

**MODELO GERENCIAL PARA LA RECUPERACION, MANTENIMIENTO  
PREVENTIVO Y PREDICTIVO EN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DEL  
TREM MORGAN (LAMINACION APDR)**

**SONIA YANETH VARGAS RICAURTE**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA  
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA**

**2010**

**MODELO GERENCIAL PARA LA RECUPERACION, MANTENIMIENTO  
PREVENTIVO Y PREDICTIVO EN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DEL  
TREM MORGAN (LAMINACION APDR)**

**SONIA YANETH VARGAS RICAURTE**

**Monografía de Grado**

**Presentada como requisito para optar el título de  
ESPECIALISTA EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO**

**Director**

**ROBERTO EMILIANO OSPINA FAWCETT**

**Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS  
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA  
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
BUCARAMANGA**

**2010**

*A mi hija Diana Valentina, mi niña bonita,  
porque es un regalo de Dios,  
es quien me inunda de amor y esperanza,  
siendo mi inspiración para seguir adelante,  
por quien vivo y quien merece todo mi esfuerzo y dedicación.*

## **AGRADECIMIENTOS**

El autor expresa sus agradecimientos a:

Todos los docentes de la Especialización en Gerencia de Mantenimiento por la transferencia de conocimiento a través de las diferentes asignaturas.

Roberto Emiliano Ospina, director del proyecto, por sus orientaciones para el desarrollo de este trabajo, por su decidida ayuda.

Mis compañeros de especialización por las experiencias compartidas.

Todas las personas que de una u otra forma colaboraron con la realización de este proyecto.

## CONTENIDO

	<b>pág.</b>
INTRODUCCION .....	13
1. OBJETIVOS .....	16
1.1 OBJETIVO GENERAL.	16
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	16
2. MARCO CONTEXTUAL.....	17
2.1 LA SIDERURGICA EN COLOMBIA	17
2.2 ANTECEDENTES	17
2.3 CONSTITUCION DE LA EMPRESA	17
2.4 MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA	18
2.5 DESCRIPCION DEL PROCESO	19
3. MARCO TEORICO .....	23
3.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO	23
3.2 MANTENIMIENTO PREDICTIVO	25
4. RESTABLECIMIENTO DE FUNCIONES DE EQUIPOS .....	39
4.1 DIAGNÓSTICO DE CADA EQUIPO	40
4.2 INTERPRETACION DE LISTAS DE CHEQUEO	45
4.3 CRITICIDAD DE EQUIPOS	45
4.4 PLANEACIÓN DE RECUPERACION	46
4.5 EJECUCIÓN DE LA PLANEACION Y PUESTA EN MARCHA	46
5. MODELO GERENCIAL PARA IMPLEMENTACION DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO .....	48
5.1 FICHAS DE TRABAJO	50
5.2 ALMACÉN	77
5.3 ELABORACION DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO	77
5.3.1 Registro del equipo	78

5.3.2 Descripción de las actividades de mantenimiento	81
5.4 HISTORIAL DE LOS EQUIPOS	85
5.5 EVALUACIÓN DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO	85
6. MODELO GERENCIAL PARA IMPLEMENTACION DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO .....	86
6.1 ELABORACION DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	87
6.2 CONTROL Y EVALUACION DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO.	98
7. CONCLUSIONES .....	99
BIBLIOGRAFIA.....	105

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
Figura 1. Refrigeración camino de rodillos Tren Morgan .....	20
Figura 2. Refrigeración desbastador Tren Morgan .....	21
Figura 3. PTA Tren Morgan .....	21
Figura 4. Sala de filtros PTA .....	22
Figura 5. Sala de bombas, PTA .....	22
Figura 6. Curva de vibración de un cojinete .....	26
Figura 7. Ejemplo de registro de vibraciones en un ciclo de trabajo de la pala .....	29
Figura 8. Transformada Tiempo-Frecuencia. ....	29
Figura 9. Lista de chequeo para motores y sus instalaciones eléctricas .....	42
Figura 10. Organización del mantenimiento preventivo .....	49
Figura 11. Aviso tipo M1 .....	52
Figura 12. Creación de OT a partir de aviso M1 .....	53
Figura 13. Aviso tipo M2 .....	54
Figura 14. Aviso M3 .....	55
Figura 15. Aviso M3 .....	55
Figura 16. Aviso M3 .....	56
Figura 17. Notificar orden .....	56
Figura 18. Cierre técnico .....	58
Figura 19. Aviso tipo M4 .....	59
Figura 20. Aviso tipo M4 .....	60
Figura 21. Formato de requisición página 1 .....	62
Figura 22. Formato de requisición página 2 .....	63
Figura 23. Solicitud de pedido en SAP, sin orden de trabajo .....	65
Figura 24. Solicitud de pedido en SAP, número de transacción .....	66
Figura 25. Modificar orden de trabajo .....	67
Figura 26. Solicitud de materiales .....	68
Figura 27. Número de solicitud de pedido .....	69

