completo programa de mejoramiento de mantenimiento puede convertir a una organización con mantenimiento reactivo en una organización con mantenimiento de clase mundial. Esto toma de tres a cinco años sin atajos exitosos, y se precisa el mismo lapso de tiempo para aprender la disciplina y cambiar los modelos organizacionales.

*g Enfoque del equipo a corto plazo.*

Este problema ocurre cuando los individuos en la organización carecen de visión técnica y no entienden el verdadero ciclo de vida de su equipo y sus componentes. Esta falta de comprensión lleva a

perspectivas tales como: “Esta duró más que la anterior. Entonces nuestras correas trapezoidales se desgastan cada seis meses; ¡creemos que eso está muy bien! Aquellos rodamientos duraron en realidad dos meses esta vez.” Pero las preguntas convenientes deberían más bien ser: ¿Cuál es el diseño de vida de estos componentes básicos? ¿Están en realidad las compañías aprovechando toda la vida útil de los componentes o solamente están satisfechas porque duraron tanto?

Si las compañías quieren tener éxito con el MCC, deben entender que sus equipos tienen que durar más de lo que duran actualmente, antes que presenten averías o se desgasten tanto que deban ser cambiados. Las compañías deben preocuparse por lograr que el equipo dure más y se desempeñe mejor. Las compañías dispuestas a que sus equipos se agoten, desgasten, o presenten un desempeño por debajo de las normas, no sobrevivirán en el ámbito competitivo actual.

*h Deficiente disciplina organizacional.*

Este problema se relaciona con la falta de enfoque. Si desea lograr sus metas, la organización no puede distraer la concentración respecto a su misión, el plan de mejoramiento y la metodología de implementación necesaria. Actualmente, se hacen muchos cambios administrativos a medida que las personas entran y salen de la organización. Estos cambios pueden causar una falta de enfoque o de visión. Los constantes cambios de administración en algunas compañías inspiraron el término de “administrador bungee”. Con este tipo de rotación, la organización

desarrolla la actitud: “No nos gustan estos cambios; esperemos un poco y un nuevo administrador reemplazará a este; quizás nos guste más sus ideas”.

La organización nunca desarrolla la disciplina de aferrarse a cualquier metodología de mejoramiento. Cualquier esfuerzo por mejorar no se consolida lo suficiente como para arraigarse en la cultura de la compañía. Así, no se desarrolla un compromiso y nunca se logran las mejoras a largo plazo. Una dirección fuerte y comprometida es decisiva para desarrollar una organización disciplinada y con buen enfoque.

#### **4.5 Mantenimiento Productivo Total (TPM)**

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) es una filosofía operacional en la que cada persona de la compañía entiende, de alguna forma, que su desempeño en el trabajo incide en el desempeño de los activos. Por ejemplo, quienes desempeñan las operaciones deben entender la verdadera capacidad del equipo y no hacerlo funcionar excediendo las especificaciones de diseño, generando fallas innecesarias. El departamento de compras debe siempre adquirir los recursos con las especificaciones correctas y no tratar de ahorrar una pequeña cantidad de dinero, generando averías pues los repuestos no duraron lo que se esperaba.

La filosofía del MPT se centra en los roles y responsabilidades de todas las partes de la compañía para optimizar la inversión en los activos. El MPT puede

incluir, aunque no limitarse a, las actividades de operaciones, mantenimiento, inventario, compras, ingeniería y administración.

El TPM es similar a la Administración de Calidad Total. El único cambio es que en vez de que las compañías se centren en sus productos, el centro está en sus activos. Todas las herramientas y técnicas utilizadas para implementar, sostener y mejorar el esfuerzo de la calidad total se utilizan en el TPM.

#### **4.5.1 Definición**

Este capítulo examina uno de los conceptos más mal interpretados y aplicados en las organizaciones modernas. El mantenimiento productivo total no es tanto una iniciativa de mantenimiento o un programa de mejoramiento, sino más bien una filosofía operacional estratégica.

El mantenimiento productivo total (TPM, de las siglas en inglés Total Productive Maintenance) involucra en la mejora del equipo a todos y cada uno de los individuos de la organización, desde los operarios hasta la alta gerencia.

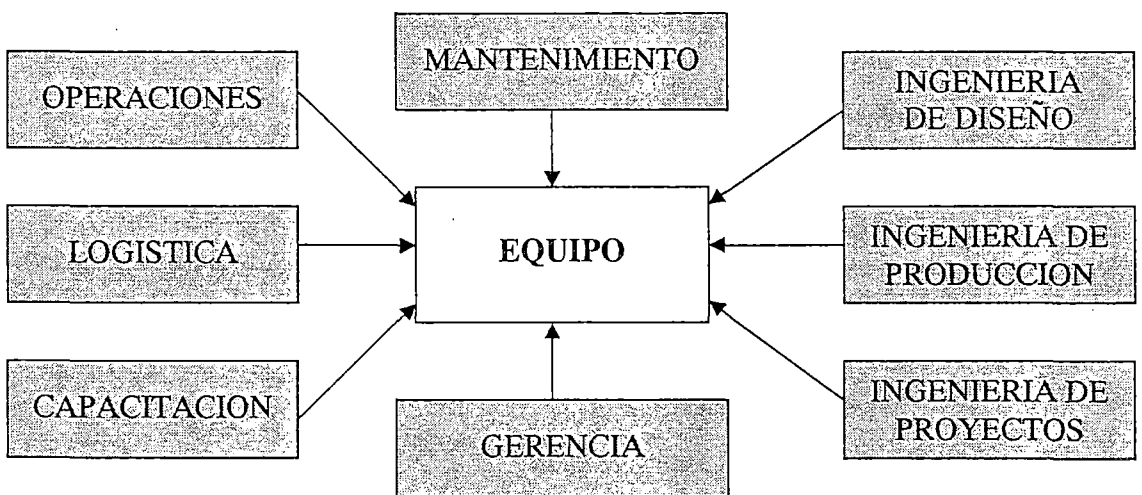
El mejoramiento del equipo no significa sólo una mejora incremental, sino también la utilización óptima del equipo. El objetivo es eliminar toda pérdida de producción causada por el equipo. Existen muchas teorías sobre los tipos de tales pérdidas, pero las seis básicas a eliminar son:

1. Averías.
2. Pérdidas por ajuste preparación.
3. Pérdidas por interrupción menores y paradas de equipo.

4. Pérdidas por puesta en marcha y apagado.
5. Pérdidas por velocidad o capacidad reducidas.
6. Defectos de calidad o trabajo hecho nuevamente.

La eliminación de estas pérdidas de la operación del equipo asegura una máxima eficiencia del mismo en su conjunto. Sin embargo, su eliminación supera la capacidad de cualquier departamento. Esta es la razón por la que el MPT es una filosofía operacional, ya que están involucrados todos los departamentos que de alguna manera influyen en la utilización del equipo y que deben ser parte del programa de MPT. La Ilustración 4.2 representa como todas las áreas deben enfocarse hacia un mismo punto.

Ilustración 4.2: Enfoque del TPM



Todos los departamentos deben enfocarse en la manera como influyen en el equipo. El diagrama es el mismo que se utiliza para ilustrar el proceso de Administración de Calidad Total (ACT), con la excepción de que en vez de centrarse en el producto, el MPT se concentra en el equipo. De hecho, las compañías que tuvieron éxito con el proceso ACT, por lo general tienen éxito con el proceso TPM. Sin embargo, aquellas compañías que generalmente han tenido problemas con el proceso ACT, también los tendrán con el TPM.

Actualmente, uno de los mayores problemas que enfrenta el TPM también creó problemas con ACT traducidos en recortes de personal. Los recortes afectan la motivación de los empleados, la cual es un factor de Éxito decisivo para la implementación y continuación del MPT. Si no existen suficientes empleados altamente motivados y calificados, el MPT tiene pocas oportunidades de éxito.

Si el MPT es una filosofía operacional, ¿Cuáles son entonces las metas y los objetivos del proceso? Realmente existe una sola meta y cuatro iniciativas de apoyo. La meta es mejorar continuamente la efectividad del equipo. La compañía desea asegurarse que en ninguna parte del mundo exista otra compañía que tenga el mismo equipo o procesos que ella tiene, o que pueda obtener más producción de su equipo o del proceso. De otra forma, el competidor será un productor con costos bajos, dejando a la compañía en segundo lugar.

Un ejemplo común compara el equipo y procesos de la compañía con un equipo de carreras de NASCAR. En una carrera de NASCAR, todos

los carros son básicamente iguales, algo similar a una compañía que tiene el mismo equipo que sus competidores. El ganador se determina en cómo todo el equipo (personal de pits, ingenieros de diseño, conductor, técnicos de fabricación, etc.) funciona conjuntamente, concentrado en ganar la carrera. El productor con costos bajos en mercados competitivos está hoy determinado por la manera en que funciona la organización como un todo y se centra en obtener más ganancia de los mismos activos, al igual que sus competidores. Este enfoque constituye la filosofía del TPM.

La filosofía está respaldada por cuatro actividades de mejoramiento:

- Mejorar la eficiencia y efectividad del mantenimiento.
- Centrarse en administración de equipo y prevención de mantenimiento oportuno.
- Capacitar a todo el personal involucrado para mejorar sus destrezas.
- Involucrar a los operarios en algún mantenimiento diario de su equipo.

Mejorar la eficiencia y efectividad del mantenimiento asegura que el departamento de mantenimiento sea tan efectivo y eficiente como el personal de pits en la carrera del NASCAR. El desempeño del personal de pits se mide en décimas de segundo. Cualquier tiempo que se pierda en una parada de pits, así sea una décima de segundo, puede significar

la diferencia entre ganar y perder. Cada décima de segundo en el cruce de la meta representa dos autos de distancia.

¿Cuánto tiempo pierde cada día el personal de mantenimiento de la compañía?

¿Es suficiente para constituir una diferencia básica en pérdidas o ganancias?

Centrarse en administración de equipo y prevención de mantenimiento oportunas significa examinar el equipo para hacerlo más fácil de mantener o eliminar por completo la actividad de mantenimiento. Los nuevos automóviles son el mejor ejemplo de esta actividad. En comparación con los modelos de los años 70, los carros de hoy necesitan menos mantenimiento (afinamiento), sin que se sacrifique el desempeño. Los cambios de diseño se hicieron con base en estudios de ingeniería. Lo mismo puede aplicarse al equipo de producción en las plantas actuales. Se pueden efectuarse estudios de ingeniería para encontrar mejores materiales, métodos e incluso formas de hacer que el mantenimiento sea más rápido de realizar.

La capacitación se ha mencionado en un capítulo anterior. Es decisivo capacitar a los empleados para las nuevas tareas que desempeñarán. Sin esta capacitación las tareas se realizarán parcial o incorrectamente. Esto puede llevar a resultados deficientes y generar problemas en el equipo. Es necesario brindar capacitación a los operarios antes que se les pida desempeñar nuevas tareas.



Como se mencionó antes, involucrar a los operarios en alguna labor diaria de mantenimiento de su equipo, libera parte del tiempo de los técnicos de mantenimiento para concentrarse en actividades de mayor nivel. Sin embargo, lo esencial es involucrar también a los operarios en tareas que hagan que el equipo se desempeñe mejor. Una vez más, al definir la labor de los operarios nunca debe perderse el enfoque del mejoramiento continuo de la efectividad del equipo.

#### **4.5.2 Objetivos**

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) nos brinda la unión de la práctica Americana del mantenimiento preventivo con los conceptos japoneses del control de calidad total y el involucramiento de todos los empleados. El TPM tiene los siguientes objetivos:

- Maximizar la efectividad del mantenimiento.
- Establecer las actividades de mantenimiento preventivo para todo el tiempo de vida del equipo.
- Envolver a todos los departamentos de la empresa en un esfuerzo común.
- Ganar la información de todos los empleados desde el gerente hasta el trabajador.
- “Automejoramiento” a través del grupo de actividades menores como el mantenimiento del operador.

TPM realza la condición de un equipo de producción de planta. La condición influye que tan bien la productividad del trabajador, control

de costo, correcto inventario de materiales, seguridad y salud, productividad obtenida del equipo y calidad pueden ser alcanzados. Por otro lado, estos factores impactan rentablemente. Y, en una era de mas equipos sofisticados, la automatización será usada. Esto asegurará que las tolerancias, velocidades, presiones y temperaturas requeridas en el proceso de producción sean controladas con precisión.

De esta manera, la expectativa de la producción automatizada podría reducir la necesidad de labor. Sin embargo, la conducción del mantenimiento todavía requerirá labor. Pero, la cantidad e intensidad de su uso puede ser minimizada con mejores practicas de mantenimiento. Por esta razón, TPM ubica su énfasis en el mantenimiento preventivo para mejorar la efectividad del mantenimiento e intentar involucrar a todos los empleados en el esfuerzo.

TPM, también tiene como meta cero paradas y cero defectos de producción. Como los defectos son reducidos, la disponibilidad del equipo se incrementará mientras los costos son reducidos, el inventario de materiales es minimizado y la productividad es incrementada.

La implementación del TPM requiere de algunos años. Durante la fase inicial los equipos tienen que ser restaurados a un seguro y efectivo condición de operación, además el personal tiene que ser capacitado en las adecuadas practicas de mantenimiento. Entonces, mientras los beneficios del TPM son alcanzados, el costo inicial usado en la restauración de equipos y la capacitación del personal producirán una mejor productividad. Finalmente, los costos de la inversión inicial son

desplazados con beneficios derivados de una mejor condición del equipo y mayor eficiencia en la operación. TPM es frecuentemente referido como “un rentable mantenimiento preventivo”.

#### 4.5.3 Desarrollo del TPM

El deseo de escapar del excesivo gasto de la reparación y costo de parada de producción debido a una falla de mantenimiento, constituye el primer nivel de desarrollo del TPM. Por otro lado, la búsqueda por encontrar una mejor forma lidera al segundo nivel, implementando el mantenimiento preventivo básico (primordialmente los servicios periódicos y reparaciones totales de un equipo). Mantenimiento productivo o la combinación de un buen diseño inicial del equipo (con bajo mantenimiento), la aplicación de técnicas para mejorar la confiabilidad como el monitoreo de la condición y el énfasis continuo de prácticas sólidas de mantenimiento, constituyen el tercer nivel. Pero, en el cuarto nivel, el mantenimiento preventivo y el mantenimiento productivo son traídos en conjunto por el involucramiento de todos los empleados. TPM consolida las lecciones del mantenimiento preventivo y productivo. Entonces, esto compromete a la población total de la planta a un soporte continuo a través de la educación. De esta manera, TPM ha llegado a ser el mantenimiento productivo que involucra la participación total.

$\text{TPM} = \text{Mantenimiento Preventivo} + \text{Mantenimiento Productivo} + \text{Mantenimiento Autónomo}$
--

De la expresión cada término expresa:

- ***Mantenimiento preventivo***, es el uso de inspecciones, pruebas y monitoreos para evitar fallas prematuras, además de lubricación, limpieza, ajustes, calibración y el reemplazo de repuestos menores para extender la vida del equipo; todo esto aplicado en todo el ciclo de vida del equipo.
- ***Mantenimiento Productivo***, incluye el diseño del equipo para minimizar el mantenimiento, da mayor importancia al mantenimiento preventivo, reemplazo de componentes importantes y reparaciones mayores combinadas con técnicas de reparación y modificaciones de equipo para prevenir paradas innecesarias de producción y hacer más fácil el mantenimiento.
- ***Mantenimiento Autónomo***, es el aspecto que caracteriza el TPM. Es el pequeño conjunto de actividades de limpieza, ajuste, calibración, lubricación y reparaciones menores llevadas a cabo por los operadores. Esto agrega una dimensión de motivación creada cuando los operadores contribuyen más directamente para el mantenimiento.

El TPM apunta a maximizar la efectividad del equipo; establecer un sistema de mantenimiento preventivo para todo el período de vida; involucrar a todos los empleados y mejorar a través de la motivación proporcionada por el pequeño conjunto de actividades como por ejemplo el mantenimiento realizado por el operador. El uso de la

palabra “total” en *Mantenimiento Productivo Total* sugiere tres significados:

- “Total” eficiencia económica en cada fase de la operación de la Planta.
- “Total” programas de mantenimiento para evitar carencias de mantenimiento y asegurar un mejor y mejorado mantenimiento.
- “Total” en la participación de todos.

#### **4.5.4 Efectividad del Equipo.**

Efectividad del mantenimiento significa mejoramiento de la producción para maximizar los ‘outputs’ y minimizar los ‘inputs’. ‘Output’ incluye productividad, calidad, costo, despacho de productos, seguridad, salud, medio ambiente y moral. ‘Input’ es dinero, mano de obra, maquinaria y materiales. La automatización ocasiona un alejamiento de los trabajadores de las máquinas, con lo cual se sugiere que el ‘output’ es afectado mas por la condición de los equipos que por el esfuerzo de los trabajadores. Por lo tanto, TPM intenta alcanzar la efectividad total del equipo a través de la minimización de las “seis grandes pérdidas”:

- Falla del equipo.
- Perdida de tiempo por montajes y ajustes.
- Equipos operativos pero parados o trabajando en vacío, además de paradas por fallas menores.
- Equipo operando con velocidad reducida.

- o Defectos de proceso.
- o Equipo trabajando con poca carga.

Para la determinación de la efectividad del equipo, las seis pérdidas mencionadas también tienen que ser aplicadas para asegurar que una adecuada efectividad del equipo sea alcanzada.

Tabla 4.6: Las seis grandes pérdidas y su efecto en el equipo.

Equipo	Las seis grandes pérdidas	Efectividad del equipo
Tiempo programado de operación	Sin pérdidas	100.00%
Tiempo de operación – Parada por falla del equipo	1. Falla del equipo 2. Montaje y ajustes	87.00%
Utilización – Pérdida por velocidad	3. Trabajo en vacío y reparaciones menores. 4. Velocidad reducida	50.00%
Utilización actual – Pérdidas por defecto	5. Defectos de proceso 6. Producción reducida	42.60%

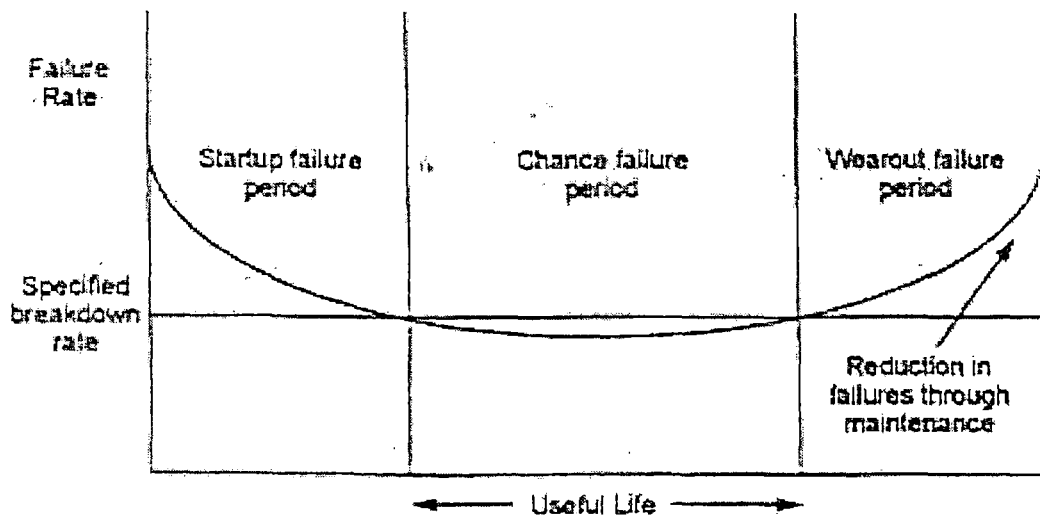
En la Tabla 4.6, los cálculos van más allá de asumir que las paradas sean solamente consideradas debido a falla de equipo, montaje y ajustes. Si ese fuera el caso, la disponibilidad (tiempo programado menos tiempo por falla de equipo) sería un respetable 87%. Sin embargo una vez que las pérdidas por velocidad son consideradas, la utilización actual es solamente 50%. Luego, considerando las pérdidas debido a defectos en el proceso y producción reducida, la utilización real del equipo es más bajo, 42.60%. De esta manera, los gerentes que

están estén satisfechos solamente con el dato de disponibilidad, están engañados por si mismos. Por no analizar el resto de perdidas, la utilización actual es errónea. Lo mas destacable es que la correcta real utilización no es identificada ni acciones son tomadas para mejorarlo.

#### 4.5.5 TPM y las Fallas de Equipo.

La tradicional curva de falla de un equipo, caracterizada por fallas de montaje o puesta en operación, seguida por un período de fallas al azar y finalmente en un período de fallas por desgaste propiamente (ver Ilustración 4.3). Esto sugiere que solo el mantenimiento preventivo no eliminara las perdidas de producción por parada del equipo

Ilustración 4.3: Curva convencional de la falla de un equipo



Por lo tanto, TPM sugiere “medidas de contraataque” para minimizar fallas. Esencialmente, un significativo número de paradas pueden ser

minimizadas a través del diseño de equipos “libre de mantenimiento”. Pero, esta condición esta lejos de la realidad a pesar de los logros que se están obteniendo en la construcción de equipos con mejor confiabilidad dentro de la producción moderna. La realidad es que hoy la mayoría de equipos en operación no están en perfectas condiciones. Por lo tanto, el primer paso en base a las medidas de contraataque para minimizar fallas tiene que ser eliminar fallas del equipo, que esta actualmente en operación, con sólidas prácticas de mantenimiento.

Entonces, basados en la experiencia ganada, esta puede ser usada para mejorar el diseño de los equipos y gradualmente acercarse mas a un requerimiento menor de mantenimiento con un futuro diseño en mente de un “libre de mantenimiento”

Las fallas en un equipo son asociadas con funciones como lo es en el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM, del ingles Reliability Centered Maintenance). De esta manera, la perdida de una “función estándar” significaría que la falla no esta limitada a una parada imprevista que originaria una completa detención del proceso productivo (lo que sería una “Falla funcional” en el enfoque del RCM). Por lo tanto, mismo que el equipo este operando, varias formas de deterioro pueden todavía causar perdidas. Estas perdidas son mostradas en “las seis grandes perdidas” del TPM que incluyen prolongados y mas frecuentes ajustes, frecuentes trabajos en vació del equipo y paradas menores así como también la reducción en la velocidad del proceso y



tiempo del ciclo. Estas pérdidas también tienen que ser tratadas como fallas. Nuevamente, estos son similares al enfoque del RCM.

TPM clasifica paradas imprevistas con detención completa como una “función – fallas de pérdida” mientras aquellas fallas de menor grado debido al deterioro, son clasificados como “función-fallas de reducción”, ver la Tabla 4.7.

La similitud en el pensamiento y terminología, sugiere que los representantes de ambos, TPM y RCM, han pensado cuidadosamente en la relación de los varios tipos y grados de fallas. En adición, similar cuidadosa consideración ha sido dada para las “medidas de contraataque” del TPM versus los “programas” del RCM.

Tabla 4.7: Terminología entre TPM y RCM

<i>Tipo de Falla</i>	<i>TPM</i>	<i>RCM</i>
Parada completa	<i>Función – fallas de pérdida</i>	<i>Fallas funcionales</i>
Deterioro	<i>Función – fallas de reducción</i>	<i>Fallas potenciales</i>
No Detectado	<i>Defectos ocultos</i>	<i>Fallas ocultas</i>

Fundamentalmente, ambos TPM y RCM, tienen el mismo objetivo de mejorar la confiabilidad del equipo y lo económico, el performance y la productividad ganan el estatus que supone. Sin embargo, RCM toma una ligera diferencia respecto al TPM. Después de que los tipos de falla son cuidadosamente identificados y las consecuencias de estas han sido valoradas y priorizadas, un programa para minimizar fallas es

establecida. En este programa, RCM plantea la aplicación de los monitores de la condición, esto para observar el performance del equipo. El equipo es dejado en servicio “a condición” que el monitoreo pueda señalar que las funciones del equipo están todavía siendo realizadas.

Al mismo tiempo, el RCM puede asegurar que los repuestos importantes, por ejemplo, que serían normalmente reemplazados al fin de un tradicional periodo de desgaste (como lo es en el TPM) puedan ser monitoreados y dejados en operación por más tiempo. Por otro lado, estos beneficios son una fuente para extender la vida de repuestos, reducir los costos, mejor productividad y rentabilidad. TPM, por otro lado, se focaliza en la identificación de los defectos ocultos y su corrección antes de la avería del equipo.

TPM adopta ‘cinco medidas de contraataque’ para ayudar a reducir o eliminar fallas:

1. Manteniendo en buenas condiciones básicas con limpieza, lubricación, ajustes y otras actividades “autónomas” de mantenimiento.
2. Operando el equipo adecuadamente.
3. Restaurando el deterioro a través de cumplido y efectivo mantenimiento.
4. Como el mantenimiento está siendo cumplido, observar los cambios en el diseño que podrían ser incorporados en un futuro equipo e incluir en los cambios de diseño la tendencia a tener un equipo “libre de mantenimiento”.

5. Mejorar la operación y las técnicas de mantenimiento a través del entrenamiento y la capacitación.

Ambos, TPM y RCM, adoptarían todas estas medidas pero, RCM sería muy preciso en el significado exacto de que actividades de mantenimiento realzan el monitoreo de condición que serían llevados a cabo.

#### 4.5.6 Costo del Ciclo de Vida.

La determinación del costo del ciclo de vida o la comparación del costo de llevar a cabo el mantenimiento a través de todo el tiempo de vida del equipo, es otra consideración importante del TPM. Esto es usado para determinar como hacer el mantenimiento tan bien que pueda ser menor el costo de operar y mantener operativo el equipo.

Tabla 4.8: Ejemplo del Costo del Ciclo de Vida

Tipo de Pintura	Costos		Duración (años)	Costos	
	Material	Labor		3 años	6 años
A	5 000	20 000	3	25 000	50 000
B	15 000	20 000	6	-	35 000

En esta Tabla 4.8, la pintura A duraría por 3 años y costaría \$5000 y requeriría \$20000 en labor para pintar el área designada. La pintura B costaría \$15000, también requeriría \$20000 en labor pero duraría por 6 años. Al final de los 3 años la pintura A tiene que ser reaplicado con lo cual se incurriría en otros \$25000 para que nos duren otros 3 años.

De esta manera, usar la pintura A costaría \$50000 por 6 años contra \$35000 de la pintura B en el mismo periodo.

El precio de compra no debería ser el único criterio en las decisiones de compra. Mas bien la efectividad económica a largo plazo tiene que considerar el valor del tiempo en el dinero. Mas específicamente el costo del ciclo de vida debería ser reflejado en cada una de estas 3 formas:

- Valor presente, convirtiendo todas las ganancias y gastos aun valor actual (VAN).
- Valor final, evaluando todos los gastos e inversiones al final del período de comparación.
- Valor anual, calculando el costo anual usando el valor del dinero año por año.

En cada uno de los 3 puntos mencionados, el costo inicial del equipo, el costo de financiamiento de su compra así como también el costo de su mantenimiento son factores en el costo del ciclo de vida.

#### **4.5.7 Implementación del TPM.**

Los requerimientos para una satisfactoria implementación del TPM incluyen:

- Dando los pasos para reducir las “seis grandes perdidas”.
- Iniciando el mantenimiento autónomo.
- Aplicando un competente programa de mantenimiento.

- Incrementando las habilidades de los operadores y del personal de mantenimiento.
- Aplicando estos factores a específicos tipos de equipo.

Estos pasos son realizados en una forma sistemática. Por ejemplo, la reducción de las fallas de un equipo es iniciado con la restauración del mismo. Luego el mantenimiento autónomo es iniciado con limpieza básica, direccionando el origen de los problemas y estableciendo estándares para lubricación y limpieza. Estas acciones tienden a reducir la variabilidad del tiempo de vida del equipo por que los problemas son identificados mas cuidadosamente por lo operadores y son corregidos mas rápidamente. El siguiente paso es un programa general de inspección para el equipo usando el programa de mantenimiento preventivo para controlar las acciones. Este paso extiende el tiempo de vida del equipo por que es el inicio del competente y programado esfuerzo de mantenimiento. Esto es seguido ahora por la introducción de inspecciones autónomas por los operadores con lo cual se tiene mas personal viendo el equipo. Esto resulta en un mejor cuidado del equipo día tras día a través de los operadores.

El punto final es que solamente reparaciones ocasionales son requeridas como resultado de la aplicación dual del mantenimiento autónomo y de un regular programa de mantenimiento.

Finalmente, con la introducción del mantenimiento autónomo como, el tiempo de vida del equipo llega a ser muy previsible. El ordenamiento resultante y la mejor organización del esfuerzo total de

mantenimiento producen una productividad mayor además de una mejor performance y rentabilidad que el TPM promete.

#### 4.5.8 Desarrollo del Programa del TPM.

Hay tres requerimientos para el desarrollo. Primero, la motivación (*yaruki*) del personal tiene que ser incrementada para que ellos sean capaces de reducir las “seis grandes pérdidas”. Luego, sus habilidades tienen que ser mejoradas para elevar su competitividad (*yarude*) para maximizar la efectividad del mantenimiento y la operación. Finalmente, el ambiente de trabajo (*yaruba*) creado por el soporte administrativo y el entusiasmo tienen que alentar a las personas que colectivamente contribuyen a que el trabajo se haga. De esta manera, el involucramiento directo de la administración es crítica.

#### 4.5.9 Los doce pasos de desarrollo del TPM.

Estos pasos aun así atraviesan tres distintas fases:

- *Fase de preparación* – Establece un ambiente adecuado para el desarrollo del plan de implementación, se prepara al personal para las tareas y se establece metas.
- *Fase de implementación* – Establece el programa del TPM.
- *Estabilización* – Normaliza la operación total a través de la integración del TPM en la vida de la planta. Es ahora la mejor y mas aceptable forma de alcanzar la rentabilidad.

Los doce pasos de desarrollo pueden ser considerados de la siguiente forma: Pasos del 1 al 5 constituyen la etapa preparatoria mientras que

los pasos del 6 al 11 son la etapa de la implementación y el paso 12 es la etapa de estabilización. A continuación se mencionan los pasos:

1. Anunciar la decisión empresarial de introducir el TPM.- Este es el anunciamiento oficial del Líder de la compañía indicando que TPM será implementada.- La gerencia introduce los conceptos, metas y expectativas económicas de la implementación del TPM.- Al mismo tiempo, la credibilidad de lo que se está diciendo es establecido y un ambiente favorable es desarrollado para la implementación.
2. Lanzar el programa de educación y la campaña para introducir el TPM.- El esfuerzo educacional no es usado para explicar el TPM.- Sino, es usado para alcanzar la moral y reducir la resistencia a adoptar el TPM.- Mientras las ideas del mantenimiento tradicional existan y que algunos operadores puedan ser involucrados con el mantenimiento, este paso provee un aseguramiento que el TPM será beneficioso.
3. Crear organizaciones internas para promover el TPM.- Círculos de calidad o equipos informales pueden discutir los problemas que tienen que ser resueltos, sugerir soluciones y discutir de un nivel organizacional al otro.

Este es el primer paso para establecer el estilo de administración participacional para hacer que el TPM sea un éxito. Al mismo tiempo, estos grupos plantearán preguntas que harán más definida la conciencia del todo el personal en el proceso de implementación. Las preguntas también causarán a algunos mirar más profundamente en

soluciones que serán mas efectivas y quizás mas fáciles de llevar a cabo.

4. Establecer políticas básicas del TPM y metas.- Las políticas establecen los estándares para la interacción entre grupos de departamentos e individuos. Basados en las políticas, los departamentos pueden desarrollar los procedimientos día a día. Las políticas también señalan un compromiso administrativo a través de parámetros inteligentes y guías pertinentes para las acciones del personal. Luego, para lograr acentuar las políticas, metas realistas y alcanzables son establecidas para guiar al personal en las expectativas administrativas.
5. Formular el plan maestro para el desarrollo del TPM.- El plan maestro establece un cuadro de tiempos para acciones específicas de la implementación del TPM. Este plan estructura las acciones en contraste a las metas para de cada paso. Este plan maestro es entonces usado por los departamentos de Planta para guiar mejor sus procesos, planifica los pasos siguientes y organiza los recursos.
6. Captar la atención en la reunión inicial del lanzamiento del TPM para oficializar el inicio de la campaña.- Este paso es el primero en la fase de implementación. Esto da el “disparo de arranque” de la implementación y tiene un propósito dual. Primero, esto permite a la administración reportar los resultados de la fase preparatoria, reiterar las políticas y metas y ampliar los detalles del plan maestro. En



segundo lugar, es una oportunidad para que los trabajadores hagan un compromiso público para el éxito implementación.

7. Mejorar la efectividad de cada pieza del equipo existente.- Esto es el esfuerzo mutuo de mantenimiento, operaciones e ingeniería para encontrar mejores formas de llevar a cabo el mantenimiento. En concordancia, este paso también demuestra como ha ayudado el TPM. Además los problemas crónicos de los equipos son examinados por los equipos. Las soluciones son aplicadas y los resultados observados. Nuevas técnicas son ensayadas. Mantenimiento ayuda a dejar listo el lanzamiento del mantenimiento autónomo por los operadores. Es un esfuerzo total para demostrar el compromiso. De otro lado, acciones específicas y esfuerzos deliberados, para medir los resultados respecto a las metas, manifiestan el compromiso del personal de Planta.
8. Desarrollar un programa de mantenimiento autónomo.- Mantenimiento autónomo es el primer inicio serio del “yo opero – tu repara” que es la mentalidad del mantenimiento tradicional. Para hacer que esta característica particular del TPM sea un éxito, pasos extraordinarios son requeridos para evitar que el nuevo comportamiento adquirido pueda verse disminuido. Así algunos pasos adicionales son establecidas, estas incluyen:
  - (a) Una completa y cuidadosa limpieza realizada por el operador para mejorar su familiarización con las máquinas, provee una oportunidad para una examinación mas de cerca y para crear

interés en el primer nivel del cuidado del equipo - - “¡Mantenlo limpio!”.

- (b) Establecer procedimientos y métodos para mantener limpios las unidades.
- (c) Establecer estándares de limpieza y lubricación.
- (d) Conducir inspecciones generales como parte del programa de mantenimiento preventivo del departamento de mantenimiento. Use estas inspecciones para determinar a la fecha la condición del equipo y establecer que tan bien los operadores en forma individual están realizando sus tareas.
- (e) Reemplazar las inspecciones generales por parte de mantenimiento con las inspecciones del mantenimiento autónomo, ya que ahora los operadores conocen que inspeccionar.
- (f) Concentrarse en la organización y el orden y limpieza de todo el área de trabajo para crear una mayor conciencia de las condiciones de operación y trabajo. Este paso estimula al operador a hacer mas eficiente su trabajo.
- (g) Finalmente, implementar completamente el mantenimiento autónomo. Hacer de este una actividad habitual. Check – Lists son usados por los operadores. Reportes similares a los reportes de conformidad de mantenimiento preventivo son realizados. El sistema de orden de trabajo es usado por los operadores para solicitar ayuda y mantener un registro de los trabajos que ellos hacen. Los operadores ahora son parte del esfuerzo en el

mantenimiento. Dicho de otra forma, ahora los operadores proveen los “primeros auxilios” en el mantenimiento del equipo mientras, los profesionales de mantenimiento son los cirujanos y especialistas que hacen los “overhaul” a los equipos, remplazan componentes principales y únicamente realizan reparaciones mayores.

9. Desarrollar e implementar un programa de mantenimiento adecuado y bien programado en el tiempo, para el departamento de mantenimiento.- Ahora el programa oficial de mantenimiento es cuidadosamente evaluado para hacer el seguimiento que este completo, adecuadamente documentado, bien entendido, propiamente organizado y soportado con la mejor tecnología e información de calidad
10. Conducir el entrenamiento para mejorar las habilidades del los operadores y del personal técnico de mantenimiento.- El personal de mantenimiento es entrenado en técnicas especializadas para asegurar que ellos son competentes en los últimos y mejores técnicas de diagnóstico y reparación. Ellos son entrenados en el Programa completo de Mantenimiento y aprenden el uso del sistema de información en forma efectiva. De forma similar, los operadores son entrenados en técnicas adecuadas de operación y características de un esencial y básico mantenimiento. Así como el personal de mantenimiento, los operadores aprenden el Programa completo de

Mantenimiento y como utilizar sus servicios para asegurar mejor la confiabilidad del equipo.

11. Desarrollar en forma temprana un Programa de Administración de Equipos para tipos específicos de equipos.- Ahora, Mantenimiento e Ingeniería combinan sus esfuerzos para asegurar que la aparición de problemas sean minimizadas y que las actividades del Programa de Mantenimiento sean efectivas. Con este esfuerzo, ellos aseguran que la retroalimentación llegue en la modificación del equipo. Ellos también minimizan las fallas y el mantenimiento correctivo en el trabajo diario.
12. Perfeccionar el Programa de TPM y elevar los niveles en los objetivos del TPM.- Ahora las lecciones de implementación son aplicadas para hacer que futuras acciones de implementación sean mas eficientes y fáciles. Este paso es un “punto de vista” no una conclusión del esfuerzo de la implementación. Nuevo personal se unirán a la organización, equipos serán remplazados y nuevos procesos introducidos. Y con acciones futuras de implementación, metas mas ambiciosas serán establecidas.

#### **4.5.10 Resumen.**

TPM revela que la fortaleza de la Estrategia de Administración de Equipos, es escoger elementos complementarios de enfoque, como TPM o RCM y aplicarlos en la integridad del marco de la administración del equipo. Ese marco hace referencia a las acciones

críticas de mejoramiento de la “cultura” de mantenimiento, aplicando la tecnología que los equipos modernos requieren y usar la información para permitir que personal trabaje en los niveles adecuados que aseguran una operación fructífera.

Los doce pasos de desarrollo del TPM son una excelente guía saber bien de los requerimientos para implementar el TPM. Aquí volvemos a enumerar los doce:

1. Anunciar la decisión empresarial de introducir el TPM.
2. Lanzar el programa de educación y la campaña para introducir el TPM
3. Crear organizaciones internas para promover el TPM
4. Establecer políticas básicas del TPM y metas
5. Formular el plan maestro para el desarrollo del TPM
6. Captar la atención en la reunión inicial del lanzamiento del TPM para oficializar el inicio de la campaña
7. Mejorar la efectividad de cada pieza del equipo existente
8. Desarrollar un programa de mantenimiento autónomo.
9. Desarrollar e implementar un programa de mantenimiento adecuado y bien programado en el tiempo, para el departamento de mantenimiento
10. Conducir el entrenamiento para mejorar las habilidades del los operadores y del personal técnico de mantenimiento.
11. Desarrollar en forma temprana un Programa de Administración de Equipos para tipos específicos de equipos.

12. Perfeccionar el Programa de TPM y elevar los niveles en los objetivos del TPM

#### **4.5.11 Problemas en la implementación del TPM**

Actualmente, la mayoría de las organizaciones realizan actividades de MPT parciales o carentes de enfoque. Es posible que cuenten con participación operacional, pero carecen del enfoque ETE. De otro lado, es posible que rastreen la ETE, pero no realizan un análisis de causas para estar en capacidad permanente de resolver los problemas de equipo. Los siguientes son ocho problemas comunes que caracterizan la falta de éxito con el MPT.

*a El TPM se inicia como parte del recorte de personal*

Algunas organizaciones consideran el TPM como una forma de hacer que los operarios se involucren en el mantenimiento de modo que con el tiempo se pueda suspender temporalmente una parte del personal dedicado a esta labor.

Este enfoque el TPM crea desconfianza entre la fuerza de trabajo y nunca se genera la motivación que se requiere para que el TPM sea exitoso. Después de todo, ¿cuántas personas sugerirían que las suspendan del trabajo?

Este problema se supera sólo cuando la organización tiene la certeza de que el TPM no es una iniciativa de recortes. Lo esencial en el TPM es un mejoramiento continuo del equipo. Si la reducción de la fuerza de

trabajo es el objetivo de la compañía, no debería tratar de iniciar el TPM puesto que fracasará.

*b Insuficiente entrenamiento de la fuerza de trabajo.*

El TPM requiere que el personal de operaciones y mantenimiento aporte ideas para mejorar el equipo. En muchos casos, el equipo es cada vez más técnico.

Dado que la tecnología del equipo es cada vez más compleja, deben incrementarse el conocimiento y la destreza de las personas involucradas en el TPM tienen que aumentar también. A menos que se requiera un entrenamiento adecuado para los involucrados, los beneficios serán exiguos si los hay.

*c Tratar de copiar a otra compañía*

El MPT no es un programa “de imitación” que se implemente de la misma forma en cada compañía, ya que existen variables que hacen de cada firma algo único. Algunas de estas variables incluyen niveles de destreza de los empleados, tipo de equipo o procesos, tipo de operación (continua o por lotes), relación operario – máquina, y cultura del trabajo.

Si las compañías tienen diferencias y se copia el MPT, éste no se ajustará a las condiciones de la organización. El MPT es realmente exitoso sólo cuando una compañía examina su propio equipo y decide qué puede hacer ella misma para que éste funcione mejor.

*d Falta de fundamentos de mantenimiento*

El MPT depende de la solidez de los fundamentos del mantenimiento. De hecho los estudios han mostrado que casi la mitad de las fallas de los equipos en una planta se relacionan con fundamentos del mantenimiento, tales como limpieza, inspección, lubricación y procedimientos adecuados de fijación del equipo. Si se rechazan los fundamentos, nunca se obtendrán resultados, ya que el proceso de TPM se construirá sobre una base agrietada.

*e Falta de enfoque en la ETE del equipo clave*

Este problema ilustra la expresión “una milla de anchura con una pulgada de profundidad” Algunas veces los recursos involucrados en un MPT son escasos en la planta para todas las labores que deben hacerse. Cuando esto sucede, los resultados son insuficientes y no tienen mayor impacto en la producción de la planta o del equipo. Sin resultado sólidos y tangibles, la gestión del TPM pierde impulso y finalmente fracasa.

El enfoque del programa TPM, particularmente durante las primeras etapas, debe hacerse sobre el equipo clave y sobre aquel que genera cuellos de botella o constreñimientos. A menos que se cumpla esta condición, los resultados no se notarán y la iniciativa del TPM nunca producirá resultados cuantificables. Sin resultados, los recursos del TPM se utilizarán en otras iniciativas de la compañía que estén produciendo resultados.



*f Cultura del trabajo que no evoluciona adecuadamente*

La cultura del trabajo es un aspecto que en algunas plantas puede haber ocasionado enfrentamientos entre la fuerza de trabajo y la administración. Crear esta cultura toma tiempo y esfuerzo de ambas partes para reconstruir la confianza y la comprensión mutua necesarias para el éxito del TPM. Si la fuerza de trabajo o la administración creen que la otra parte sigue una agenda oculta al implementar el MPT, entonces no se desarrollará la confianza y la cooperación mutua.

La cultura del trabajo y la cooperación prosperarán sólo al desarrollar un enfoque común para el mejoramiento de la efectividad del equipo, lo cual permitirá a la compañía ser la mejor en su campo.

*g Falta de cambio del sistema P&R*

El nuevo comportamiento no se reforzará si la compañía no cambia el sistema de premios y reconocimientos a fin de reflejar el nuevo enfoque que proporciona el MPT. Si no cambia los viejos comportamientos en la planta, es sólo cuestión de tiempo hasta que cada uno vuelva a hacer las cosas como se hacían anteriormente.

Si vale la pena tener operarios involucrados en el mantenimiento diario del equipo, entonces la compañía debe encontrar una forma de premiarlos. Si conviene tener técnicos de mantenimiento que generen un mayor análisis predictivo y de confiabilidad para el equipo de planta, la compañía debe encontrar una forma de premiar esta conducta. La mayoría de las compañías siempre han premiado a sus mejores

colaboradores, o sea, a aquellas personas que pueden reparar rápidamente el equipo o que pueden hacerlo funcionar (incluso a una velocidad menor que la estipulada) hasta finalizar el turno. Si se premia este comportamiento, seguirá siendo practicado al interior de la compañía. Sin embargo, lo que se valora es el trabajo proactivo y de confiabilidad, entonces debe también cambiarse el sistema de premios y reconocimientos para que refleje estas prioridades.