Figura 28. Formato informe de fallas PTA .....	71
Figura 29. Códigos de fallas y de localización de los equipos.....	72
Figura 30. Reporte seis (6) paradas PTA.....	74
Figura 31. Formato Análisis de fallas .....	75
Figura 32. Formato Registro de equipos. Motores eléctricos .....	80
Figura 33. Frecuencia de trabajo .....	82
Figura 34. Formato “Descripción de las actividades para el mantenimiento”, .....	83
Figura 35. Modelo Formato Plan de mantenimiento Preventivo .....	84
Figura 36. Ejemplo de gama de mantenimiento .....	84
Figura 37. Relación de tecnologías de predictivo .....	90
Figura 38. Formato plan de mantenimiento predictivo .....	91
Figura 39. Inicio de falla – final de la falla P-F.....	95
Figura 40. Seleccione la Tecnología con el P-F más largo .....	95
Figura 41. Frecuencia ideal de muestreo .....	96

## RESUMEN

**TITULO:** MODELO GERENCIAL PARA LA RECUPERACION, MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y PREDICTIVO EN PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DEL TREN MORGAN (LAMINACION PDR)

**AUTOR:** SONIA YANETH VARGAS RICAURTE

**PALABRA CLAVES:** Tratamiento de agua, Fichas de trabajo, programa de mantenimiento, confiabilidad, disponibilidad, preventivo, predictivo, FMECA:

**CONTENIDO:** El objetivo fundamental de esta monografía, es desarrollar un modelo gerencial para la recuperación y la implementación de los programas de mantenimientos preventivo y predictivo de la Planta de Tratamiento de Agua (PTA) del Tren de Laminación Morgan de PazdelRio Votorantim.

El modelo propuesto es una guía para implementar en la PTA un programa de mantenimiento preventivo y predictivo, y así mejorar la calidad del servicio, aumentar la capacidad operacional, brindar mejores condiciones de seguridad y medio ambiente, incrementar la disponibilidad y mejorar la confiabilidad de la plata.

Teniendo en cuenta el avanzado estado de deterioro en el cual se encuentra la PTA, el primer paso es llevar cada uno de los equipos a sus condiciones normales de operación, mediante la programación y ejecución de un mantenimiento correctivo planeado, esto se logra gracias a un diagnóstico basado en inspecciones apoyadas en listas de chequeo y programas de recuperación de equipos.

El preventivo propuesto para la PTA gira en torno a tres pilares: las fichas de trabajo compuestas por avisos, órdenes, reportes de mantenimiento y solicitudes de repuestos y materiales; el programa de mantenimiento que contiene: registro de equipos, descripción de actividades y el plan estratégico; gestión de almacén, esto respaldado por el historial de equipos y la evaluación del programa.

El predictivo formulado para la PTA está basado en evaluación de la criticidad de equipos, el análisis de fallas y el diseño del programa de mantenimiento predictivo, para obtener detectar fallas y defectos de maquinaria en las etapas incipientes.

---

\* Monografía

\*\* Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento, Director: Ing Meanico, Roberto Emiliano Ospina Fawcett

## SUMMARY

**TITLE:** MANAGEMENT MODEL FOR THE RECOVERY, PREVENTIVE AND PREDICTIVE MAINTENANCE IN THE WATER TREATMENT PLANT OF THE MORGAN ROLLING MILL (STEEL ROLLING DIVISION PDR) \*

**AUTHOR (S):** SONIA YANETH VARGAS RICAURTE\*\*

**KEY WORDS:** Water Treatment, work sheets, maintenance program, reliability, availability, corrective, preventive, predictive, FMECA:

**DESCRIPTION:** The fundamental aim of this monograph is developing a managing model for the recovery and implementation of preventive and predictive maintenances programs for the Water Treatment Plant in the PDR Votorantim rolling mill.

The proposed model is a guide to implement in the WTP a preventive and predictive maintenance program, in order to improve the quality of the service, increase the operational capacity, supply better safety and environmental conditions, increase the availability and improve the reliability of the WTP.

Considering such advanced status of deterioration that the WTP is, the first step is to take every equipment to its normal conditions for operation, by programming and executing a planned corrective maintenance, this can be carried out by an inspections based and checking list supported diagnostic and programs for the equipments recovery.

The proposed preventive maintenance for the WTP turns around three bases: the work sheets that are composed by notices, orders, maintenance reports and spares parts and material requirements; the maintenance program that contains: Equipments records, activities description and the strategic plan; spare parts and material warehouse management, backed up by the equipment history and the evaluation of the maintenance program.

The predictive maintenance formulated for the PTA is based in the evaluation of the equipments criticism, the failure analysis and the design of the predictive maintenance program, to obtain and detect failures and defects of the machinery in the incipient stages..

---

\*Monograph

\*\* School of Mechanical Engineering. Maintenance Management Specialization. Director: Ing Meanico, Roberto Emiliano Ospina Fawcett

## INTRODUCCION

La Planta de Tratamiento de Agua del Tren Morgan, es parte fundamental del proceso ya que es la responsable de garantizar la refrigeración de los cilindros y guías, que son elementos que están en contacto directo con el producto que durante todo el proceso, tiene una temperatura que inicia con 1150°C bajando solo hasta 900°C en el punto final de transformación, además de esto debe proveer agua para los sistemas de refrigeración de los hornos y sistemas de enfriamiento controlado cuya finalidad es modificar la estructura interna del acero para obtener las propiedades mecánicas deseadas. Por otro lado, la calidad de agua juega un papel fundamental tanto en el proceso, como en la calidad misma del producto final. Actualmente el agua enviada al tren está acumulando suciedad en sellos, ocasiona desgaste acelerado de equipos, dejando lodo en el tren y está generando problemas para la inspección de calidad en el producto terminado como es una oxidación indeseable en procesos de trefilación que es uno de los principales procesos que aplican al acero los clientes de PazdelRio Votorantim.

Al no tener una buena gestión de mantenimiento, los equipos pueden colapsar y generar una costosa pausa en el proceso productivo. Gracias a una rutina de inspecciones periódicas y al reemplazo de elementos dañados, muchas plantas industriales han podido mantener su operación y alargar la vida útil de sus activos.

Se debe tener en cuenta que lo que se haga en mantenimiento no tiene su consecuencia de manera inmediata, sino que los efectos de las acciones que tomamos se revelan con seis meses o con un año de retraso. Hoy se pagan los errores de ayer, o se disfrutan los aciertos.

Es muy normal prestar mucha importancia al mantenimiento de los equipos principales, y no preocuparse en la misma medida de todos los equipos adicionales o auxiliares. El mantenimiento en la planta de laminación, está enfocado en el tren de laminación y se ha descuidado la PTA, desde luego es otro grave error, una bomba o un transmisor de presión pueden parar una planta y ocasionar un problema tan grave como un fallo en el equipo de producción más costoso que tenga la instalación. Conviene, prestar la atención debida no sólo a los equipos más costosos económicamente, sino a todos aquellos capaces de provocar fallos críticos.

Hoy en día, el mantenimiento preventivo se ha convertido en motivo de seminarios y charlas, porque los empresarios han visto la necesidad de prever las fallas manteniendo los sistemas de infraestructura, equipos e instalaciones productivas en completa operación en los niveles y eficiencia óptimos, evitando costos mayores producto de fallas y paradas en procesos. Los procesos de mantenimiento pueden representar hasta un 35% de los costos de operación de una planta, entonces la idea de optimizar dicho proceso es perfectamente válida.