*h Falta de conocimiento en administración del TPM*

Este problema surge cuando la administración no sabe lo qué es realmente el TPM, qué recursos están involucrados y cuáles son los cambios necesarios para implementarlo en una planta o instalación. En algunas compañías, la administración toma el enfoque del “hada madrina” para implementar el TPM. Ella llega a un cuarto, agita su varita mágica sobre un grupo, bendice la iniciativa del MPT y luego se va, creyendo que esto es todo lo que se necesita para que el MPT sea exitoso.

La forma de superar este problema es la capacitación y la educación sobre lo que es y no es el MPT. Esta capacitación se realiza mejor con grupos mixtos de alta gerencia, mandos medios y administración de primera línea reunidos y entrenados en el MPT junto con la fuerza de trabajo por horas. Este enfoque asegura que cada uno en la organización escuche el mismo mensaje, entienda los aspectos, haga preguntas y obtenga las repuestas frente a sus compañeros de trabajo. De este

modo, se impide cualquier mal entendido o comunicación de los conceptos del MPT.

## 4.6 Mejoramiento Continuo

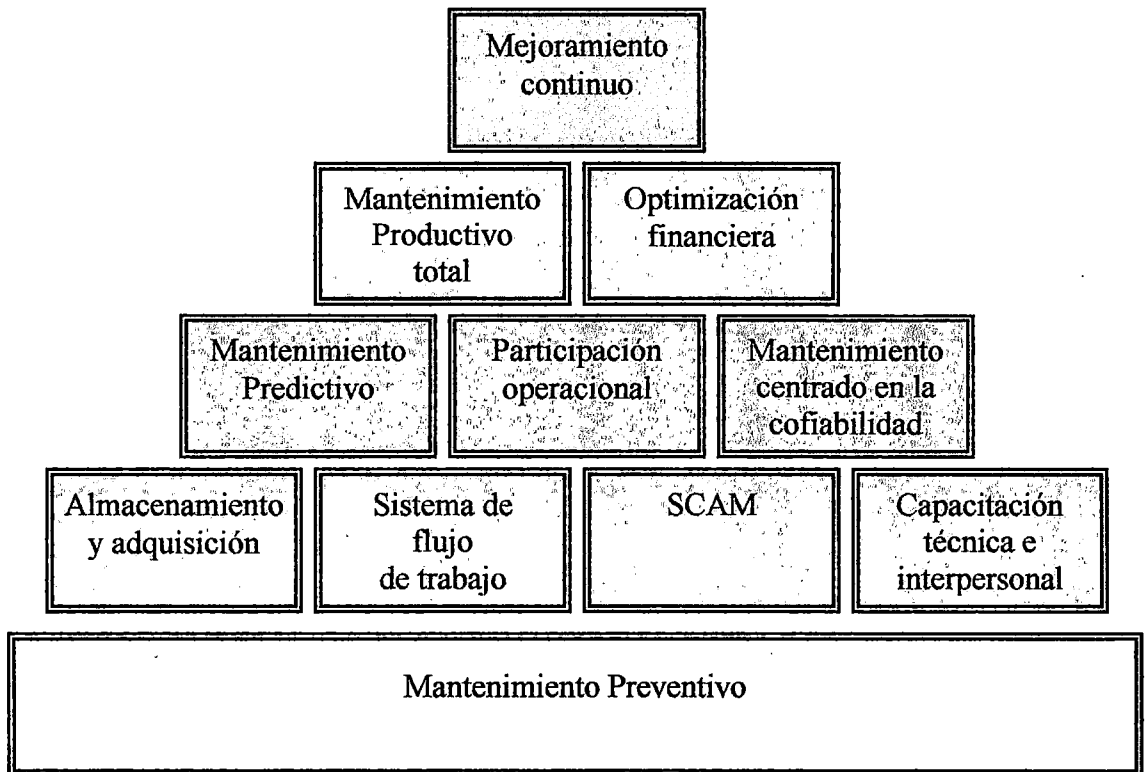
### 4.6.1 Definición

El mejoramiento continuo es el proceso de nunca aceptar el *status quo* de una organización. Es el reto continuo de buscar una mejora incremental que pueda hacerse para aumentar la competitividad de la compañía. El mejoramiento continuo se centra en mejorar las aptitudes y capacidades internas de la compañía.

Estas actividades se llevan a cabo en un ambiente de negocios dinámico y siempre cambiante. Cualquier actividad de mejoramiento continuo debe considerarse a la luz del impacto que tendrá sobre el cliente y de la forma como tal actividad ayuda a diferenciar a la compañía de sus competidores.

Para aspirar a un mejoramiento continuo previamente se debe haber implementado las otras técnicas de mantenimiento que se han tocado a lo largo de este capítulo. En la Ilustración 4.4 se observa la representación de una pirámide que tiene como cúspide el mejoramiento continuo ya que es el nivel mas alto en una gestión de mantenimiento.

Ilustración 4.4: Pirámide de las técnicas de mantenimiento hacia el mejoramiento Continuo



#### 4.6.2 Benchmarking

Una de las herramientas de mejoramiento continuo más efectivas para el mantenimiento es el establecimiento de Benchmarking. En resumen, el Benchmarking es el continuo proceso en el que una compañía se compara con otra en cualquier parte del mundo, a la que se le considera la mejor, para luego asimilar el conocimiento adquirido a fin de mejorar continuamente. Una vez que se ha hecho una mejora, el proceso comienza de nuevo.

Las lecciones aprendidas de la fijación del Benchmarking son:

Identificar los indicadores de desempeño para cada proceso funcional es esencial en cualquier parámetro. Esta es la clave para comprender la relación entre parámetros e indicadores de desempeño. Los proyectos de fijación de parámetros no se pueden cuantificar a menos que se mida el desempeño y se rastreen las mejoras.

Es difícil encontrar medidas duras para áreas blandas. La utilización de herramientas como el mapeo de procesos y las redes de madurez requieren un esfuerzo considerable. Si algo no puede medirse, no puede administrarse. Las áreas blandas son difíciles de medir cuantitativamente y por lo tanto, las mejoras son difíciles de rastrear.

Es necesario evaluar toda la información para lograr una buena aplicabilidad en cada compañía. La adaptación es una destreza decisiva. No existen dos organizaciones exactamente iguales. Los trabajadores deben poder asimilar lo que aprendan durante la fijación de Benchmarking para luego adaptarlo y aplicarlo a su organización.

La fijación de Benchmarking es un proceso sistemático que una vez iniciado nunca termina y es por eso que hace parte del mejoramiento continuo.

Los pasos para la fijación de Benchmarking son:

- Comprensión de su organización. Es posible usar los indicadores de desempeño como medida inicial para el auto-análisis.
- Evaluación de la competencia. ¿Quién lo hace mejor? Los indicadores de desempeño de una compañía deben compararse con los indicadores de desempeño de la competencia.

- Análisis de diferencias. Cada quien con su cada cual; se hace una comparación exhaustiva con los indicadores de un competidor, analizando concienzudamente los cálculos y la fuente de las cifras.
- Desarrollo e implementación de mejoras. El plan de implementación se desarrolla al adaptar y aplicar la información a la organización para hacer las mejoras.
- Evaluación y cuantificación de resultados. Las mejoras se miden al monitorear el cambio en el indicador de desempeño. El impacto funcional y financiero se observará en las ganancias de la compañía.
- Comenzar de nuevo. El mejoramiento continuo hace un llamado para encontrar la próxima área susceptibles de mejoramiento y comenzar nuevamente el proceso.

La anterior secuencia para un proyecto de parámetro destaca la relación entre indicadores de desempeño así como el proceso de comparación en la fijación de parámetros. Los indicadores de desempeño destacan el proceso o las partes que necesitan mejora y pueden compararse con otros indicadores para identificar cual es el mejor del proceso (o parte) que requiere mejoramiento. El indicador de desempeño inicial puede entonces usarse para cuantificar las mejoras a medida que se efectúan.

Los indicadores de desempeño son la clave para el proceso de mejoramiento continuo. Todo el material en este libro se refiere a este punto.

Si se van a usar los indicadores de desempeño para un mejoramiento continuo, ¿Cuáles son algunos de los indicadores que muestran que esas mejoras se están realizando por parte de la organización? El indicador de desempeño utilizado para rastrear el proceso sería el indicador primario.

#### **4.6.3 Problemas en la implementación del Mejoramiento Continuo**

Los siguientes problemas son comunes a los esfuerzos de mejoramiento continuo. Aunque la mayoría de los problemas tienen que ver con programas de fijación de Benchmarking, la mayor parte de ellos tienen aplicación a todas las formas mas de mejoramientos continuo.

##### *a Solo se usa análisis competitivo*

Este problema ocurre cuando los esfuerzos de mejoramiento continuo sólo se centran en hacer lo mismo que hacen los competidores. Algunas compañías desean establecer Benchmarking únicamente con respecto a sus competidores.

En realidad, las mejoras más relevantes se logran cuando una compañía observa a otras diferentes a su industria, encuentra la mejor práctica, y es luego la primera en adaptarla a su industria. Si las compañías sólo se comparan con sus competidores, obtendrán únicamente mejoras incrementales.

Si de mejoramiento continuo se trata, las compañías deben ver más allá de sus competidores.

*b No hay análisis de las mejores compañías*

En algunas actividades de mejoramiento continuo, y especialmente de fijación de Benchmarking, las compañías buscan en el directorio telefónico una compañía que puedan visitar y observar. Este enfoque no es efectivo, especialmente en cuanto a fijación de Benchmarking. ¿Cómo podría una compañía saber si otra compañía es buena, promedio o mala? ¿Qué se esperaría aprender de ella? Cuando se comienza un programa de mejoramiento continuo, especialmente de fijación de Benchmarking, la compañía debe siempre centrarse en otras que implementen las mejores prácticas y no sólo en aquellas que estén convenientemente ubicadas.

*c No se considera como un esfuerzo continuo*

Algunas compañías afirman haber realizado fijación de Benchmarking, pero cuando se les pregunta sobre los resultados, señalan en la biblioteca una carpeta argollada que contiene los resultados del estudio pertinente. Ellos cuentan con la información pero nunca hicieron nada con ella. La fijación de Benchmarking fracasó porque se concibió como una actividad que exigía la recolección de información una sola vez. La forma de superar este problema es comenzar impartiendo educación sobre lo que son los Benchmarking y sobre las mejoras que van a resultar de su fijación.



*d Falta de capacitación en herramientas de mejoramiento o continuo*

Existen numerosas herramientas disponibles para monitorear y rastrear el mejoramiento continuo. Estas incluyen:

- Diagramas de afinidad,
- Diagramas de matrices,
- Diagramas de campo de fuerza,
- Diagramas de causa y efecto,
- Diagramas de árbol,
- Tablas de secuencia del proceso,
- Diagramas de dispersión, e
- Histogramas.

Nadie puede usar todos estos tipos de diagramas, pero la lista resalta cuántas herramientas de mejoramiento continuo están disponibles. A fin de que los proyectos de mejoramiento continuo sean exitosos, las herramientas correctas deben utilizarse en el momento oportuno. Una capacitación adecuada es la solución a este problema.

*e Falta de concentración en el negocio*

Este problema ocurre cuando los esfuerzos de mejoramiento continuo no están relacionados con el negocio. No existe una razón comercial claramente definida para realizar el proyecto. Esto lleva al grupo del proyecto hacia actividades que son interesantes, pero innecesarias. Como ejemplos tenemos: pintar el área de almuerzo de los trabajadores,

rediseñar la fachada del edificio, o transformar las oficinas. Aunque todo esto puede mejorar la moral, no se centra en el negocio.

Los estudios han mostrado que siete de cada diez grupos no producen los resultados para los que se creó el grupo. La razón principal es falta de concentración en el negocio y capacitación adecuada. Tener un enfoque de negocios sobre el proceso de mejoramiento continuo es importante para el éxito en el mejoramiento continuo.

*f No hay un verdadero compromiso por parte de la administración*

Este problema ocurre cuando las actividades de mejoramiento continuo son parte de una administración al estilo programa-del-mes. El programa puede ser la última tendencia encontrada en una revista ó libro y, como resultado, la compañía va a emprender algún tipo de programa de mejoramiento continuo o de fijación de Benchmarking. Tan pronto como se comprenda realmente el costo del proyecto, los administradores buscarán una forma más económica de llevarlo a cabo o empezarán a buscar otro tipo de proyecto que crean a su alcance.

La solución aquí es investigar y educar antes de comenzar cualquier iniciativa de mejoramiento. Esto asegura que todos tengan una clara comprensión del nivel de esfuerzos y costos requeridos antes de asumir un nuevo proyecto.

*g Resultados esperados a corto plazo*

Este problema se presenta cuando no se suministra una adecuada información sobre lo que realmente significa la mejora continua y la

fijación de Benchmarking antes de comenzar el proyecto. Sin una clara comprensión del hecho que el mejoramiento continuo constituye un proyecto a largo plazo, con algunos beneficios limitados a corto plazo, la administración aplica erróneamente presión para ver resultados inmediatos. Los grupos encargados del mejoramiento toman entonces atajos; y al hacerlo reducen o eliminan los beneficios que deberían haber logrado.

*h Falta de medidas comunes de desempeño*

Este problema se observa en la fijación de Benchmarking, por lo general cuando alguien desea fijar un Benchmarking después de haber leído un artículo o informe que trae una cifra de parámetro. Esta persona presiona entonces a la compañía para que se fije esta cifra como meta. El problema es que la organización puede tener una actividad diferente para la cual se fijó dicho parámetro, diferentes condiciones de operación, o incluso una fuerza de trabajo diferente. A menos que la compañía se tome el tiempo para hacer una justa evaluación, el Benchmarking será inútil y la organización se verá afectada al tratar de lograrlo.

La educación y la capacitación son necesarias si se quiere evitar este problema.

La estructura de la función de administración de mantenimiento (de activos) puede compararse mejor con una pirámide (ver más abajo). En esta figura es evidente que debe colocarse una base para construir el

proceso de administración de mantenimiento. Los elementos fundamentales de ese mantenimiento preventivo construyen la base piramidal. Una vez colocada la base de MP, el próximo nivel queda conformado por el inventario, las órdenes de trabajo, el SCAM y la capacitación. La participación operacional, junto con las técnicas predictivas y de MCC se construyen sobre el nivel anterior. Con suficiente información, la organización puede centrarse en su estrategia de activos en MPT y optimizar sus finanzas. Cuando se alcanza este nivel, todo lo que resta es empalmar con el mejoramiento continuo por auto-evaluación y fijación de parámetros.

#### **4.6.4 Optimización financiera estadística**

La Optimización Financiera Estadística es una técnica estadística que combina toda la información relevante sobre un activo, como costo del tiempo de inactividad, costo de mantenimiento, costo de pérdida de eficiencia, y costo de calidad. La técnica entonces equilibra financieramente las decisiones basadas en el costo total más bajo, no en el costo necesario, en el costo más bajo para un departamento o un área individual. Estas decisiones incluyen:

- Cuándo retirar el activo para mantenimiento
- Reparar o reemplazar un activo

- Cuántos repuestos se necesitan
- Los niveles máximos-mínimo (máx-mín) de los repuestos comunes.

La optimización financiera requiere una información exacta, ya que tomar este tipo de decisiones de manera incorrecta puede tener efecto devastador sobre la posición competitiva de la compañía. Cuando una compañía alcanza un nivel de sofisticación donde puede utilizarse esta técnica se acerca al pináculo de la pirámide de administración activa.

#### **4.6.5 Desarrollo de los indicadores**

Luego de observar cuidadosamente la función de mantenimiento y sus diferentes componentes funcionales, será conveniente analizar la pirámide de indicadores de desempeño presentada en la introducción. La forma correcta de desarrollar los indicadores es trabajar de la cima, o nivel corporativo y luego desarrollar los indicadores hacia niveles inferiores para permitirles que se conecten. Si los indicadores se seleccionan de la base hacia arriba, puede ser mas conflictivo que positivo.

Ninguna organización empleara todos estos indicadores (que monitorean el departamento de mantenimiento), pero si escogerá aquellos que respaldan a los indicadores corporativos seleccionados.

La clasificación de los indicadores se describe a continuación y la lista de indicadores se puede ver en el Apéndice D.

*a Indicadores corporativos*

Estos son indicadores estratégicos a largo plazo que la alta gerencia utiliza para la planeación del negocio. El rango de planeación es por lo general de un plan estratégico de tres a cinco años.

*b Indicadores financieros*

Estos indicadores se utilizan para asegurar que los departamentos de una compañía estén alcanzando los objetivos financieros establecidos en el plan estratégico. Los indicadores se revisan anualmente. Si las cifras anuales no corresponden con lo previsto, entonces el análisis comenzara al nivel siguiente en la jerarquía.

*c Indicadores de desempeño para eficiencia y efectividad*

La efectividad enfatiza que tan bien logra un departamento o función sus objetivos o satisface las necesidades de la compañía. Desde la perspectiva del cliente, a menudo la efectividad se discute en términos de la calidad del servicio proporcionado. En el caso del mantenimiento, la efectividad puede representar la satisfacción general de la compañía con la capacidad y condición de sus activos.

Eficiencia es actuar o producir con un mínimo de desperdicio, gasto o esfuerzos innecesarios. La eficiencia compara la cantidad de servicio proporcionado con los recursos consumidos: ¿Tiene un costo razonable el servicio que se proporciona? Las medidas de eficiencia se concentran en que tan bien se está realizando una tarea y no en verificar si la tarea

en si es correcta. La efectividad se concentra en lo correcto del proceso y si este produce el resultado deseado.

Estos indicadores deben mostrar la eficiencia y efectividad de las funciones tácticas dentro del mantenimiento. Entonces se puede asegurar que los indicadores de desempeño táctico estén en línea para respaldar los indicadores anuales de desempeño financiero.

*d Indicadores de desempeño táctico*

Los indicadores de desempeño táctico monitorean los indicadores de función a largo plazo en un rango trimestral o de noventa días. Este rango permite un tiempo para que se desarrollen las tendencias. Monitorear los indicadores tácticos identifica los cambios requeridos ilustrados por los indicadores funcionales que ascienden por la pirámide. Pueden entonces realizarse cambios a los procesos de manteniendo antes que se vea afectada la eficiencia y efectividad de la organización de mantenimiento hasta el grado en que se pierdan los objetivos del indicador anual de desempeño financiero.

Los indicadores tácticos se centran en los procesos individuales dentro de la función de mantenimiento. Sin embargo, optimizar ese único proceso puede tener un impacto negativo en otros proceso. Este efecto potencial muestra la razón de los indicadores de eficiencia y efectividad. Estos evalúan la función de mantenimiento en general, mientras que los indicadores tácticos evalúan solo uno de los once procesos específicos de mantenimiento (ver Ilustración 4.4).

*e Indicadores de desempeño funcional*

Los indicadores funcionales derivan su nombre de la palabra función. En términos sencillos, los indicadores muestran como se esta desempeñando una de las once funciones específicas de mantenimiento. La siguiente lista muestra las funciones específicas requeridas o esperadas de una organización de mantenimiento en la mayoría de las compañías.

- Mantenimiento preventivo
- Inventario y adquisición
- Sistemas de ordenes de trabajo
- Sistemas computarizados de Administración de Mantenimiento (SCAM)
- Capacitación técnica e interpersonal
- Participación operacional
- Mantenimiento Predictivo
- Mantenimiento centrado en la Confiabilidad
- Mantenimiento Productivo Total
- Optimización Financiera Estadística
- Mejoramiento Continuo.

Los indicadores de desempeño funcional muestran que tan bien se están desempeñando las parte de la función al respaldar los aspectos tácticos.



#### 4.6.6 Cálculo de la Productividad de Mantenimiento

El índice de productividad, nos indicara el comportamiento del mantenimiento en las plantas, es decir saber como, y con que eficacia estamos utilizando los recursos del área de mantenimiento.

La productividad es el resultado del comportamiento global de tres índices: utilización, rendimiento y método.

<b>PRODUCTIVIDAD = Utilización x Rendimiento x Método</b>
---

##### a *Indicador de la Productividad del Mantenimiento*

“El manejo de la productividad del mantenimiento esta basado en maximizar tres factores de productividad”.

Los niveles promedios en las áreas de mantenimiento, utilizan productivamente al personal durante un 65% de las horas disponibles, el nivel de utilización de métodos de un 65% y el personal tiene un rendimiento del 70% esto nos da una productividad de:

$$0,65 \times 0,65 \times 0,70 = 29\%$$

Esto significa que si un Dpto. de Mantenimiento tiene una dotación de 15 hombres, el trabajo teóricamente podría realizarse con 5.

Si mejoramos la utilización y método, elevando los índices a 85% y dejando igual el rendimiento se tendría una productividad de:

$$0,85 \times 0,85 \times 0,70 = 50\%$$

Significando un aumento de la productividad de 20%, eso es una ganancia de aproximadamente añadir a las operaciones de mantenimiento (50% - 29%) x 15 hombres = 3 hombres

*b Mejoras Potenciales del Mantenimiento Mediante los Factores de Productividad.*

En lo referente a la Utilización se debe eliminar todo retraso por:

- Mala información en los requerimientos de trabajo.
- Falta de planificación.
- Falta de procedimiento.
- Programación deficiente.
- Faltante de recursos logísticos.
- Infraestructura del taller inadecuada.
- Coordinaciones deficientes.
- Falta de información técnica.
- Falta de control y medición de tiempos.
- Problemas jerárquicos.
- Comunicación y capacitación deficiente.
- Todo el mantenimiento se hace en la “Planificación Sostenida”.

Como ya lo hemos manifestado este índice es el tiempo productivo que utilizamos la mano de obra, es decir su nivel de empleo global como se le utilice.

Su Calculo es por la Expresión:

$$\frac{Hs + Hss}{Hd} \times 100$$

**Hs** = Horas netas utilizadas en O/T con estándar

**Hss** = Horas netas utilizadas en O/T sin estándar

**Hd** = Horas disponibles.

En lo referente al Método, se debe realizar mejoras en:

- Procedimiento y métodos de trabajo.
- Ubicación adecuada del personal en los puestos de trabajo.
- Estandarización de herramientas y los equipos.
- Transporte de los materiales y los equipos.
- Los equipos accesibles para mantenimiento.
- Políticas administrativas.
- Automatización.
- Capacitación y tecnología.
- Diseño de herramientas y dispositivos.
- Ubicación de talleres y lugares de trabajo.
- Dotación y facilidad de acceso a las herramientas.
- Transmisión de directrices y vías de comunicación.

En este índice que nos indica la forma como se usan los recursos, tomaremos como estimado para calcular, la unidad.

Y en lo que respecta a Rendimiento, se tiene que mejorar y estimular la motivación mediante:

- Cumplimiento de las directrices de lo planificado y programado.
- Balance de carga de trabajo.
- Eliminación superposición de funciones y tareas.
- Directrices con tareas concretas y alcanzables con tiempos reales.
- Pagos equitativos y ambiente de trabajo motivador.
- Difusión de los programas y carga de trabajo a todo nivel, visión del que hacer.
- Procedimientos de registros de los tiempos.
- Supervisión e informes de control.

Sabemos que el rendimiento es la habilidad y esfuerzo eficaz utilizado productivamente, que tiene

Como ingrediente el comportamiento de los operadores o su voluntad de trabajar, podemos estimar

Este índice con la siguiente expresión:

$$\frac{Has}{He} \times 100$$

**Has** = Horas netas asignadas estándar.

**He** = Horas netas empleadas en O/T con estándar.

## **CAPITULO 5**

### **PROPUESTA DE CAMBIO EN LA GESTION**

#### **5.1 Nueva Organización del Area de Mantenimiento**

La filosofía moderna de la administración del mantenimiento nos ha permitido plantear una nueva misión, visión, nuevos objetivos y políticas para el área de Mantenimiento en la Planta Concentradora.

##### **5.1.1 Misión**

Misión:

Tomar el rol de liderazgo en la administración, durante toda la vida de la Planta Concentradora, del estado y rendimiento de los equipos; para así ayudar a asegurar el rendimiento competitivo de Cobriza en concordancia con el plan de negocios de la corporación, DOE RUN COMPANY, y dentro de los límites permitidos.

Factores Claves de Éxito:

Para mejorar exitosamente como un grupo involucrado en los requerimientos de nuestra misión, Tenemos que tener lo siguiente:

- Un área de trabajo seguro y responsabilidad ambiental.
- Personal competente, motivada y confiable.
- Confianza mutua y armoniosa relación de trabajo con todos los grupos de trabajo.
- Atención en las necesidades de nuestro personal y el negocio.
- Detección proactiva y prevención de fallas.
- Administrado la integridad del equipo y su efectividad.
- Uso innovador y apropiado de tecnologías
- Mediciones y mejoramiento continuo.

### **5.1.2 Visión**

Nuestra área de Mantenimiento será reconocida como el mejor, el mas acogedor y el mas satisfactorio lugar de trabajo para nuestro personal; y consecuentemente seremos los mejores en alcanzar o superar nuestra misión.

Factores claves de éxito: Nosotros sabremos que estamos alcanzando nuestra visión cuando. . .

#### *a Nuestra gerencia diga que:*

- Mantenimiento contribuye al éxito de la empresa.
- La empresa gana una ventaja competitiva de la forma como nosotros administramos el mantenimiento de nuestra planta.
- Nosotros confiamos en nuestros empleados y respetamos sus opiniones.

*b Nuestro personal diga que "Nosotros":*

- Trabajamos en una atmósfera segura y satisfactoria
- Conocemos donde encajamos y nos sentimos parte del negocio
- Somos seguros de nosotros mismos porque tenemos las habilidades y conocimientos adecuados.
- Sentimos que nuestras contribuciones son valiosas

*c En nuestro trabajo nosotros valoramos:*

- Nuestra relación y la confianza que nosotros podemos construir con nuestros colegas.
- La oportunidad de compartir conocimientos y aprender de cada uno de nosotros para el beneficio de todos.
- Comprensión de cómo nuestros equipos trabajan y porque fallan.
- La seguridad de que podemos prevenir fallas y mejorar los equipos y el proceso.
- El uso tecnología apropiada, sistemas y procedimientos para conocer nuestras necesidades.

### **5.1.3 Objetivos**

- Preservar las funciones de los activos físicos según sea la exigencia del contexto operacional.
- Obtener valores óptimos en los indicadores o parámetros de su gestión.

- Elevar la disponibilidad de los equipos
- Reducir los costos de mantenimiento
- Evitar daños consecuenciales a las personas y/o equipos
- Contribuir en incrementar la productividad
- Humanizar el mantenimiento, considerando la motivación en el trabajo.

#### **5.1.4 Políticas de Mantenimiento**

- Nuevo organigrama, centrando las actividades del personal de mantenimiento hacia la mejora de la productividad de los equipos.
- Planificación y programación de todas las actividades de Mantenimiento
- Implementar un sistema moderno de mantenimiento en base al mantenimiento Preventivo, Predictivo, Proactivo, Centrado en la Confiabilidad, Productividad Total y de Mejoramiento Continuo.

En los puntos siguientes se volverá a tocar las políticas de mantenimiento pero con mas detalle para su implementación.

#### **5.1.5 Nuevo Organigrama**

En el Diagrama 04 “Organigrama Propuesto de Mantenimiento” (Ver al final de la tesis en Diagramas/Esquemas) se observa el nuevo organigrama de organización en base a los criterios mencionados en el



Capítulo 4 “Filosofía para la Nueva Gestión de Mantenimiento”, con lo cual el organigrama se caracteriza por lo siguiente:

- Se considera un personal comprendido por 16 mecánicos, 5 eléctricos y dos sobrestantes, además de que el Asistente de Mantenimiento pasa a tomar la responsabilidad de planeador.
- Un grupo se encargara de realizar inspecciones de toda la planta evaluando y detectando los problemas para el planeamiento de su reparación.
- Se implementa el mantenimiento preventivo, debido a que esto es la base para encaminar el mantenimiento hacia su eficacia. Aquí un grupo realizara trabajos programados de reparación y conservación.
- Considerando que el 80% de los trabajos serán programados, se considera un 20% del personal (3 mecánicos y un eléctrico) para la realización de reparaciones no programadas o imprevistas.

Las responsabilidades y funciones del personal mencionado en el organigrama se detalla a continuación:

*a Jefe de Mantenimiento*

- Coordinar con el Superintendente de Planta acerca de prioridades o cambios en el planeamiento de trabajos por motivos operacionales.
- Responsable de los costos de Mantenimiento

- Supervisar los trabajos de mantenimiento.
- Coordinar con el Planeador los trabajos a programar con una semana de anticipación.
- Gestión de compra de repuestos
- Control administrativo del personal.

*b Planeador*

- Elaboración de los programas de mantenimiento (Anual, mensual, semanal, diario)
- Control de los Procedimientos Seguros de Trabajo (PST)
- Administrar los datos obtenidos por las inspecciones y trabajos de mantenimiento.
- Planificación de los trabajos.
- Control de repuestos.
- Control de costos.

*c Sobrestante*

- Basándose en las indicaciones del Jefe de mantenimiento debe distribuir al personal técnico.
- Supervisar todos los trabajos, dando las pautas de seguridad y técnicas que sean necesarias.
- Supervisar la evaluación realizada por los inspectores.
- Reportar a la Jefatura del resultado de los trabajos y los trabajos que se requieran para mejorar la disponibilidad del equipo.
- Realizar el tareo del personal.

*d Grupos de Trabajo*

Los grupos formados tendrán en común las siguientes funciones y responsabilidades:

- Realizar el trabajo encomendado por el Sobrestante cumpliendo las normas de seguridad.
- Coordinar con el Sobrestante acerca de los problemas encontrados o reportados en el área designada.

Adicionalmente cada grupo tiene la siguiente misión:

**Mantenimiento correctivo** .- Tendrán un trabajo programado asignado por el planeador, este será un trabajo preventivo con prioridad baja de tal forma que si se presentara una emergencia que atender, puedan dejar su trabajo sin afectar los trabajos programados que tienen una prioridad mayor.

**Inspección**.- Los dos mecánicos asignados trabajaran en pareja, alternándose cada día el área a inspeccionar según el Plan de Inspección con que contarán.

En la inspección deberán estimar los requerimientos específicos acerca de recursos a requerirse, para un trabajo de envergadura o delicado se realizara con el sobrestante y si es necesario con el planeador o Jefe de Mantenimiento.

**Mantenimiento Preventivo**.- El personal asignado a estas tareas realizara los trabajos programados y planificados de "Prevención" que semanalmente emitirá el Planeador.

**Taller** .- El personal asignado a bodega y maestranza se evitara sacarlos de sus puestos para que apoyen a otro grupo de trabajo; ya que el trabajo que cumplen es importante como es el caso del mecánico de maestranza que debe fabricar repuestos menores y el bodeguero que debe mantener en stock los insumos necesarios para los diversos trabajos programados.

## **5.2 Implementación del Planeamiento y Programación**

Se sabe que las empresas Antamina y Tintaya tienen buenos sistemas de planeamiento con lo cual tienen buen performance en sus costos. En contraparte otras empresas tuvieron una fuerte inversión en la implementación pero no tuvieron resultados adecuados, la causa principal fue que el área de planeamiento trabajaba independientemente del área de ejecución del mantenimiento, cuando ambos se complementan.

La importancia del planeamiento también radica en que es la base para el mantenimiento preventivo y predictivo, las cuales permiten la optimización de costos que ahora más que nunca es necesario que Cobriza lo use porque es la clave del ahorro sostenido.

### **5.2.1 Determinación de los Recursos para el Area de Planeamiento**

En base a la Tabla 5.1 que se muestra, se obtendrá el puntaje que nos ayudara a obtener el número de planeadores requeridos para la Planta Concentradora:

Tabla 5.1 Calculo del número de Planners

TABLA PARA CALIFICACION		
DESCRIPCION	PUNTAJE	
1. Tipo de planificación / programación	Separada (dos persona una programa y la otra planifica)	1
	Combinada (una persona programa y planifica)	2
2. Especialidades asumidas	Una especialidad	1
	Dos especialidades	2
	Tres especialidades	3
	Cuatro especialidades	4
3. Detalle de planificación, indicando: - Especialidad - Herramientas especiales - Materiales	Solo instrucciones generales.	1
	Descripción de tareas importantes	3
	Descripción detallada de tareas	5
	Descripción del método de trabajo	7
4. Precisión del estimado	Datos históricos	3
	Métodos de rangos	5
	Estudio de tiempos	7
	Estándares predeterminados	9

NUMERO DE PLANEADORES	
PUNTAJE OBTENIDO	RELACION TRABAJADOR / PLANIFICADOR
6 – 8	40 – 50 / 1
9 – 11	35 – 40 / 1
<b>12 – 14</b>	<b>30 – 35 / 1</b>
15 – 17	25 – 30 / 1
18 – 20	20 – 25 / 1
21 – 22	15 – 20 / 1

De acuerdo a las características de Planeamiento que se implementará, marcado en rojo, se obtiene un puntaje de 12; con este valor en la tabla inferior se obtiene la relación 30-35/1 que significa que por cada 30 a 35 trabajadores se requiere una persona que realizaría la función de planificador/programador. La planta cuenta con 33 técnicos entre mecánicos y eléctricos, con lo cual se obtiene el requerimiento de solo un “Planner” en el área de planeamiento.

### 5.2.2 Técnica de Programación

La técnica de programación a usar es una combinación del *método de Gantt*, debido a la forma gráfica, y al *método de ruta crítica* (CPM) por la interdependencia de actividades que servirán para la optimización del programa.

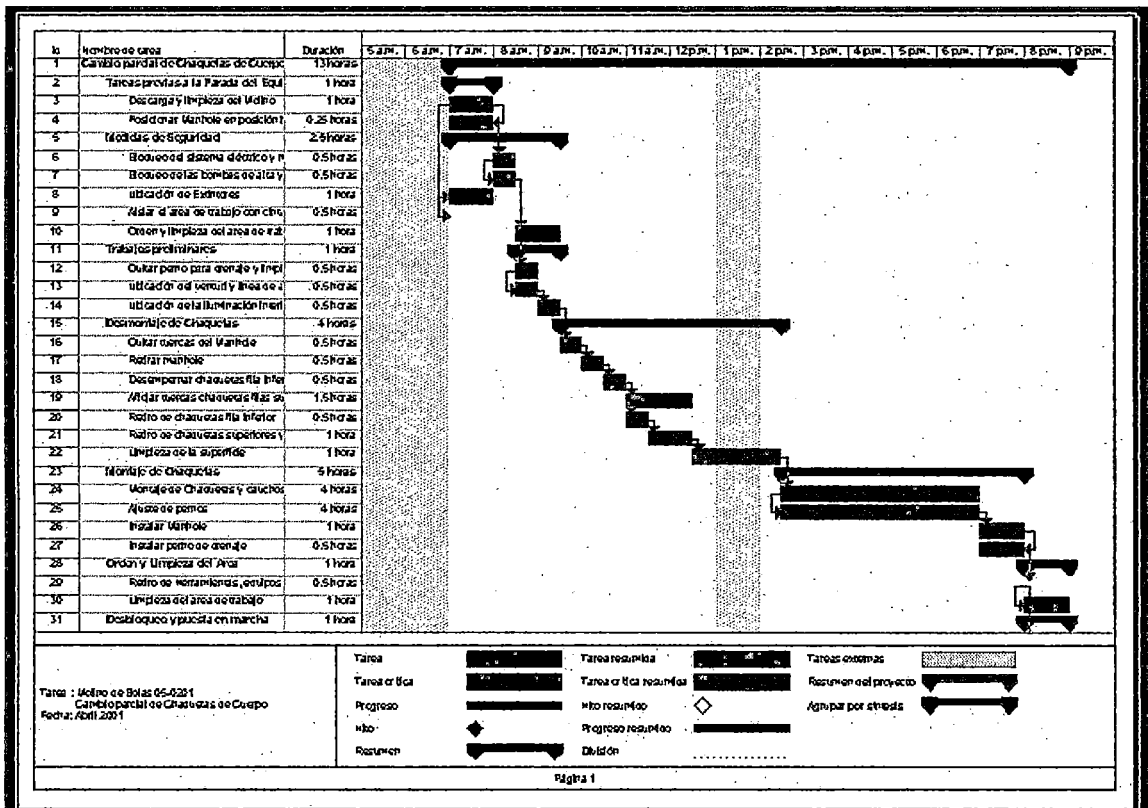
El método de Gantt Es un método gráfico de programación en el que la planificación y programación de actividades se realiza al mismo tiempo, es decir que la longitud de la barra que representa cada tarea indica las unidades de tiempo requerido.

El CPM (Critical Path Method) es una técnica de programación en la que se considera que los tiempos de las actividades son fijos y se pueden variar cambiando el nivel de los recursos utilizados.

En la técnica del CPM se utiliza flechas que relacionan una tarea con otra de tal forma que muestra la secuencia de las actividades y la interdependencia de ellas.

El uso de esta técnica se ve plasmada en el software computacional *Microsoft Project* el cual es muy versátil y nos da al mismo tiempo mucha flexibilidad para analizar diferentes situaciones antes de tomar una decisión. La ilustración 5.1 nos muestra una Hoja de Programación realizado con este software (note que la ruta crítica se muestra en rojo)

Ilustración 5.1: Vista de una hoja de Programación con Microsoft Project.



Una aplicación completa de Planeamiento la puede apreciar en el Anexo E.

### 5.2.3 Sistema de Ordenes de Trabajo

La orden de trabajo a ser utilizada se muestra en la Figura 5.2

Ilustración 5.2: Formato de Orden de Trabajo.

## ORDEN DE TRABAJO

Pedido por: _____		Fecha: ____/____/____		Aprobado por: _____		Orden de Trabajo Nº	
Permiso requerido:		En caliente: <input type="checkbox"/>		En frío: <input type="checkbox"/>			
En caliente: <input type="checkbox"/>		En frío: <input type="checkbox"/>		Otro: <input type="checkbox"/>		No: <input type="checkbox"/>	
				Devolver despues del estimado: <input type="checkbox"/>			
DESCRIPCION:							
Requerido: _____	Prioridad	Cuenta: _____	Equipo: _____	Planta: _____	Tipo de Trab.		
Sumario de estimados							
Labor : \$		Material : \$		Equipo : \$		Total : \$	
DESCRIPCION LABOR						Hm	Horas
MATERIAL						Costo Total Labor \$	
Codigo	c	Unid.	Descripción	Fecha Disp.	Costo Unit.	Sub Total	
EQUIPO						Costo Total Material \$	
Equipo		Descripción			Horas	Tasa	Sub Total
TRABAJE CON SEGURIDAD / ENSEÑE CON SEGURIDAD						Costo Total Equipo \$	
Nota de Seguridad :							
Terminado en : ____/____/____			Ejecutado por :			Recibido por :	



El formato presenta varios campos, los campos sombreados son aquellos que el originador debe completar. La definición de cada campo se detalla a continuación.

En el Capítulo 4.1.5 se indica la descripción de los campos que tiene una Orden de Trabajo.

#### **5.2.4 Flujo de las Órdenes de Trabajo**

La secuencia que debe seguir una orden de trabajo desde la solicitud hasta su archivo, se detalla en la Tabla 5.2.

#### **5.2.5 Registro de Calidad de Reparación**

Es importante que exista un registro de cómo se realizó el trabajo solicitado a través de una orden de trabajo, este registro o reporte deberá especificar las causas que originaron la falla, que repuestos se cambiaron, o que valores arrojaron las mediciones para que se decida reutilizar un repuesto, además especificara observaciones necesarias que deban guardarse en el historial del equipo.

El formato se puede observar en la Ilustración 5.3.

Tabla 5.2: Flujo de una Orden de Trabajo

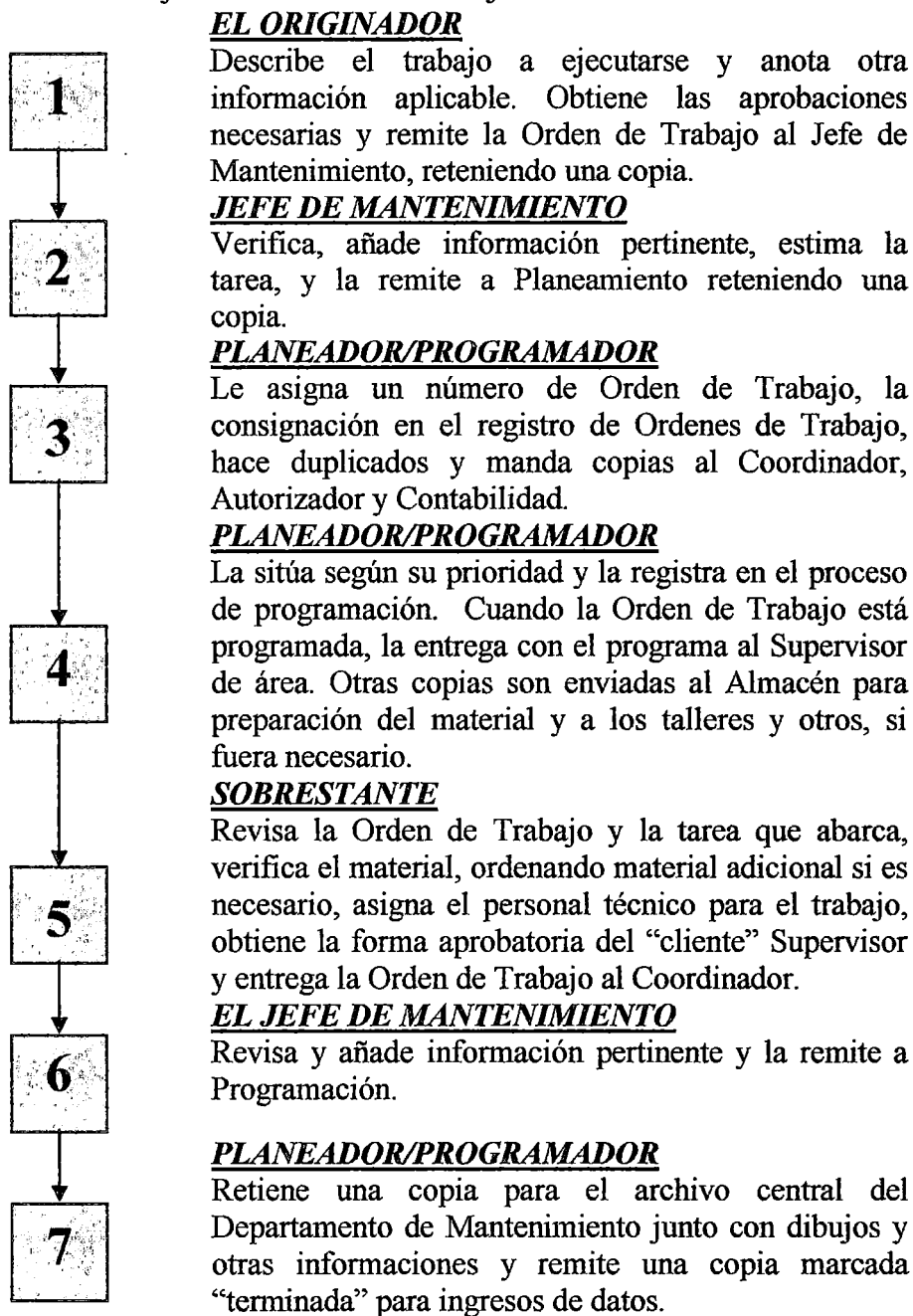


Ilustración 5.3: Formato de Reporte de Reparación de Equipo

Mantenimiento Planta Concentradora - Planeamiento		
REGISTRO DE CALIDAD DE CALIDAD		
O.T. N°: _____	EQUIPO : _____	PLANTA : _____
SUPERVISOR : _____		
FECHA INICIO TRABAJO _____ / _____ / _____	FECHA FIN TRABAJO : _____ / _____ / _____	
HORAS DE PARADA DE EQUIPO : _____	HORAS HOMBRE REQUERIDAS : _____	
RECURSO HUMANO UTILIZADO :		
_____		
_____		
OBSERVACIONES AL DESMONTAR (Causa básica) :		
_____		
_____		
_____		
_____		
PIEZAS QUE SE CAMBIAN :		
_____		
_____		
_____		
_____		
OBSERVACIONES		
_____		
_____		
_____		
_____		
_____		
_____		
FIRMA DEL SUPERVISOR _____		FECHA _____ / _____ / _____
<i>Nota.: Para cualquier información adicional usar la página posterior.</i>		

## 5.2.6 Implementación de un SCAM

El uso de un Sistema Computarizado de Administración del Mantenimiento (SCAM), es la herramienta fundamental para el Planeamiento y para el Mejoramiento Continuo que requieren de analizar la información de los equipos en tiempo real para poder tomar decisiones.