Ya no se trata de corregir rápidamente una falla cuando se presenta o realizar un mantenimiento correctivo, sino ir más allá y evitar que el desperfecto ocurra, ahorrando costos al evitar paradas de producción y disminuyendo tiempos al hacer las reparaciones durante paradas de planta programadas, lo que redundará en una mayor disponibilidad del sistema PTA que permite igualmente aumentar su confiabilidad.

Una parte importante de las tareas de mantenimiento de una planta industrial, corresponden a mantenimiento condicional o predictivo. Es decir, se chequea el equipo o la instalación, se realizan análisis, mediciones, tomas de datos e incluso simples observaciones visuales, y si se encuentra algo anormal, o la evolución de

un parámetro no es la adecuada, se actúa. En ciertas plantas industriales adquieren cierta relevancia por el alto coste de una parada imprevista y por la necesidad de algunas de ellas de funcionar el máximo número de horas posible.

La planta de tratamiento de agua se encuentra en un estado de abandono, debido a la falta de mantenimiento preventivo y predictivo durante los últimos años. Durante todo este tiempo solo se han intervenido los equipos críticos para la planta, en el momento que llegan a la falla (mantenimiento correctivo), los sistemas auxiliares de la misma se han dejado deteriorar y algunos se han sacado de funcionamiento. Se tomaron decisiones de eliminar sistemas, sin hacer el estudio pertinente para su conveniencia o no.

La planta no cuenta con registros de mantenimiento, no hay bases de datos, no se tienen hojas de vida de equipos, ni registros de fallas.

Si no se toman acciones al respecto, se terminará en parada de planta de agua, lo cual ocasionaría parada de la planta de laminación, ocasionando la imposibilidad de cumplir con los compromisos comerciales lo cual causaría un gran daño en los estados financieros ya que se dejarían de facturar cerca de \$1'000.000.000 diarios una vez se agote el inventario existente.

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL.**

Elaborar un modelo gerencial para la recuperación, mantenimiento preventivo y predictivo de la planta de tratamiento de agua del Tren Morgan (Laminación APDR).

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Desarrollar un diagnóstico completo de la PTA.
- Elaborar el modelo gerencial para recuperar la Planta de Tratamiento de Agua (PTA), identificando subsistemas y elaborando el cronograma respectivo.
- Identificar elementos críticos de PTA.
- Proponer modelos para planes de mantenimiento para los elementos críticos identificados, teniendo en cuenta factores como severidad, posibilidad de ocurrencia e interrelación de los mismos.
- Minimizar el deterioro, pérdida de capacidad productiva y funciones de los equipos.
- Establecer indicadores clase mundo que permitan seguir y controlar los aspectos críticos del proceso estableciendo metas y comparaciones que permitan evidenciar avances, estancamientos o retrocesos.
- Aumentar la disponibilidad, confiabilidad y productividad de los equipos.
- Proponer la gestión del mantenimiento de los elementos críticos de PTA mediante la propuesta y el seguimiento de la orden de trabajo.
- Identificar los elementos del sistema de información para el mantenimiento de la planta
- Proponer capacitación de personal.

## **2. MARCO CONTEXTUAL**

### **2.1 LA SIDERURGICA EN COLOMBIA**

La historia de Acerías Paz del Rio está íntimamente ligada con la evolución de la industria siderúrgica nacional. Dicha industria nace en los comienzos del siglo veinte con el descubrimiento de los primeros yacimientos de mineral de hierro en 1923 en la región de Pacho, ubicada en el departamento de Cundinamarca. Se procedió entonces a instalar la ferrería de Pacho y posteriormente fueron haciendo otras como la de Amagá en Antioquia, la de Samacá en Boyacá y la de Pradera en Subachoque, fábricas que pronto suspendieron definitivamente su producción.

### **2.2 ANTECEDENTES**

En 1940 el IFI se fijó como meta impulsar el desarrollo de la industria siderúrgica en el país. En 1942, los geólogos Benjamín Alvarado y Vicente Suarez Hoyos presentaron el primer informe documentado sobre los yacimientos de Paz del Rio en Boyacá, como resultado de un análisis practicando a la muestra enviada por el doctor Olimpo Gallo, confirmando la existencia del mineral de hierro en la región. También se hallaron importantes depósitos de caliza y carbón. La hacienda Belencito fue escogida para el montaje de la planta por su cercanía tanto a los yacimientos de mineral de hierro, carbón y caliza como a las ciudades de Sogamoso y Duitama.

### **2.3 CONSTITUCION DE LA EMPRESA**

El Gobierno Nacional, por medio de la ley 45 del 15 de Diciembre de 1947, autorizó la creación de una siderúrgica en Boyacá. El 17 de septiembre de 1948

se formó la sociedad anónima Empresa Siderúrgica Nacional de Paz de Río, mediante la escritura No. 4410 en la notaría 4 de Bogotá.

En el mes de octubre de 1954, la empresa cambio su razón social por la de Acerías Paz del Río S.A., por medio de la escritura 3023 de la notaría 6a de Bogotá.

## **2.4 MONTAJE Y PUESTA EN MARCHA**

En virtud de la autorización del gobierno nacional, los equipos se adquirieron mediante empréstito del banco de París y de los países bajos y el montaje se inicio en 1951. Una vez realizadas las obras civiles y la instalación de equipos y maquinaria, el 13 de octubre de 1954 se puso en marcha la planta, fecha en que salió la primera colada del alto horno.

Acerías Paz del Río S.A. (APDR), es una compañía siderúrgica con 60 años de experiencia en la explotación y transformación de los minerales de hierro, caliza y carbón para la elaboración de productos de acero y los derivados del procesamiento siderúrgico, los cuales se comercializan y utilizan en la industria, la construcción, el sector metalmeccánico y agrícola.

Dentro del desarrollo del proceso de internacionalización, Colombia se constituyó en un país de interés para el grupo brasileño Votorantim por la oportunidad de desarrollo que ofrecía en el campo de los metales. El 16 de marzo de 2007, mediante una operación en la Bolsa de Valores de Colombia, Votorantim adquirió 52.1% de las acciones de Acerías Paz del Río, siderúrgica que entró a formar parte de la unidad Votorantim Metais.

Un año después, el 14 de marzo de 2008, Votorantim aumentó su participación en la siderúrgica colombiana de 52.1% a 72.67%, con un adicional de 20.57%, mediante una Oferta Pública de Adquisición de Acciones (OPA) formalizada en la Bolsa de Valores.

En julio del 2008, el Grupo Votorantim redefinió el posicionamiento del Negocio Acero dentro de su estructura y creó Votorantim Siderurgia (VS). La nueva unidad nació con cerca de 5.300 empleados y operaciones en tres países: Argentina, Brasil y Colombia.

En Bogotá en agosto 19 de 2010. Luego de 62 años, y como consecuencia de la evolución de sus procesos industriales, comerciales y administrativos, la siderúrgica colombiana Acerías Paz del Rio S.A. cambió su imagen como antesala a la actual renovación que le permitirá ser reconocida como una de las mejores siderúrgicas de América Latina. Ahora llamada PazdelRio Votorantim.

## **2.5 DESCRIPCION DEL PROCESO**

El proceso siderúrgico integrado en forma global, para mayor comprensión, se presenta en cuatro etapas bien definidas.

- **Explotación de materias primas.** Relacionadas con la explotación de mineral de hierro, carbón y caliza.
- **Fabricación primaria.** Integrada por las plantas de coquería, sinterización y alto horno.
- **Aceración.** Comprende las plantas de calcinación, convertidores, recuperación metálica y fertilizantes.
- **Laminación.** Está comprendida las plantas de Tren Morgan, Tren 450 y Enderezadoras.

Para el desarrollo de este proyecto se enfatizará en el proceso de laminación. PazdelRio cuenta con una planta de Laminación en caliente, esta planta tiene la capacidad de producir barras de acero sismo resistente y rollos de alambón trefilable, esto se logra mediante dos trenes de laminación, uno abierto (Tren 450) y uno continuo (Tren Morgan). Una parte fundamental de este proceso de laminación es la refrigeración que se debe realizar a todos los cilindros de las cajas laminadoras. El tren continuo llamado Tren Morgan, que es el encargado de entregar aproximadamente el 90% de la producción de la planta de laminación, cuenta con una planta de tratamiento de aguas, para suplir todas sus necesidades de refrigeración.