El costo de un SCAM comercial como el SAP o MAXIMO es muy alto, pero puede ser rentable en empresas con flujos de caja también altos. Para el caso de Cobriza este costo no era accesible ya que el control y optimización de costo debido a las pocas reservas minerales con que cuenta, no hacia factible esta opción. Por tal motivo se decidió implementar un software no tan complejo como los mencionados líneas arriba pero con los mismos fundamentos que nos permitirán llevar el historial de nuestros equipos y poder realizar análisis mucho mas rápidos de los que se hacían en forma manual.

El software usado fue Microsoft Access por su aplicación en gestión de base de datos y por ser un software que se dispone con facilidad.

En base a la nueva gestión de mantenimiento que se esta implementando y a los datos requeridos para evaluar los indicadores de gestión, se crean las diferentes bases de datos y las relaciones entre ellas.

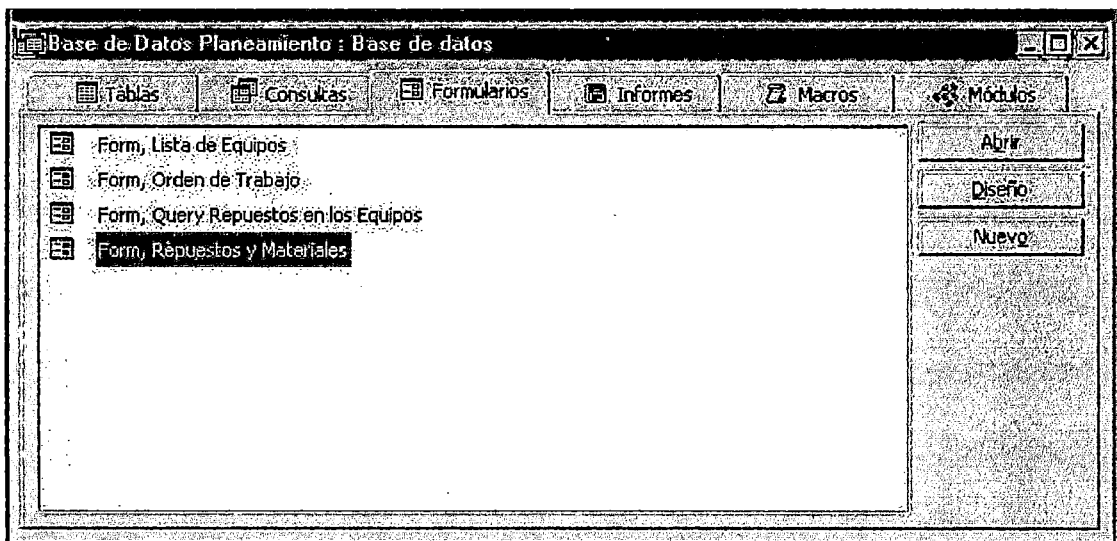
El SCAM creado cuenta con las siguientes Tablas:

- Lista de Equipos
- Lista de Repuestos y Materiales

- Lista de Centros de Costos
- Lista de Personal
- Lista de Repuestos de un Equipo

La ilustración 5.4 muestra una vista del SCAM creado en Microsoft Access.

Ilustración 5.4: Vista del SCAM creado en Microsoft Access.



Las pantallas o formularios para el ingreso de datos creadas son las siguientes:

- Equipos
- Repuestos y Materiales
- Repuestos de un Equipo
- Orden de Trabajo (esta se puede apreciar en la ilustración 5.5)

Ilustración 5.5: Formulario de Ingreso de una Orden de Trabajo creada en Access

Microsoft Access - [Query, Tareas Pendientes]			
Archivo Edición Ver Insertar Formato Registros Herramientas Ventana			
Terminado? <input checked="" type="checkbox"/>		<b>ORDEN DE TRABAJO</b>	
		O.T. N°	20153
Pedido por:	Fecha del Pedido:	Aprobado por:	
M. Rosales	Miércoles, 02 de Febrero de 2000	L. Retuerto	
Código del Equipo:	Descripción Pedido:		
03-0302	Cambiar viga de Zaranda, que soporta marcos, fue reforzada por haberse encontrado rajado.		
Zaranda de un piso, 8x20'			
Prioridad	Permiso Requerido	Tipo de Trabajo	Parte del Equipo
1	En Frio	Conservacion	Zaranda
Labor	Materiales	Equipos	
Supervisor: K. Montes Mecánico Experimentado: J. Romero Soldadores:	01 Viga transversal de soporte de marcos prefabricado. 01 Kg Chanfercord 12 set Pernos de 5/8 con tuerca,	Seguridad: Arnés, escalera de 3m Herramientas: Equipo de soldar	
h-h Utilizadas:	Costo Labor:	Costo Material:	Costo Equipo:
35	\$ 420.00	\$ 650.00	\$ 0.00
Avance	Duración Parada:	Descripción Trabajo Realizado	
100%	5.5 Horas	21 Abr. : Cambio de viga transversal cuarto tramo, por haberse roto. 22 Abr. : Ajuste de pernos de la viga	
Fecha Culminada:			
Registro 1 de 1335			

Referente a reportes, los mas usados son los siguientes:

- Lista de Trabajos pendientes por equipo (Ver Ilustración 5.6)
- Reporte de Trabajos mensuales realizados
- Reporte mensual por Centro de Costos.
- Reporte mensual de Trabajos realizados por equipos.

Para el calculo de indicadores y otros análisis que se deseen, Microsoft Access nos permite exportar sus datos a Microsoft Excel donde se puede realizar graficas ilustrativas de por ejemplo los indicadores de gestión. Así mismo Access nos permite el uso de

Microsoft Visual Basic como lenguaje de programación para automatizar mejor nuestros formularios y obtener directamente graficas en Excel.

Ilustración 5.6: Vista del Reporte de Trabajos pendientes por Equipos

Código Equipo	Fecha del Reporte	Tipo de Trabajo	Parte del Equipo	Descripción	Prioridad	Porcentaje de Avance	Fecha de Culminación	Terminado?
030101	2000/1/2000	Reparación	Trípode	Ajuste de parámetros del Sistema, actualización de software. Fecha de inicio: 14/01/2000 y de fin: 20/01/2000.	1	00%		<input type="checkbox"/>
030101	24/01/2000	Preventivo	Sistema de Almacenamiento	Revisión de niveles de espacio en disco duro y particiones. Verificación de integridad de datos. Actualización de software de seguridad. Fecha de inicio: 24/01/2000 y de fin: 28/01/2000.	1	00%		<input type="checkbox"/>
030101	23/01/2000	Corrección	Sistema de Almacenamiento	Corrección de errores de configuración del sistema de almacenamiento. Fecha de inicio: 23/01/2000 y de fin: 23/01/2000.	1	20%		<input type="checkbox"/>
030101	24/01/2000	Corrección	Fuente de Alimentación	Revisión de estado de la fuente de alimentación. Fecha de inicio: 24/01/2000 y de fin: 24/01/2000.	1	0%		<input type="checkbox"/>
030101	24/01/2000	Corrección	Reducción	Reducción de espacio en disco duro. Fecha de inicio: 24/01/2000 y de fin: 24/01/2000.	1	0%		<input type="checkbox"/>
030101	02/01/2000	Corrección	Fuente	Reparación de la fuente de alimentación. Fecha de inicio: 02/01/2000 y de fin: 02/01/2000.	1	5%		<input type="checkbox"/>
030101	23/01/2000	Seguridad	Variedad	Actualización de software de seguridad. Fecha de inicio: 23/01/2000 y de fin: 23/01/2000.	2	0%		<input type="checkbox"/>

### 5.3 Implementación del Mantenimiento Preventivo (MP)

En los siguientes puntos se detallara los ítems que requieren mas detalle para su implementación

#### 5.3.1 Determinación de Equipos importantes

Es necesario clasificar los equipos de tal manera que se pueda distinguir los equipos cuya falla afectaría directamente la seguridad del

personal o la continuidad operativa. Una vez identificado los equipos críticos los programas de mantenimiento tales como Preventivo, Predictivo y otros focalizarán su implementación en estos equipos.

Los niveles de criticidad de un equipo están definidos por los siguientes términos:

- **Critico:** Absolutamente necesario para garantizar la continuidad operativa de la Planta o que ocasione grandes daños al fallar.
- **Importante:** Necesario para la operación de la Planta pero puede ser parcial o totalmente reemplazados.
- **Normal:** No esenciales para los procesos de la Planta fácilmente reemplazables.

Con ayuda de la Tabla 5.7 presentada a continuación se puede determinar la criticidad de un equipo.



Tabla 5.3: Tabla para la evaluación de la criticidad de un equipo

EVALUACION DE EQUIPOS				
ITEM	VARIABLES	CONCEPTO	PONDERACION	OBSERVACIONES
<b>1 EFECTO SOBRE EL SERVICIO A OPERACIONES</b>				
		Para	4 ✓	
		Reduce	2	Parada Parcial
		No Para	0	
<b>2 VALOR TECNICO ECONOMICO</b>				
	Considerar el costo de Adquisición, Operación y mantenimiento	Alto	3 ✓	Mas de US\$ 10 000
		Medio	2	
		Bajo	1	Menos de US\$ 1 000
<b>3 LA FALLA AFECTA</b>				
	a. Al equipo en Si	Si	1 ✓	¿Deteriora otros componentes?
		No	0	
	b. Al servicio	Si	1	¿Origina Problemas a otros equipos?
		No	0 ✓	
	c. Al operador	Riesgo	1	¿Posibilidad de accidentes al operador?
		Sin Riesgo	0 ✓	
	d. A la Seguridad en General	Si	1	¿Posibilidad de accidente a otras personas u otros equipos cercanos?
		No	0 ✓	
<b>4 PROBABILIDAD DE FALLA (CONFIABILIDAD)</b>				
		Alta	2 ✓	¿Se puede asegurar que el equipo va a trabajar correctamente cuando se le necesite?
		Baja	0	
<b>5 FLEXIBILIDAD DEL EQUIPO EN EL SISTEMA</b>				
		Unico	2 ✓	No existe otro igual o similar
		By Pass	1	El sistema puede seguir funcionando
		Stand By	0	Existe otro igual o similar no instalado
<b>6 DEPENDENCIA LOGISTICA</b>				
		Extranjero	2 ✓	Repuestos se tienen que importar
		Loc. / Ext.	1	Algunos repuestos se compran localmente
		Local	0	repuestos se consiguen localmente
<b>7 DEPENDENCIA DE LA MANO DE OBRA</b>				
		Terceros	2	El mantenimiento requiere contratar a terceros
		Propia	0 ✓	El mantenimiento se realiza con personal propio
<b>8 FACILIDAD DE REPARACION (MANTENIBILIDAD)</b>				
		Baja	1 ✓	Mantenimiento Dificil, o duracion > 6h
		Alta	0	Mantenimiento Facil, o duracion < 6h
<b>ESCALA DE REFERENCIA</b>				
1	CRITICA	←	15 a 20	
2	IMPORTANTE		8 a 14	
3	NORMAL		0 a 7	

Como ejemplo aplicativo se muestra el caso de la *Chancadora Primaria* de código *02-0101*, para lo cual en base a la Tabla se tiene:

1. Si falla, detiene la producción; por lo cual acumula 4 puntos
2. El costo de la Chancadora es mas de cien mil dólares, por lo cual acumula 3 puntos más.
3. Si falla puede comprometer varios componentes de la misma chancadora, pero no afecta la seguridad de los operadores, otras personas u otros equipos; por lo cual acumula 1 punto
4. Actualmente su probabilidad de falla es alta, por lo cual acumula 2 puntos.
5. Si falla es único, el proceso no admite by pass de este equipo; por lo cual acumula 2 puntos.
6. Los repuestos utilizados deben ser originales por lo tanto son importados; debido a esto acumula 2 puntos.
7. La reparación del equipo se realiza con el mismo personal técnico de mantenimiento; por lo cual acumula 0 puntos.
8. Su reparación no es sencilla, podría llegar a demorar mas de 24 horas; por lo cual acumula 1 punto.

Sumando los puntos acumulados se obtiene 15 puntos con lo cual ubica a la Chancadora Primaria 02-0101 como un equipo *crítico*.

De la misma forma se han evaluado todos los equipo en Planta y finalmente se obtiene la lista de equipos que son críticos, importantes y normales. En la Tabla 5.8 que se muestra a continuación podrán observar la clasificación de los equipos en base a su criticidad.

Tabla 5.4: Lista de Equipos clasificados por su criticidad.

**Criticidad de Equipos en Planta**

Nº	Códigos	Nombre	Cant.	Criticidad
<b>Equipos Críticos</b>				
1	02-0101	Chancadora Primaria	1	15
2	02-0701	Alimentador vibratorio	1	15
<b>Equipos Importantes</b>				
3	02-0601	Faja transportadora	1	14
4	02-0602	Faja transportadora	1	14
5	03-0101	Chancadora Secundaria	1	13
6	03-0301	Zaranda vibratoria	1	12
7	03-0601	Faja transportadora	1	12
8	03-0603	Faja transportadora	1	12
9	03-0605	Faja transportadora	1	12
10	05-0201 y 05-0203	Molino de bolas primario	2	12
11	05-0202 y 05-0204	Molino de bolas secundario	2	12
12	05-2301 Y 05-2302	Filtro tambor	2	11
13	03-0102 al 0103	Chancadora Terciaria	2	10
14	04-0602 al 0603	Faja transportadora	2	10
15	03-0302 al 0304	Zaranda vibratoria	3	9
16	05-0205	Molino de bolas remolienda	1	9
<b>Equipos Normales</b>				
17	04-0702 al 0706	Alimentador por faja variable	4	7
18	05-0501 y 05-0503	Batería de hidrociclones primario	2	7
19	05-0502 y 05-0504	Batería de hidrociclones secundario	2	7
20	05-2201 y 2203	Acondicionador tanque	2	7
21	05-2600	Celda columna	1	7

22	05-0401	Espesador	1	7
23	06-1501 al 1504	Bomba vertical recuperación de agua	4	7
24	06-1506 al 1507	Bomba de doble cuerpo	2	7
25	02-0702 al 0704	Alimentador electromagnético	3	6
26	03-0701 al 0703	Alimentador electromagnético	3	6
27	03-0704 AL 0705	Alimentador por faja	2	6
28	05-2601 al 2664	Agitador de celdas de flotación de Rougher y Scavenger	64	6
29	05-2680 al 2698	Agitador de celdas de flotación de limpieza	18	6
30	05-1513 y 1514	Bomba centrifuga espesador	2	6
31	05-1550 y 1551	Bomba centrifuga filtro tambor	2	6
32	05-1750 y 1751	Bomba de vacío	2	6
33	07-1508 al 1510	Bomba vertical agua del río Mantaro	3	6
34	05-1501 al 1504 y 1561 al 1564	Bomba Centrifuga de molienda	8	5
35	05-0505	Batería de hidrociclones remolienda	1	5
36	05-1505 y 1565	Bomba centrifuga de remolienda	4	5
37	05-1527 al 1530	Bomba centrifuga del Acondicionador	4	5
38	05-1521 al 1526	Bomba centrifuga flotación	7	5
39	05-1535 y 1536	Bomba vertical flotación	2	5
40	05-1530 y 1531	Bomba vertical flotación	2	5
41	05-1518 y 1519	Bomba centrifuga celda columna	2	5

### 5.3.2 Programas de Trabajo

Los programas o estándares de trabajo son el conjunto de actividades programadas para cada equipo, la frecuencia de cada actividad se basará a las recomendaciones del fabricante del equipo y a la experiencia del personal de mantenimiento.

Los estándares a elaborar serán los siguientes:

- Programa de Mantenimiento Preventivo, que incluye las inspecciones y los trabajos de conservación de los equipos críticos e importantes. El Programa se muestra en la Tabla 5.9.
- Programa de Lubricación, de todos los equipos de Planta. El Programa se muestra en la Tabla 5.10.

Tabla 5.5: Programa de Mantenimiento Preventivo

**MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

<b>Equipo : Chancadora Primaria</b>			
<b>Código : 02-0101</b>			
<b>Componente</b>	<b>Descripción actividad</b>	<b>Tipo de actividad</b>	<b>Participación del operador</b>
<b>Diario</b>			
Sistema de Lubricación	Verificar nivel de aceite, flujo normal, presión adecuada y presencia de partículas metálicas en filtro de retorno.	Inspección	Si
Sistema hidráulico	Verificar nivel de aceite, presión adecuada.	Inspección	Si
Chancadora	Verificar amperaje y ruidos anormales en el sistema motriz	Inspección	Si
<b>Semestral</b>			
Sistema de Lubricación	Verificar sistema de protección sensor de flujo y bypass filtros	Inspección	No
Tolva de descarga	Cambio de forros en la tolva de descarga	Conservación	No
Sistema de Lubricación	Cambio de aceite y filtros del sistema de lubricación	Conservación	No
Sistema de Lubricación	Cambio de la bomba de lubricación	Conservación	No
<b>Anual</b>			
Sistema hidráulico	Cambio de filtros e inspección aceite hidráulico	Conservación	Si
Chancadora	Desmontaje para inspección general (verificar bocinas de la excéntrica y contraeje)	Inspección	No
<b>Cada dos años</b>			
Chancadora	Cambio de forros concave	Conservación	No
Chancadora	Cambio de forros mantle	Conservación	No

**MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

Equipo : Alimentador vibratorio			
Código : 02-0701			
Componente	Descripción actividad	Tipo de actividad	Participación del operador
<b>Diario</b>			
Alimentador	Verificar ruidos anormales y fisuras en planchas laterales del alimentador	Inspección	Si
Sistema de lubricación	Verificar existencia de fugas de aceite y controlar la temperatura del lubricante	Inspección	Si
<b>Mensual</b>			
Alimentador	Verificar estado de las correas de transmisión y su alineamiento	Inspección	Si
Sistema de lubricación	Cambio de aceite de los ejes excéntricos (45 días)	Conservación	No
<b>Cada cuatro meses</b>			
Alimentador	Cambio de forros de desgaste del alimentador	Reparación	No
<b>Cada seis meses</b>			
Alimentador	Desmontaje para evaluación de los rodamientos de los ejes excéntricos	Reparación	No

## MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Equipo : Faja Transportadora																																																																	
Códigos : 02-0601, 02-0602, 03-0601, 03-0603, 03-0605, 04-0602, 04-0603																																																																	
Componente	Descripción actividad	Tipo de actividad	Participación del operador																																																														
<b>Diario</b>																																																																	
Reductor	Verificar nivel de aceite reductor.	Inspección	Si																																																														
Faja	Verificar estado de parches, deterioros prematuros en la faja (cortes en los bordes o dentro de la faja). Centrado de faja.	Inspección																																																															
Polines	Verificar estado de polines (polin <tr> <td>Chutes / Tolvas</td> <td>Verificar estado de las guardillas de los chutes o tolvas.</td> <td>Inspección</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;"><b>Semanal</b></td> </tr> <tr> <td>Faja</td> <td>Cambio de parches o vulcanizado de los deteriorados</td> <td>Conservación</td> <td>No</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;"><b>Quincenal</b></td> </tr> <tr> <td>Poleas</td> <td>Lubricación de chumaceras de todas las poleas (cabeza, cola, deflectoras y de contrapeso)</td> <td>Conservación</td> <td>Si</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;"><b>Trimestral</b></td> </tr> <tr> <td>Reductor</td> <td>Lubricación de acoplamientos motor-reductor-polea motriz.</td> <td>Conservación</td> <td>No</td> </tr> <tr> <td>Polines</td> <td>Cambio de polines según inspecciones previas.</td> <td>Conservación</td> <td>Si</td> </tr> <tr> <td>Poleas</td> <td>Cambio de cuchillas de limpieza en polea motriz</td> <td>Conservación</td> <td>No</td> </tr> <tr> <td>Chutes/Tolva</td> <td>Cambio de guardillas laterales.</td> <td>Conservación</td> <td>No</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;"><b>Anual</b></td> </tr> <tr> <td>Reductor</td> <td>Cambio de aceite en reductor</td> <td>Conservación</td> <td>No</td> </tr> <tr> <td colspan="4" style="text-align: center;"><b>Cada dos años</b></td> </tr> <tr> <td>Poleas</td> <td>Cambio de forro de las poleas de cabeza y cola</td> <td>Conservación</td> <td>No</td> </tr> <tr> <td>Faja</td> <td>Cambio de faja</td> <td>Conservación</td> <td>No</td> </tr> <tr> <td>Reductor</td> <td>Mantenimiento general reductor y back-stop</td> <td>Conservación</td> <td>No</td> </tr>	Chutes / Tolvas	Verificar estado de las guardillas de los chutes o tolvas.	Inspección		<b>Semanal</b>				Faja	Cambio de parches o vulcanizado de los deteriorados	Conservación	No	<b>Quincenal</b>				Poleas	Lubricación de chumaceras de todas las poleas (cabeza, cola, deflectoras y de contrapeso)	Conservación	Si	<b>Trimestral</b>				Reductor	Lubricación de acoplamientos motor-reductor-polea motriz.	Conservación	No	Polines	Cambio de polines según inspecciones previas.	Conservación	Si	Poleas	Cambio de cuchillas de limpieza en polea motriz	Conservación	No	Chutes/Tolva	Cambio de guardillas laterales.	Conservación	No	<b>Anual</b>				Reductor	Cambio de aceite en reductor	Conservación	No	<b>Cada dos años</b>				Poleas	Cambio de forro de las poleas de cabeza y cola	Conservación	No	Faja	Cambio de faja	Conservación	No	Reductor	Mantenimiento general reductor y back-stop	Conservación	No
Chutes / Tolvas	Verificar estado de las guardillas de los chutes o tolvas.	Inspección																																																															
<b>Semanal</b>																																																																	
Faja	Cambio de parches o vulcanizado de los deteriorados	Conservación	No																																																														
<b>Quincenal</b>																																																																	
Poleas	Lubricación de chumaceras de todas las poleas (cabeza, cola, deflectoras y de contrapeso)	Conservación	Si																																																														
<b>Trimestral</b>																																																																	
Reductor	Lubricación de acoplamientos motor-reductor-polea motriz.	Conservación	No																																																														
Polines	Cambio de polines según inspecciones previas.	Conservación	Si																																																														
Poleas	Cambio de cuchillas de limpieza en polea motriz	Conservación	No																																																														
Chutes/Tolva	Cambio de guardillas laterales.	Conservación	No																																																														
<b>Anual</b>																																																																	
Reductor	Cambio de aceite en reductor	Conservación	No																																																														
<b>Cada dos años</b>																																																																	
Poleas	Cambio de forro de las poleas de cabeza y cola	Conservación	No																																																														
Faja	Cambio de faja	Conservación	No																																																														
Reductor	Mantenimiento general reductor y back-stop	Conservación	No																																																														



## MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Equipo : Zaranda de mallas de caucho			
Código : 03-0301			
Componente	Descripción actividad	Tipo de actividad	Participación del operador
<b>Diario</b>			
Zaranda	Verificar estado de la zaranda (ruidos, recalentamiento, fisuras)	Inspección	Si
Sistema de Lubricación	Lubricación de rodamientos (interdiario)	Conservación	Si
<b>Trimestral</b>			
Zaranda	Cambio de mallas	Reparación	No
<b>Semestral</b>			
Chute	Cambio de forros de caucho de desgaste del chute de descarga	Reparación	No
Zaranda	Cambio de marcos	Reparación	No
<b>Anual</b>			
Zaranda	Desmontaje de rodamientos para su inspección	Reparación	No

## MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Equipo : Zaranda de mallas de caucho			
Código : 03-0302, 03-0303, 03-0304			
Componente	Descripción actividad	Tipo de actividad	Participación del operador
<b>Diario</b>			
Zaranda	Verificar estado de la zaranda (ruidos, recalentamiento, fisuras)	Inspección	No
Zaranda	Reparación de mallas y templado de las mismas	Reparación	No
Sistema de Lubricación	Lubricación de rodamientos (Interdiario)	Conservación	Si
<b>Mensual</b>			
Zaranda	Cambio de mallas	Reparación	No
Zaranda	Verificar alineamiento de correas	Conservación	Si
<b>Semestral</b>			
Chute	Cambio de forros de caucho de desgaste del chute de descarga	Conservación	No
Zaranda	Cambio de marcos	Conservación	No
<b>Anual</b>			
Zaranda	Desmontaje de rodamientos para su inspección	Reparación	No

### MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Equipo : Chancadora Secundaria y Terciaria			
Código : 03-0101, 03-0102, 03-0103			
Componente	Descripción actividad	Tipo de actividad	Participación del operador
<b>Diario</b>			
Sistema de Lubricación	Verificar nivel de aceite, flujo normal, presencia de partículas metálicas.	Inspección	Si
Chancadora	Verificar amperaje y ruidos anormales en el sistema motriz	Inspección	Si
<b>Quincenal</b>			
Chancadora	Regular abertura entre mantle y concave	Conservación	Si
<b>Cada dos meses</b>			
Chancadora	Cambio de forro mantle	Reparación	No
Sistema de Lubricación	Limpieza de intercambiadores de calor	Conservación	No
<b>Cada cuatro meses</b>			
Chancadora	Cambio de forro concave	Reparación	No
<b>Semestral</b>			
Sistema de Lubricación	Cambio de aceite y filtros del sistema de lubricación.	Conservación	No
Chancadora	Desmontaje para inspección del estado de bocinas excéntrica y contraeje	Inspección	No
Tolva	Cambio de forros en la tolva de descarga	Reparación	No
<b>Anual</b>			
Sistema hidráulico	Cambio de filtros y análisis del estado del aceite	Conservación	Si
Sistema de Lubricación	Cambio de la bomba de lubricación	Reparación	No

**MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

Equipo : Molinos de bola			
Código : 05-0201, 05-0202, 05-0203, 05-0204, 05-0205			
Componente	Descripción actividad	Tipo de actividad	Participación del operador
<b>Diario</b>			
Molino	Inspección del amperaje, ruidos anormales o recalentamientos	Inspección	Si
<b>Quincenal</b>			
Sistema de lubricación	Llenado de grasa para el sistema automático de lubricación del piñón motriz	Conservación	Si
<b>Semestral</b>			
Sumidero	Cambio chaquetas de desgaste del sumidero de descarga	Reparación	No
<b>Anual</b>			
Sistema de lubricación	Cambio de aceite del sistema de lubricación y flotación de muñones del molino	Conservación	No
Molino	Cambio de chaquetas del cuerpo	Reparación	No
<b>Cada dos años</b>			
Molino	Cambio de chaquetas de las tapas	Reparación	No
Molino	Cambio de trunion	Reparación	No

**MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

Equipo : Filtro tambor			
Código : 05-2301, 05-2302			
Componente	Descripción actividad	Tipo de actividad	Participación del operador
<b>Diario</b>			
Filtro	Inspección del estado del alambre, paño y ruidos anormales	Conservación	Si
Reductor	Verificar nivel de aceite y recalentamiento en reductor (tambor, palmeador y rastrillo)	Conservación	Si
<b>Mensual</b>			
Filtro	Cambio de paño y alambre	Reparación	No
Sistema de aire	Cambio de jebe de válvula pitch	Reparación	No
<b>Semestral</b>			
Filtro	Cambio de bocina en el tambor	Reparación	No
Filtro	Cambiar jebes del palmeador	Reparación	No
Reductor	Cambio de aceite en reductor tambor, palmeador y rastrillo	Conservación	Si

Tabla 5.6: Programa de Lubricación

PROGRAMA DE LUBRICACION							
		Lubricación y Sistema Hidráulico					
Códigos	Nombre	Componente	Punto	Frecuencia Cambio	Lubricante	Cantidad c/punto	Inspección
02-0101	Chancadora Primaria	excéntrica y Contraeje de chancadora	Tanque	Semestral	OMALA 68	220 gl.	Diaria
		Sistema Hidráulico	Tanque	Semestral	TELLUS 37	165 gl.	Diaria
		Bocina del Spider	Caja	Semestral	ALVANIA EP2	0.5 cil.	Trimestral
		Rodamientos Bomba de lubricación	Graseras	Mensual	ALVANIA EP2		Mensual
		Reductor bomba de lubricación	Caja	Trimestral	OMALA 150	1 gl.	Mensual
02-0701	Alimentador vibratorio	Rodamientos ejes excéntricos.	Tanque	45 días	OMALA 150	85 gl	Diaria
02-0601 y 03-0601	Faja transportadora	Chumaceras de las poleas de cola, cabeza, deflectoras y contrapesa	Graseras	Mensual	ALVANIA EP2		
		Acoplamientos Motor/Reductor/Polea	Graseras	Mensual	ALVANIA EP2		
		Back Stop	Caja	Mensual	OMALA 68	15 gl.	Mensual
		Reductor	Caja	Semestral	OMALA 150	40 gl.	Mensual
02-0602, 03-0603 y 03-0605	Faja transportadora	Chumaceras de las poleas de cola, cabeza, deflectoras y contrapesa	Graseras	Mensual	ALVANIA EP2		
		Acoplamientos Motor/Reductor/Polea	Graseras	Mensual	ALVANIA EP2		
		Back Stop	Caja	Mensual	OMALA 68	10 gl.	Mensual
		Reductor	Caja	Semestral	OMALA 150	30 gl.	Mensual
03-0101	Chancadora Secundaria	excéntrica y Contraeje de chancadora	Tanque	Semestral	OMALA 68	165 gl.	Diaria

		Sistema Hidráulico	Tanque	Semestral	TELLUS 37	90 gl.	Diaria
		Rodamiento bomba de lubricación	Grasera	Mensual	ALVANIA EP2		
		Reductor bomba de lubricación	Caja	Trimestral	OMALA 150		Mensual
		Bowl Liner Hidráulico	Rosca	Dos meses	ALVANIA EP2		
03-0301	Zaranda vibratoria	Rodamientos ejes de Zaranda	Graseras	Interdiario	ALVANIA EP2		
05-0201 al 05-0204	Molino de bolas primario y secundario	Piñón y Engranaje de transmisión	Tanque	15 minutos	MALLES FLUID D		
		Chumaceras del piñón y del molino	Tanque	Semestral	TELLUS C-220	165 gl.	Mensual
05-2301 y 05-2302	Filtro tambor	Reductor rastrillo	Caja	Trimestral	OMALA 150	2 gl.	Mensual
		Reductor tambor	Caja	Trimestral	OMALA 150	1.5 gl.	Mensual
		Tornillo sin fin - catalina	Caja	Mensual	OMALA 150	1 gl.	Mensual
		Reductor palmeador	Caja	Semestral	OMALA	1.5gl	Mensual
03-0102 y 03-0103	Chancadora Secundaria	excéntrica y Contraeje de chancadora	Tanque	Semestral	OMALA 68	165 gl.	Diaria
		Sistema Hidráulico	Tanque	Semestral	TELLUS 37	90 gl.	Diaria
		Rodamiento bomba de lubricación	Grasera	Mensual	ALVANIA EP2		
		Reductor bomba de lubricación	Caja	Trimestral	OMALA 150		Mensual
		Bowl Liner Hidráulico	Rosca	Dos meses	ALVANIA EP2		
04-0602 y 04-0603	Faja transportadora	Chumaceras de las poleas de cola, cabeza, deflectoras y contrapesa	Graseras	Mensual	ALVANIA EP2		
		Back Stop	Caja	Mensual	OMALA 68	10 gl.	Mensual
		Reductor	Caja	Semestral	OMALA 150	30 gl.	Mensual
03-0302 al 0304	Zaranda vibratoria	Rodamientos ejes de Zaranda	Graseras	Interdiario	ALVANIA EP2		
05-0205	Molino de bolas remolienda	Piñón y Engranaje de transmisión	Tanque	15 minutos	MALLES FLUID D		
		Chumaceras del piñón y del molino	Tanque	Semestral	TELLUS C-220	110 gl.	Mensual

04-0702 al 0706	Alimentador por faja variable	Chumaceras de las poleas de cola y cabeza.	Graseras	Quincenal	ALVANIA EP2		
		Acoplamiento Polea	Graseras	Mensual	ALVANIA EP2		
		Sistema Hidráulico	Tanque	Anual	TELLUS 37	40 gl.	
05-2201 y 2202	Acondicionador tanque	Reductor del Agitador	Caja	Trimestral	OMALA 150		Quincenal
		Acoplamiento Polea	Graseras	Mensual	ALVANIA EP2		
05-2501	Espesador de concentrado	Reductor del Agitador	Caja	Trimestral	OMALA 68		
		Acoplamiento Motor	Graseras	Mensual	ALVANIA EP2		
06-1501 al 1504	Bomba vertical recuperación de agua	Bocinas eje bomba	Caja	Trimestral	ALVANIA EP2		
06-1506 al 1507	Bomba de doble cuerpo	Rodamientos eje bomba	Caja	Trimestral	OMALA 68		Mensual
05-26xx	Agitador de celdas de flotación de Rougher y Scavenger	Rodamientos eje de agitador	Caja	Semanal	ALVANIA EP2		
05-26xx	Agitador de celdas de flotación de limpieza	Rodamientos eje de agitador	Caja	Semanal	ALVANIA EP2		
05-1501 al 1504 y 1561 al 1564	Bomba Centrifuga de molienda	Rodamientos caja de bomba	Caja	4 meses	OMALA 150	2 gl.	Mensual
05-1505 y 1565	Bomba centrifuga de remolienda	Rodamientos caja de bomba	Caja	4 meses	OMALA 150	2 gl.	Mensual
05-1531 al 05-1534	Bomba centrifuga del Acondicionador	Rodamientos caja de bomba	Caja	4 meses	OMALA 150	2.5 gl.	Mensual
05-1541 al 05-1548	Bomba centrifuga flotación	Rodamientos caja de bomba	Caja	4 meses	OMALA 150	2.5 gl.	Mensual
05-1512 y 05-1513	Bomba centrifuga celda columna	Rodamientos caja de bomba	Caja	4 meses	OMALA 150	2 gl.	Mensual

## 5.4 Implementación del Mantenimiento Predictivo (M Pd)

### 5.4.1 Programa de Mantenimiento

Los equipos a incluir en el programa serán los clasificados como “Críticos” y “Principales”, estos equipos se mostraron en la Tabla 5.8.

Las técnicas a usar en el programa de Mantenimiento Predictivo serán:

#### *a Temperatura*

Con el uso de un Termómetro Infrarrojo se controlará la temperatura de los alojamientos de rodamientos de equipos que por su naturaleza no pueden ser analizados por vibraciones o ultrasonido, como en el caso de los rodamientos de las Zarandas..

#### *b Vibracional*

Con el uso de un Analizador de Espectros Vibracionales para detección de fallas en componentes que giran a altas revoluciones como rodamientos en motores y engranajes en los reductores.

#### *c Ultrasonido*

Se aplicará la acústica para la detección de fallas en rodamientos.

#### *d Análisis de aceite*

Su uso se aplicara a determinar el estado del aceite para programar su cambio, o determinar la falla prematura de algun componente.

El programa de Mantenimiento Predictivo con las características del trabajo a realizar se observa en el Tabla 5.7”.

Tabla 5.7: Programa de Mantenimiento Predictivo

### PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

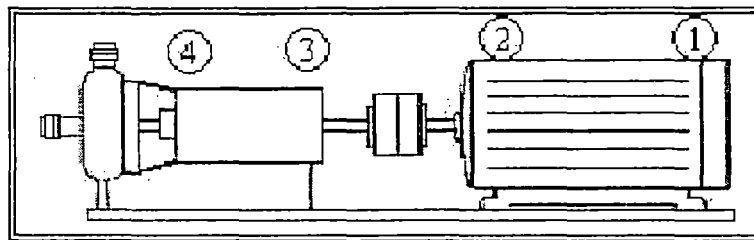
Equipos/Codigos	Componente	Inspeccion	Control			Mediciones	
			x Semana	x Quincena	x Mes	Puntos	Puntos Total Mes
	Rodamientos Motor	Vibraciones		X		6	24
Chancadora Primaria	Bocinas del Contraeje	Ultrasonido	X			2	4
02-0101	Bocinas de la Excentrica	Ultrasonido	X			2	4
	Aceite de Lubricacion	Anal. de aceite			X	1	1
Alimentador Vibratorio	Aceite de Lubricacion	Temperatura	X			1	1
02-0701	Rodamientos ejes excentricos	Ultrasonido		X		2	2
	Rodamientos Motor	Vibraciones		X		6	6
Chancadoras Secundaria	Rodamientos Motor	Vibraciones		X		6	18
y Terciarias	Bocinas del Contraeje	Ultrasonido	X			2	6
03-0101/2/3	Bocinas de la Excentrica	Ultrasonido	X			2	6
	Aceite de Lubricacion	Anal. de aceite			X	1	3
Faja Transportadora	Rodamientos Motor	Vibraciones		X		6	42
02-0602/3, 03-0601/3/5	Rodamientos Reductor	Vibraciones			X	18	126
04-0603/5	Rodamientos Poleas	Ultrasonido			X	10	70
Molino de Bolas	Rodamientos Piñon	Vibraciones		X		6	30
05-0201/2/3/4/5	Rodamientos Reductor	Vibraciones		X		12	60
	Aceite de Lubricacion	Anal. de aceite			X	1	5
Zarandas Vibratorias	Rodamientos volante excentrica	Ultrasonido		X		2	8
03-0301/2/3/4	Rodamientos volante excentrica	Temperatura	X			2	8
	Rodamientos Motor	Vibraciones		X		6	24
Filtro Tambor	Aceite de Lubricacion	Temperatura	X			3	6
05-2301/2	Rodamientos Reductor	Vibraciones		X		3	6



### 5.4.2 Puntos de Inspección.

Principalmente en el caso del análisis vibracional, las mediciones se realizaran en motores, reductores y bombas, por lo cual los puntos de medición serán según se muestra en las Ilustración 5.7

Ilustración 5.7: Puntos de inspección en un sistema Motor-Bomba



Por cada punto se tomas cuatro mediciones vibracionales: Vertical, Horizontal, Axial y envolvente.

### 5.4.3 Niveles aceptables de los parámetros a controlar.

#### a Vibración

El tipo de colector que se usara como colector-analizador en Tiempo Real, será MICROLOG SKF CMVA60.

El procesador recibe la información y la transforma en una señal de vibraciones (Dom. Frecuencia).

- De solo 2 Kg. de peso.
- Posee un microprocesador.
- Alta capacidad de memoria = 1,8 Mb RAM.
- Pantalla de cristal líquido (LCD).

- Fácil operación en terreno.
- Despliegue de la onda real, espectro en tiempo real, diagrama de fase y zoom.
- Admite y procesa datos de cualquier tipo y marca de transductor: acelerómetros, velocímetros, etc.
- Rango de frecuencias: 0,1 Hz a 20KHz.
- Almacén: 2048 mediciones ó 1400 espectros.
- Trabajo en terreno: 264 rutas, o al azar.
- Trabaja con software PRISM2, ó 4, para descargar las mediciones efectuadas por rutas.

Por otro lado, los niveles aceptables del valor de la vibración, dependerá del tipo de maquina que se tiene:

- Maquina pequeña, es considerada hasta los 15 kW.
- Maquina mediana, es considerada de 15 – 75 kW o sobre los 300kW con cimentación especial.
- Maquina grande 1, se considera con cimentación rígida además de ser una maquina veloz.
- Maquina grande 2, se considera maquina de alta velocidad de operación y cimentación con frecuencia natural (turbo máquinas).

A continuación en la Tabla 5.12 se muestra el cuadro de estados de un equipo según la Norma ISO 2372 (los valores de vibración es referente a RMS de velocidad).

Tabla 5.8: Estado de un equipo según la Norma ISO 2372

mm/s	MAQUINA PEQUEÑA	MAQUINA MEDIANA	MAQUINA GRANDE 1	MAQUINA GRANDE 2
45				INADMISIBLE
18		INADMISIBLE	INADMISIBLE	
11.2	INADMISIBLE			TOLERABLE
7.1			TOLERABLE	
4.5		TOLERABLE		NORMAL
2.8	TOLERABLE		NORMAL	
1.8		NORMAL		
1.12	NORMAL			BUENO
0.71		BUENO	BUENO	
	BUENO			

La condición en la que se puede encontrar un equipo se caracterizan por lo siguiente:

- Bueno, equipo típico de un buen balanceo, alineado y conservado al que deberán realizarse chequeos periódicos
- Normal, equipo típico donde se inician probables fallas mínimas, se deberá chequear periódicamente vigilando incrementos en los niveles de vibración
- Tolerable, probables fallas que se pronostican en el equipo de manera que se pueda realizar análisis vibracional para identificar el problema. Hacer un programa para posible intervención.
- Inadmisibles, equipo típico con una vibración severa, potencialmente peligrosa, se debe efectuar de inmediato el análisis detallado de vibración para identificar el problema, se recomienda que estos equipos deben ser intervenidos a la brevedad posible para evitar fallas durante su operación.

*b Ultrasonido*

El equipo que se usa es el ULTRAPROBE 2000, esto nos permite el diagnóstico rodamientos en base a la aplicación de la acústica (ruido) originado por el defecto en el rodamiento.

Este equipo detectará la etapa más incipiente de la falla del rodamiento se ha demostrado que el monitoreo de los rodamientos mediante ultrasonido puede detectar las fallas potenciales del rodamiento mucho antes que los métodos tradicionales de calor y

vibración. Con el Ultraprobe, se puede escuchar la calidad del sonido de un rodamiento y monitorear los cambios de amplitud en el medidor. Esto ofrece la capacidad de detectar tendencias, diagnosticar y confirmar problemas potenciales del rodamiento.

Una ventaja es que su aprendizaje de uso es relativamente simple. La exclusiva sintonización de frecuencia del Ultraprobe facilita la sintonización de un rodamiento y su aislamiento para analizarlo, sin importar las demás señales circundantes.

Con el uso de esta herramienta de diagnóstico se puede evitar la lubricación excesiva, lubricando sólo hasta que el medidor alcance el nivel especificado. La lubricación excesiva es una de las causas más comunes de falla del rodamiento.

Como el Ultraprobe trabaja en un entorno de alta frecuencia y onda corta, se pueden escuchar y aislar los ruidos de problemas tales como la cavitación en las bombas, fugas de válvulas de compresores o de un diente roto de engranaje. La sintonización de frecuencia del Ultraprobe permite "detectar" rápidamente los sonidos problema y reconocerlos, incluso con poca experiencia previa, gracias a la claridad de la señal heterodinada.

El procedimiento usando el ULTRAPROBE 2000 es, utilizando el estetoscopio, con el selector de 'Meter Mode' en modo lineal (Lin.) Se ajusta el control de sensibilidad (Sensitivity) para conseguir una lectura de "50" en el medidor frontal. Esta será la medida base.

En la siguiente oportunidad que se tome la lectura, otra vez se ajusta el control de sensibilidad para conseguir "50" en el medidor. Con estos datos se ubica el nuevo punto en el gráfico. De esta manera es posible encontrar el cambio en decibelios de una lectura a otra.

*Para calcular* esta diferencia solamente restamos la primera lectura de la segunda. Por ejemplo: si la lectura inicial fue de 39 dB, y la segunda es de 54 dB, entonces el incremento será de:  $54 - 39 = 15$  dB

Para cojinetes hay *3 niveles de prevención* mostrados en la Tabla 5.12

Tabla 5.9: Niveles de prevención para rodamientos

Estado	Diferencia de lecturas
Normal	< 8 dB
Pre Falla, falta de Lubricación	8 dB
Falla	16 dB
Falla Catastrófica	35-50 dB

Otra ventaja del ultrasonido es que nos indica la falta de lubricación en el rodamiento como también nos permite lubricar con la cantidad suficiente a un rodamiento, ya que en algunas aplicaciones el exceso de lubricación puede ser una causa de falla.

#### 5.4.4 Aplicación Práctica

Se muestra a continuación el diagnostico realizado a una bomba centrifuga del circuito de Molienda la cual presentaba alta vibración por el desgaste excesivo del impulsor.

Equipo: 05-1501 Bomba de transferencia del Molino Primario al  
Ciclón

Velocidad: 1450 RPM

Lugar: Circuito de Molienda

Fluido: Solución con partículas finas de mineral de cobre y otros,  
provenientes del molino primario. Este fluido es altamente abrasivo.

Síntoma: Altas vibraciones.

Ilustración 5.8: Valores de medición de la bomba 05-1501

SKF 30 - JUN - 02		STANDARD DATABASE				Page 1
Last Measurement						
Id	Units	Date	Prev Val	Last Val	%Chg	Alrm Sta
BH - 7 A/H VEL	mm/sec	07 - JUN - 02	4.43385	5.60521	26	A1
BH - 7 A/V VEL	mm/sec	07 - JUN - 02	4.11564	3.57398	-13	---
BH - 7 A/A VEL	mm/sec	07 - JUN - 02	4.82133	6.07766	26	A1
BH - 7 A/V RODAM	Gs	07 - JUN - 02	0.42324	0.71183	68	A1
BH - 7 B/H VEL	mm/sec	07 - JUN - 02	5.31991	4.3449	-18	A2
BH - 7 B/V VEL	mm/sec	07 - JUN - 02	6.70923	7.31572	9	A1
BH - 7 B/A VEL	mm/sec	07 - JUN - 02	2.46254	3.37575	37	---
BH - 7 B/V RODAM	Gs	07 - JUN - 02	0.80151	0.737314	-8.	A1
BH - 7 C/H VEL	mm/sec	07 - JUN - 02	16.537	28.4902	72	A2
BH - 7 C/V VEL	mm/sec	07 - JUN - 02	11.8239	22.1363	87	A2
BH - 7 C/A VEL	mm/sec	07 - JUN - 02	20.1464	20.7181	3	A2
BH - 7 C/V RODAM	Gs	07 - JUN - 02	1.93441	1.30471	-33	A2
BH - 7 D/H VEL	mm/sec	07 - JUN - 02	3.96481	5.35884	35	A1
BH - 7 D/V VEL	mm/sec	07 - JUN - 02	11.4325	12.5407	10	A2
BH - 7 D/A VEL	mm/sec	07 - JUN - 02	22.2132	27.2409	23	A2
BH - 7 D/V RODAM	Gs	07 - JUN - 02	0.8473	0.748072	-12	A1

16 POINTs printed.

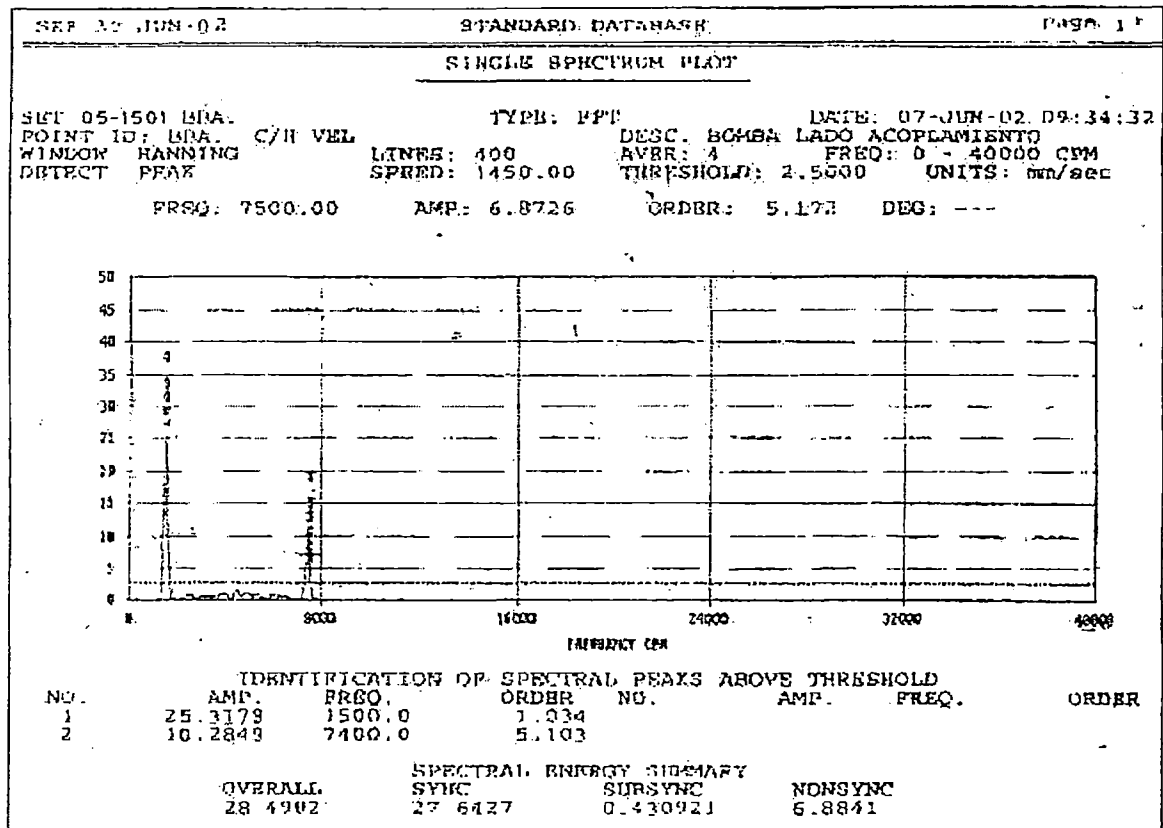
De la ilustración 5.8, referente a los valores de medición, se desprende lo siguiente:

- Los puntos C y D, presentan altos valores desde la medición anterior, especialmente en la dirección axial.

- o Lo anterior nos induce a pensar que existe desalineamiento, pero veremos que hay dos factores que nos harán cambiar de opinión.

A continuación veamos el ultimo espectro vibracional de la Bomba, en el punto horizontal C: "C/H VEL"

Ilustración 5.9: Espectro vibracional de la Bomba 05-1501



El espectro anterior es típico de *desbalanceo*, pero además tenemos una componente en la 5x, que corresponde a una frecuencia de "paso de álabes" ya que el impulsor tiene cinco alabes.

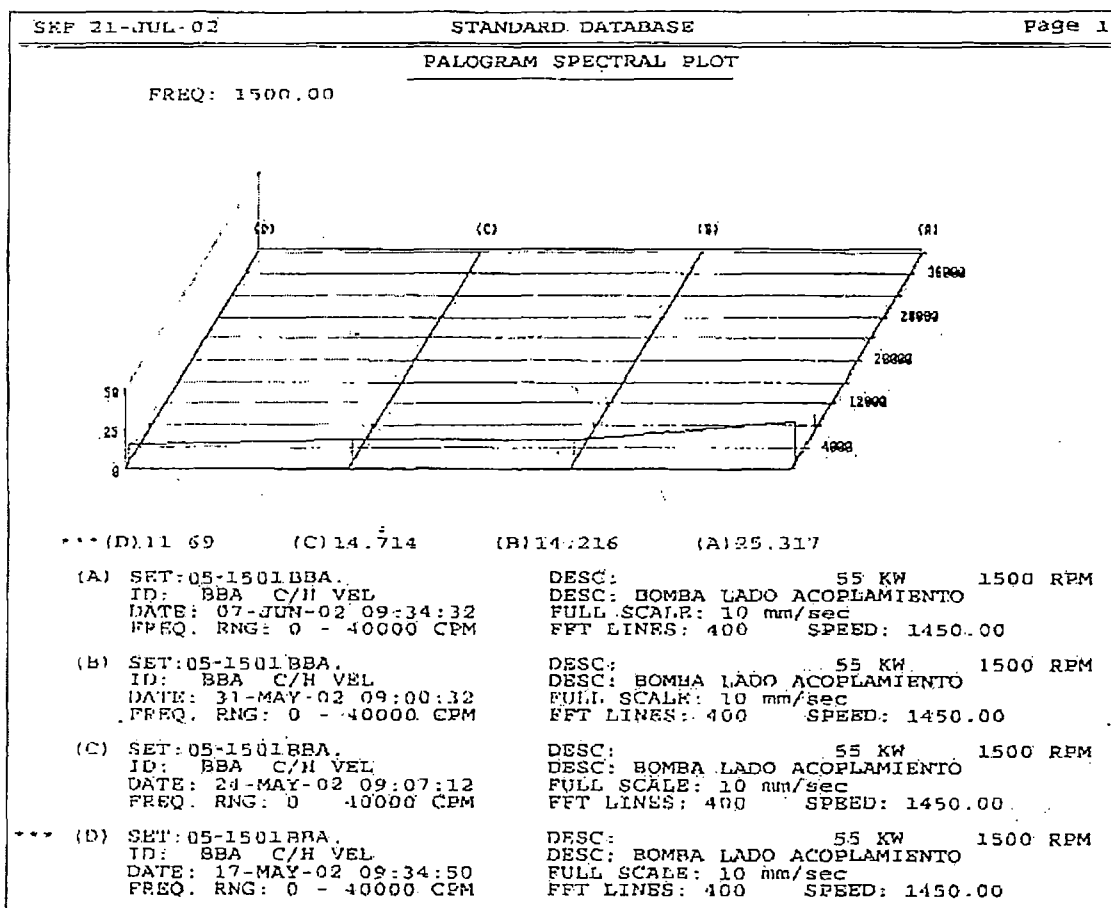
También si apreciamos el espectro Palogram, éste nos indica los valores de las últimas cuatro mediciones, y en él se aprecia que el



problema se presenta progresivamente en el tiempo, con lo cual se valida el desbalanceo por desgaste del impulsor.

En la Ilustración 5.10 se muestra el espectro Palogram.

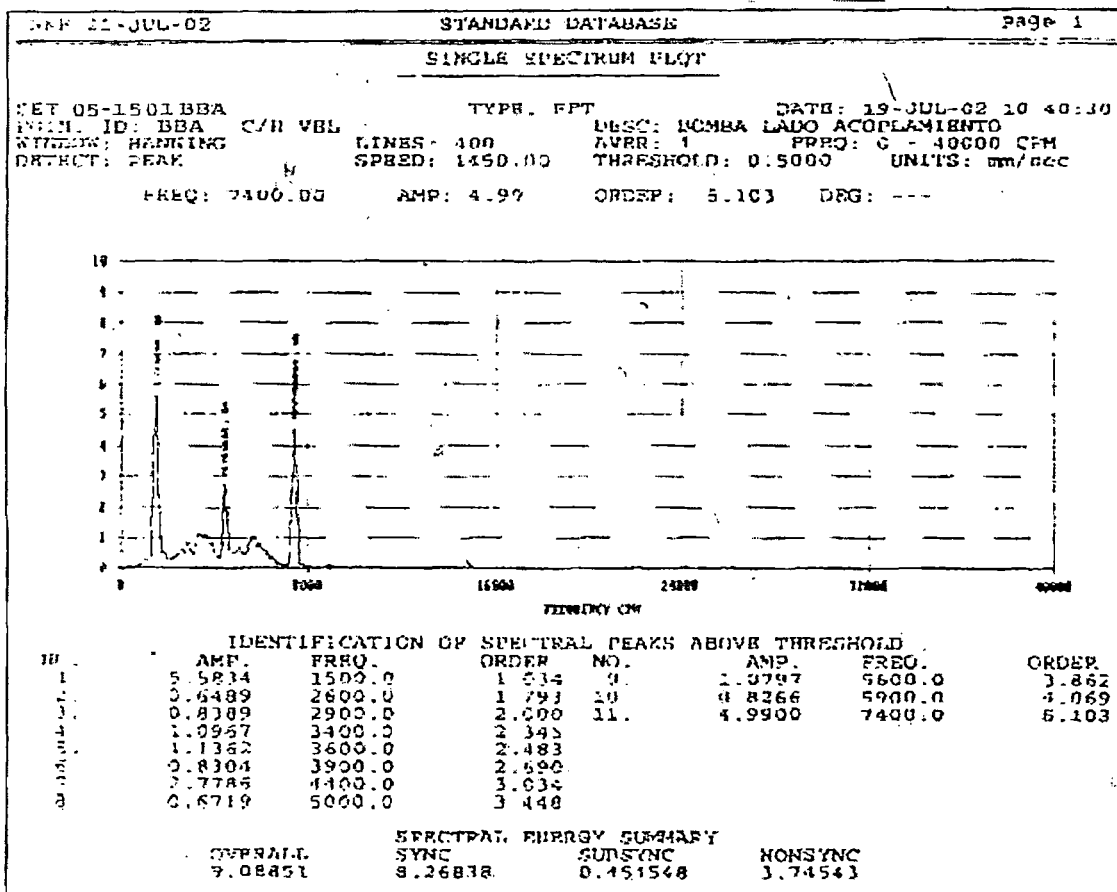
Ilustración 5.10: Espectro palogram de la bomba 05-1501



Diagnóstico: La bomba se encuentra con desbalanceo del impulsor, originado por el desgaste de los alabes durante el paso del fluido abrasivo que bombea.

La Ilustración 5.11 nos muestra el espectro de la bomba en el mismo punto de medición "C/H VEL", después que se cambio el impulsor.

Ilustración 5.11: Espectro de la bomba 5.11 luego del cambio de impulsor.



## 5.5 Implementación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)

### 5.5.1 Equipos Críticos.

Los equipos críticos en base a la Tabla 5.4 son:

- Chancadora Primaria 02-0101, y
- Alimentador vibratorio 02-0701

### 5.5.2 Aplicación del RCM al Alimentador vibratorio 02-0701

En base a los criterios para la implementación del RCM, se muestra a continuación el análisis realizado en el Alimentador Vibratorio 02-0701.

**Función del Equipo:** Alimentar de carga a la faja 02-0601, en base a la carga recibida del chute de descarga de la Chancadora Primaria 02-0101.

**Operación Estándar:** Tener un movimiento oscilante que permita deslizar la carga hacia la faja 02-0601, no sobrepasando un amperaje mayor a 60A, la temperatura de aceite de lubricación debe estar entre 50 a 60° C

**Tipos de Falla:**

*Falla Potencial:*

- Incremento de la temperatura del lubricante, indica un deterioro de las propiedades del mismo o desgaste del rodamiento.
- Incremento del amperaje del motor, indica un mayor rozamiento en el rodamiento debido a un desgaste o mala lubricación.

- Fisuras en las planchas laterales del alimentador, indica fatiga de la plancha o rozamiento de las mismas con el chute de descarga de la Chancadora.

#### Fallas funcionales:

- Rotura de correas de transmisión, no vibra el alimentador
- Trancado de rodamientos, saca fuera de servicio el equipo
- Rotura de eje excéntrico por fatiga, saca fuera de servicio el equipo.

#### Fallas ocultas:

- Parada automática del equipo por alto amperaje (Amperaje > 80A), la causa puede ser múltiple como un trancado de rodamientos, una lubricación deficiente, falla del motor.

#### Consecuencias de la falla

- Un trancado de rodamientos o la rotura de un eje excéntrico es clasificada como falla operacional. Ya que una reparación no programada puede demorar 20horas.
- La rotura de correas de transmisión es clasificada como falla no operacional. Ya que el cambio de correas demora máximo 1 hora.
- La parada del equipo por amperaje alto puede ser desde una falla no operacional a una falla operacional dependiendo de la causa que origino la falla.

De las consecuencias citadas la mas importante es cuando falla el rodamiento o el eje excéntrico ya que involucra excesiva perdida de producción además de ser alto el costo de reparación.

#### **Aplicación de Monitoreo de la Condición.**

En Cobriza el Alimentador 02-0701, tiene según su programa de Mantenimiento Preventivo un cambio de aceite de lubricación cada tres meses, pero año 2001 por descuido del personal de Lubricación no se cumplió con esta frecuencia y origino recalentamientos con paradas por alto amperaje del alimentador, la falla potencial ocasiono que se trancaran los rodamientos y la emergencia duro 20 horas de parada. Debido a esta mala experiencia se implemento el RCM en este equipo, concluyendo en la instalación de un sensor de temperatura que alerte cuando el lubricante esta recalentando por encima de 60°C y se pare el equipo cuando alcanza una temperatura mayor a 70°C. Con esta implementación del monitoreo de la condición del aceite, se evito las fallas potenciales. La tabla 5.10 nos resume el monitoreo del equipo.

Tabla 5.10: Parámetros de monitoreo del Equipo 02-0701

<b>Monitoreo de la Condición del Lubricante Uso de un Sensor de Temperatura Alimentador 02-0701</b>		
<b>Estado</b>	<b>Set Point</b>	<b>Acción a tomar</b>
<b>Normal</b>	<60°C	
<b>De aviso</b>	60-70°C	Programar cambio de Lubricante
<b>De emergencia</b>	>70°C	Cambiar lubricante e inspección de rodamientos.

Finalmente el sustento económico que valida la implementación del monitoreo de la condición se dio principalmente a que ahora se cambia el lubricante aproximadamente a los 45 días según el monitoreo, y con esto se gana 15 días respecto a las indicaciones conservativas que daba el manual con un cambio cada 30 días.

Económicamente se obtuvieron los siguientes cálculos (Tabla 5.11)

Tabla 5.11: Análisis de costos entre MP y RCM en el Equipo 02-0701

	Costos		Frecuencia Cambio de aceite	Costo Anual
	Mano de Obra	Materiales		
MP	\$120	\$150	30 días	\$3 240
RCM	\$120	\$150	45 días	\$2 160
Ahorro Anual :				\$1 080

La implementación del monitoreo tuvo un costo aproximado de \$4 800, y teniendo un ahorro de \$1 080 por año nos da aproximadamente un tiempo de recuperación de 4.5 años, con lo cual se demuestra que el RCM también nos da ventajas económicas.

### 5.5.3 RCM en la Chancadora Primaria 02-0101

La chancadora Primaria vino de diseño con el monitoreo de la condición para prevenir fallas funcionales, así podemos indicar lo siguiente:

- Sensor de flujo de aceite en el sistema de Lubricación, con lo cual el equipo se para cuando no hay circulación de aceite y así se evita fallas prematuras en las bocinas de bronce que en caso

de falla tomaría unas 40 horas su reparación además de su alto costo de reparación.

- o también algo que es común en la mayoría de equipos es la protección eléctrica que tienen los motores eléctricos para cortar la alimentación cuando el amperaje aumenta por encima del valor de seteadado, así se protege el motor y se evita que el equipo trabaje sobrecargado.
- o A nivel electrónico se tiene un sistema en el cual la chancadora entra en funcionamiento solo si hay circulación de aceite.

## **5.6 Implementación del Mantenimiento Productivo Total (TPM)**

La eliminación de “pérdidas” en la operación de Planta Concentradora, asegura una máxima eficiencia del mismo en su conjunto. Sin embargo la eliminación de pérdidas supera la capacidad del cualquier departamento. Esta es la razón por la que el TPM es una filosofía operacional, ya que están involucrados todos los departamentos que de alguna manera influyen en la operatividad del Equipo. La ilustración 5.12a muestra las Áreas, involucradas en la operatividad de Planta, apuntando a un mismo objetivo.

Otro punto a resaltar es que el TPM nos permitirá mejorar la conservación del equipo a través de la participación del operador como parte del mantenimiento. A su vez esto liberará recursos para mantenimiento, principalmente de personal. Así el personal en mantenimiento estará orientado a realizar tareas

mas especializadas o más técnicas, con lo cual se aprovechara mejor sus habilidades.

Ilustración 5.12a: Departamentos orientados a un mismo objetivo.



Por otro lado, el TPM involucra una mejora en la operación del equipo que esta directamente relacionado con extender la vida útil del equipo y evitar defectos en la producción. Una aplicación práctica de esto fue la mejora en el procedimiento operacional de las zarandas en donde el operador debe verificar que las mallas estén limpias antes de la operación de las Zarandas, con lo cual se disminuye la carga circulante en el circuito de Chancado, disminuyendo así las horas de operación de los equipos.

Finalmente en lo referente a lo administrativo, la ventaja que debe marcarse es que la Planta Concentradora de Cobriza tiene un solo Lider, el Superintendente de Planta, quien es responsable tanto de la parte productiva como tambien del mantenimiento de equipos. Es el Superintendente que orienta todas las áreas o departamentos hacia el mismo punto, el "Equipo". La



Ilustración 5.12 mostrada a continuación expresa que el trabajo en equipo de todo el personal de Planta, dará como resultado la *Productividad Total* deseada.

Ilustración 5.12b: Foto del personal con la vestimenta según el área de trabajo.



### 5.6.1 Acciones para la implementación del TPM

Las acciones a tomar para lograr la efectividad del programa de Mantenimiento Productivo Total (TPM) son las que se muestran en la Tabla 5.12:

Tabla 5.12: Acciones para la implementación del TPM en Planta.

Actividad	Se requiere implementar
1. Mantener el equipo en buenas condiciones a través de la inspecciones, limpieza, lubricación, ajustes y otras actividades concernientes al <i>Mantenimiento Autónomo</i> , que es liderado por el operador.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procedimiento de trabajo (Mantenimiento Autónomo)</li> <li>• Check List, para el seguimiento adecuado de las tareas que debe realizar el operador y de utilidad también como registro de trabajo.</li> </ul>
2. Operar el equipo adecuadamente, disminuyendo así el uso inadecuado del mismo y defectos de producción	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Procedimiento de operación del Equipo</li> </ul>
3. Restaurar deterioros a través de un mantenimiento efectivo.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inspección</li> <li>• Procedimientos</li> <li>• Planeamiento</li> <li>• Ejecución</li> <li>• Seguimiento</li> </ul>
4. Mientras se realiza una actividad de mantenimiento, observar los cambios en el diseño que pueden ser incorporados en un equipo futuro con la mira hacia " <i>Un equipo libre de mantenimiento</i> ".	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluación por parte del supervisor</li> <li>• Recepción de ideas o sugerencias de los operadores y personal técnico.</li> </ul>
5. Mejorar las habilidades del operador y técnico de mantenimiento a través del entrenamiento y capacitación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cursos de capacitación, una gran ayuda son los cursos organizados por los proveedores mas importantes (Shell, SKF, Oerlikon, Symons, Tip Top, etc).</li> </ul>

### 5.6.2 Mantenimiento Autónomo

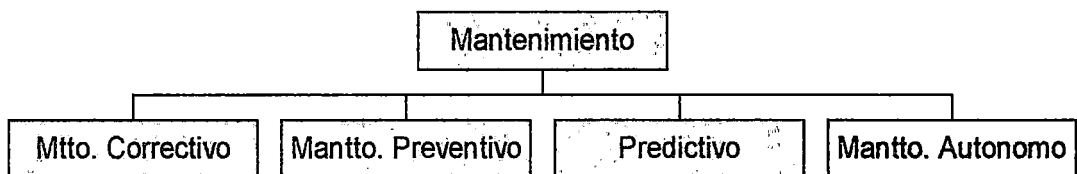
Como mantenimiento autónomo se considera al grupo de actividades que realizará el operador, tales como:

- Limpieza
- Ajustes
- Calibración o regulación
- Lubricación
- Reparaciones Menores
- Inspecciones

El operador, a partir de tareas básicas y programadas, llega a formar parte del equipo de mantenimiento, así el operador se siente más motivado al saber que contribuye más directamente al mantenimiento.

En la Ilustración 5.13 se muestra esquemáticamente la incorporación del Mantenimiento Autónomo a la Gestión de Mantenimiento.

Ilustración 5.13: Mantenimiento Autónomo como parte de la Gestión.



Para la implementación del Mantenimiento Autónomo, el área de Mantenimiento elaborará Procedimientos Ejecutivos que describan explícitamente las actividades del operador, asegurando así que el trabajo a realizar por el operador sea de calidad.

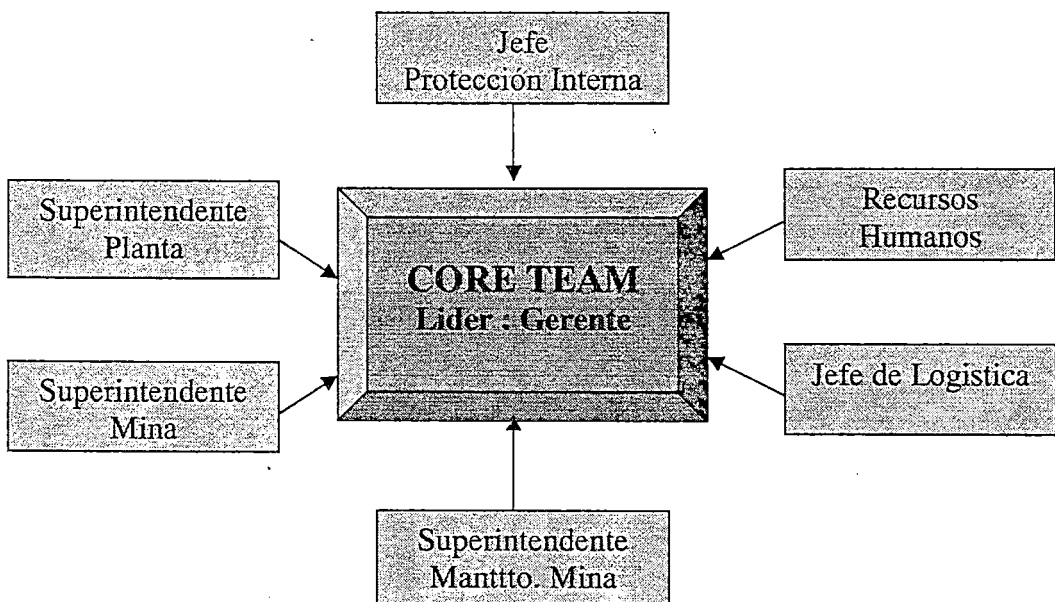
### 5.6.3 Círculos de Calidad

Para el trabajo en equipo que debe existir para el mejor desarrollo de la filosofía del TPM, se crean tres niveles de círculos de Calidad.

#### a *Core Team*

Es liderado por el Gerente de la Mina y allí se reúnen los Superintendentes y Jefes de áreas Auxiliares como Logística, Recursos Humanos, Ingeniería y Protección Interna. Las reuniones son semanales.

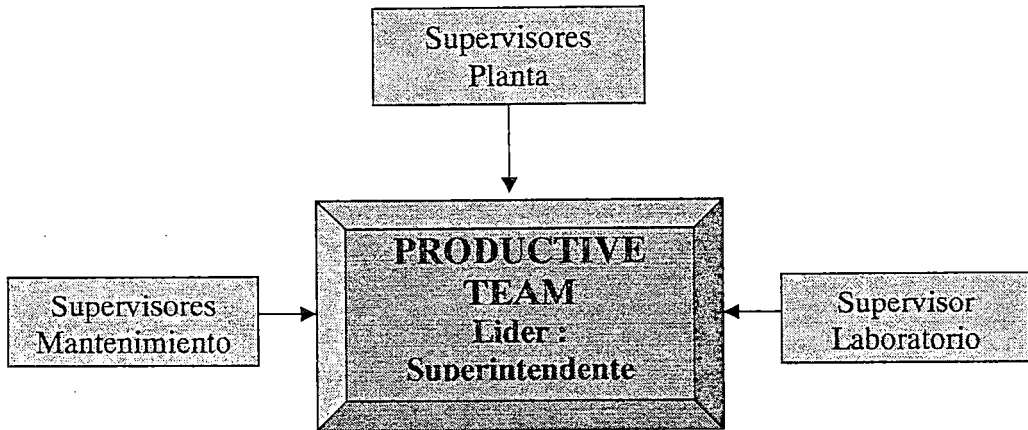
Ilustración 5.14: Core Team



#### b *Productive Team*

Es liderado por el Superintendente de Planta y a este asisten los Jefes de Planta, Mantenimiento y Laboratorio. Las reuniones son Diarias.

Ilustración 5.15: Productive Team



*c Maintenance Team*

Es liderado por el Supervisor y es realizado con el Sobrestante y personal técnico. Las reuniones son diarias.

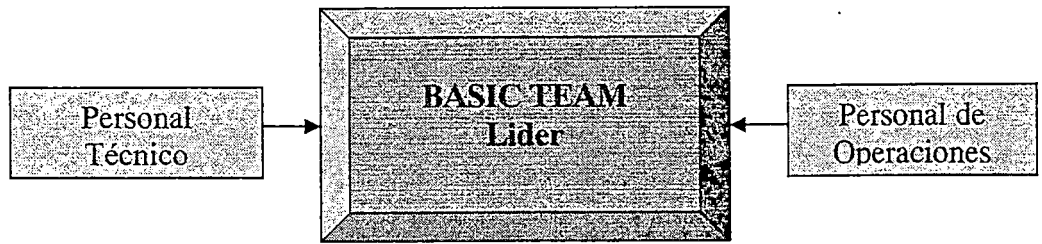
Ilustración 5.16: Maintenance Team



*d Basic Team*

Liderado por un mecánico u operador, que es designado como Lider de una sección. Las reuniones son semanales.

Ilustración 5.17: Basic Team



#### 5.6.4 Documentación y Registros

Una de las bases del TPM es la filosofía de Calidad Total, la cual tiene como principio que para asegurar la calidad, se deben tener procedimientos estándares que contengan las mejores prácticas y además se debe tener Registros que plasmen el cumplimiento de los procedimientos.

Por tal motivo, para la implementación del TPM es necesario la creación de Procedimientos, Instrucciones, Registros y Planes de Inspección.

Debemos definir que calidad se entiende por equipo productivo y confiable, además cero incidentes durante la ejecución de un trabajo además de otros requerimientos explícitos o implícitos.

##### *a Procedimiento Ejecutivo*

Es el documento que prescribe, de manera genérica, cómo se realiza cualquier tipo de procesos, ya sean operacionales o de mantenimiento; estableciendo una secuencia de pasos a ejecutar.

Un Procedimiento Ejecutivo se conecta con los otros documentos del Sistema de Calidad, haciendo referencia en el momento que se hace necesario su consulta.

Es indispensable la existencia de un procedimiento cuando dicha actividad afecta directamente a la calidad.

Los procedimientos a realizar en Planta Concentradora son los siguientes:

- Procedimiento Ejecutivo de la operación de cada equipo.
- Procedimiento Ejecutivo del Mantenimiento Autónomo
- Procedimiento Ejecutivo para las Actividades de Mantenimiento Preventivo, Predictivo

La Ilustración 5.18 la interrelación entre el Procedimiento Ejecutivo y los otros documentos.

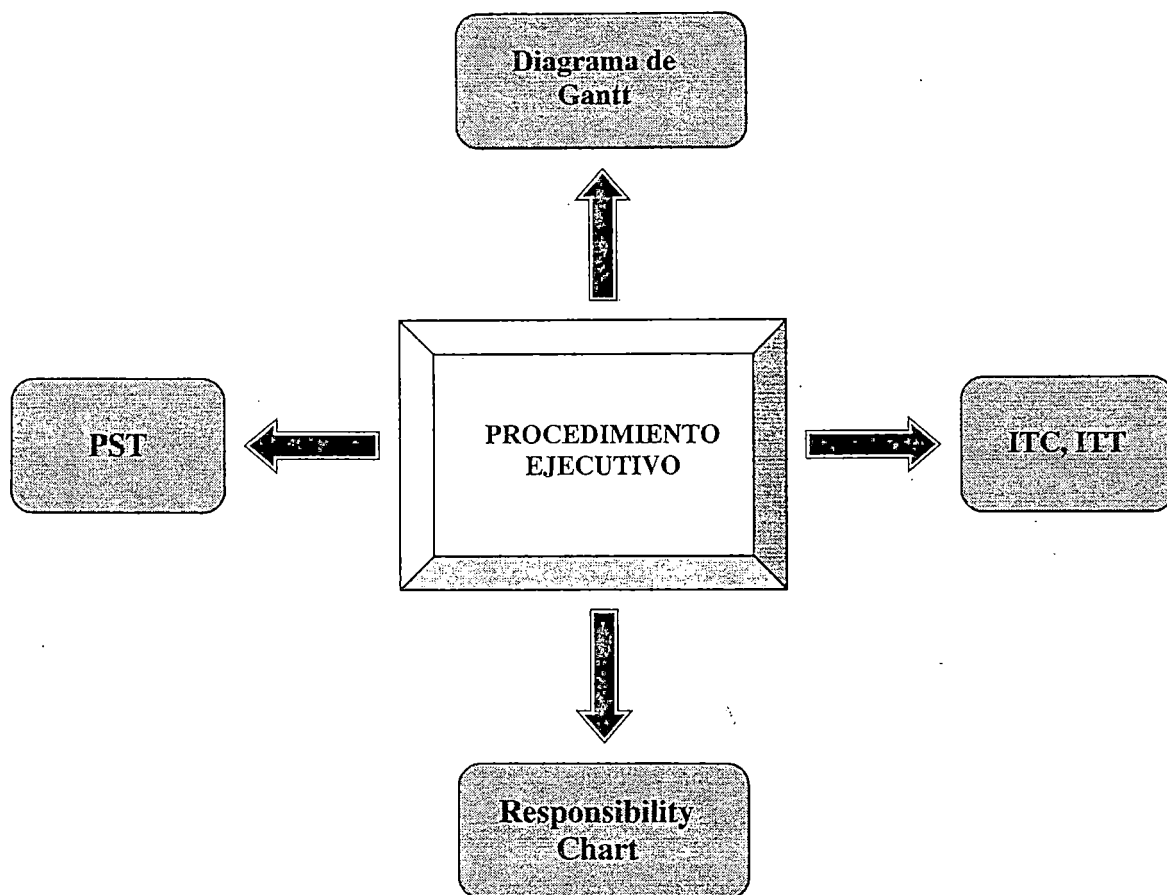
*b Instrucción Técnica Complementaria (ITC)*

Es un documento que define en forma precisa y específica el desarrollo de una actividad que requiere atención especial, para asegurar la calidad de la actividad y tener la seguridad de su correcta ejecución.

En Planta Concentradora se tienen como ITCs:

- Procedimiento Seguro de Trabajo (PST) tanto para actividades de mantenimiento como operacionales

Ilustración 5.18: Interrelación Procedimiento Ejecutivo y otros documentos



*c Instrucción Técnica de Trabajo (ITT)*

Son documentos que detallan paso a paso la realización de una actividad relacionada con un proceso específico. Estos documentos explican pormenorizadamente el qué hacer, cómo hacer con qué medios y quién va ejecutar el trabajo.

Como aplicación se tendrán ITTs para la reparación de componentes de un equipo en taller, o de trabajos específicos de soldadura.



*d Diagrama de Gantt*

Es un documento que se ha de tener en cuenta para el control de un trabajo debido a la interrelación de las actividades y su proyección en el tiempo.

Este documento ya se mencionó en el capítulo referente a la Implementación del Planeamiento y Programación, pero se vuelve a tocar ya que es considerado un documento necesario para el Sistema de Calidad del TPM.

*e Responsibility Chart*

Documento que muestra con nombre propio la responsabilidad y el grado de participación de los diferentes líderes involucrados en la ejecución de un trabajo.

*f Registro de Calidad*

Los registros son considerados el mecanismo de control del sistema. Su contenido está compuesto por todos los documentos generados al utilizar los procedimientos o instrucciones de trabajo. Su razón de ser es dar fe que el sistema se está implantando eficazmente.

Finalmente este demuestra que la ejecución de un trabajo ha cumplido con el plan de Aseguramiento de Calidad establecido y aprobado.

### 5.6.5 Ejemplo aplicativo

En el Apéndice E se muestra el Procedimiento Ejecutivo de un trabajo a realizar en el Molino de Bolas 05-0201 con todos los documentos vinculados a este.

De esta forma todos los procedimientos serán elaborados, teniendo siempre presente que se puede obtener información muy valiosa del personal técnico que son fundamental para la realización de un buen documento.

## 5.7 Implementación del Mejoramiento Continuo

El mejoramiento continuo se tipifica mejor con la expresión “lo excelente es el enemigo de lo mejor”. El mejoramiento continuo en el cuidado de activos implica un programa constante de evaluación, que siempre busca las pequeñas cosas que pueden hacer a una compañía más competitiva.

Una de las herramientas clave para el mejoramiento continuo es tener parámetros. Los parámetros utilizados para desarrollar procesos constituyen uno de los tipos más exitosos. A través de ellos se examinan los procesos específicos de mantenimiento, se comparan los procesos con aquellos de compañías que los han dominado a la perfección y se registran los cambios para mejorar los procesos específicos. La clave de la fijación de parámetros es la auto-evaluación. Una compañía debe conocer su estado actual antes de tratar de utilizar parámetros en relación con otras compañías. Sin tener este

conocimiento, es imposible obtener una comparación exacta del proceso de parámetro.

Los indicadores de gestión a ser usados en el área de mantenimiento fueron seleccionados en base a los objetivos que se tiene y por lo cual se desea medir.

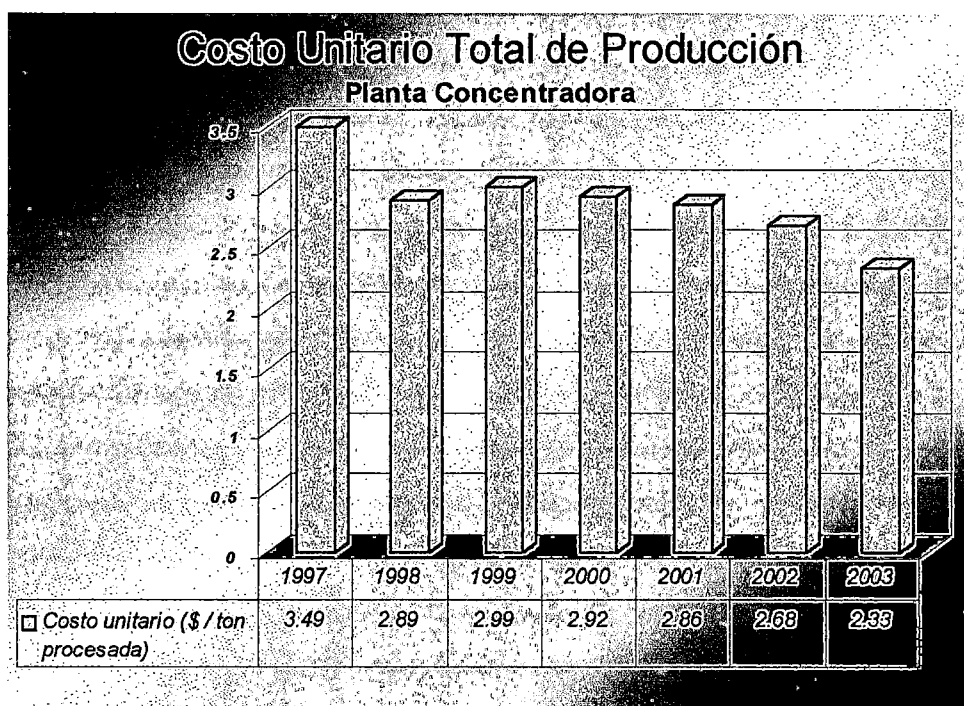
### 5.7.1 Indicadores corporativos

#### a Costo Unitario Total de Producción

Este indicador compila todos los costos necesarios para procesar una tonelada de mineral procedente de Mina. Se usa para llegar a calcular el margen de ganancia.

$$\text{CUTP} = \frac{\text{Costo Total de la Planta}}{\text{Tonelaje tratado en el periodo de tiempo analizado}}$$

Ilustración 5.19: Grafica del Costo Unitario Total de Producción



En la ilustración 5.19 se muestra los valores históricos del Costo unitario. Comparando el CUTP del año 2000 con el del año 2003, se tiene una disminución del 20%.

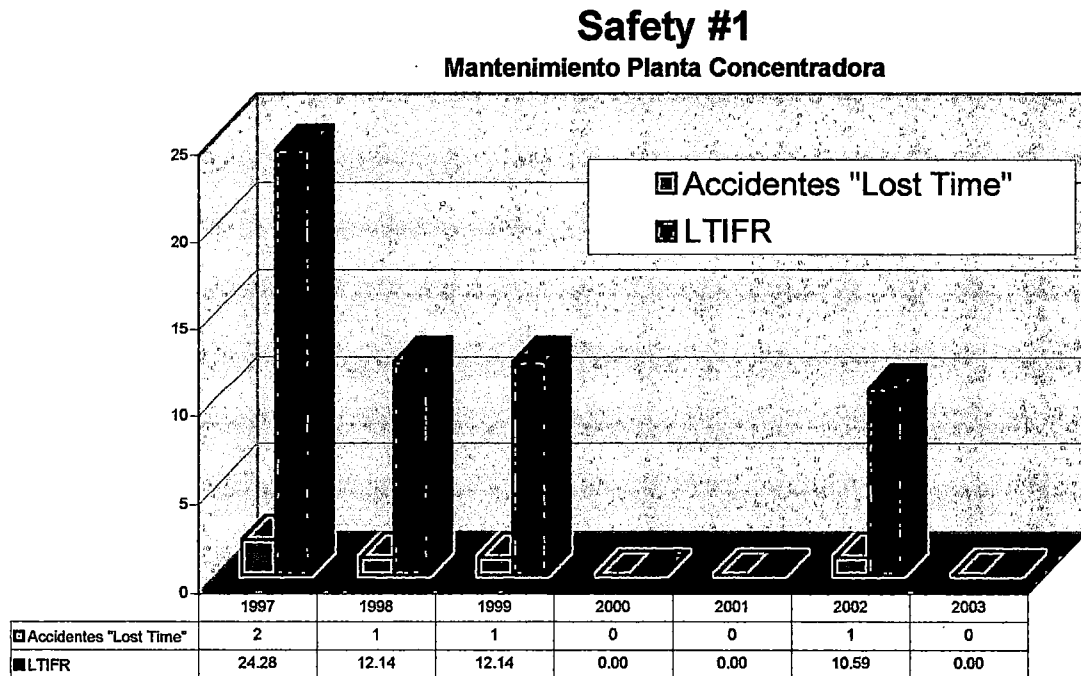
*b Índice de frecuencia de accidente con tiempo perdido (LTIFR)*

Es una medida del rendimiento total en seguridad, actualmente es usado internacionalmente en varias industrias. Este KPI será usado para indicar la contribución de mantenimiento a esta medida. Cada Área en Cobriza usa este KPI para medir su mejoramiento en el tiempo. Adicionalmente, será usado como benchmark para comparación, tanto internamente a nivel corporativo y externamente contra las mejores organizaciones del mundo.

$$LTIFR = \frac{\text{Numero de accidentes con tiempo perdido}}{\text{Horas totales de mantenimiento}} \times 1000000$$

La ilustración 5.20 grafica los valores históricos del LTIFR y el numero de accidentes incapacitantes (Lost time). Estos indicadores han disminuido notablemente debido a la nueva filosofía empresarial implementado por DOE RUN PERU, “Safety #1”.

Ilustración 5.20: Gráfica del Índice LTIFR.



### 5.7.2 Indicador Financiero

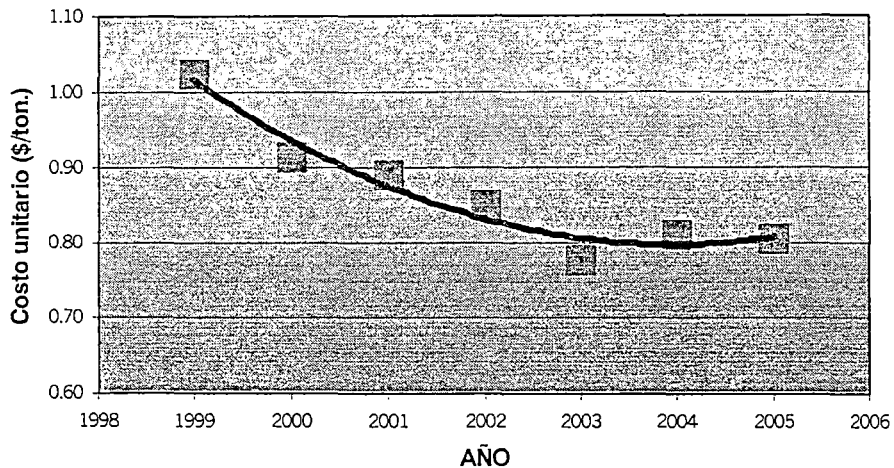
#### a Costo de mantenimiento por unidad de producción (CMUP)

El costo de mantenimiento por unidad de producción será una medida clave de mejoramiento para el proceso de mejoramiento de Mantenimiento. El nivel de producción es un buen indicador del esfuerzo de trabajo requerido en el equipo y debería correlacionarse con el nivel de mantenimiento requerido.

$$CMUP = \frac{\text{Costo de mantenimiento}}{\text{Unidad de producción procesada por el proceso reportado}}$$

Ilustración 5.21: Grafica de la variación del CMUP

### Costo de Mantenimiento por unidad de producción Planta Concentradora



La ilustración 5.21, muestra la tendencia decreciente de este indicador además que se representa los valores estimados para los dos siguientes años. Respecto al año 2000 el costo unitario de mantenimiento ha disminuido de 0.9 \$/tn a 0.78 \$/tn, lo que representa una disminución del 13%. La proyección para el año 2005 es haber obtenido en total una disminución del 19%.

#### 5.7.3 Indicador por desempeño y efectividad

##### a Disponibilidad

Es una medida de la cantidad del tiempo de parada por mantenimiento para mantener la operatividad del equipo.

Este indicador será usado como un benchmark para comparación, tanto internamente a nivel corporativo, como con otras empresas. Esto

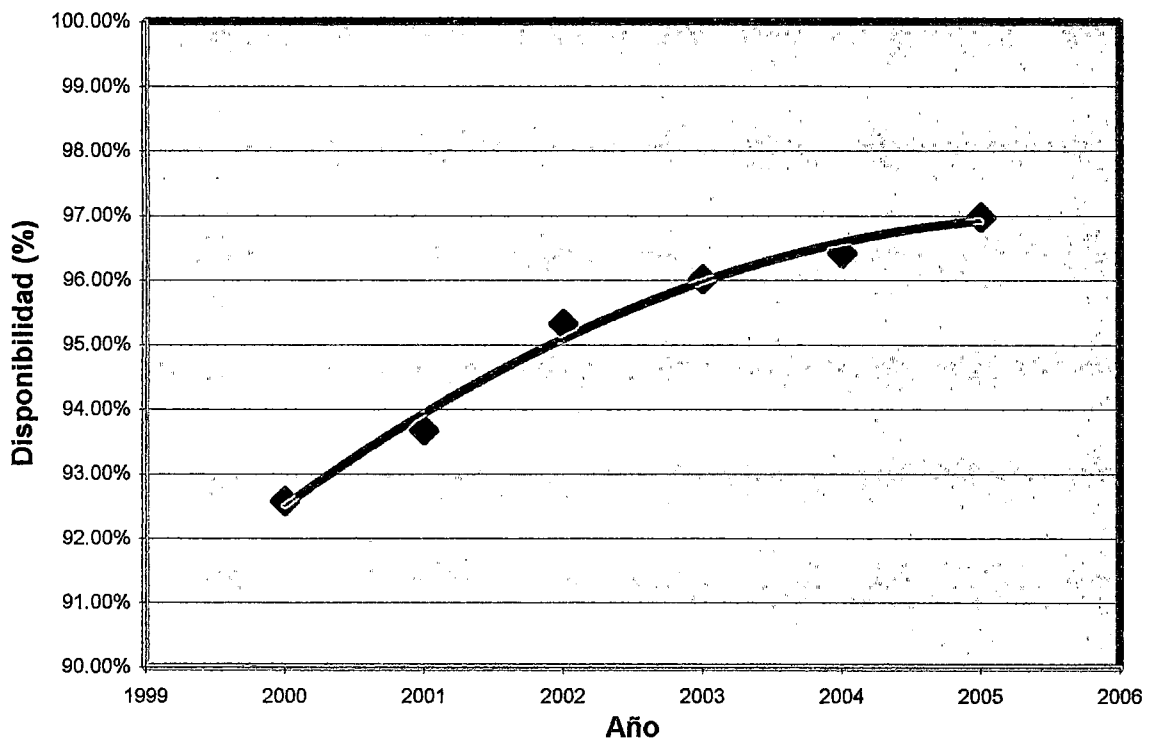
ayudara a identificar áreas de potencial mejoramiento. Para una planta fija será reportado por sección del proceso.

$$Disponibilidad = \frac{\text{Tiempo operativo}}{\text{Tiempo operativo} + \text{Tiempo de parada}} \times 100\%$$

El tiempo de parada abarca los trabajos planificados y no planificados.

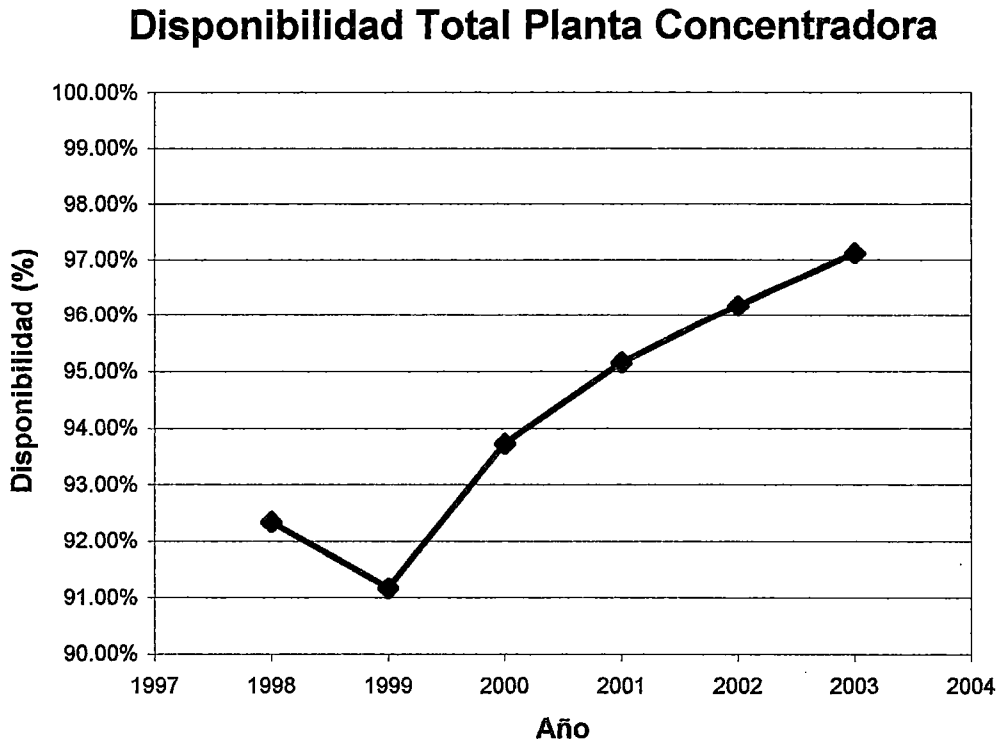
Ilustración 5.22: Grafica de la disponibilidad del Circuito de Molienda y Flotación

### Disponibilidad total del circuito de Molienda y Flotación



La ilustración 5.22, muestra el mejoramiento anual que se ha tenido en la disponibilidad del circuito de Molienda y Flotación. Para el año 2003 se ha logrado una disponibilidad de 96%, unos 3.5 puntos por encima respecto al año 2000. Para el 2005 se espera un incremento neto del 4.5%

Ilustración 5.23: Gráfica de la disponibilidad de la Planta Concentradora



En la ilustración 5.23, se muestra los valores de disponibilidad del total de la Planta Concentradora. El año 1999 se tuvo una baja considerable de la disponibilidad debido a que se tuvo problemas con la Chancadora Primaria.

La disponibilidad de Planta el 2003 fue de 97% aproximadamente, esto es, 3.5 puntos por encima del año 2000.

Cabe resaltar que un punto de incremento en la disponibilidad de Planta representa 87 horas más de producción. Este tiempo representa 180 tn de cobre adicional, además con un precio de 0.83 \$/lb-Cu se tendría \$290 000 adicionales en las ventas corporativas.

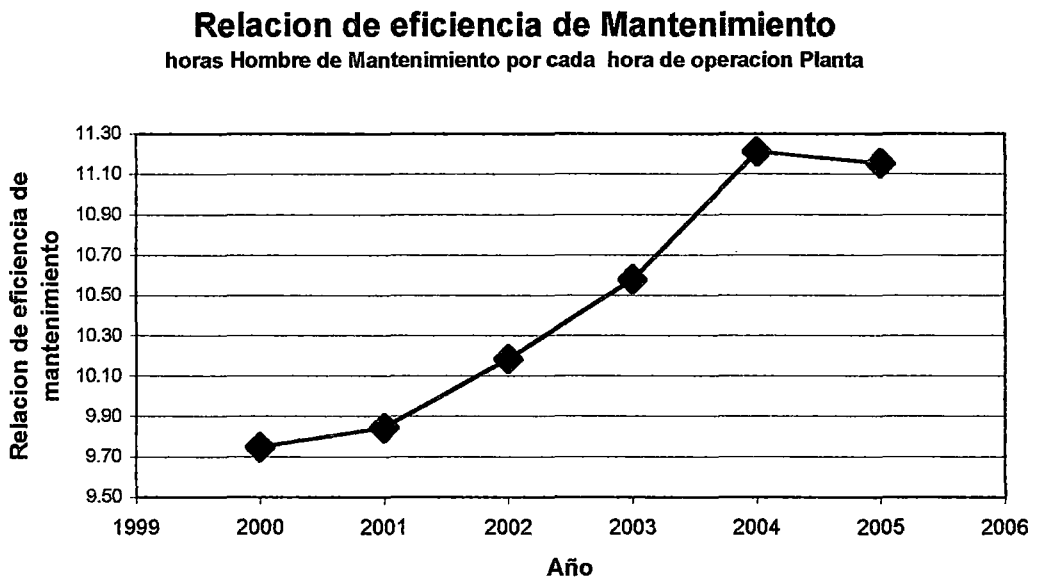


*b Relación de eficiencia de mantenimiento*

Es una relación de las horas de labor de mantenimiento (tanto de trabajadores de DRP como de contratistas) con las horas de operación de la planta. Este indicador será usado como un benchmark para comparación. Esto facilitara la identificación de las áreas de potenciales de mejoramiento. Es también útil para presupuestar.

$$\text{Relacion de eficiencia} = \frac{\text{Horas de labor de mantenimiento (DRP + Contratistas)}}{\text{Tiempo de operacion de la Planta.}}$$

Ilustración 5.24: Gráfica de la Eficiencia de Mantenimiento



En la ilustración 5.24 se muestra la variación de este indicador, si bien es cierto para el 2003 se ha incrementado en 8,5% respecto al del 2000, para el 2005 se tendra un incremento neto de 7.6%. La tendencia a una

parábola es debido a que anualmente se ha incrementado notoriamente la cantidad de terceros.

Para el 2004 y 2005 se ha incrementado las horas de terceros debido a que esta previsto reparaciones mayores a estructuras de Planta y que no es posible realizarlo con el personal estable que se distraerían de sus funciones.

#### 5.7.4 Indicador de desempeño táctico

##### *a Relación de falla de Planta (MTBF)*

La relación de falla será una medida básica de confiabilidad para secciones de procesos de una planta fija. Este indicador será usado de dos formas:

- Como una línea base de mejoramiento de rendimiento
- Como una estrategia de verificación. Una fuerte correlación es esperada entre un mejoramiento en confiabilidad y mejoramientos en las medidas de rendimiento de seguridad y costos.

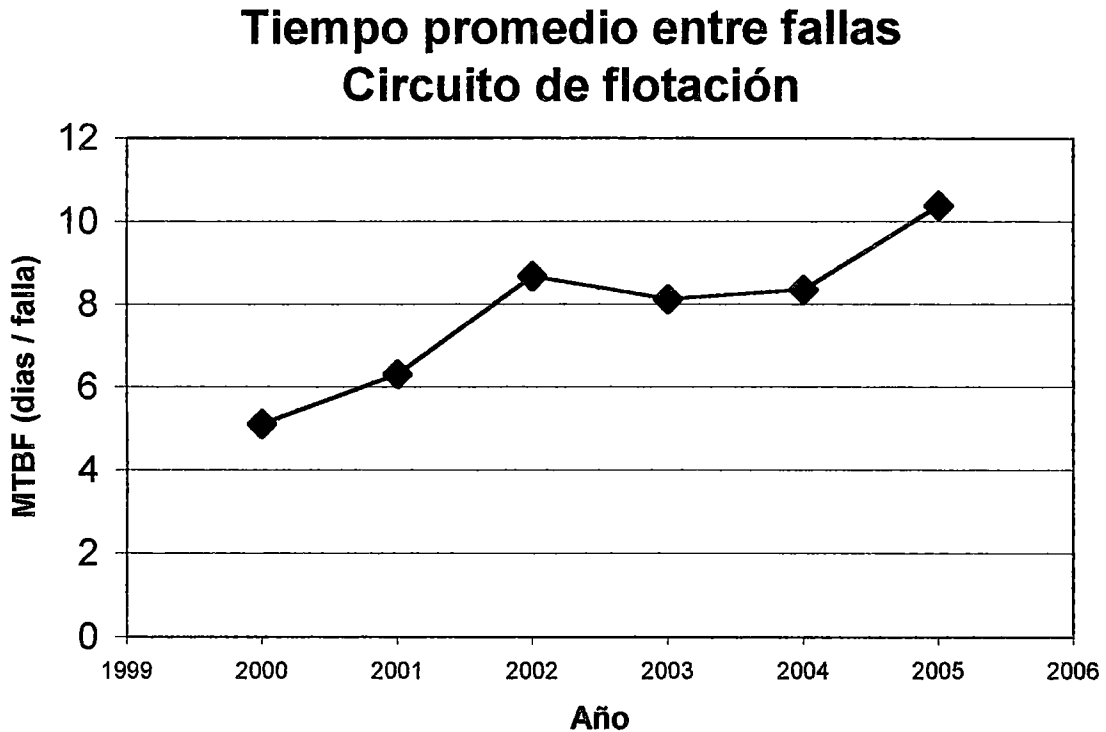
Para el caso de la Planta, este indicador será reportado por sección del proceso.

$$MTBF = \frac{\text{Numero de dias operados en el período reportado}}{\text{Numero de fallas}}$$

La gráfica de los valores del MTBF obtenidos cada año se muestra en la ilustración 2.25. En el año 2003 se supero en 59% del valor que se tenía el 2000, además las proyecciones que se tienen para los próximos

años se basan en los programas de RCM y TPM que se están implementando.

Ilustración 5.25: Gráfica del MTBF



*b* *Tiempo promedio para reparar fallas (MTTR)*

Como una medida promedio del tiempo de parada por falla de un equipo, este indica cuán rápidamente la Planta puede ser restituido después de una falla.

Este indicador será usado de dos maneras:

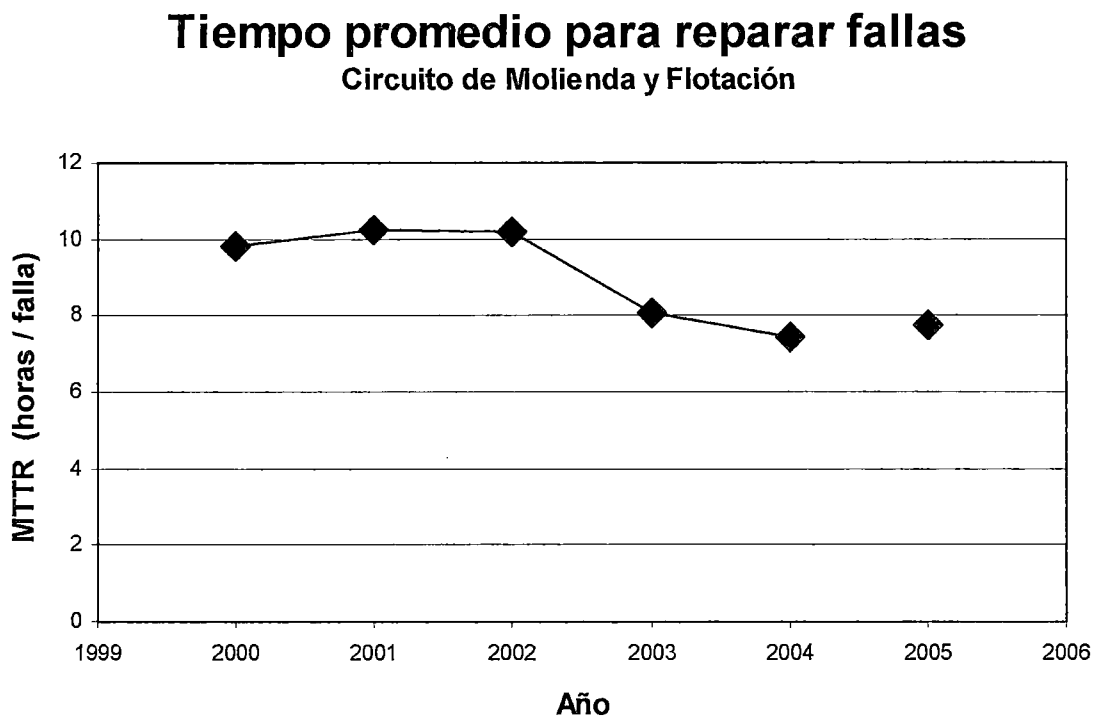
- Como una línea base de mejoramiento del rendimiento
- Como una estrategia de verificación. Una fuerte correlación es esperada entre un mejoramiento en el tiempo promedio para

reparar fallas y un mejoramiento en las medidas de rendimiento de costos y seguridad.

Para el caso de la Planta, este indicador será reportado por sección del proceso.

$$\text{MTTR} = \frac{\text{Total de tiempo parado por fallas}}{\text{Número de fallas}}$$

Ilustración 5.26: Gráfica del MTTR



La ilustración 5.26 nos muestra la tendencia decreciente del indicador MTTR. Respecto al año 2000 que se tenía un MTTR de 9.8 horas/falla, se pasó en el 2003 a 8.1 horas/falla.

## **CAPITULO 6**

### **EVALUACION ECONOMICA**

#### **6.1 Introducción**

El propósito de la evaluación económica es evaluar la factibilidad económica de la implementación de una nueva gestión de mantenimiento en la Planta Concentradora.

Para ello se calculará los costos de inversión y los beneficios que se obtendrían al aplicar estas estrategias. Luego se medirá la rentabilidad del proyecto dentro de un periodo de tiempo mediante los indicadores económicos (VAN, TIR y PCR)

##### **6.1.1 Calculo de la Inversión**

El cálculo de la inversión se realiza al conocer la totalidad de requerimientos de recursos financieros.

Esta constituida por:

- Costos de inversión fija: correspondiente al equipamiento Analizador de Vibraciones, Equipo de ultrasonido, termómetros infrarrojo.
- Costo de inversión intangible: correspondiente a la implementación de la nueva gestión (Asesorías, Cursos o entrenamientos).
- Capital de trabajo: correspondiente a la operación, no vamos a considerar debido a que es el mismo personal que siempre estará ejecutando el trabajo. No existe ninguna variación de personal.

La tabla 6.1 nos muestra el costo de inversión:

Tabla 6.1: Costo de Inversión

<b>COSTOS</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>COSTO APROXIMADO (US\$)</b>
<b>COSTO DE INVERSION INTANGIBLE</b>	Implementación del modelo de gestión de mantenimiento.	25 000
	Capacitación para poner en marcha el Proceso de Implementación	35 000
	<b>Subtotal</b>	<b>60 000</b>
<b>COSTO DE INVERSION FIJA</b>	Adquisición de Equipos de Monitoreo de Condiciones	50 000
	<b>Subtotal</b>	<b>50 000</b>
	<b>TOTAL</b>	<b>\$110 000</b>

### 6.1.2 Cálculo del beneficio total.

El beneficio total del aplicar estas estrategias lo detallamos de acuerdo a las estadísticas obtenidas en los últimos 4 años (ver tabla 6.2) que también muestra la proyección de los dos próximos años.

Tabla 6.2. Costo de Mantenimiento.

DESCRIPCION	2000	2001	2002	2003	2004	2005
COSTO LABOR	468 214	459 832	451 719	449 158	449 158	449 158
COSTO TERCEROS	12 974	19 038	30 248	42 784	60 000	60 000
COSTO MATERIALES	921 864	906 926	855 364	745 129	785 000	785 000
<b>TOTAL</b>	<b>\$1 403 052</b>	<b>\$1 385 796</b>	<b>\$1 337 331</b>	<b>\$1 237 071</b>	<b>\$1 294 158</b>	<b>\$1 294 158</b>

## 6.2 Indicadores Económicos.

Estos indicadores son:

- Valor Actual Neto (VAN)
- Tasa Interna de Retorno (TIR)
- Periodo de Recuperación de Capital (PRC)

Tabla 6.3: Comparación económica entre ingresos y costos

Año	Ingresos ó Beneficios \$	Costos Totales \$	Proyección de Beneficios Netos	Descripción del periodo
2000	0.00	20,000.00	-20,000.00	Inicio del Proyecto
2001	17,255.87	60,000.00	-42,744.13	Operación del Proyecto
2002	65,720.86	30,000.00	35,720.86	Operación del Proyecto
2003	165,981.00	0.00	165,981.00	Operación del Proyecto
2004	108,894.00	0.00	108,894.00	Operación del Proyecto
2005	108,894.00	0.00	108,894.00	Operación del Proyecto

La tabla 6.3 muestra los beneficios obtenidos en base al ahorro en la disminución del costo de mantenimiento. El año base considerado para nuestro análisis es el 2000, y en consecuencia los ahorros (beneficios) se refieren en base al costo de mantenimiento obtenido en este año.

A continuación se calcularán los índices económicos que validan la gestión de mantenimiento que se viene implementando en la Planta Concentradora.

### 6.2.1 Valor Actual Neto (VAN).

Determina el beneficio total neto actualizado del proyecto o inversión, utilizando una tasa de descuento y una serie de inversiones futuras o ingresos (flujos de caja).

Se evalúa con la siguiente expresión:



$$\text{VAN} = \sum_{k=1}^n \frac{\text{Flujo de Caja}_{(k)}}{(1+i)^k}$$

Donde:

Flujo de Caja<sub>(k)</sub> : son las inversiones o ingresos

i: Tasa de interes Corporativo 0 12%

n : periodo de recuperaci3n

**Regla de decisi3n:** Una inversi3n es rentable si se tiene: VAN>0

Calculando el VAN seg3n los datos de la Tabla 6.3, se obtendr3:

**VAN = US\$ 219 448**

Nota: para fines de c3lculos corporativos, estamos utilizando una tasa de inter3s de 12%, que en el mercado seria solo 10% para que la inversi3n sea rentable

### 6.2.2 Tasa Interna de Retorno (TIR).

Es la tasa de inter3s recibida por una inversi3n consistente en inversiones o ingresos (flujos de caja) que ocurren en periodos regulares. El TIR es aquella tasa de inter3s que hace al VAN igual a CERO.

Se eval3a con la siguiente expresi3n:

$$VAN = \sum_{k=1}^n \frac{\text{Flujo de Caja}_{(k)}}{(1+\text{TIR})^k} = 0$$

Donde:

Flujo de Caja<sub>(k)</sub>: son las inversiones o ingresos

n : periodo de recuperación

**Regla de decisión:** Una inversión es rentable si se tiene:

$$\text{TIR} > i_{(\text{mercado})}$$

Aplicando la Formula dada, obtenemos:

$$\text{TIR} = 97.2\%$$

### 6.2.3 Periodo de Recuperación de Capital (PRC).

Un plazo de retorno apropiado será una condición indispensable para decidir sobre la utilidad de la mejora de la aplicación de estas estrategias.

El desarrollo tecnológico y las condiciones económicas evolucionan rápidamente que hacen desaconsejable plazos de retorno superior a 5 años, por la posible obsolescencia de los equipos, software, etc.

**Regla de decisión:** Una inversión es rentable si se tiene:  $n < 5$  años  
(tiempo de retorno)

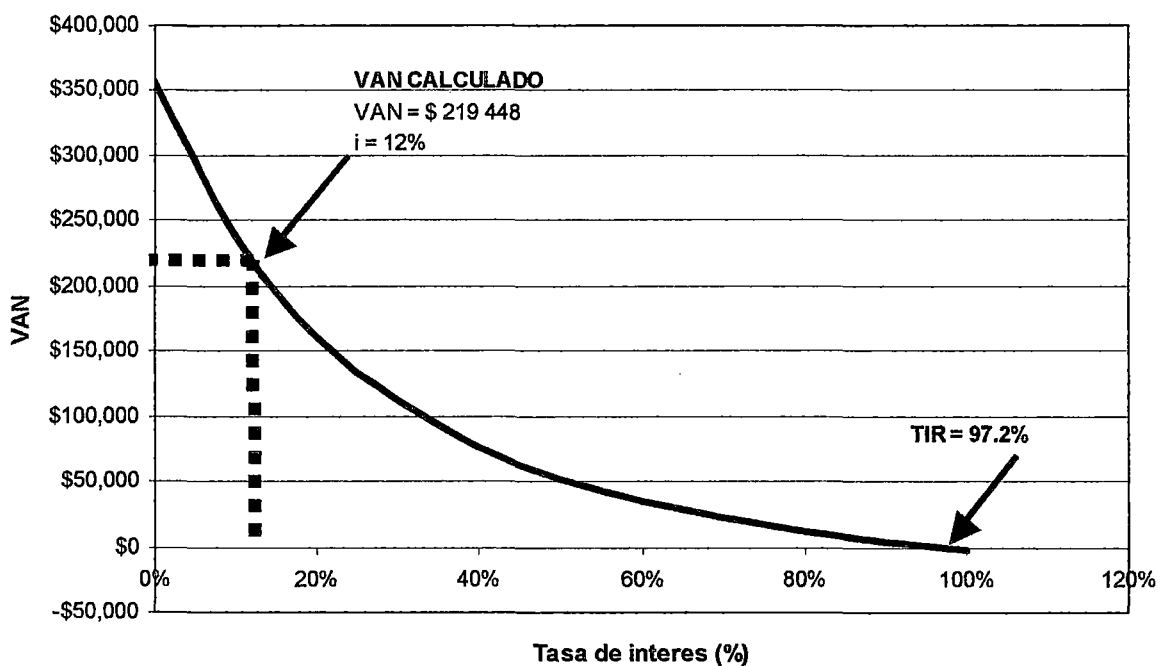
La experiencia en nuestras instalaciones nos arrojó un retorno en un tiempo de 3 años, ver Tabla 6.3, por lo tanto:

$$n = 3 \text{ años} < 5 \text{ años (tiempo de retorno)}$$

Los resultados obtenidos en los Indicadores económicos permiten decidir la realización de la aplicación de estas estrategias en una empresa, dada que la rentabilidad esta garantizada. Ver Ilustración 6.1

Ilustración 6.1: Grafica de la Tasa de interés Vs. el VAN

## Tasa de Interes vs. VAN



## CONCLUSIONES

1. El planeamiento es la base para toda gestión moderna de mantenimiento porque ayuda a minimizar los tiempos muertos y a aprovechar lo mejor posible los recursos.
2. El mantenimiento preventivo y predictivo nos permiten aumentar la disponibilidad del equipo eliminando fallas previsibles.
3. El TPM nos permite ampliar la visión del mantenimiento buscando mejorar la productividad de la Planta a través de la unión de esfuerzos de todas las áreas relacionadas con la buena y eficiente operación del equipo, adicionalmente el se implementa el Mantenimiento Autónomo que permite una mayor identificación del operador con la conservación de su equipo.
4. El mejoramiento continuo a través de la ayuda que proporcionan los indicadores de gestión, nos ha permitido tener valores estándares de comparación para evaluar nuestra gestión y así determinar nuestras debilidades y fortalezas. Por otro lado los indicadores nos permite comparar

nuestra gestión con la de otras empresas y así aprender tomando las mejores prácticas.

5. Con la implementación de una nueva gestión de mantenimiento se ha demostrado a través de indicadores económicos (TIR, VAN y el Período de Recuperación) la rentabilidad del proyecto.
  - VAN = \$ 219 448
  - TIR = 97.2%
  - Período de Recuperación = 3 años.
6. Con la implementación de una nueva gestión de mantenimiento, en los tres primeros años nos ha permitido obtener (respecto al año 2000):
  - La disponibilidad de Planta ha aumentado en 3.5 puntos, siendo actualmente de 97%.
  - El costo unitario por tonelada procesada se ha reducido en 20%, siendo su valor actual de 2,33 \$/tn procesada
  - El costo unitario de mantenimiento se ha reducido en 13%, siendo su valor actual de 0.78 \$ / tn procesada
  - La relación de eficiencia de mantenimiento es de 10.6 horas hombre por hora operada por planta, este se ha incrementado en un 8.5% respecto al año 2000 principalmente por el incremento de personal de terceros.
7. Una gestión moderna de mantenimiento no solo nos da beneficios económicos y mejoras en la confiabilidad del equipo, sino también es un factor que caracterizará la madurez de los líderes de mantenimiento que están inmersos en un mundo competitivo y globalizado.

8. La incorporación de Terceros se da con la finalidad de que el personal estable se dedique a labores propias de mantenimiento que requiere una calificación adecuada, dejando a terceros las labores de fabricación de estructuras y algunos trabajos de taller.
9. Hay que resaltar que la filosofía implementada por DRP "Safety #1" ha sido muy valioso en la mejora del índice que evalúa la gestión de Seguridad el punto de vista de Seguridad (LTIFR, Ilustración 5.20)
10. Un factor que ayuda mucho para la implementación del TPM es que Planta Concentradora tiene un único Líder, el Superintendente. El tiene la responsabilidad tanto de la parte productiva como también de la gestión de mantenimiento. Este detalle ha contribuido principalmente para que Operaciones y Mantenimiento trabaje verdaderamente en Equipo, con objetivos comunes: Cero accidentes y Máxima productividad del equipo.

## BIBLIOGRAFIA

1. **Machinery Vibration**, Measurement and Analysis  
Victor Work  
McGraw-Hill, Inc. USA 1991
2. **Equipment Management**, Breakthrough Maintenance Management  
Strategy for the 21<sup>st</sup> century.  
Paul D. Tomlison  
Kendall/Hunt Publishing Company, USA 1998
3. **Administración de Mantenimiento**, Desarrollo de indicadores  
Terry Wireman  
Rojas Eberhard Editores LTDA, Colombia 2001
4. **Programa de Capacitación para la Superación**, Supervisores  
Departamento de Capacitación DOE RUN PERU, Perú 2002
5. **Técnicas Modernas de Mantenimiento Predictivo**, Seminario  
Internacional  
Ing. Luis Rios Cerda

Asociación Nacional de Ingeniería de Mantenimiento y Ramas Afines,  
Perú 2001

6. **Planificación y Programación del Mantenimiento Minero Industrial,**  
Seminario Taller

Ing. Pedro Vargas Gálvez, Ing. Juan Fang Li

Asociación Peruana de Mantenimiento e Ingeniería, APEMAIN 2001

7. **Study Guide Infrared and Thermal Testing Method,** ASNT Level III

Herbert Kaplan

The American Society for Nondestructive Testing Inc. USA 2001

8. **Normas para la gestión de la Calidad y el Aseguramiento de la  
Calidad,** guía para la aplicación de las Normas ISO

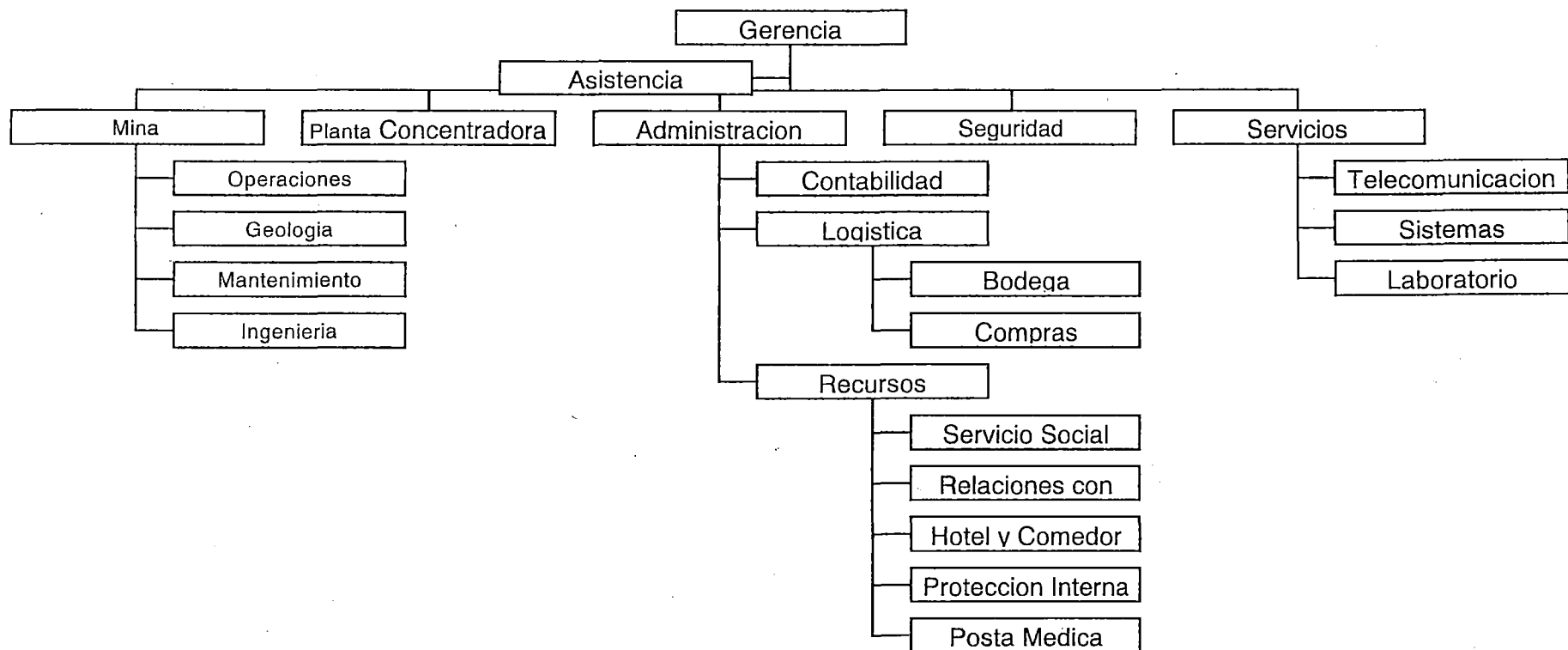
Norma técnica Peruana, NTP ISO 9000-2:1993

INDECOPI, Perú 1995



**DIAGRAMAS Y ESQUEMAS**

Diagrama 01 : Organigrama Mina Cobriza



## Diagrama 02: Organigrama Planta Concentradora

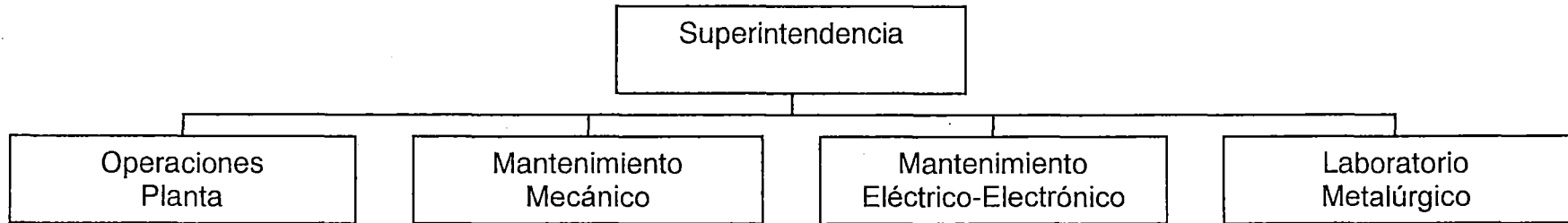


Diagrama 03: Organigrama Inicial de Mantenimiento

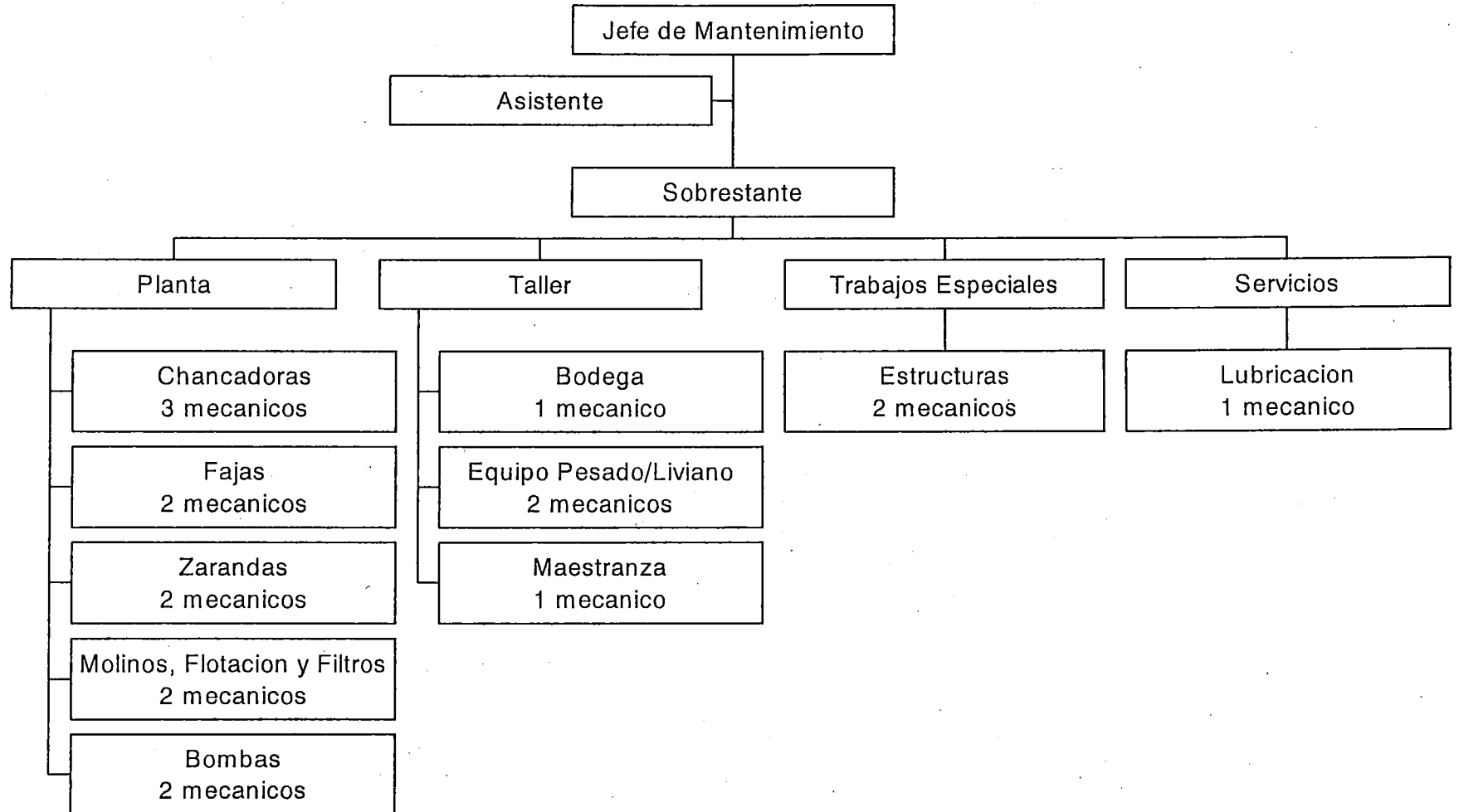


Diagrama 04: Organigrama Propuesto de Mantenimiento

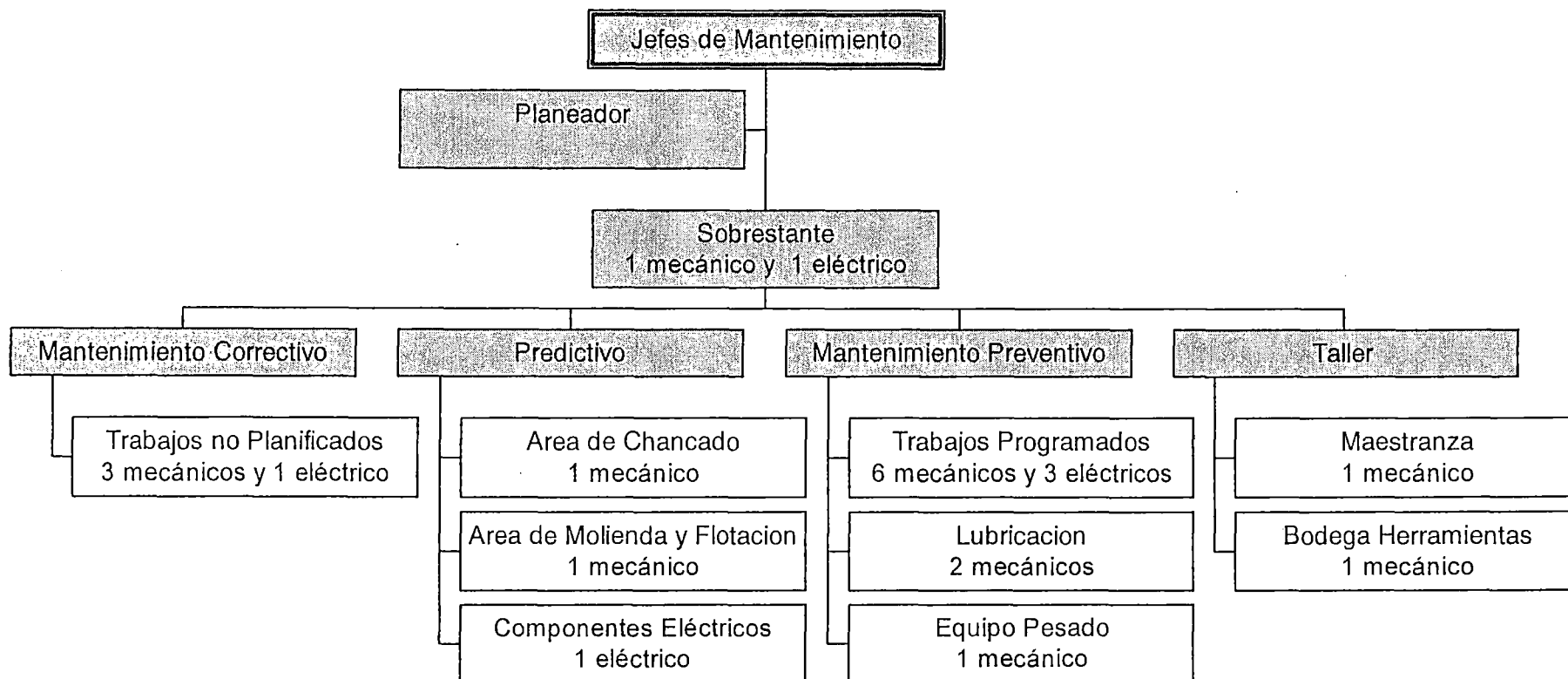


Diagrama 05: Circuito de Chancado

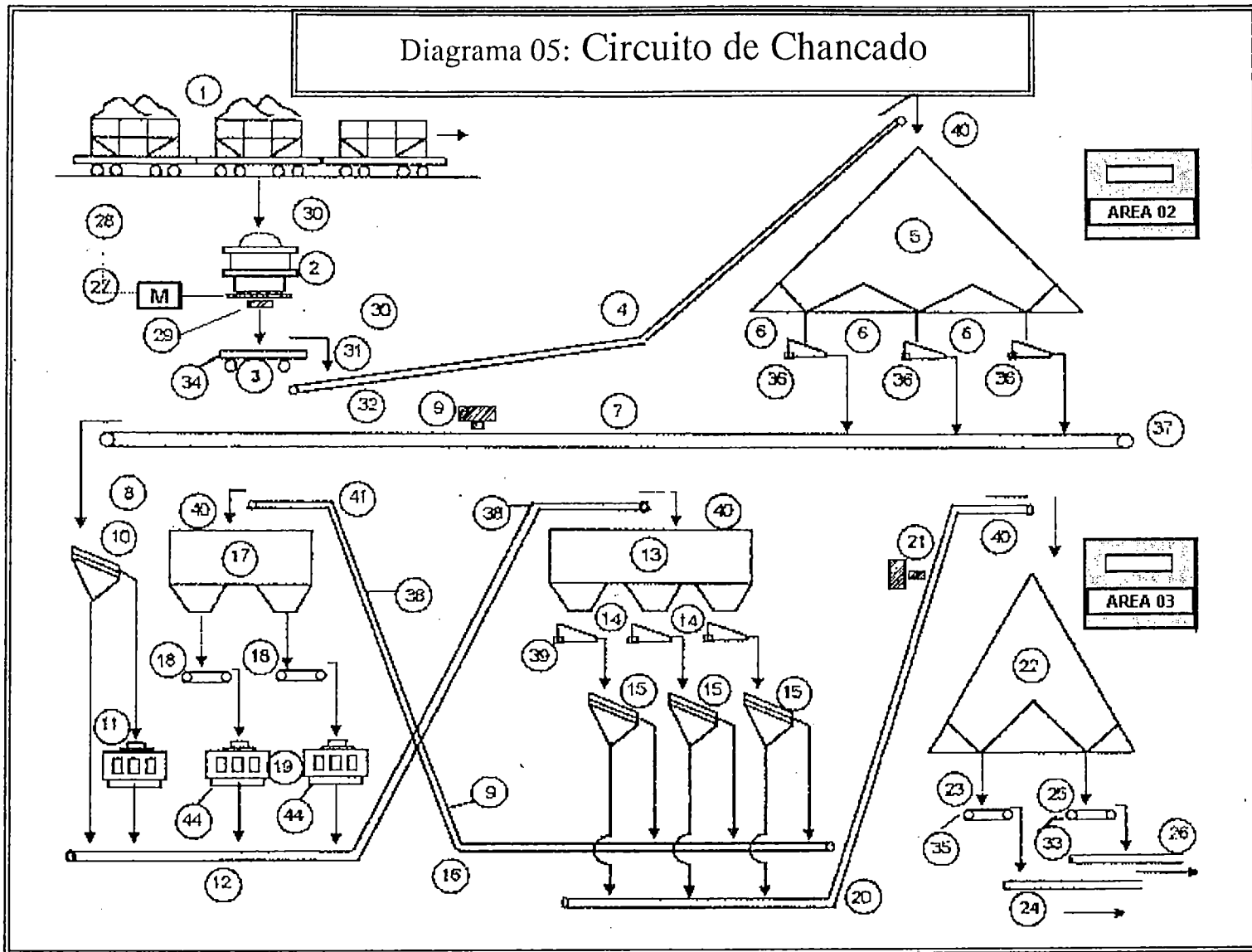


Diagrama 06: Circuito de Molienda

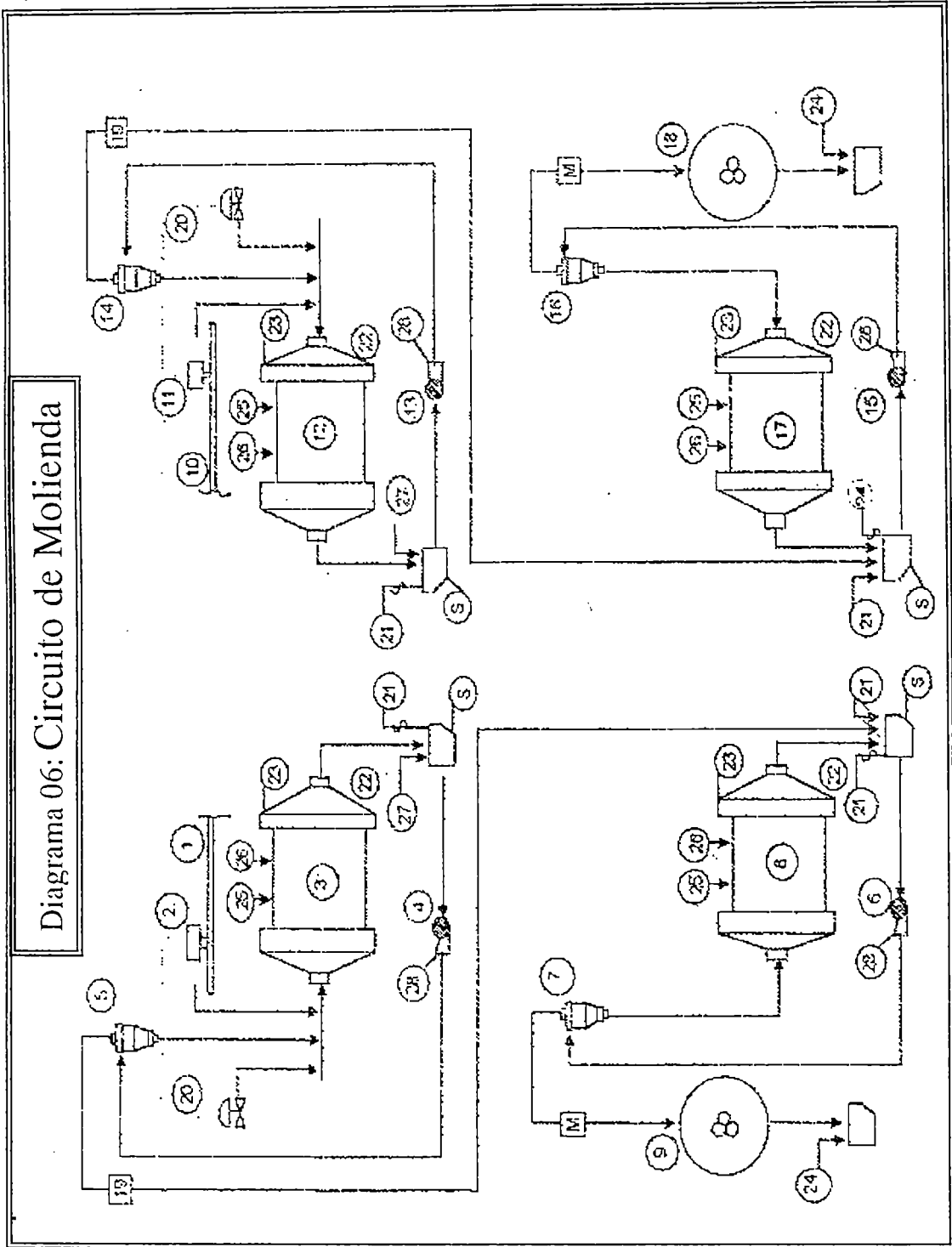
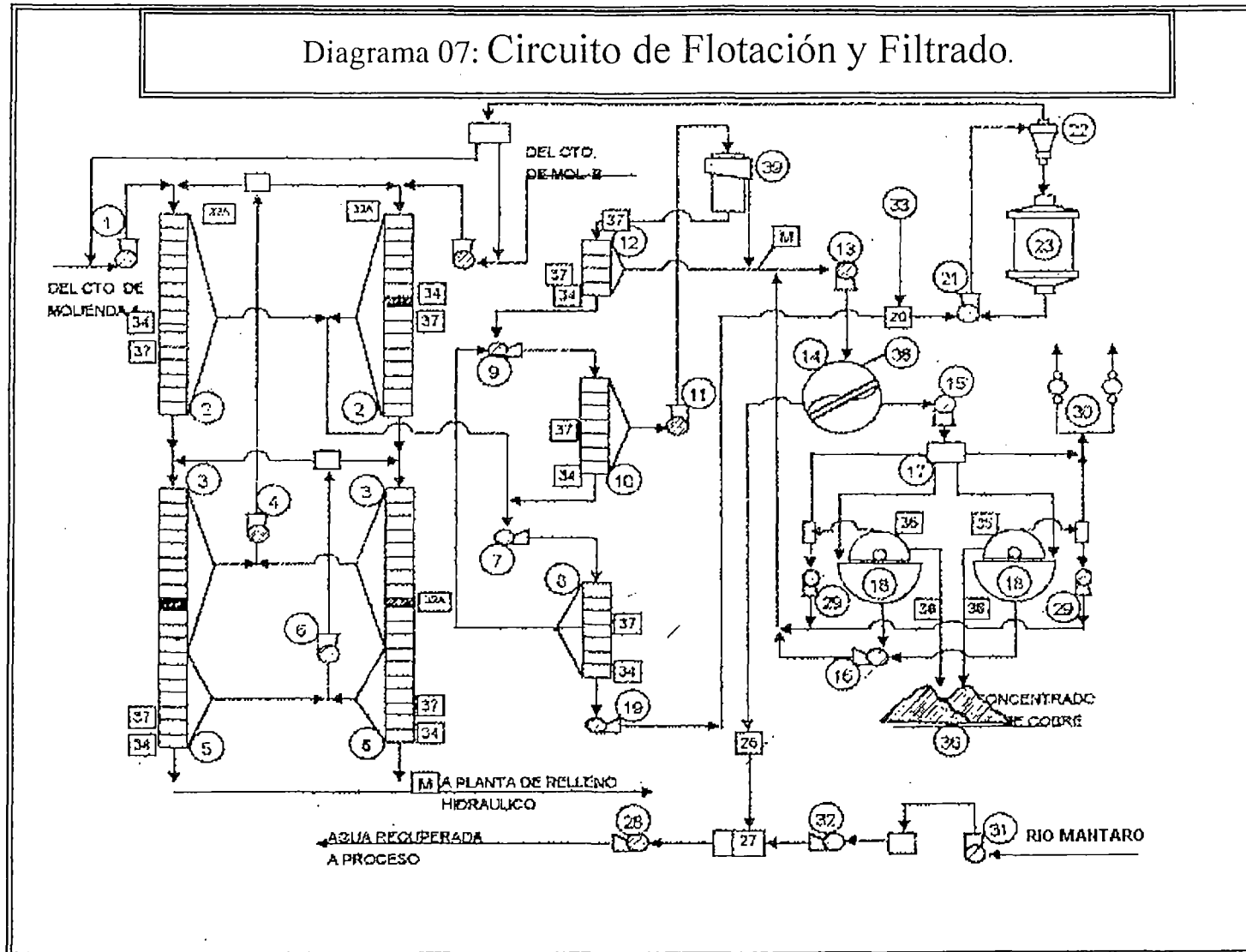


Diagrama 07: Circuito de Flotación y Filtrado.





## CIRCUITO DE CHANCADO

No	Cant	DESCRIPCION	No	Cant	DESCRIPCION
1	1	Control de semáforos, descarga de carros metaleros de 25 t de capacidad c/u.	23	3	Alimentador de faja 42" x 75", veloc. variable
2	1	Chancadora giratoria Nordberg, 42" x 70"	24	1	Faja transportadora 36" x 483", molino No. 1
3	1	Alimentador Vibratorio Hewitt Robins, 60" x 240"	25	3	Alimentador de faja 42" x 75", veloc. variable
4	1	Faja transportadora, gruesos 42" x 1361'	26	1	Faja transportadora 36" x 483", molino No. 2
5	1	Stock pile de gruesos de 10 000 t de capacidad.	27	1	Registrador/indicador potencia de chanc. Primaria.
6	3	Alimentador vibratorio FMC Syntron, 42" x 60"	28	1	Registrador/indicador interlock potencia excesiva
7	1	Faja transportadora 36" x 853'	29	1	Posicionador hidráulico
8	2	Tilt switch para nivel entrada a cedazo.	30	1	Sistema de lubricación, y enfriamiento por aceite
9	2	Detector de metales Tectron 8000	30A	1	Control de lubricación programable de spider
10	1	Cedazo vibratorio 6' x 16' Tyler T-Rock	31	1	Circuito cerrado TV, visualización cortes de faja
11	1	Chancadora secundaria Symons STD 7'	32	1	Faja magnética ERTZ
12	1	Faja transportadora 42" x 1050'	33	6	Variadores automáticos de veloc. de alimentación
13	1	Tolva de compensación Surge 100 t.	34	1	Control ON-OFF por corriente faja 02-0601
14	3	Alimentador vibratorio 48" x 60" FMC Syntron	35	1	Registrador de corriente faja 02-0601
15	3	Cedazo vibratorio 8' x 20' Tyler T-Rock	36	1	Controlador de vibración
16	1	Faja transportadora 36" x 1000'	37	1	Registrador de corriente
17	1	Tolva de compensación Surge 100 t.	38	1	Registrador de potencia-alarma-interlock
18	2	Alimentador de faja 42" x 36'	39	1	Controlador remoto de vibración
19	2	Chancadora terciaria Symons SH de 7'	40	6	Tilt switch de novel alto/alto-aito
20	1	Faja transportadora 36" x 853'	41	1	Registrador de corriente faja 03-0603/ pre alarma
21	1	Balanza electrónica Ramsey	42	5	Zero speed switch para todas las fajas/alarma/interl.
22	1	Stock pile de finos 5000 t de capacidad	43	2	Consolas de operación y alarmas
			44	2	Controladores de potencia Crusher R- Trol Ramsey

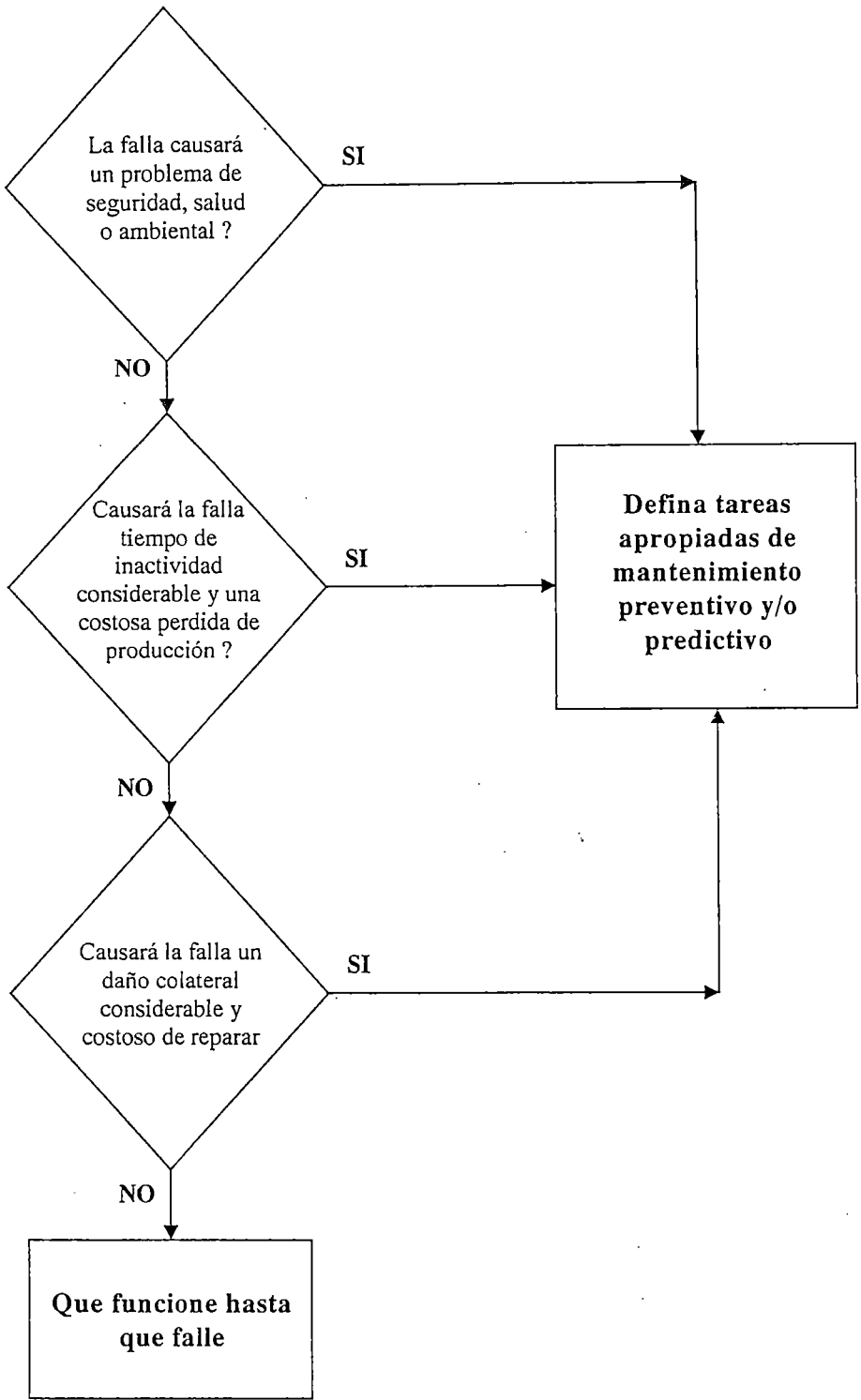
## CIRCUITO DE MOLIENDA

No	Cant	DESCRIPCION	No	Cant	DESCRIPCION
CIRCUITO "A"			15	2	Bomba ASH CD-12-6D
1	1	Faja transportadora de 36" x 483'	16	1	Batería de hidrociclones D-15
2	1	Balanza electrónica Ramsey	17	1	Molino de bolas secundario Marcy de 14' Ø x 18'
3	1	Molino de bolas primario Marcy de 14' Ø x 18'	18	1	Acondicionador de 14' Ø x 18'
4	2	Bomba ASH CD-12-6D	19	2	Monitor nuclear de densidad Ronan X96
5	1	Batería de hidrociclones D-20"	20	2	Control automático de relación agua/mineral
6	2	Bomba ASH CD-12-6D	21	4	Monitor ultrasonido de nivel
7	1	Batería de hidrociclones D-15"	22	4	Registro de potencia de motor
8	1	Molino de bolas secundario Marcy de 14' Ø x 18'	23	4	Lubricador Spray automático
9	1	Acondicionador de 14' Ø x 18'	24	2	Dosificador automático de cal
CIRCUITO "B"			25	4	Sistema de lubricación de molino, catalina
10	1	Faja transportadora de 36" x 483'	26	4	Sistema sensor de temperatura de 9 puntos
11	1	Balanza electrónica Ramsey	27	4	Indicador/registrador/controlador de flujo de agua
12	1	Molino de bolas primario Marcy de 14' Ø x 18'	28	8	Indicador de corriente de bombas
13	2	Bomba ASH CD-12-6D	S		Sumidero
14	1	Batería de hidrociclones D-20"	M		Muestreador

## CIRCUITO DE FLOTACION Y FILTRADO

No	Cant	DESCRIPCION	No	Cant	DESCRIPCION
1	4	Bomba ASH D-6, alimentación rougher primario	20	1	Distribuidor estacionario
2	1	Banco 14 celdas Wemco 500 ft3, rougher circuito A	21	2	Bomba ASH C-6-6
3	1	Banco 14 celdas Wemco 500 ft3, rougher circuito B	22	1	Batería de 4 hidrociclones Krebs D-20-B
4	2	Banco 11 celdas Wenco 500 ft3, scv primario cto. A	23	1	Molino de bolas Marcy de 10,5' Ø x 17' de remolienda
5	1	Banco 11 celdas Wenco 500 ft3, scv primario cto. B	24	2	Bomba vertical Galigher de 4"
6	2	Bomba ASH 10" x 10" CD-6-6.	25	2	Bomba ASH C-6-6
7	1	Banco 7 celdas Wemco 500 ft3, scv secundario A	26	1	Cocha de recuperación de concentrado
8	1	Banco 7 celdas Wemco 500 ft3, scv secundario B	27	2	Poza de recuperación de agua
9	2	Bombas ASH 10" X 10" CD-6-6.	28	4	Bomba Goulds VIT/12 JMC, recuperación de agua
10	1	Bombas ASH 10" X 10" CD-6-6.	29	2	Bomba Dorr Oliver de 1 1/2" L. para agua filtrada.
11	1	Banco 7 celdas Wenco 300 ft3, 1ra limpiadora	30	2	Bomba de vacío Nash CL 3003
12	2	Bombas ASH 10" X 10" CD-6-6.	31	3	Bomba Grindix Maxi-H
13	1	Banco 7 celdas Wenco 300 ft3, 2da. Limpiadora	32	3	Bomba Worthington 5-UNB-13
14	2	Bomba vertical Galigher de 6 SAA	32A	5	Medidores de pH Great Lake Instruments
15	1	Banco 4 celdas Wemco 300 ft3, 3ra. Limpiadora	33	1	Monitor ultrasonido de nivel
16	2	Bomba ASH A-6-6 (1 bomba Warman 4x3)	34	23	Controlador automático de nivel Foxboro
17	1	Espesador Dorr Oliver de 100' Ø, concentrado Cu.	35	2	Control temporizado de soplado
18	2	Bombas ASH A-A-6-S	36	2	Tilt switch para nivel de keke de concentrado
19	1	Bomba vertical de 2 1/2"	37		Indicadores de parada de motores de agitación
20	1	Distribuidor estacionario	38	1	Registrador de corriente en espesador
21	2	Filtro de tambor Dorr Oliver de 12' Ø x 24'	39	1	Celda columna Cominco 3,05 m Ø x 10 m
22	2	Bomba ASH C-6-6, para medios			

Diagrama 08: Diagrama de Evaluación de Fallas para el RCM.



## APÉNDICE

- A. Misión de la Empresa
- B. Lista de Equipos
- C. Cartilla de Diagnostico Vibracional y Tabla de datos de Rodamientos
- D. Indicadores para la Gestión de Mantenimiento
- E. Procedimiento Ejecutivo, Cambio parcial de chaquetas del Molino de Bolas 05-0201

## **APENDICE A: MISION DE LA EMPRESA**

## **Misión**

“ Construir sobre la posición líder de Doe Run, una nueva empresa líder (DOE RUN PERU) en el mundo de la industria metalúrgica, procesando concentrados polimetálicos de plomo y cobre con altos contenidos de plata, así como concentrados de zinc; afianzar su posicionamiento en los mercados de la cuenca del Pacífico y asegurar su vigencia en el Tercer Milenio.

Nuestra misión será lograda convirtiéndonos en una empresa competitiva con productos de alta calidad y bajo costo que redunden en mejores beneficios a nuestros clientes, trabajando en un ambiente seguro y saludable y utilizando la más alta tecnología y las últimas herramientas de la administración moderna, como la tecnología de información y uso del conocimiento humano, comunicación a tiempo real y el concurso de la gran experiencia de nuestros trabajadores.

Parte integral de esta misión es crear nuevas oportunidades de trabajo, integrar el negocio metalúrgico con la minería, desarrollar nuevos productos con valor agregado o productos fabricados.

Además, promover la generación de otros servicios y negocios, impulsar el desarrollo sostenido, para mejorar la calidad de vida de nuestros empleados, sus familias y la sociedad en la cual vivimos y preservar el medio ambiente para las futuras generaciones

”

## **ANEXO B: LISTA DE EQUIPOS**

**LISTA DE EQUIPOS EN PLANTA CONCENTRADORA**

N°	Codigos	Nombre	Cant.	Características		
				Marca	Modelo	Potencia
1	02-0101	Chancadora Primaria	1	Nordberg	Heavy Duty 42"x70"	400 HP
2	02-0701	Alimentador vibratorio	1	Hewitt Robins	5' x 20'	100 HP
3	02-0601	Faja transportadora	1		42" x 1361'	400 HP
4	02-0702 al 0704	Alimentador electromagnetico	3	FMC Syntron	42" x 60"	
5	02-0602	Faja transportadora	1		36" x 853'	125 HP
6	03-0301	Zaranda vibratoria	1	Tyler T-Rock	6' x 16'	80 HP
7	03-0101	Chancadora Secundaria	1	Symons	Standar de 7'	350 HP
8	03-0601	Faja transportadora	1		42" x 1050'	250 HP
9	03-0701 al 0703	Alimentador electromagnetico	3	FMC Syntron	48" x 60"	
10	03-0302 al 0304	Zaranda vibratoria	3	Tyler T-Rock	8' x 20'	50 HP
11	03-0603	Faja transportadora	1		36" x 1000'	125 HP
12	03-0704 AL 0705	Alimentador por faja	2		42" x 11.5m	
13	03-0102 al 0103	Chancadora Terciaria	2	Symons	Short Head 7'	350 HP
14	03-0605	Faja transportadora	1		36" x 853'	100 HP
15	04-0702 al 0706	Alimentador por faja variable	4		42" x 36'	
16	04-0602 al 0603	Faja transportadora	2		36" x 483'	20 HP

Apéndice B

Nº	Codigos	Nombre	Cant.	Características		
				Marca	Modelo	Potencia
17	05-0201 y 05-0203	Molino de bolas primario	2	Marcy	14' Dia. x 18'	2000 HP
18	05-0202 y 05-0204	Molino de bolas secundario	2	Marcy	14' Dia. x 18'	2000 HP
19	05-1501 al 1504 y 1561 al 1564	Bomba Centrífuga de molienda	8	ASH	CD-12-6D	
20	05-0501 y 05-0503	Bateria de hidrociclones primario	2		D20B (20")	
21	05-0502 y 05-0504	Bateria de hidrociclones secundario	2		D15B (15")	
22	05-0205	Molino de bolas remolienda	1		10.5" Dia. x 17"	1000 HP
23	05-0505	Bateria de hidrociclones remolienda	1		10"	
24	05-1505 y 1565	Bomba centrífuga de remolienda	4	ASH	C-6-6	
25	05-2201 y 2203	Acondicionador tanque	2	FIMA	14' x 18'	
26	05-1527 al 1530	Bomba centrífuga del Acondicionador	4	ASH	D-6	
27	05-2601 al 2664	Agitador de celdas de flotacion de Rougher y Scavenger	64	WEMCO	500 pies cubicos	
28	05-2680 al 2698	Agitador de celdas de flotacion de limpieza	18	WEMCO	300 pies cubicos	
29	05-1521 al 1526	Bomba centrífuga flotacion	7	ASH CD-6-6	CD-6-6	



Apéndice B

N°	Codigos	Nombre	Cant.	Características		
				Marca	Modelo	Potencia
30	05-1535 y 1536	Bomba vertical flotacion	2	Galigher	6" SAA	
31	05-1530 y 1531	Bomba vertical flotacion	2	Galigher	4"	
32	05-2600	Celda columna	1	Cominco	3.05m Dia. x 10m	
33	05-1518 y 1519	Bomba centrifuga celda columna	2	ASH	A-6-6	
34	05-0401	Espesador	1	Dorr Oliver	100' Dia.	
35	05-1513 y 1514	Bomba centrifuga espesador	2	ASH	A-6-6-S	
36	05-2301 Y 05-2302	Filtro tambor	2	Dorr Oliver	12' Dia. x 24'	
37	05-1550 y 1551	Bomba centrifuga filtro tambor	2	Dorr Oliver	1-1/2"	
38	05-1750 y 1751	Bomba de vacio	2	NASH	CL 3003	
39	07-1501 al 1504	Bomba vertical recuperacion de agua	4	Goulds	VIT12/JMC	
40	07-1508 al 1510	Bomba vertical agua del rio mantaro	3	Grindex	Maxi-H	
41	07-1506 al 1507	Bomba de doble cuerpo	2	Worthington	5-UNB-13	

**APÉNDICE C:**  
**CARTILLA DE DIAGNOSTICO**  
**VIBRACIONAL Y TABLA DE DATOS DE**  
**RODAMIENTOS**

# TABLE 6.0 ILLUSTRATED VIBRATION DIAGNOSTIC CHART

PROBLEM SOURCE	TYPICAL SPECTRUM	PHASE RELATIONSHIP	REMARKS
<b>MASS UNBALANCE</b> A. FORCE UNBALANCE			Force Unbalance will be in-phase and steady. Amplitude due to unbalance will increase by the square of speed below first rotor critical (a 2X speed increase = 4X higher vibration). 1X RPM always present and normally dominates spectrum. Can be corrected by placement of only one balance weight in one plane at rotor center of gravity (CG). Approx. 0° phase difference should exist between OB & IB horizontals, as well as between OB & IB verticals. Also, approx. 90° phase difference between horizontal & vertical readings usually occurs on each bearing of unbalanced rotor (±30°).
B. COUPLE UNBALANCE			Couple Unbalance results in 180° out-of-phase motion on same shaft. 1X RPM always present and normally dominates spectrum. Amplitude varies with square of increasing speed below first rotor critical speed. May cause high axial vibration as well as radial. Correction requires placement of balance weights in at least 2 planes. Note that approx. 180° phase difference should exist between OB & IB horizontals, as well as between OB & IB verticals. Also, approx. a 90° difference between the horizontal & vertical phase readings on each bearing usually occurs (±30°).
C. DYNAMIC UNBALANCE			Dynamic Unbalance is the dominant type of unbalance found and is a combination of both force and couple unbalance. 1X RPM dominates the spectrum, and truly requires 2 plane correction. Here, the radial phase difference between outboard and inboard bearings can range anywhere from 0° to 180°. However, the horizontal phase differences should closely match the vertical phase difference, when comparing outboard and inboard bearing measurements (±30°). Secondly, if unbalance predominates, roughly a 90° phase difference usually results between the horizontal and vertical readings on each bearing (±40°).
D. OVERHUNG ROTOR UNBALANCE			Overhung Rotor Unbalance causes high 1X RPM in both Axial and Radial directions. Axial readings tend to be in-phase whereas radial phase readings might be unsteady. However, the horizontal phase differences will usually match the vertical phase differences on the unbalanced rotor (±30°). Overhung rotors have both force and couple unbalance, each of which will likely require correction. Thus, correction weights will most always have to be placed in 2 planes to counteract both force and couple unbalance.
<b>ECCENTRIC ROTOR</b>			Eccentricity occurs when center of rotation is offset from geometric centerline of a pulley, gear, bearing, motor armature, etc. Largest vibration occurs at 1X RPM of eccentric component in a direction thru centerlines of the two rotors. Comparative horizontal and vertical phase readings usually differ either by 0° or by 180° (each of which indicate straight-line motion). Attempts to balance eccentric rotors often result in reducing vibration in one radial direction, but increasing it in the other radial direction (depending on amount of eccentricity).
<b>BENT SHAFT</b>			Bent shaft problems cause high axial vibration with axial phase differences tending towards 180° on the same machine component. Dominant vibration normally occurs at 1X if bent near shaft center, but at 2X if bent near the coupling. (Be careful to account for transducer orientation for each axial measurement if you reverse probe direction.) Use dial indicators to confirm bent shaft.
<b>MISALIGNMENT</b> A. ANGULAR MISALIGNMENT			Angular Misalignment is characterized by high axial vibration, 180° out-of-phase across the coupling. Typically will have high axial vibration with both 1X and 2X RPM. However, not unusual for either 1X, 2X or 3X to dominate. These symptoms may also indicate coupling problems as well. Severe angular misalignment may excite many 1X RPM harmonics. Unlike Mechanical Looseness Type 3, these multiple harmonics do not typically have a raised noise floor on the spectra.
B. PARALLEL MISALIGNMENT			Offset Misalignment has similar vibration symptoms to Angular, but shows high radial vibration which approaches 180° out-of-phase across coupling. 2X often larger than 1X, but its height relative to 1X is often dictated by coupling type and construction. When either Angular or Radial Misalignment becomes severe, they can generate other high amplitude peaks at much higher harmonics (4X-8X), or even a whole series of high frequency harmonics similar in appearance to mechanical looseness. Coupling type and material will often greatly influence the entire spectrum when misalignment is severe. Does not typically have raised noise floor.
C. MISALIGNED BEARING COCKED ON SHAFT			Cocked Bearing will generate considerable axial vibration. Will cause Twisting Motion with approximately 180° phase shift top to bottom and/or side to side as measured in axial direction on same bearing housing. Attempts to align coupling or balance the rotor will not alleviate problem. Bearing usually must be removed and correctly installed.
<b>RESONANCE</b>			Resonance occurs when a Forcing Frequency coincides with a System Natural Frequency, and can cause dramatic amplitude amplification, which might result in premature, or even catastrophic failure. This may be a natural frequency of the rotor, but can often originate from support frame, foundation, gear box or even drive belts. If a rotor is at or near resonance, it can be almost impossible to balance due to the great phase shift it experiences (90° at resonance; nearly 180° when passes thru). Often requires changing natural frequency to a higher or lower frequency. Natural Frequencies do not generally change with a change in speed which helps facilitate their identification (unless on a large plain bearing machine or on a rotor which has significant overhang).

# TABLE 6.0 ILLUSTRATED VIBRATION DIAGNOSTIC CHART

PROBLEM SOURCE	TYPICAL SPECTRUM	PHASE RELATIONSHIP	REMARKS	
<b>MECHANICAL LOOSENESS</b>	<p style="text-align: center;">RADIAL TYPE A</p>	<p style="text-align: center;">BASE PLATE MACHINE FOOT CONCRETE BASE PLATE</p>	<p>Mechanical Looseness is indicated by either Type A, B or C vibration spectrum. Type A is caused by Structural looseness/weakness of machine feet, baseplate or foundation; also by deteriorated grouting, loose hold down bolts at the base; and distortion of the frame or base (i.e., soft foot). Phase analysis may reveal approx. 90° to 180° phase difference between vertical measurements on bolt, machine foot, baseplate or base itself.</p> <p>Type B is generally caused by loose pillowblock bolts, cracks in frame structure or in bearing pedestal.</p> <p>Type C is normally generated by improper fit between component parts which will cause many harmonics due to nonlinear response of loose parts to dynamic forces from rotor. Causes a truncation of the waveform and a raised noise floor in the spectrum. Type C is often caused by a bearing liner loose in its cap, a bearing loose and turning on its shaft, excessive clearance in either a sleeve or rolling element bearing, a loose impeller on a shaft, etc. Type C Phase is often unstable and may vary widely from one measurement to next, particularly if rotor shifts position on shaft from one startup to next. Mechanical Looseness is often highly directional and may cause very different readings when comparing levels at 30° increments in radial direction all the way around one bearing housing. Also, note that looseness will often cause subharmonic multiples at exactly 1/2 or 1/3X RPM (.5X, 1.5X, 2.5X, etc.).</p>	
	<p style="text-align: center;">RADIAL TYPE B</p>			
	<p style="text-align: center;">RADIAL TYPE C</p> <p>NOTE RAISED NOISE FLOOR INDICATING LOOSENESS</p>			
<b>ROTOR RUB</b>	<p style="text-align: center;">TRUNCATED FLATTENED WAVEFORM</p> <p style="text-align: center;">RADIAL</p>		<p>Rotor Rub produces similar spectra to Mechanical Looseness when rotating parts contact stationary components. Rub may be either partial or throughout the entire shaft revolution. Usually generates a series of frequencies, often exciting one or more resonances. Often excites integer fraction subharmonics of running speed (1/2, 1/3, 1/4, 1/5, ... 1/n), depending on location of rotor natural frequencies. Rotor rub can excite many high frequencies (similar to wide-band noise when chalk is dragged along a blackboard). It can be very serious and of short duration if caused by shaft contacting bearing babbit. A full annular rub throughout an entire shaft revolution can induce "reverse precession" with the rotor whirling at critical speed in a direction opposite shaft rotation (inherently unstable which can lead to catastrophic failure).</p>	
<b>JOURNAL BEARINGS</b>			<b>A. WEAR/CLEARANCE PROBLEMS</b>	
			<p style="text-align: center;">RADIAL</p> <p>NOTE RAISED NOISE FLOOR INDICATING CLEARANCE/LOOSENESS.</p>	<p>Later stages of journal bearing wear are normally evidenced by presence of whole series of running speed harmonics (up to 10 or 20). Wiped journal bearings often will show high vertical amplitudes compared to horizontal, but may show only one pronounced peak at 1X RPM. Journal bearings with excessive clearance may allow a minor unbalance and/or misalignment to cause high vibration which would be much lower if bearing clearances were set to spec.</p>
			<b>B. OIL WHIRL INSTABILITY</b>	<p style="text-align: center;">RADIAL</p>
<b>C. OIL WHIP INSTABILITY</b>	<p style="text-align: center;">OIL WHIP</p>		<p>Oil Whip may occur if machine operated at or above 2X rotor critical frequency. When rotor brought up to twice critical speed, whirl will be very close to rotor critical and may cause excessive vibration that oil film may no longer be capable of supporting. Whirl speed will actually "lock onto" rotor critical and this peak will not pass through it even if machine is brought to higher and higher speeds. Produces a lateral forward precessional subharmonic vibration at rotor critical frequency. Inherently unstable which can lead to catastrophic failure.</p>	
<b>ROLLING ELEMENT BEARINGS</b> (4 Failure Stages)	<p style="text-align: center;">DOMINANT FAILURE SCENARIO</p>		<p style="text-align: center;">4 ROLLING ELEMENT BEARING FAILURE STAGES</p> <p><b>STAGE 1:</b> Earliest indications of bearing problems appear in ultrasonic frequencies ranging from about 250,000 - 350,000 Hz; later, as wear increases, usually drops to approximately 20,000 - 80,000 Hz (1,200,000 - 3,000,000 CPM). These are frequencies evaluated by Spike Energy (gSE), HFD (g) and Shock Pulse (dB). For example, spike energy may first appear at about .25 gSE in Stage 1 (actual value depending on measurement location and machine speed). Acquiring high frequency enveloped spectra confirms whether or not bearing is in Failure Stage 1.</p> <p><b>STAGE 2:</b> Slight bearing defects begin to "ring" bearing component natural frequencies (f) which predominantly occur in 30K - 120K CPM range. Such natural frequencies may also be resonances of bearing support structures. Sideband frequencies appear above and below natural frequency peak at end of Stage 2. Overall spike energy grows (for example, from .25 to .50 gSE).</p> <p><b>STAGE 3:</b> Bearing defect frequencies and harmonics appear. When wear progresses, more defect frequency harmonics appear and number of sidebands grow, both around these and bearing component natural frequencies. Overall spike energy continues to increase (for example, from .5 to over 1 gSE). Wear is now usually visible and may extend throughout periphery of bearing, particularly when many well formed sidebands accompany bearing defect frequency harmonics. High frequency demodulated and enveloped spectra help confirm Stage III. Replace bearings now! (Independent of bearing defect frequency amplitudes in vibration spectra).</p> <p><b>STAGE 4:</b> Towards the end, amplitude of 1X RPM is even effected. It grows, and normally causes growth of many running speed harmonics. Discrete bearing defect and component natural frequencies actually begin to "disappear" and are replaced by random, broadband high frequency noise floor". In addition, amplitudes of both high frequency noise floor and spike energy may in fact decrease; but just prior to failure, spike energy and 1FD will usually grow to excessive amplitudes.</p>	

# TABLE 6.0 ILLUSTRATED VIBRATION DIAGNOSTIC CHART

PROBLEM SOURCE	TYPICAL SPECTRUM	REMARKS
<b>HYDRAULIC AND AERODYNAMIC FORCES</b>		
<b>A. BLADE PASS &amp; VANE PASS</b>	<p style="text-align: center;"><math>BPF = \# \text{ BLADES} \times RPM</math></p>	<p>Blade Pass Frequency (BPF) = No. of Blades (or Vanes) X RPM. This frequency is inherent in pumps, fans and compressors, and normally does not present a problem. However, large amplitude BPF (and harmonics) can be generated in pump if gap between rotating vanes and stationary diffusers is not equal all the way around. Also, BPF (or harmonic) sometimes can coincide with a system natural frequency causing high vibration. High BPF can be generated if impeller wear ring seizes on shaft, or if welds fastening diffuser vanes fail. Also, high BPF can be caused by abrupt bends in pipe (or duct), obstructions which disturb flow, damper settings or if pump or fan rotor is positioned eccentrically within housing.</p>
<b>B. FLOW TURBULENCE</b>	<p style="text-align: center;"><math>BPF = \text{BLADE OR VANE PASS FREQUENCY}</math></p>	<p>Flow Turbulence often occurs in blowers due to variations in pressure or velocity of the air passing thru the fan or connected ductwork. This flow disruption causes turbulence which will generate random, low frequency vibration, typically in the range of 50 to 2000 CPM. If surging occurs within a compressor, random broadband high frequency vibration can occur. Excessive turbulence can also excite broadband high frequency.</p>
<b>C. CAVITATION</b>	<p style="text-align: right;">120K CPM</p>	<p>Cavitation normally generates random, higher frequency broadband energy which is sometimes superimposed with blade pass frequency harmonics. Normally indicates insufficient suction pressure (starvation). Cavitation can be quite destructive to pump internals if left uncorrected. It can particularly erode impeller vanes. When present, it often sounds as if "gravel" is passing thru pump. Cavitation is usually caused by insufficient inlet flow. Can occur during one survey, and be absent the next survey (if changes in suction valve settings are made).</p>
<b>GEARS</b>		
<b>A. NORMAL SPECTRUM</b>	<p style="text-align: center;"><math>GMF = \# T_p \times RPM_p = \# T_g \times RPM_g</math></p> <p style="text-align: right;">3.25X GMF</p>	<p>Normal Spectrum shows Gear &amp; Pinion Speeds, along with Gear Mesh Frequency (GMF) and very small GMF harmonics. GMF harmonics commonly will have running speed sidebands around them. All peaks are of low amplitude, and no natural frequencies of gears are excited. <math>F_{max}</math> recommended at 3.25X GMF (minimum) when # teeth are known, if tooth count is not known, set <math>F_{max}</math> at 200X RPM on each shaft.</p>
<b>B. TOOTH WEAR</b>	<p style="text-align: right;">3.25X GMF</p>	<p>Key indicator of Tooth Wear is excitation of Gear Natural Frequency (<math>f_n</math>), along with sidebands around it spaced at the running speed of the bad gear. Gear Mesh Frequency (GMF) may or may not change in amplitude, although high amplitude sidebands and number of sidebands surrounding GMF usually occur when wear is noticeable. Sidebands may be better wear indicator than GMF frequencies themselves. Also, high amplitudes commonly occur at either 2XGMF or at 3XGMF (esp. 3XGMF), even when GMF amplitude is acceptable.</p>
<b>C. TOOTH LOAD</b>	<p style="text-align: right;">3.25X GMF</p>	<p>Gear Mesh Frequencies are often very sensitive to load. High GMF amplitudes do not necessarily indicate a problem, particularly if sideband frequencies remain low level, and no gear natural frequencies are excited. Each Analysis should be performed with system at maximum operating load for meaningful spectral comparisons.</p>
<b>D. GEAR ECCENTRICITY AND BACKLASH</b>	<p style="text-align: right;">3.25X GMF</p>	<p>Fairly high amplitude sidebands around GMF harmonics often suggest gear eccentricity, backlash, or non-parallel shafts which allow the rotation of one gear to "modulate" either the GMF amplitude or the running speed of the other gear. The gear with the problem is indicated by the spacing of the sideband frequencies. Also, 1X RPM level of eccentric gear will normally be high if eccentricity is the dominant problem. Improper backlash normally excites GMF harmonics and Gear Natural Frequency, both of which will be sidebanded at 1X RPM. GMF amplitudes will often decrease with increasing load if backlash is the problem.</p>
<b>E. GEAR MISALIGNMENT</b>	<p style="text-align: right;">3.25X GMF</p>	<p>Gear Misalignment almost always excites second order or higher GMF harmonics which are sidebanded at running speed. Often will show only small amplitude 1X GMF, but much higher levels at 2X or 3X GMF. Important to set <math>F_{max}</math> high enough to capture at least 3 GMF harmonics. Also, sidebands around 2XGMF will often be spaced at 2X RPM. Note that sideband amplitudes often are not equal on left and right side of GMF and GMF harmonics due to the tooth misalignment. Causes uneven wear pattern.</p>
<b>F. CRACKED/BROKEN TOOTH</b>	<p style="text-align: right;">3.25X GMF</p>	<p>A Cracked or Broken Tooth will generate a high amplitude at 1X RPM of this gear only in the <math>f_{FT}</math> waveform, plus it will excite gear natural frequency (<math>f_n</math>) sidebanded at its running speed. It is best detected in Time Waveform which will show a pronounced spike every time the problem tooth tries to mesh with teeth on the mating gear. Time between impacts (<math>\Delta t</math>) will correspond to 1/RPM of gear with the problem. Amplitudes of Impact Spikes in Time Waveform often will be 10X to 20X higher than that at 1X RPM in the FFT!</p>
<b>G. GEAR ASSEMBLY PHASE PROBLEMS</b>	<p style="text-align: center;"><math>GAPF = \frac{GMF}{N_A}</math></p> <p style="text-align: right;">3.25X GMF</p>	<p>Gear Assembly Phase Freq. (GAPF) can result in Fractional Gear Mesh Frequencies (if <math>N_A &gt; 1</math>). It literally means (<math>T_p/N_A</math>) gear teeth will contact (<math>T_p/N_A</math>) pinion teeth and will generate <math>N_A</math> wear patterns, where <math>N_A</math> is a given tooth combination equals the product of prime factors common to the number of teeth on the gear and pinion (<math>N_A = \text{Assembly Phase Factor}</math>). GAPF (or harmonics) can show up right from the beginning if there were manufacturing problems. Also, its sudden appearance in a periodic survey spectrum can indicate damage if contaminant particles pass through the mesh, resulting in damage to the teeth in mesh at the time of invasion just as they enter and leave meshing or that gears have been reoriented.</p>
<b>H. HUNTING TOOTH PROBLEMS</b>	<p style="text-align: center;"><math>f_{HT} = \frac{GMF(N_A)}{(GEAR)(PINION)}</math></p> <p style="text-align: right;">3.25X GMF</p>	<p>Hunting Tooth Frequency (<math>f_{HT}</math>) occurs when faults are present on both the gear and pinion which might have occurred during the manufacturing process, due to misalignment, or in the field. It can cause quite high vibration, but since it occurs at low frequencies predominantly less than 800 CPM, it is often missed. A gear set with this tooth repeat problem normally emits a "growling" sound from the drive. The maximum effect occurs when the faulty pinion and gear teeth both enter mesh at the same time (on some drives, this may occur only 1 of every 10 to 20 revolutions, depending on the <math>f_{HT}</math> formula). Note that <math>T_{max}</math> and <math>T_{min}</math> refer to number of teeth on the gear and pinion, respectively. <math>N_A</math> is the Assembly Phase Factor defined above. Will often modulate both GMF and Gear RPM peaks.</p>

# TABLE 6.0 ILLUSTRATED VIBRATION DIAGNOSTIC CHART

PROBLEM SOURCE	TYPICAL SPECTRUM	REMARKS
<b>GEARS (CONTINUED)</b>		
I. LOOSE BEARING FIT		Excessive clearance of bearings supporting the gears can not only excite many running speed harmonics, but will often cause high amplitude resonance at GMF, 2GMF and/or 3GMF. These high GMF amplitudes are actually a response to, and not the cause of, looseness within the bearings supporting the gearing. Such excessive clearance can be caused either by excessive bearing wear or by improper bearing fit onto the journal during installation. Left uncorrected, it can cause excessive gear wear and damage to other components.
<b>AC INDUCTION MOTORS</b>		
A. STATOR ECCENTRICITY, SHORTED LAMINATIONS OR LOOSE IRON		Stator problems generate high vibration at 2X line frequency (2FL). Stator eccentricity produces uneven stationary air gap between rotor and stator which produces very directional vibration. Differential Air Gap should not exceed 5% for induction motors and 10% for synchronous motors. Soft foot and warped bases can produce an eccentric stator. Loose iron is due to stator support weakness or looseness. Shorted stator laminations can cause uneven, localized heating which can distort the stator itself. This produces thermally-induced vibration which can significantly grow with operating time causing stator distortion and static air gap problems.
B. ECCENTRIC ROTOR (Variable Air Gap)		Eccentric Rotors produce a rotating variable air gap between the rotor and stator which induces pulsating vibration (normally between 2FL and closest running speed harmonic). Often requires "zoom" spectrum to separate 2FL and running speed harmonic. Eccentric rotors generate 2FL surrounded by Pole Pass frequency sidebands (Fp), as well as Fp sidebands around running speed. Fp appears itself at low frequency (Pole Pass Frequency = Slip Frequency X #Poles). Common values of Fp range from about 20 to 120 CPM (0.3 - 2.0 Hz). Soft foot or misalignment often induces a variable air gap due to distortion (actually a mechanical problem, not electrical).
C. ROTOR PROBLEMS		Broken or Cracked rotor bars or shoring rings; bad joints between rotor bars and shoring rings; or shored rotor laminations will produce high 1X running speed vibration with pole pass frequency sidebands (Fp). In addition, these problems will often generate Fp sidebands around the second, third, fourth and fifth running speed harmonics. Loose or open rotor bars are indicated by 2X line freq. (2FL) sidebands surrounding Rotor Bar Pass Frequency (RBPF) and/or its harmonics (2X RBPF - Number of Bars X RPM). Often will cause high levels at 2X RBPF, with only a small amplitude at 1X RBPF. Electrically induced arcing between loose rotor bars and end rings will often show high levels at 2X RBPF (with 2FL sidebands); but little or no increase in amplitudes at 1X RBPF.
D. PHASING PROBLEM (Loose Connector)		Phasing problems due to loose or broken connectors can cause excessive vibration at 2X Line Freq. (2FL) which will have sidebands around it spaced at 1/3 Line Freq. (1/3 Fp). Levels at 2FL can exceed 1.0 in/sec if left uncorrected. This is particularly a problem if the defective connector is only sporadically making contact. Loose or broken connectors must be repaired to prevent catastrophic failure.
<b>AC SYNCHRONOUS MOTORS (Loose Stator Coils)</b>		
		Loose stator coils in synchronous motors will generate fairly high vibration at Coil Pass Freq. (CPF) which equals the number of stator coils X RPM (# Stator Coils = # Poles X # Coils/Pole). The Coil Pass Frequency will be surrounded by 1X RPM sidebands. Synchronous motor problems may also be indicated by high amplitude peaks at approx. 60,000 to 90,000 CPM, accompanied by 2FL sidebands. Take at least one spectrum up to 90,000 CPM on each motor bearing housing.
<b>DC MOTORS AND CONTROLS</b>		
A. NORMAL SPECTRUM		Many DC Motor and Control Problems can be detected by vibration analysis. Full-wave rectified motors (6 SCRs) generate a signal at 6X Line Frequency (6FL = 300 Hz = 21,600 CPM); while half-wave rectified DC motors (3 SCRs) generate 3X Line Freq. (3FL = 150 Hz = 10,800 CPM). The SCR firing frequency is normally present in a DC Motor Spectrum, but at low amplitude. Note the absence of other peaks at multiples of Fp.
B. BROKEN ARMATURE WINDINGS, GROUNDING PROBLEMS OR FAULTY SYSTEM TUNING		When DC Motor spectra are dominated by high levels at SCR or 2X SCR, this normally indicates either Broken Motor Windings or Faulty Tuning of the Electrical Control System. Proper tuning alone can lower vibration at SCR and 2X SCR significantly if control problems predominate. High amplitudes at these frequencies would normally be above approximately .10 in/sec, peak at 1X SCR and about .04 in/sec at 2X SCR firing freq.
C. FAULTY FIRING CARD OR BLOWN FUSE		When one firing card fails to fire, then 1/3 of power is lost, and can cause repeated momentary speed changes in the motor. This can lead to high amplitudes at 1/3X and 2/3X SCR Frequency (1/3X SCR Freq. = 1X Fp for half-wave rectified, but 2X Fp for a full-wave rectified SCR). Caution: Card/SCR configuration should be known before troubleshooting motor (# SCRs, # Firing Cards, etc.).
D. FAULTY SCR, SHORTED CONTROL CARD, LOOSE CONNECTIONS AND/OR BLOWN FUSE		Faulty SCRs, Shorted Control Cards and/or Loose Connections can generate noticeable amplitude peaks at many combinations of line frequency (Fp) and SCR firing frequency. Normally, 1 bad SCR can cause high levels at Fp and/or 5Fp in 6 SCR motors. The point to be made is that neither Fp, 2Fp, 4Fp nor 5Fp should be present in DC Motor spectra.
E. FAULTY COMPARATOR CARD		Faulty Comparator Cards cause problems with RPM fluctuation or "hunting". This causes a constant collapsing and regenerating of the magnetic field. These sidebands often approximate the RPM fluctuation and require a high resolution FFT to even detect them. Such sidebands could also be due to generation and regeneration of the magnetic field.
F. ELECTRICAL CURRENT PASSAGE THRU DC MOTOR BEARINGS		Electrically-induced Fluting is normally detected by a series of difference frequencies with the spacing most often at the outer race defect frequency (OPFO), even if such fluting is present on both the outer and inner races. They most often show up in a range centered at about 100,000 to 150,000 CPM. A 180K CPM spectrum with 1000 lines is recommended for detection and measurements on both the OB and IB DC motor bearings.

# TABLE 6.0 ILLUSTRATED VIBRATION DIAGNOSTIC CHART

PROBLEM SOURCE	TYPICAL SPECTRUM	REMARKS
<b>BELT DRIVE PROBLEMS</b>		
<p><b>A. WORN, LOOSE OR MISMATCHED BELTS</b></p> <p style="text-align: center;"><math>PITCH \ DIAM. \times \ RPM_1 = PITCH \ DIAM. \times \ RPM_2</math></p>		<p>BELT FREQ. = <math>\frac{3.14 \times D \times PPM \times \# \ PITCH \ DIAM.}{BELT \ LENGTH}</math></p> <p>TIMING BELT FREQ. = <math>BELT \ FREQ. \times \# \ BELT \ TEETH</math></p> <p style="text-align: center;">= <math>PULLEY \ RPM \times \# \ PULLEY \ TEETH</math></p> <p>Belt frequencies are below the RPM of either the motor or the driven machine. When they are worn, loose or mismatched, they normally cause 3 to 4 multiples of belt frequency. Often 2X belt freq. is the dominant peak. Amplitudes are normally unsteady, sometimes pulsing with either driver or driven RPM. On timing belt drives, wear or pulley misalignment is indicated by high amplitudes at the Timing Belt Frequency. Chain drives will indicate problems at Chain Pass Frequency which equals # sprocket teeth X RPM.</p>
<p><b>B. BELT/PULLEY MISALIGNMENT</b></p>		<p>Misalignment of pulley produces high vibration at 1X RPM predominantly in the axial direction. The ratio of amplitudes of driver to driven RPM depends on where the data is taken, as well as on relative mass and frame stiffness. Often with pulley misalignment, the highest axial vibration on the motor will be at fan RPM, or vice versa. Can be confirmed by phase measurements by setting Phase Filter at RPM of pulley with highest axial amplitude; then compare phase at this particular frequency on each rotor in the axial direction.</p>
<p><b>C. ECCENTRIC PULLEYS</b></p>		<p>Eccentric pulleys cause high vibration at 1X RPM of the eccentric pulley. The amplitude is normally highest in line with the belts, and should show up on both driver and driven bearings. It is sometimes possible to balance eccentric pulleys by attaching washers to taper-lock bolts. However, even if balanced, the eccentricity will still induce vibration and reversible fatigue stresses in the belt. Pulley eccentricity can be confirmed by phase analysis showing horizontal &amp; vertical phase differences of nearly 0° or 180°.</p>
<p><b>D. BELT RESONANCE</b></p>		<p>Belt Resonance can cause high amplitudes if the belt natural frequency should happen to approach, or coincide with, either the motor or driven RPM. Belt natural frequency can be altered by changing either the belt tension, belt length or cross section. Can be detected by tensioning and then releasing belt while measuring the response on pulleys or bearings. However, when operating, belt natural frequencies will tend to be slightly higher on the tight side and lower on the slack side.</p>
<b>BEAT VIBRATION</b>		
<p>TWO FREQUENCIES 180° OUT OF PHASE</p> <p>TWO FREQUENCIES IN PHASE</p> <p>TWO SAMPLE WINDING MOTIONS OF DIFFERENT FREQUENCY</p> <p><math>F_1</math> AND <math>F_2</math></p> <p><math>F_b = F_2 - F_1 = \text{BEAT FREQUENCY}</math></p> <p>BEAT FREQUENCY GENERATED BY TWO FREQUENCIES ABOVE</p> <p>MINIMUM VIBRATION OCCURS WHEN 2 FREQUENCIES ARE 180° OUT OF PHASE</p> <p>MAXIMUM VIBRATION OCCURS WHEN 2 FREQUENCIES ARE IN PHASE</p>	<p style="text-align: center;">WIDEBAND SPECTRUM</p> <p style="text-align: center;">ZOOM SPECTRUM</p>	<p>A Beat Frequency is the result of two closely spaced frequencies going into and out of synchronization with one another. The wideband spectrum normally will show one peak pulsating up and down. When you zoom into this peak (lower spectrum below), it actually shows two closely spaced peaks. The difference in these two peaks (<math>F_2 - F_1</math>) is the beat frequency which appears itself in the wideband spectrum. The beat frequency is not commonly seen in normal frequency range measurements since it is inherently low frequency, usually ranging from only approximately 5 to 100 CPM.</p> <p>Maximum vibration will result when the time waveform of one frequency (<math>F_1</math>) comes into phase with the waveform of the other frequency (<math>F_2</math>). Minimum vibration occurs when waveforms of these two frequencies line up 180° out of phase.</p>
<p><b>SOFT FOOT, SPRUNG FOOT AND FOOT-RELATED RESONANCE</b></p>		<p>"Soft Foot" occurs when a machine's foot or frame deflects greatly when a hold-down bolt is loosened to hand tightness, causing the foot to rise more than approximately .002 - .003 inch. This does not always cause a great vibration increase. However, it can do so if the soft foot affects alignment or motor air gap concentricity.</p> <p>"Sprung Foot" can cause great frame distortion, resulting in increased vibration, force and stress in the frame, bearing housing, etc. This can occur when a hold-down bolt is forcibly torqued down on the sprung foot. In an attempt to level the foot.</p> <p>"Foot-Related Resonance" can cause dramatic amplitude increases from 5X to 15X or more, as compared with that when the bolt (or combination of bolts) is loosened to hand tightness. When tight, this bolt can notably change the natural frequency of the foot or machine frame itself.</p> <p>Soft Foot, Sprung Foot or Foot-Related Resonance most often affects vibration at 1X RPM, but can also do so at 2X RPM, 3X RPM, 2X line frequency, blade pass frequency, etc. (particularly Foot-Related Resonance).</p>

**TABLE 2 — BALL BEARINGS**  
FILLING SLOT TYPE, SINGLE ROW BALL BEARINGS

BEARING NUMBER	Nb	Bd	Pd	$\beta$	BRFO	BRFI	RR	OR
206	13	.375	1.011	0	5.15	7.05	.40	2.31
207	13	.437	2.106	0	5.15	7.05	.40	2.69
208	14	.460	2.362	0	5.61	8.39	.40	2.42
209	14	.500	2.559	0	5.63	8.37	.40	2.46
210	15	.500	2.759	0	6.14	8.06	.41	2.67
211	15	.562	3.051	0	6.12	8.00	.41	2.62
212	15	.625	3.346	0	6.10	8.00	.41	2.50
213	15	.656	3.642	0	6.15	8.05	.41	2.69
214	15	.607	3.030	0	6.16	8.04	.41	2.70
215	16	.607	4.035	0	6.64	9.36	.42	2.85
216	16	.750	4.134	0	6.55	9.45	.41	2.67
217	16	.701	4.626	0	6.65	9.35	.42	2.80
218	16	.075	4.921	0	6.50	9.42	.41	2.72
219	15	.937	5.216	0	6.15	8.05	.41	2.69
220	15	1.000	5.511	0	6.14	8.06	.41	2.67
304	10	.375	1.417	0	3.60	6.32	.37	1.76
305	10	.437	1.713	0	3.72	6.20	.37	1.83
306	11	.484	2.007	0	4.10	6.83	.38	1.95
307	12	.531	2.264	0	4.59	7.41	.38	2.01
308	12	.593	2.559	0	4.61	7.39	.38	2.04
309	11	.607	2.854	0	4.10	6.82	.38	1.96
310	11	.750	3.149	0	4.19	6.81	.38	1.98
311	12	.812	3.445	0	4.58	7.42	.38	2.00
312	12	.875	3.740	0	4.60	7.40	.38	2.02
313	12	.937	4.035	0	4.61	7.39	.38	2.04
314	12	1.000	4.331	0	4.61	7.39	.39	2.05
315	12	1.062	4.626	0	4.62	7.37	.39	2.06
316	12	1.125	4.921	0	4.63	7.37	.39	2.07
317	12	1.187	5.216	0	4.63	7.36	.39	2.08
318	12	1.250	5.512	0	4.64	7.36	.39	2.09

**DOUBLE ROW ANGULAR CONTACT BALL BEARINGS**

5200	7	.187	.704	25	2.74	4.25	.39	2.00
01	7	.234	.866	25	2.64	4.25	.38	1.74
02	8	.234	.904	25	3.14	4.86	.39	2.00
03	8	.265	1.122	25	3.14	4.85	.39	2.02
5204	8	.312	1.319	25	3.14	4.85	.39	2.02
05	9	.312	1.516	25	3.66	5.34	.41	2.35
06	09	.375	1.811	25	3.65	5.34	.41	2.33
07	9	.437	2.106	25	3.65	5.35	.41	2.44
08	9	.460	2.362	25	3.69	5.31	.41	2.40
09	09	.500	2.559	25	3.70	5.30	.41	2.60
10	10	.500	2.756	25	4.10	5.82	.42	2.64
11	10	.562	3.051	25	4.16	5.83	.42	2.60
12	10	.625	3.346	25	4.15	5.84	.42	2.70
13	10	.656	3.641	25	4.10	5.81	.42	2.72
14	10	.687	3.830	25	4.19	5.81	.42	2.81
15	11	.607	4.035	25	4.65	6.36	.42	3.02
16	10	.750	4.331	25	4.21	5.78	.42	2.87
17	11	.750	4.626	25	4.69	6.30	.43	3.02
18	11	.812	4.921	25	4.67	6.30	.43	2.96
19	10	.937	5.216	25	4.10	5.90	.42	2.71
20	10	1.000	5.512	25	4.10	5.82	.42	2.60
21	10	.960	5.807	25	4.24	5.75	.42	2.93
22	10	1.000	6.101	25	4.25	5.74	.43	2.98
5303	7	.343	1.260	25	2.63	4.36	.38	1.72
04	7	.375	1.417	25	2.66	4.34	.38	1.70
05	7	.437	1.713	25	2.69	4.31	.39	1.85



### DOUBLE ROW ANGULAR CONTACT BALL BEARINGS

BEARING NUMBER	Nb	Bd	Pd	$\beta$	BPO	BPI	FTF	BIF
5306	8	.404	2.007	25	2.44	4.07	.39	1.97
07	8	.531	2.264	25	3.15	4.05	.39	2.03
08	8	.593	2.559	25	3.16	4.04	.40	2.06
09	8	.687	2.854	25	3.13	4.07	.39	1.98
10	8	.750	3.153	25	3.14	4.06	.39	2.00
11	8	.812	3.445	25	3.14	4.05	.39	2.02
12	8	.875	3.740	25	3.15	4.05	.39	2.04
13	8	.937	4.035	25	3.16	4.04	.40	2.06
14	8	1.000	4.330	25	3.16	4.04	.40	2.07
15	8	1.062	4.626	25	3.17	4.03	.40	2.08
16	8	1.125	4.921	25	3.22	4.03	.40	2.09
17	8	1.125	5.216	25	3.22	4.78	.40	2.23
18	8	1.187	5.512	25	3.26	4.78	.40	2.23
5406	7	.656	2.362	0	2.53	4.47	.36	1.66
07	6	.750	2.657	0	2.15	3.05	.36	1.63
08	6	.812	2.952	0	2.17	3.02	.36	1.68
09	7	.875	3.248	0	2.56	4.44	.37	1.72
10	7	1.000	3.543	0	2.51	4.49	.36	1.63
11	7	1.000	3.839	0	2.59	4.41	.37	1.79
12	7	1.062	4.133	0	2.60	4.40	.37	1.82
13	7	1.250	4.429	0	2.51	4.49	.36	1.63
14	7	1.250	4.921	0	2.61	4.39	.37	1.84

### SINGLE ROW DEEP GROOVE BALL BEARINGS

6000	7	.187	.708	0	2.57	4.42	.37	1.76
01	8	.187	.787	0	3.05	4.95	.38	1.99
02	9	.187	.925	0	3.59	5.41	.40	2.37
03	10	.187	1.023	0	4.09	5.92	.41	2.65
04	9	.25	1.220	0	3.58	5.42	.40	2.33
05	10	.25	1.417	0	4.12	5.08	.41	2.75
06	11	.281	1.673	0	4.58	6.42	.42	2.89
07	11	.312	1.909	0	4.60	7.20	.42	2.98
08	12	.312	2.125	0	5.12	6.90	.43	3.33
09	13	.344	2.362	0	5.56	7.44	.43	3.36
10	14	.344	2.559	0	6.06	7.92	.43	3.65
11	13	.406	2.854	0	5.57	7.44	.43	3.44
12	14	.406	3.051	0	6.06	7.92	.43	3.69
13	15	.406	3.248	0	6.54	8.46	.44	3.94
14	14	.469	3.543	0	6.06	7.92	.43	3.71
15	15	.469	3.740	0	6.54	8.46	.44	3.92
16	14	.531	4.035	0	6.06	7.92	.43	3.73
17	15	.531	4.232	0	6.54	8.46	.44	3.92
18	14	.593	4.527	0	6.06	7.92	.43	3.75
19	15	.593	4.727	0	6.54	8.46	.44	3.92
20	15	.593	4.921	0	6.60	8.40	.44	4.09
21	15	.656	5.216	0	6.54	8.46	.44	3.91
22	14	.718	5.511	0	6.06	7.92	.44	3.77
24	15	.718	5.905	0	6.60	8.40	.44	4.05
6026	15	.812	6.496	0	6.54	8.46	.44	3.94
28	16	.812	6.889	0	7.08	8.94	.44	4.18
30	16	.875	7.401	0	7.08	8.94	.44	4.17
6200	7	.187	.787	0	2.67	4.32	.38	1.99
01	7	.234	.866	0	2.56	4.44	.36	1.72
02	8	.234	1.924	0	3.53	4.47	.44	1.99
03	8	.265	1.122	0	3.05	4.94	.38	1.20
04	8	.312	1.319	0	3.05	4.94	.38	1.20
05	9	.312	1.515	0	3.58	5.90	.39	2.32
06	9	.375	1.811	0	3.57	5.43	.40	2.31
07	9	.437	2.106	0	3.56	5.43	.40	2.30
08	9	.469	2.362	0	3.61	5.39	.40	2.42

### SINGLE ROW DEEP GROVE BALL BEARINGS

BEARING NUMBER	Nb	Bd	Fd	$\beta$	RFRO	RFRI	RTT	BSR
6209	9	.50	2.559	0	3.62	5.30	.40	2.46
10	10	.50	2.755	0	4.09	5.91	.41	2.66
11	10	.562	3.051	0	4.00	5.92	.41	2.62
12	10	.625	3.346	0	4.07	5.93	.41	2.50
13	10	.656	3.641	0	4.10	5.90	.41	2.60
14	10	.607	3.030	0	4.06	5.09	.41	2.71
15	11	.607	4.035	0	4.15	6.42	.47	2.05
16	10	.750	4.330	0	4.13	5.07	.41	2.00
17	11	.701	4.625	0	4.57	6.42	.42	2.07
18	10	.875	4.921	0	4.11	5.09	.41	2.72
19	10	.937	5.216	0	4.10	5.90	.41	2.69
20	10	1.000	5.511	0	4.09	5.91	.41	2.66
21	10	1.062	5.807	0	4.09	5.92	.41	2.66
22	10	1.125	6.102	0	4.00	5.92	.41	2.62
24	9	1.107	6.594	0	3.69	5.31	.41	2.69
26	9	1.250	7.006	0	3.71	5.29	.41	2.75
28	10	1.250	7.677	0	4.19	5.01	.42	2.99
30	11	1.250	8.267	0	4.67	6.30	.42	3.23
32	12	1.250	8.850	0	5.15	6.84	.43	3.47
34	12	1.375	9.440	0	5.12	6.90	.43	3.36
36	11	1.500	9.042	0	4.66	6.36	.42	3.20
38	11	1.625	10.433	0	4.64	6.36	.42	3.14
6300	6	.201	.806	0	2.05	3.95	.34	1.42
01	6	.312	.964	0	2.03	3.97	.34	1.30
6302	7	.312	1.122	0	2.53	4.40	.36	1.66
03	7	.344	1.260	0	2.54	4.46	.36	1.69
04	7	.375	1.417	0	2.57	4.43	.37	1.76
05	7	.437	1.712	0	2.60	4.39	.37	1.83
06	8	.404	2.007	0	3.04	4.96	.30	1.95
07	8	.531	2.263	0	3.06	4.94	.30	2.02
08	8	.594	2.559	0	3.07	4.87	.30	2.04
09	8	.607	2.854	0	3.04	4.96	.30	1.96
10	8	.750	3.149	0	3.05	4.95	.30	1.90
11	8	.812	3.444	0	3.05	4.94	.30	2.00
12	8	.875	3.740	0	3.07	4.94	.30	2.02
13	8	.937	4.035	0	3.07	4.93	.30	2.03
14	8	1.000	4.330	0	3.00	4.93	.30	2.05
15	8	1.062	4.626	0	3.08	4.92	.39	2.06
16	8	1.125	4.921	0	3.00	4.91	.39	2.07
17	8	1.107	5.216	0	3.09	4.91	.39	2.00
18	8	1.250	5.111	0	3.02	4.90	.30	1.92
19	8	1.312	5.807	0	3.09	4.90	.39	2.10
20	8	1.437	6.201	0	3.07	4.93	.30	2.04
21	8	1.500	6.496	0	3.00	4.93	.38	2.05
22	8	1.625	6.809	0	3.05	4.94	.30	2.00
24	8	1.625	7.400	0	3.13	4.87	.39	2.19
26	8	1.750	8.070	0	3.13	4.87	.39	2.20
28	8	1.875	8.661	0	3.13	4.87	.39	2.20
30	9	1.875	9.251	0	3.59	5.41	.40	2.36
32	8	2.000	9.842	0	3.19	4.81	.40	2.36
34	8	2.187	10.433	0	3.16	4.84	.40	2.20
36	9	2.250	11.024	0	3.50	5.42	.40	2.35
38	9	2.312	11.614	0	3.60	5.39	.40	2.41
6404	6	.594	1.811	0	2.02	3.90	.34	1.36
05	7	.594	2.067	0	2.50	4.51	.36	1.60
06	7	.656	2.362	0	2.53	4.47	.36	1.66
07	7	.750	2.657	0	2.51	4.49	.36	1.63
08	7	.812	2.953	0	2.54	4.46	.36	1.60
09	7	.906	3.240	0	2.53	4.40	.36	1.65
10	7	.968	3.543	0	2.54	4.46	.36	1.69

### SINGLE ROW DEEP GROOVE BALL BEARINGS

BEARING NUMBER	Nb	di	Di	$\beta$	BPO	BPI	ET	ASF
6411	7	1.062	3.030	0	2.53	4.47	.36	1.67
12	7	1.125	4.133	0	2.55	4.45	.36	1.70
13	7	1.107	4.420	0	2.56	4.44	.37	1.73
14	7	1.365	4.921	0	2.52	4.40	.36	1.65
15	7	1.437	5.216	0	2.54	4.46	.36	1.60
16	7	1.500	5.511	0	2.55	4.45	.36	1.70
17	7	1.562	5.007	0	2.56	4.44	.37	1.72
18	7	1.625	6.200	0	2.50	4.42	.37	1.70

### SINGLE ROW ANGULAR CONTACT BALL BEARINGS

7205	13	.312	1.513	35	5.40	7.62	.42	2.36
06	13	.375	1.011	35	5.40	7.62	.42	2.35
07	13	.437	2.106	35	5.39	7.62	.42	2.34
08	14	.469	2.362	35	5.06	8.16	.42	2.45
09	14	.500	2.559	35	5.08	8.10	.42	2.50
10	15	.500	2.755	35	6.36	8.64	.43	2.69
11	15	.562	3.051	35	6.36	8.64	.43	2.65
12	15	.625	3.346	35	6.36	8.64	.42	2.62
13	16	.656	3.641	35	6.04	9.10	.43	2.71
14	16	.607	3.030	35	6.04	9.10	.43	2.74
15	17	.607	4.035	35	7.32	9.66	.43	2.00
16	16	.750	4.330	35	6.04	9.12	.43	2.03
17	17	.701	4.625	35	7.32	9.96	.43	2.90
18	16	.875	4.921	35	6.04	9.10	.43	2.75
19	14	.937	5.216	35	5.94	8.04	.43	2.72
20	14	1.000	5.511	35	5.96	8.04	.41	2.69
22	14	1.125	6.102	35	5.94	8.04	.42	2.65
24	15	1.107	6.594	35	6.42	8.58	.43	2.72
26	16	1.250	7.086	35	6.04	9.10	.43	2.70
28	16	1.312	7.677	35	6.90	9.12	.43	2.87
30	16	1.437	8.267	35	6.04	9.12	.43	2.82
32	16	1.500	8.058	35	6.90	9.12	.43	2.90
34	17	1.500	9.448	35	7.30	9.60	.44	3.10
36	17	1.625	9.842	35	7.32	9.66	.43	2.97
7304	10	.375	1.417	35	3.92	6.06	.39	1.00
05	11	.437	1.712	35	4.35	6.66	.40	1.07
06	12	.404	2.007	35	4.81	7.20	.40	1.99
7307	12	.531	2.263	35	4.05	7.20	.40	2.05
08	12	.593	2.559	35	4.06	7.14	.41	2.00
09	12	.607	2.854	35	4.02	7.20	.40	2.00
10	12	.750	3.149	35	4.03	7.20	.40	2.02
11	12	.812	3.444	35	4.04	7.14	.40	2.04
12	12	.875	3.740	35	4.85	7.14	.40	2.06
13	12	.937	4.035	35	4.86	7.14	.41	2.08
14	12	1.000	4.330	35	4.87	7.14	.41	2.09
15	12	1.062	4.626	35	4.87	7.14	.41	2.10
16	12	1.125	4.921	35	4.00	7.14	.41	2.11
17	12	1.107	5.216	35	4.00	7.14	.41	2.12
18	16	1.250	5.511	35	6.54	9.40	.41	2.13
19	12	1.312	5.007	35	4.09	7.14	.41	2.14
20	11	1.50	6.201	35	4.41	6.60	.40	1.97
21	11	1.562	6.496	35	4.42	6.60	.40	2.00
22	11	1.607	6.889	35	4.39	6.60	.40	1.96
24	12	1.75	7.400	35	4.05	7.14	.40	2.06
26	12	1.875	8.020	35	4.85	7.14	.40	2.08
30	12	2.125	8.661	35	4.79	7.50	.40	1.96
34	13	2.312	10.433	35	5.32	7.92	.41	2.10
7405	10	.594	2.067	35	3.02	6.18	.38	1.64
06	10	.656	2.362	35	3.06	6.12	.39	1.71
07	10	.75	2.657	35	3.85	6.18	.38	1.67

### COJINETES DE BOLA DE CONTACTO ANGULAR DE HILERA SIMPLE

BEARING NUMBER	Nb	Id	Pd	Ø	BPFO	#PR	FrF	BSF
7408	10		2.953	35	3.88	6.12	.39	1.72
09	10	.906	3.248	35	3.86	6.12	.39	1.70
10	10	.969	3.543	35	3.88	6.12	.39	1.73
11	10	1.062	3.838	35	3.86	6.12	.39	1.72
12	10	1.125	4.133	35	3.89	6.12	.39	1.75
13	10	1.187	4.429	35	3.90	6.12	.39	1.78
14	10	1.375	4.921	35	3.86	6.12	.39	1.70
15	10	1.437	5.216	35	3.87	6.12	.39	1.72
16	10	1.50	5.511	35	3.89	6.12	.39	1.75
18	10	1.687	5.807	35	3.81	6.18	.38	1.63
19	10	1.875	6.200	35	3.76	6.24	.38	1.55
20	10	2.000	6.889	35	3.81	6.18	.38	1.63
20X	10	1.875	6.889	35	3.89	6.12	.39	1.75

### COJINETES DE RODILLOS ESFERICOS

Las frecuencias del cojinete se calculan usando la misma fórmula que para los demás cojinetes. Las diferencias principales en estos cojinetes es que los armónicos del cojinete siempre están presentes. La modulación por la velocidad de operación solo se produce cuando existe un alojamiento excesivo en el cojinete. La modulación de las frecuencias del cojinete pr:- el FTF suele significar desgaste de la caja.

Las indicaciones principales de la severidad del cojinete son la amplitud y los armónicos. Cada armónico suele significar cerca de media pulgada del defecto. Si están presentes seis armónicos es que se trata de un defecto de unas 3 pulgadas de longitud. Si la amplitud de cada línea espectral de la frecuencia del cojinete y de los armónicos es inferior a .1 IPS, el área defectuosa se muestra en forma de rugosidad generalizada. Sin embargo, si la amplitud de algunos armónicos está por encima de .2 IPS, el problema es más grave e indica grietas por fatiga.

El espectro de la Fig. 204 se tomó en el cojinete interior de un ventilador. La velocidad del ventilador es de 1040 RPM ó 17,33 Hz. El cojinete es un 22220. La frecuencia de paso de bola de la pista exterior es de 142,5 Hz. Los seis armónicos significan que el área defectuosa es de unas 3 pulgadas de longitud y que el tipo de defecto es de grieta por picadura en pista.

Para el BPFO de este caso, hay que localizar el cojinete número 22220 en la Tabla 3. Luego, desplazarse cinco columnas a la izquierda por debajo del BPFO y obtener el número 8,22. Una vez hecho esto, hay que multiplicar 8,22 por la velocidad de 17,33 ( $8,22 \times 17,33 = 142,5$ ) para obtener el BPFO, 142,5 Hz. El espectro de la Fig. 204 indica una condición de la Fasc II que hay que vigilar de cerca hasta la sustitución del cojinete.

### COJINETES DE RODILLO ESFERICO

BEARING NUMBER	Nb	Id	M	φ	HTO	HPI	ITF	ESP
22206	14	.315	1.811	10	5.00	0.22	.41	2.79
07	14	.354	2.106	10	5.04	0.16	.42	2.09
00	15	.394	2.362	10	6.24	0.76	.42	2.92
09	16	.394	2.559	10	6.78	9.24	.42	3.17
10	17	.394	2.755	10	7.32	9.72	.43	3.43
11	17	.453	3.051	10	7.26	9.72	.43	3.29
12	17	.492	3.346	10	7.26	9.72	.43	3.33
13	17	.532	3.641	10	7.26	9.72	.43	3.35
14	10	.532	3.030	10	7.00	10.20	.43	3.54
15	19	.532	4.035	10	0.28	10.74	.44	3.73
16	19	.571	4.330	10	0.28	10.74	.44	3.73
17	10	.630	4.625	10	7.80	10.20	.43	3.60
18	10	.669	4.921	10	7.80	10.20	.43	3.61
19	19	.720	5.216	10	0.22	10.00	.43	3.52
20	19	.760	5.511	10	0.22	10.00	.43	3.65
22	19	.866	6.102	10	0.16	10.00	.43	3.46
24	19	.925	6.594	10	0.16	10.00	.43	3.50
26	19	.904	7.006	10	0.22	10.00	.43	3.53
28	19	1.063	7.677	10	0.22	10.00	.43	3.55
30	19	1.101	8.267	10	0.16	10.06	.43	3.43
32	19	1.260	8.858	10	0.16	10.06	.43	3.44
34	19	1.349	9.448	10	0.16	10.06	.43	3.43
36	20	1.350	9.042	10	0.64	11.34	.43	3.56
38	19	1.457	10.433	10	0.16	10.00	.43	3.51
40	19	1.575	11.024	10	0.16	10.06	.43	3.43
44	19	1.732	12.204	10	0.16	10.00	.43	3.46
48	19	1.890	13.386	10	0.16	10.00	.43	3.47
52	19	2.047	14.567	10	0.16	10.00	.43	3.49
22300C	12	.512	2.559	10	4.02	7.20	.40	2.40
09C	13	.532	2.854	10	5.30	7.60	.41	2.59
10C	13	.610	3.149	10	5.26	7.74	.40	2.49
11C	14	.650	3.444	10	5.70	0.28	.41	2.56
12C	14	.709	3.740	10	5.69	0.28	.41	2.54
13C	14	.748	4.035	10	5.72	0.28	.41	2.61
14C	14	.807	4.330	10	5.72	0.28	.41	2.59
15C	14	.847	4.626	10	5.74	0.28	.41	2.64
22316C	14	.925	4.921	10	5.71	0.28	.41	2.57
17C	14	.904	5.216	10	5.70	0.28	.41	2.56
18C	15	1.004	5.111	10	6.06	0.94	.40	2.45
19C	15	1.043	5.807	10	6.18	0.02	.41	2.69
20C	15	1.142	6.201	10	6.12	0.00	.41	2.63
22C	15	1.260	6.809	10	6.12	0.00	.41	2.65
24C	15	1.378	7.400	10	6.12	0.00	.41	2.62
26C	15	1.476	8.070	10	6.12	0.00	.41	2.65
28C	15	1.575	8.662	10	6.10	0.02	.41	2.66
30C	15	1.693	9.251	10	6.12	0.00	.41	2.65
32C	15	1.772	9.842	10	6.18	0.02	.41	2.69
34C	15	1.890	10.433	10	6.18	0.02	.41	2.67
36C	15	2.000	10.024	10	6.00	9.00	.40	2.40
38C	15	2.007	11.614	10	6.10	0.02	.41	2.69
40C	15	2.205	12.204	10	6.10	0.02	.41	2.60
44	17	2.205	13.386	10	7.14	9.90	.42	2.96
48	17	2.362	14.567	10	7.14	9.04	.42	3.01

### SPHERICAL ROLLER BEARINGS

BEARING NUMBER	Mb	Ad	Pd	$\beta$	BRFO	BRN	ITF	ASF
22352	17	2.520	15.740	10	7.14	9.84	.42	3.05
23024	31	.512	5.905	10	14.16	16.80	.46	5.70
26	30	.591	6.496	10	13.68	16.32	.46	5.45
28	31	.591	6.809	10	14.22	16.80	.46	5.70
30	31	.630	7.302	10	14.22	16.80	.46	5.02
32	31	.669	7.874	10	14.22	16.26	.46	5.84
34	30	.748	8.465	10	13.68	16.32	.46	5.92
36	28	.846	9.055	10	12.72	15.30	.45	5.30
38	30	.846	9.449	10	13.68	16.32	.46	5.54
40	28	.945	10.039	10	12.72		.45	
44	28	1.024	11.024	10	12.72	15.30	.45	5.34
48	30	1.024	11.811	10	13.74	16.26	.46	5.72
52	29	1.181	12.992	10	13.20	15.78	.46	5.45
56	30	1.181	13.779	10	13.74	16.26	.46	5.79
60	29	1.370	14.961	10	13.20	15.84	.45	5.38
64	30	1.378	15.748	10	13.68	16.32	.46	5.67
68	29	1.535	16.929	10	13.20	15.70	.46	5.47
72	27	1.693	17.716	10	12.24	14.76	.45	5.18
76	31	1.535	18.716	10	14.22	16.74	.46	6.06
23080	30	1.693	19.605	10	13.74	16.26	.46	5.77
84	31	1.693	20.472	10	14.22	16.74	.46	6.00
88	31	1.772	21.456	10	14.22	16.74	.46	6.00
92	31	1.890	22.441	10	14.22	16.80	.46	5.90
96	32	1.890	23.502	10	14.76	17.20	.46	6.10
230500	33	1.890	24.015	10	15.24	17.76	.46	6.30
530	31	2.126	25.707	10	14.22	16.74	.46	6.00
560	32	2.205	27.165	10	14.70	17.28	.46	6.12
600	29	2.598	28.937	10	13.20	15.78	.46	5.53
630	29	2.795	30.512	10	13.20	15.70	.45	5.41
670	32	2.598	32.480	10	14.76	17.20	.46	6.24
710	29	2.071	34.252	10	13.62	15.36	.47	8.22
750	32	2.074	36.220	10	14.76	17.22	.46	6.24
800	30	3.386	38.385	10	13.68	16.26	.46	5.62
850	30	3.583	40.740	10	13.68	16.32	.46	5.64
950	31	3.937	45.472	10	14.16	16.80	.46	5.73
23122	25	.591	5.709	10	11.22	13.80	.45	4.70
22C	22	.609	5.709	10	9.72	12.30	.44	4.09
24	25	.669	6.299	10	11.22	13.80	.45	4.66
24C	21	.768	6.299	10	9.24	11.76	.44	4.04
26	26	.669	6.693	10	11.70	14.28	.45	4.96
26C	22	.787	6.693	10	9.72	12.30	.44	4.19
28	26	.720	7.185	10	11.70	14.28	.45	4.88
28C	23	.827	7.185	10	10.20	12.78	.44	4.29
30	24	.866	7.874	10	10.68	13.32	.45	4.49
30C	22	.965	7.874	10	9.66	12.30	.44	4.02
32	24	.945	8.464	10	10.68	13.32	.45	4.42
32C	21	1.083	8.464	10	9.18	11.82	.44	3.85
34	24	.965	8.858	10	10.74	13.26	.45	4.54
34C	22	1.083	8.858	10	9.66	12.30	.44	4.03
36	24	1.043	9.449	10	10.68	13.32	.45	4.40
36C	22	1.161	9.449	10	9.66	12.36	.44	4.01
38C	22	1.240	10.039	10	9.66	12.36	.44	3.99
40	22	1.220	10.629	10	9.78	12.24	.44	4.30
40C	21	1.378	10.629	10	9.18	11.88	.44	3.79
44	23	1.299	11.614	10	10.26	12.78	.45	4.42
23144C	22	1.437	11.614	10	9.66	12.36	.44	3.98
48	23	1.378	12.598	10	10.26	12.72	.45	4.52
48C	22	1.575	12.998	10	9.66	12.36	.44	3.94
52CA	20	1.772	13.779	10	8.76	11.28	.44	3.83
56	24	1.535	14.567	10	10.74	13.26	.45	4.69

**APÉNDICE D:**  
**INDICADORES PARA LA GESTIÓN DE**  
**MANTENIMIENTO**

## **Desarrollo de los Indicadores de Desempeño por la Administración de Mantenimiento**

Luego de observar cuidadosamente la función de mantenimiento y sus diferentes componentes funcionales, así como los indicadores de desempeño funcional relacionados, será conveniente analizar la pirámide de indicadores de desempeño presentada en la introducción. La forma correcta de desarrollar los indicadores es trabajar de la cima, o nivel corporativo y luego desarrollar los indicadores hacia niveles inferiores para permitirles que se conecten. Si los indicadores se seleccionan de la base hacia arriba, puede ser más conflictivo que positivo.

### **Indicadores corporativos**

Estos son indicadores estratégicos a largo plazo que la alta gerencia utiliza para la planeación del negocio. El rango de planeación es por lo general de un plan estratégico de tres a cinco años.

### **Costo total de producción (fabricación)**

Este indicador compila todos los costos necesarios para fabricar un producto. Se usa para calcular el margen de ganancia: La diferencia entre este costo y los ingresos por ventas es la ganancia. Este costo se analiza después por medio de los indicadores financieros.

### **Costo total de ocupación**

Esta es una medida relacionada con las instalaciones; compila todos los costos necesarios para ocupar una instalación. Incluye la función de mantenimiento y más adelante es analizada por los indicadores financieros.

### **Rendimiento sobre activos netos**

Este indicador compara la ganancia obtenida con el valor neto de los activos de la compañía. El impacto que el mantenimiento tiene sobre las ganancias es un factor importante para calcular el rendimiento. Los indicadores financieros resaltarán este impacto.



## Rendimiento sobre activos fijos

Este indicador compara la ganancia obtenida con el valor neto de los activos fijos de la compañía. El impacto que el mantenimiento tiene sobre las ganancias es un factor importante para calcular el rendimiento. Los indicadores financieros resaltarán tal impacto.

## Indicadores financieros

Estos indicadores se utilizan para asegurar que los departamentos de una compañía estén alcanzando los objetivos financieros establecidos en el plan estratégico. Los indicadores se revisan anualmente. Si las cifras anuales no corresponden con lo previsto, entonces el análisis comenzará al nivel siguiente en la jerarquía. Ninguna organización empleará todos estos indicadores (que monitorean el departamento de mantenimiento), pero sí escogerá aquellos que respaldan a los indicadores corporativos seleccionados.

## Costos de mantenimiento por unidad procesada, producida o fabricada

Este indicador es una medida común de desempeño de mantenimiento, aunque no es necesariamente una de las mejores. Divide los costos de mantenimiento por el volumen de producción. Este volumen varía por razones que no están bajo control del departamento de mantenimiento. Si el departamento de mantenimiento es responsable de este indicador, entonces se tomarán decisiones negativas que afectarán las estrategias de mantenimiento. Es posible incrementar o recortar el personal de la organización con base en las fluctuaciones del indicador. Este indicador es conveniente para un análisis amplio en el tiempo, pero nunca debe emplearse como único indicador de desempeño.

## Costos de mantenimiento por proceso total, producción, o costos de fabricación

Este indicador compara los costos de mantenimiento con el total de costos de fabricación y no con los costos de fabricación por unidad. Por lo general, el mantenimiento será un porcentaje fijo del costo. El porcentaje real de este costo se puede revisar en el tiempo. Si aumenta, entonces los indicadores de eficiencia y efectividad deben identificar el área de mantenimiento que causó el incremento.

## Costos de mantenimiento por ventas en dólares

Este indicador también es una medida exacta ya que el mantenimiento por lo general es un porcentaje fijo. Este indicador es fácil de revisar con el tiempo. Si

aumenta el porcentaje de los costos de mantenimiento, entonces los indicadores de eficiencia y efectividad deben identificar el área de mantenimiento donde se produjo el aumento.

## Costo de mantenimiento por pie cuadrado

Este indicador también es una medida exacta para las instalaciones y por lo general el costo aplicado es fijo. El indicador es fácil de revisar en el tiempo. Si aumenta el porcentaje de los costos de mantenimiento, los indicadores de eficiencia y efectividad deben indicar el área de mantenimiento que produjo el aumento.

## Costo de mantenimiento por valor de reemplazo estimado de la planta o activos de la instalación

Este indicador se está convirtiendo en un estándar. Es una medida exacta para plantas e instalaciones, ya que el costo por lo general es fijo. El indicador es fácil de revisar en el tiempo. Si aumenta el porcentaje de los costos de mantenimiento, los indicadores de eficiencia y efectividad deben indicar el área de mantenimiento que produjo el aumento.

## Inversión de almacenamiento por valor de reemplazo estimado

Este indicador también se está convirtiendo en un estándar para medir la inversión de almacenamiento. El indicador es fácil de revisar en el tiempo. Si aumenta el porcentaje de los costos de mantenimiento, los indicadores de eficiencia y efectividad deben indicar la función de mantenimiento o almacenamiento que produjo el aumento.

## Valor del activo al que se le da mantenimiento por empleado de mantenimiento

Este indicador es otra medida para plantas e instalaciones ya que el costo del activo es por lo general fijo. Este indicador es fácil de revisar en el tiempo. Si el valor del activo al que se le presta mantenimiento muestra una disminución, entonces los indicadores de eficiencia y efectividad deben indicar el área de mantenimiento que causó tal disminución.

## Costos de contratista por costos de mantenimiento total

Este indicador es útil para monitorear los costos del contratista como porcentaje de los costos de mantenimiento total. Si los costos permanecen estables, entonces usar los servicios del contratista será algo estable. Si se indica un aumento o disminución, los indicadores de eficiencia y efectividad deben señalar la razón de este cambio.

## Indicadores de desempeño para eficiencia y efectividad

La efectividad enfatiza qué tan bien logra un departamento o función sus objetivos o satisface las necesidades de la compañía. Desde la perspectiva del cliente, a menudo la efectividad se discute en términos de la calidad del servicio proporcionado. En el caso del mantenimiento, la efectividad puede representar la satisfacción general de la compañía con la capacidad y condición de sus activos.

Eficiencia es actuar o producir con un mínimo de desperdicio, gasto o esfuerzos innecesarios. La eficiencia compara la cantidad de servicio proporcionado con los recursos consumidos: ¿Tiene un costo razonable el servicio que se proporciona? Las medidas de eficiencia se concentran en qué tan bien se está realizando una tarea y no en verificar si la tarea en sí es correcta. La efectividad se concentra en lo correcto del proceso y si éste produce el resultado deseado.

Un problema común en la medición del desempeño en cuanto a eficiencia y efectividad es el informe del proceso o de las mediciones que constituyen la información de entrada. (por ejemplo, carga de trabajo) en vez de la información de salida. Indicadores tales como personal de mantenimiento por dólar del valor de los activos, personal de mantenimiento como porcentaje del personal total de la planta, y una serie de órdenes de trabajo terminadas, pueden ser útiles para comprender qué tan ocupado está el departamento de mantenimiento, pero no miden los resultados. Esta información se reúne fácilmente, pero si no se adoptan definiciones claras o una correcta comunicación, con frecuencia se considerará los datos contenidos en la información como medidas de desempeño para la eficiencia y efectividad de la organización.

Estos indicadores deben mostrar la eficiencia y efectividad de las funciones tácticas dentro del mantenimiento. Entonces se puede asegurar que los indicadores de desempeño táctico estén en línea para respaldar los indicadores anuales de desempeño financiero.

La siguiente es una lista de los indicadores de eficiencia y efectividad tomados de los capítulos anteriores, los cuales tienen influencia sobre la eficiencia y efectividad del mantenimiento. Ninguna organización utilizará todos estos indicadores, pero seguramente escogerá los que respalden a los indicadores financieros seleccionados. Los siguientes indicadores se expresan como porcentaje, a menos que se señale de otra forma.

## Mantenimiento preventivo

$$\frac{\text{Tiempo de inactividad causado por averías}^*}{\text{Tiempo total de inactividad}} \times$$

$$\frac{\text{Horas-hombre empleadas en trabajos de emergencia}}{\text{Total de horas-hombre trabajadas}}$$

$$\frac{\text{Costo directo de reparación de fallas}}{\text{Costo directo total de mantenimiento}}$$

$$\frac{\text{Tiempo deseado de funcionamiento} - \text{Inactividad del equipo}^*}{\text{Tiempo deseado de funcionamiento del equipo}}$$

$$\frac{\text{Horas extras trabajadas}^*}{\text{Total de horas trabajadas}}$$

$$\frac{\text{Órdenes de trabajo de mantenimiento a la espera de partes}^*}{\text{Número total de órdenes de trabajo de mantenimiento}}$$

## Sistemas de órdenes de trabajo

$$\frac{\text{Órdenes de emergencia}}{\text{Total órdenes de trabajo}}$$

$$\frac{\text{Órdenes preventivas}}{\text{Total órdenes de trabajo}}$$

$$\frac{\text{Órdenes correctivas}}{\text{Total órdenes de trabajo}}$$

## Capacitación técnica e interpersonal

$$\frac{\text{Tiempo total de inactividad atribuido a errores operacionales}}{\text{Tiempo total de inactividad}}$$

$$\frac{\text{Tiempo total de inactividad atribuido a errores de mantenimiento}}{\text{Tiempo total de inactividad}}$$

$$\frac{\text{Tiempo perdido estimado por carencia de conocimiento o destrezas}}{\text{Tiempo total trabajado}}$$

$$\frac{\text{Trabajo repetido de mantenimiento debido a falta de conocimientos o destrezas}}{\text{Trabajo total de mantenimiento}}$$

Representación

## Participación operacional

Inactividad del equipo relacionada con el mantenimiento (período actual)

Inactividad del equipo relacionada con el mantenimiento (año anterior durante el mismo período)

Producción real del equipo (año en curso)

Producción real del equipo (año anterior en el mismo período)

## Mantenimiento predictivo

Costos actuales de mantenimiento

Costos de mantenimiento anteriores al programa predictivo

## Mantenimiento centrado en la confiabilidad

Tiempo de funcionamiento del equipo

Capacidad del equipo

Mano de obra de mantenimiento

Citaciones de OSHA: Notificaciones por inspección (año actual)

Citaciones de OSHA: Notificaciones por inspección (año anterior)

Citaciones de EPA: Notificaciones por inspección (año actual)

Citaciones de EPA: Notificaciones por inspección (año anterior)

ISO-9000: Notificaciones de desacato por inspección (año actual)

ISO-9000: Notificaciones de desacato por inspección (año anterior)

## Mantenimiento productivo total: efectividad total del equipo

$$\text{Disponibilidad} = \frac{\text{Todo el tiempo de inactividad}}{\text{Tiempo programado}} \quad (\text{debe ser al menos } 90\%)$$

$$\text{Eficiencia del desempeño} = \frac{\text{Producción real para el tiempo programado}}{\text{Producción diseñada para el tiempo programado}} \quad (\text{debe ser al menos } 95\%)$$

$$\text{Tasa de calidad} = \frac{\text{Producción total menos defectos o trabajo repetido}}{\text{Producción total}} \quad (\text{debe ser al menos } 99\%)$$

Objetivo para la Efectividad Total del Equipo:  $90\% \times 95\% \times 99\% = 85\%$

## Indicadores de desempeño táctico

Los indicadores de desempeño táctico monitorean los indicadores de función a largo plazo en un rango trimestral o de noventa días. Este rango permite un tiempo para que se desarrollen las tendencias. Monitorear los indicadores tácticos identifica los cambios requeridos ilustrados por los indicadores funcionales que ascienden por la pirámide. Pueden entonces realizarse cambios a los procesos de mantenimiento antes que se vea afectada la eficiencia y efectividad de la organización de mantenimiento hasta el grado en que se pierdan los objetivos del indicador anual de desempeño financiero.

Los indicadores tácticos se centran en los procesos individuales dentro de la función de mantenimiento. Sin embargo, optimizar ese único proceso puede tener un impacto negativo en otros procesos. Este efecto potencial muestra la razón de los indicadores de eficiencia y efectividad. Estos evalúan la función de mantenimiento en general, mientras que los indicadores tácticos evalúan sólo uno de los once procesos específicos de mantenimiento.

La siguiente lista de indicadores tácticos, mencionados anteriormente en el libro, se basan en la evaluación de la función específica de mantenimiento. Ninguna organización utilizará todos estos indicadores, pero escogerá los que respalden a los indicadores de eficiencia y efectividad seleccionados.

## Mantenimiento preventivo

Tareas de mantenimiento preventivo realizadas

Tareas de mantenimiento preventivo programadas

Número de fallas que deberían haber sido evitadas

Número total de fallas

## Inventario y adquisición

Cantidad total anual en dólares por concepto de uso de bodega

Estimación total de inventario

Número total de órdenes cumplidas por pedido

Número total de órdenes solicitadas

Número total de partes entregadas por pedido

Número total de artículos solicitados

Número total de órdenes urgentes de compra

Número total de órdenes de compra

temas de órdenes de trabajo (planeación y programación)

$$\frac{\text{Órdenes planeadas de trabajo de mantenimiento}}{\text{Total de órdenes de trabajo recibidas}}$$

$$\frac{\text{Horas de mantenimiento programadas}}{\text{Total de horas trabajadas en mantenimiento}}$$

$$\frac{\text{Total de horas estimadas en órdenes de trabajo programadas}}{\text{Total de horas cargadas a órdenes de trabajo programadas}}$$

$$\frac{\text{Número de órdenes de trabajo realizadas mayor del 20\% de material estimado}}{\text{Número total de órdenes de trabajo de mantenimiento}}$$

$$\frac{\text{Número de órdenes de trabajo realizadas mayor del 20\% de material estimado}}{\text{Número total de órdenes de trabajo de mantenimiento}}$$

$$\frac{\text{Órdenes de trabajo atrasadas}}{\text{Total de órdenes de trabajo}}$$

EE: En el original, la fórmula anterior repite 'mano de obra'.

istemas computarizados de administración de mantenimiento

$$\frac{\text{Total de costos de mano de obra de mantenimiento en SCAM}}{\text{Total de costos de mano de obra de mantenimiento en contabilidad}}$$

$$\frac{\text{Total de los costos del material de mantenimiento en SCAM}}{\text{Total de los costos del material de mantenimiento en contabilidad}}$$

$$\frac{\text{Costos totales de contratación de mantenimiento en el SCAM}}{\text{Costos totales de contratación de mantenimiento en contabilidad}}$$

$$\frac{\text{Costo total de mantenimiento cargado a una máquina}}{\text{Costos totales de mantenimiento en contabilidad}}$$

Participación operacional

$$\frac{\text{Horas de mantenimiento preventivo realizado por los operarios}}{\text{Total de horas de mantenimiento preventivo}}$$

$$\frac{\text{Inactividad del equipo relacionada con el mantenimiento (período actual)}}{\text{Inactividad del equipo relacionada con el mantenimiento (año anterior durante el mismo período)}}$$

$$\frac{\text{Horas de mejoramiento del equipo realizado por los operarios}}{\text{Total de horas trabajadas por los operarios}}$$

Mantenimiento centrado en la confiabilidad

$$\frac{\text{Número de fallas del equipo}^{**}}{\text{Total de horas en un período de tiempo}}$$

$$\frac{\text{Número de fallas repetitivas de un equipo}^*}{\text{Número total de fallas del equipo}}$$

Indicadores de desempeño funcional

Los indicadores funcionales derivan su nombre de la palabra función. En términos sencillos, los indicadores muestran cómo se está desempeñando una de las once funciones específicas de mantenimiento. La siguiente lista muestra las funciones específicas requeridas o esperadas de una organización de mantenimiento en la mayoría de las compañías.

- Mantenimiento preventivo
- Inventario y adquisición
- Sistemas de órdenes de trabajo
- Sistemas Computarizados de Administración de Mantenimiento (SCAM)
- Capacitación Técnica e Interpersonal
- Participación Operacional
- Mantenimiento Predictivo
- Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad
- Mantenimiento Productivo Total
- Optimización Financiera Estadística
- Mejoramiento Continuo

Los siguientes indicadores funcionales, mencionados anteriormente en el texto, muestran qué tan bien se están desempeñando las partes de la función al respaldar los aspectos tácticos. Ninguna organización utilizará todos estos indicadores, pero escogerá los que respalden a los indicadores tácticos seleccionados.

## Mantenimiento preventivo

$$\frac{\text{Número de tareas retrasadas de MP}^*}{\text{Número total de tareas pendientes de MP}}$$

$$\frac{\text{Costo estimado de tarea de MP}^*}{\text{Costo real de tarea de MP}}$$

$$\frac{\text{Número total de órdenes de trabajo generadas de las inspecciones de MP}^*}{\text{Número total de órdenes de trabajo generadas}}$$

## Inventario y adquisición

$$\frac{\text{Artículos de línea en stock inactivo}^*}{\text{Total de artículos de línea en stock}}$$

$$\frac{\text{Total de los repuestos de mantenimiento en almacenamiento controlado}^*}{\text{Total del inventario disponible (controlado + no controlado)}}$$

$$\frac{\text{Número total de órdenes de compra de un solo artículo}^*}{\text{Número total de órdenes de compra}}$$

$$\frac{\text{Costos de material de mantenimiento cargados a tarjeta de crédito}^*}{\text{Costos totales de materiales de mantenimiento}}$$

## Sistemas de órdenes de trabajo

$$\frac{\text{Costos de mano de obra de mantenimiento sobre órdenes de trabajo}}{\text{Costos totales de mano de obra de mantenimiento}}$$

$$\frac{\text{Costos de material de mantenimiento en órdenes de trabajo}}{\text{Costos totales de material de mantenimiento}}$$

$$\frac{\text{Costos de contrato de mantenimiento en órdenes de trabajo}}{\text{Costos totales del contrato de mantenimiento}}$$

$$\frac{\text{Inactividad de mantenimiento registrada en órdenes de trabajo}}{\text{Inactividad total de mantenimiento registrada}}$$

## Costos de mano de obra de mantenimiento cargados a órdenes de trabajo pendientes

$$\frac{\text{Costos totales de mano de obra de mantenimiento}}{\text{Costos totales de mano de obra de mantenimiento}}$$

$$\frac{\text{Costos de materiales cargados a una orden de trabajo pendiente}}{\text{Costo total de materiales de mantenimiento}}$$

$$\frac{\text{Cargos totales para una máquina específica a una orden de trabajo pendiente}}{\text{Cargos totales para una máquina específica}}$$

## Planeación y programación

$$\frac{\text{Costos planeados de mano de obra de mantenimiento}^*}{\text{Total de los costos de mano de obra de mantenimiento}}$$

$$\frac{\text{Costos planeados de material de mantenimiento}^*}{\text{Costos totales de materiales de mantenimiento}}$$

## Sistemas computarizados de administración de mantenimiento

$$\frac{\text{Número total de máquinas registradas en el SCAM}}{\text{Número total de máquinas registradas en la planta}}$$

$$\frac{\text{Número total de repuestos en el SCAM}^*}{\text{Número total de repuestos en la Planta}}$$

$$\frac{\text{Número total de tareas de mantenimiento preventivo}^*}{\text{Número total de máquinas en la planta} \times 3}$$

$$\frac{\text{Número de empleados de mantenimiento o equivalentes de tiempo completo}}{\text{Número de supervisores o capacitadores}}$$

$$\frac{\text{Número de empleados de mantenimiento o equivalentes de tiempo completo}}{\text{Número de planificadores}}$$

$$\frac{\text{Número total de personal fijo de mantenimiento}^{**}}{\text{Número total de personal de mantenimiento por horas}}$$

## Capacitación técnica e interpersonal

$$\frac{\text{Total de dólares para capacitación}^{**}}{\text{Número total de empleados}}$$

$$\frac{\text{Total de horas de capacitación técnica}^{**}}{\text{Número total de empleados}}$$

$$\frac{\text{Total de horas de capacitación interpersonal}^{**}}{\text{Número total de empleados}}$$

$$\frac{\text{Número total de empleados capacitadores}^{**}}{\text{Número total de empleados de mantenimiento}}$$

$$\frac{\text{Total de dólares para capacitación}^*}{\text{Total de nómina de planta}}$$

## Mantenimiento predictivo

$$\frac{\text{Horas de actividades de mantenimiento predictivo}^*}{\text{Mantenimiento total}}$$

$$\frac{\text{Costos de mantenimiento predictivo}^*}{\text{Costos totales de mantenimiento}}$$

## Mantenimiento centrado en la confiabilidad

$$\frac{\text{Número de fallas del equipo donde se realiza un análisis de causas primarias}^*}{\text{Número total de las fallas del equipo}}$$

$$\frac{\text{Número de tareas de mantenimiento preventivo revisadas}^*}{\text{Número total de tareas de mantenimiento}}$$

$$\frac{\text{Número de tareas de mantenimiento predictivo revisadas}^*}{\text{Número total de tareas de mantenimiento predictivo}}$$

## Mantenimiento productivo total

$$\frac{\text{Artículos de equipo claves incluidos en estudios de diseño}^*}{\text{Número total de equipos clave}}$$

$$\frac{\text{Equipos clave incluidas en actividades de 5 S}^*}{\text{Número total de equipos clave}}$$

## Optimización financiera estadística

$$\frac{\text{Número de tareas revisadas de mantenimiento en equipo clave}^*}{\text{Número total de tareas de mantenimiento en equipo clave}}$$

$$\frac{\text{Número de repuestos importantes para equipo clave revisados}^*}{\text{Número total de repuestos importantes para equipo clave}}$$

$$\frac{\text{Número de políticas revisadas de repuestos rutinarios para equipo clave}^*}{\text{Número total de repuestos rutinarios para equipo clave}}$$

*Ejemplo: Una compañía que se esfuerce por producir a bajo costo en su mercado respectivo.*

El objetivo corporativo es mantener bajos los costos mientras se asegura la viabilidad de los activos de la compañía. Cada función de la compañía que contribuye a los costos de producción debe ser tan eficiente y efectiva como sea posible. El enfoque táctico es asegurar trimestralmente la optimización de los costos de mantenimiento generales. El respaldo funcional se centra en la optimización de cada componente de los procesos de mantenimiento. La situación es la siguiente:

El indicador corporativo del costo necesario para producir comienza a aumentar. Se examinan los factores que constituyen este indicador. Estos incluyen los indicadores financieros individuales, que a su vez constituyen el indicador del costo a producir. Al realizar el examen, se revisa un indicador financiero particular –los costos de mantenimiento por los costos de fabricación total– y se encuentra que ha aumentado en el último trimestre.

Los indicadores de eficiencia y efectividad para el mantenimiento se examinan luego. Al efectuar el examen, se observa que el indicador del tiempo de funcionamiento deseado del equipo se ha reducido y está por debajo del nivel deseado.

A continuación se examinan los indicadores tácticos que afectan el indicador del tiempo de funcionamiento deseado del equipo. A medida que se revisan los indicadores, el indicador de cumplimiento del mantenimiento preventivo se reduce por debajo del nivel aceptable y continúa descendiendo.

Luego se examinan los indicadores funcionales para el programa de MP. El indicador de tareas retrasadas de MP es alto y sigue aumentando. Al revisar los factores del indicador, se encuentra que la producción ~~no se~~ está liberando el equipo para el mantenimiento preventivo.

Esto dificulta la ejecución de los servicios de mantenimiento preventivo, ocasionando a la vez mayores fallas en los equipos, lo que reduce el tiempo de funcionamiento, e incrementa los costos de mantenimiento, afectando el indicador del costo necesario para producir.

Este ejemplo muestra cómo los indicadores de desempeño pueden estar vinculados entre sí. Si los indicadores no están relacionados con un desempeño, ya sea en niveles superiores o inferiores de la pirámide, esto quiere decir que se están empleando los indicadores equivocados.


Recuerde: Nadie usa todos los indicadores. Use sólo aquellos que se conectan con los indicadores corporativos. El uso de indicadores que no estén conectados entre sí ocultará los verdaderos problemas y las soluciones necesarias. Cuando esto sucede, las organizaciones se tambalean porque nunca hacen las mejoras o cambios correctos.



**APÉNDICE E:**

**PROCEDIMIENTO EJECUTIVO, CAMBIO  
PARCIAL DE CHAQUETAS DEL MOLINO DE  
BOLAS 05-0201**



	<p align="center"><b>PROCEDIMIENTO EJECUTIVO</b> Cambio parcial de chaquetas del Molino de Bolas 05-020x</p>	<p align="center"><b>PE-MPC0016</b></p> <p>Revisión : 02 Fecha Aprobación : 10/04/02</p>
<p>Elaborado por : K.Montes</p>	<p>Revisado por : M.Rosales</p>	<p>Aprobado por : L.Retuerto</p>

## OBJETIVO

Con el presente documento se espera definir correctamente las labores de mantenimiento para lograr un trabajo eficaz y con cero incidentes.

Además de definir las responsabilidades que recae en cada Area con el fin de una correcta ejecución del trabajo.

## ALCANCE

El procedimiento puede ser aplicado a los molinos de bola Marcy 14'x18' con códigos de equipo 05-0201, 05-0202, 05-0203, 05-0204.

El cambio parcial de chaquetas metálicas corresponde a la sexta parte o 16% del total.

## DOCUMENTOS DE REFERENCIA

- Manual de Mantenimiento del Molino de Bola Marcy, proveído por el fabricante.
- Instrucción Técnica de “Operación de la Grúa Puente P&H del Area de Molienda”

## TERMINOLOGIA BASICA

- **Manhole** : Compuerta ubicada en la parte cilíndrica del molino, usado para el acceso de las chaquetas al o del interior del molino.
- **Radio con accionamiento de voz** : Es el modelo de radio de comunicación que tiene audífonos tipo orejera y un micrófono, el envío de sonido se activa con la voz del propio emisor. Se usa en los trabajos donde se desea una comunicación frecuente teniendo siempre las manos libre para realizar alguna otra actividad.
- **Radio con accionamiento remoto** : Modelo de radio que tiene una extensión del micrófono y parlante para que pueda ser posicionado en la ropa del emisor mas cerca al oído.
- **RICR** : Siglas de “Reunión Inicial de Control de Riesgos”
- **PST** : Siglas de “Procedimiento Seguro de Trabajo”

## RECURSOS

1. **Personal** : Ocho personas.
  - Lider : Sobrestante
  - Grupo A : 2 Mecánicos experimentados y 2 de apoyo
  - Grupo B : 1 Mecánico experimentado y 1 de apoyo
  - 01 Operador Calificado de Grúa Puente
2. **Implementos de Seguridad** :

- Equipo básico de protección personal (casco, lentes, respirador, mameluco, zapato de seguridad y guantes de cuero)
  - 02 Arnese
  - 02 Líneas de vida
  - 01 Careta de soldar
3. **Herramientas y Equipos :**
- 02 Crescent de 24"
  - 01 Llave corona de golpe de 3"
  - 02 Extensiones de luz, tipo pantalla
  - 02 Combos grandes
  - 02 Combos chicos
  - 02 Estrobos de ½"x14'
  - 01 Estrobo de ½"x 20'
  - 04 Barretas
  - 02 Cuchillas
  - 01 Jgo. Accesorios de montaje
  - 04 Tablones
  - 01 Máquina de soldar
  - 02 Radios con accionamiento remoto
  - 01 Radio con accionamiento por voz
4. **Materiales :**
- 05 Chaquetas rectas, tipo A (Cod. DRP 85-147-050)
  - 05 Chaquetas medianas, tipo B (Cod. DRP 85-147-040)
  - 05 Chaquetas largas, tipo C (Cod. DRP 85-147-065)
  - 30 Pernos de 1-1/2" x 8-1/2" (Cod. DRP 85-143-100)
  - 60 Tuercas de 1-1/2" (Cod. DRP 85-143-190)
  - 30 Arandelas planas de 1-1/2"
  - 30 O ring de 1-1/2"
  - 01 Rollo de caucho de 1/16" (Cod. DRP 01-090-015)
  - 02 Pernos para manhole
  - 05 kg de Chanfercord

## **REALIZACION**

En anexos se tiene el Diagrama de Gant que muestra la interrelación de las actividades mencionadas en este punto.

### **1. Actividades Operacionales :**

- ✓ El sobrestante del Area operativa será el responsable de descargar y limpiar en caliente el molino con la anticipación debida.
- ✓ En base a la coordinación previa con mantenimiento, el operador detiene el molino teniendo en cuenta la posición deseada del manhole.

### **2. Seguridad :**

- ✓ RICR, liderado por el supervisor y su objeto es motivar al personal
- ✓ Se forman los grupos A y B, se nombran los lideres de cada grupo. Cada lider usara una radio de accionamiento remoto.
- ✓ La radio de activación por voz será usado por el grueso.
- ✓ Realizar o repasar el PST (Ver Anexo)

- ✓ Habilitar los implementos de seguridad, verificando su buen estado. El grupo que cambiaran los pernos instalaran los tablonos como piso e instalaran la linea de vida para su uso con el agnes.
  - ✓ Habilitar las herramientas y equipos a usar, verificar su buen estado.
  - ✓ El lider debe bloquear el equipo antes de iniciar el trabajo, tanto la parte eléctrica como el cierre de la válvula de aire que va al embrague entre el motor y reductor del molino.
- 3. Cambio de Chaquetas :**
- ✓ El grupo B instala los tablonos como piso y la linea de vida para su uso con el agnes.
  - ✓ El grupo A debe instalar la linea de aire para ventilación del interior del molino, la iluminación y luego quitar un perno de chaqueta del cuerpo para drenaje del agua en el interior del molino.
  - ✓ Con ayuda de una manguera de agua se limpian las chaquetas a cambiar.
  - ✓ Se retira el manhole y se procede a desempeñar las chaquetas de la fila inferior para luego retirarlas. Después se desempeñan el resto de chaquetas teniendo en cuenta que la comunicación entre el grupo A y B debe ser efectiva para no cometer actos inseguros.
  - ✓ Se retiran las chaquetas usadas del interior del molino y luego se ingresan las chaquetas nuevas, esto se hace con ayuda de la grua puente, barretas, combos y los accesorios de izaje.
  - ✓ Se retira la empaquetadura de jebe de la pared del cuerpo del molino y se realiza una limpieza de la misma.
  - ✓ Se inspecciona la superficie del cuerpo del molino para localizar zonas de desgaste prematuro.
  - ✓ Una vez que las chaquetas nuevas estan en el interior del molino, con ayuda de los accesorios de montaje y la grua puente se instalan las chaquetas. Colocar entre el cuerpo del molino y la chaqueta la empaquetadura de jebe de 1/16".
  - ✓ El grupo A fija los pernos de sujeción de la chaqueta y el grupo B se encarga de asegurarlos con la tuerca y contratuerca.
  - ✓ El grupo B se asegura del ajuste adecuado a las tuercas.
  - ✓ Se monta el manhole con ayuda de la grua puente.
- 4. Orden y Limpieza :**
- ✓ Se repone el perno que se saco para drenar el molino.
  - ✓ Se retiran las herramientas, la línea de aire y la iluminación.
  - ✓ Se desmontan los tablonos y se retiran las lineas de vida que uso el grupo B.
  - ✓ Se realiza orden y limpieza del area de trabajo.
- 5. Puesta en operación :**
- ✓ Se desbloquea el equipo verificando que no haya personal dentro del molino o realizando otra actividad que pueda poner en riesgo su integridad.
  - ✓ Se repone la linea de aire al sistema de embrague del molino.
  - ✓ Se coordina con operaciones el arranque del molino en vacio para su verificación de conformidad.
  - ✓ Se retiran las cintas de seguridad que aislaban el area de trabajo.

## **RESPONSABILIDADES**

- En seguridad, todos están involucrados y son responsables en controlar los riesgos cumpliendo el PST. El lider en seguridad es el Ingeniero de Seguridad.
  - Los que lideran las actividades de mantenimiento son los sobrestantes pero la responsabilidad la tiene el supervisor de mantenimiento.
  - Las actividades operativas relacionadas con este trabajo de mantenimiento es liderado por el sobrestante de Operaciones pero la responsabilidad siempre recae en el Supervisor de Operaciones.
- Ver en Anexos el cuadro de “Responsibility Chart” que indica específicamente los involucrados en el trabajo.

### **REGISTROS**

- Registro de Trabajo Terminado.

### **ANEXOS**

- Procedimiento Seguro de Trabajo (PST)
- Diagrama de Gant
- Responsibility Chart



## PROCEDIMIENTO SEGURO DE TRABAJO

TAREA (mayor VEP)			
S	F	VEP	CRITICIDAD
4	3	12	C

TAREA : Cambio parcial de chaquetas del Molino 05-0201

FECHA : 17 / 04 / 01

ELABORADO POR : Ruben Durand

FICHA : 170-2485

DIVISION : Mantenimiento

PLANTA : Molienda

REVISADO POR : Kim Montes

APROBADO POR : Luis Retuerto

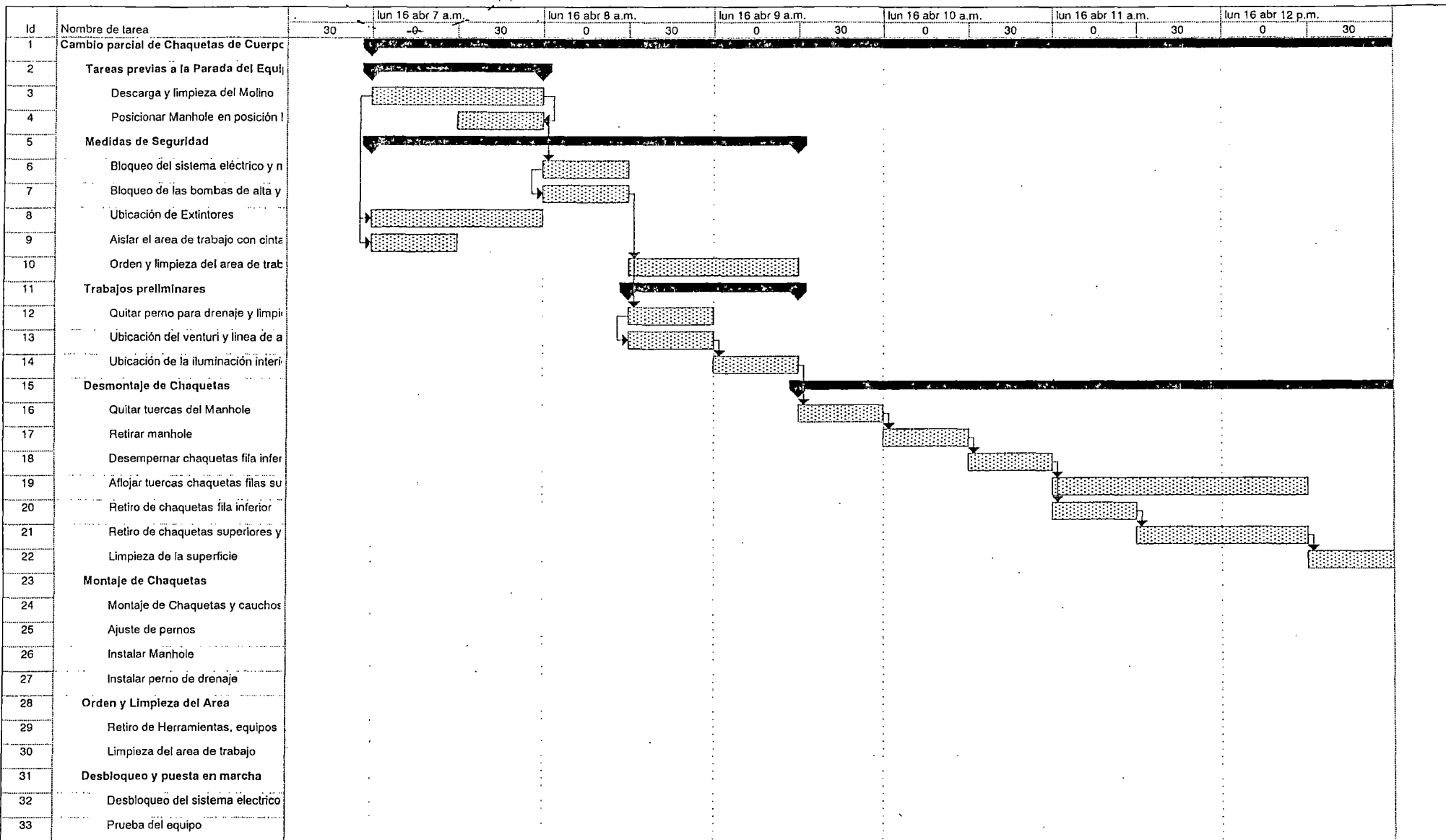
S = Severidad (1 a 4)  
 F = Frecuencia (1 a 4)  
 VEP = Valor esperado de la pérdida  
 VEP = S x F

CRITICIDAD	VEP
(D) Super Critico	16
(C) Alta criticidad	9-12
(B) Moderada Criticidad	4-8
(A) Baja Criticidad	1-3

ACTIVIDAD	RIESGOS	COMPORTAMIENTO SEGURO	S	F	VEP	Criticidad
Todas las actividades, principalmente en trabajos de altura y maniobras con las chaquetas	Accidente fatal en personal desmotivado o carente de los requerimientos fisicos del trabajo.	Reunion Inicial de Control de Riesgo para verificar estado de animo y capacidad fisica del personal involucrado en el trabajo.	4	3	12	C
Medidas de Seguridad antes de iniciar el trabajo	Accidente fatal por caida a desnivel por falla del arnes	Verificar el estado de los implementos de seguridad en especial del arnes.	4	3	12	C
	Muerte por electrocución debido al mal estado del cable electrico de la extensión de luz o caida de una chaqueta debido a rotura de	Verificar el estado de las herramientas y equipos a usar, en especial cables electricos y estrobos.	4	3	12	C
	Incapacitante por resbalon debido al desorden o suciedad del area de trabajo	Orden y limpieza del area de trabajo.	3	3	9	C
	Muerte por arranque imprevisto del Molino	Bloqueo electrico y de la linea de aire que va al embrague del molino. Usar candado y tarjeta de indicación.	4	3	12	C
Cambio de chaquetas	Muerte por caida a desnivel del personal del grupo B.	Instalar tablones que sirvan de piso durante maniobras con pernos y uso de	4	3	12	C
	Incapacitante por aplastamiento de chaqueta metalica.	No ponerse debajo de una carga suspendida, y solo una persona a la vez debe orientar al guero.	3	3	9	C
	Falla prematura de chaquetas de cuerpo, al desaflojarse pernos.	Ajuste adecuado de pernos, usar la llave de golpe y combo para su ajuste.	4	3	12	C

	Aprisionamiento o mordedura de los dedos con las chaquetas durante maniobras	Cuando la maniobra se realiza en el interior del molino, el lider del grupo A es quien dirige. Si en caso la chaqueta esta fuera del molino es el lider del grupo B quien dirige la maniobra.	2	3	6	B
Orden y Limpieza	Primeros auxilios por golpe debido a tropiezo o resbaladura con algus desperdicio, material o	Orden y limpieza del area de trabajo.	2	3	6	B
Puesta en operación del molino	Muerte por arranque imprevisto del Molino	Antes de desbloquear el equipo se debe verificar que todos hayan salido del molino y no haya alguien realizando un trabajo que ponga en riesgo su	4	3	12	C

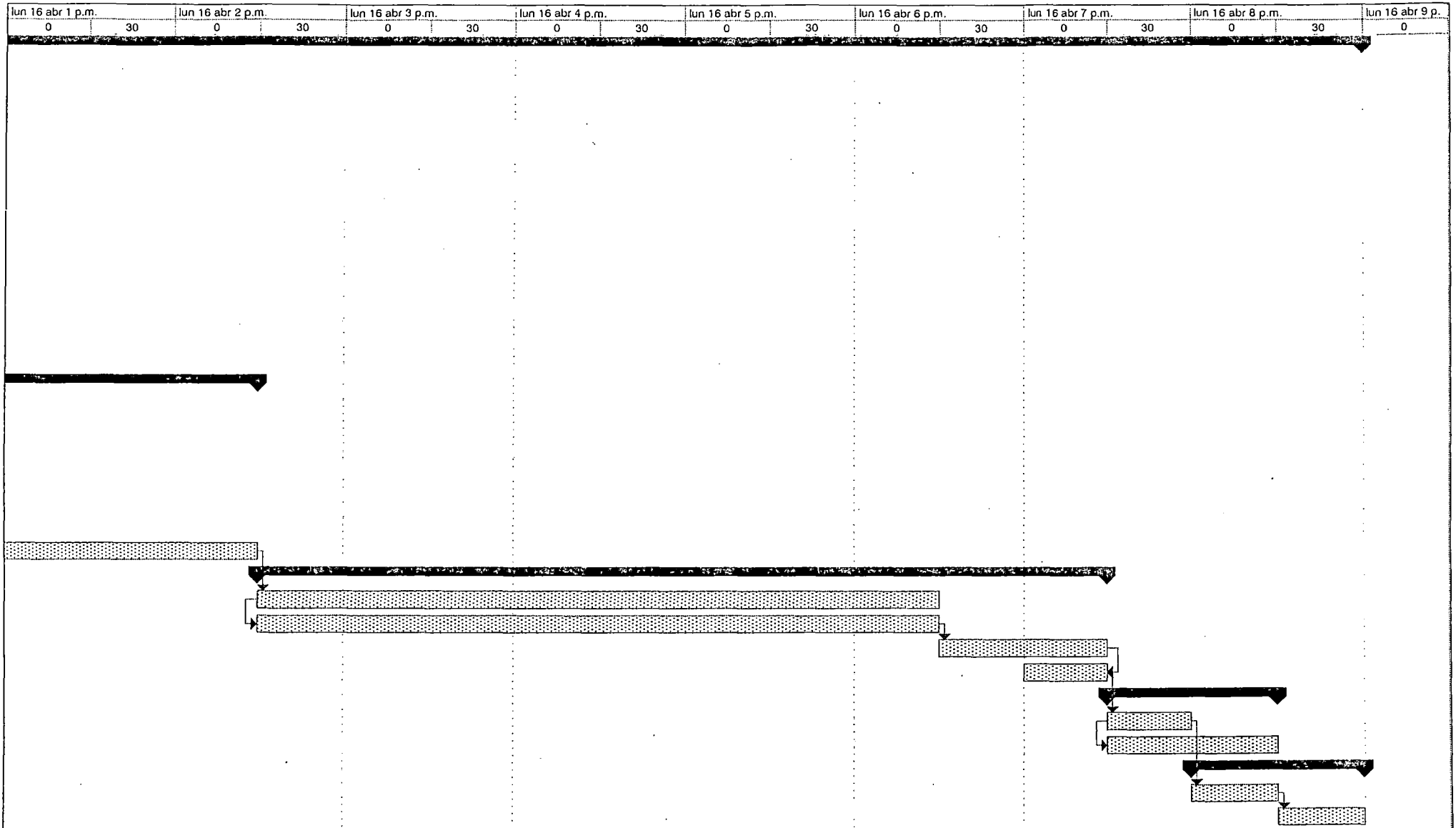




Tarea : Molino de Bolas 05-0201  
 Cambio parcial de Chaquetas de Cuerpo  
 Fecha: Abril 2001

Tarea	[Barra de progreso resumido]	Resumen	[Barra de progreso resumido]	Progreso resumido	[Barra de progreso resumido]	Agrupar por síntesis	[Barra de progreso resumido]
Tarea crítica	[Barra de progreso resumido]	Tarea resumida	[Barra de progreso resumido]	División	[Barra de progreso resumido]		
Progreso	[Barra de progreso resumido]	Tarea crítica resumida	[Barra de progreso resumido]	Tareas externas	[Barra de progreso resumido]		
Hito	◆	Hito resumido	◇	Resumen del proyecto	[Barra de progreso resumido]		





Tarea : Molino de Bolas 05-0201 Cambio parcial de Chaquetas de Cuerpo Fecha: Abril 2001	Tarea		Resumen		Progreso resumido		Agrupar por síntesis	
	Tarea crítica		Tarea resumida		División		Tareas externas	
	Progreso		Tarea crítica resumida		Resumen del proyecto			
	Hito		Hito resumido					

### REGISTRO DE CALIDAD DE REPARACION DE EQUIPO

O.T. N°: 30479. EQUIPO: 05-0201 PLANTA: Molinda

SUPERVISOR: M. Rosales.

FECHA INICIO TRABAJO 17/04/01 FECHA FIN TRABAJO: 17/04/01

HORAS DE PARADA DE EQUIPO: 15.5h. HORAS HOMBRE REQUERIDAS: 124.

RECURSO HUMANO UTILIZADO:

Lider: R. Durand, Grupo A: V. Mallqui, L. Nunezvenchi, L. Palacin, C. Alvarez.

Grupo B: V. Palomino, M. Arredondo.

Operador Grúa Puente: F. Zavala.

OBSERVACIONES AL DESMONTAR (Causa básica):

La causa básica fue una falla por desgaste (cod.32).

PIEZAS QUE SE CAMBIAN:

Se cambió lo especificado en el Procedimiento PE-MPC0036.

El proveedor de las chavetas nuevas es HCPSA.

OBSERVACIONES

Se tuvo retraso de 1h principalmente por demora operativa en la limpieza del molino.

Ningun incidente que reportar.

18/04/01

FIRMA DEL SUPERVISOR

FECHA

Nota: Para cualquier información adicional usar la página posterior.