Figura 1. Refrigeración camino de rodillos Tren Morgan



Fuente. PazdelRio Votorantim

Figura 2. Refrigeración desbastador Tren Morgan



Fuente. PazdelRio Votorantim

La planta de tratamiento de agua se encontraba funcionando en la ciudad de CHICAGO, fue desensamblada y montada en la planta de laminación de APDR cerca del año 1992. Esta planta está basada en los principios de sedimentación, filtrado mediante filtros multimedia y cuenta con una torre de enfriamiento de agua.

Figura 3. PTA Tren Morgan



Fuente. PazdelRio Votorantim

Figura 4. Sala de filtros PTA



Fuente. PazdelRio Votorantim

Figura 5. Sala de bombas, PTA



Fuente. PazdelRio Votorantim

### **3. MARCO TEORICO**

Mantenimiento son todas las actividades necesarias para mantener el equipo e instalaciones en condiciones adecuadas para la función que fueron creadas; además de mejorar la producción buscando la máxima disponibilidad y confiabilidad de los equipos e instalaciones.

El mantenimiento está basado en los principios como: Respeto para todos los empleados y funcionarios, buen liderazgo, trabajo en equipo compartiendo responsabilidades, compromiso con la seguridad y medio ambiente, propiciar ambiente de responsabilidad donde se desarrolle conocimientos y habilidades.

#### **3.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

Como su nombre lo indica el mantenimiento preventivo se diseño con la idea de prever y anticiparse a los fallos de las máquinas y equipos, utilizando para ello una serie de datos sobre los distintos sistemas y sub-sistemas e inclusive partes.

Bajo esa premisa se diseña el programa con frecuencias calendario o uso del equipo, para realizar cambios de sub-ensambles, cambio de partes, reparaciones, ajustes, cambios de aceite y lubricantes, etc., a maquinaria, equipos e instalaciones y que se considera importante realizar para evitar fallos.

Es importante trazar la estructura del diseño incluyendo en ello las componentes de Conservación, Confiabilidad, Mantenibilidad, y un plan que fortalezca la capacidad de gestión de cada uno de los diversos estratos organizativos y

empleados sin importar su localización geográfica, ubicando las responsabilidades para asegurar el cumplimiento.

El mantenimiento preventivo se refiere a las acciones, tales como; Reemplazos, adaptaciones, restauraciones, inspecciones, evaluaciones, etc. Hechas en períodos de tiempos por calendario o uso de los equipos. (Tiempos dirigidos). El mantenimiento preventivo podrá en un futuro ser potencialmente mejorado por medio de la incorporación de un programa de Mantenimiento Predictivo.

Durante la preparación e implementación de su programa de MP no puede presentar resultados de mejoramiento en la maquinaria y equipo. Esto le llevara algún tiempo tenga también en cuenta que necesitará hacer algunos ajustes. Si cuenta con algún tipo de mantenimiento planeado continúe con hasta terminar sus nuevos programas de preventivo.

### **Observaciones sobre el alcance del programa de mantenimiento preventivo.**

El mantenimiento preventivo puede variar de simples rutas de lubricación o inspección hasta el más complejo sistema de monitoreo en tiempo real de las condiciones de operación de los equipos. Muchos de los sistemas complejos de monitoreo proporcionan bastante información útil que debe ser considerada en su MP.

Un programa de mantenimiento preventivo puede incluir otros sistemas de mantenimiento y pueden ser considerados todos en conjunto como un programa de mantenimiento preventivo. Dependiendo del tipo de programa que se utilice, se necesita obtener información real del estado de las máquinas, equipos e instalaciones y en algunos casos se requerirá de inversiones para llevarles a condiciones básicas de funcionamiento. La manera de lograr las autorizaciones de inversión, es indicando las ventajas o beneficios del programa de mantenimiento preventivo.

### **Beneficios del mantenimiento preventivo.**

- Reduce las fallas y tiempos muertos (incrementa la disponibilidad de equipos e instalaciones). Obviamente, si tiene muchas fallas que atender menos tiempo puede dedicarle al mantenimiento programado y estará utilizando un mantenimiento reactivo mucho más caro por ser un mantenimiento de "apaga fuegos"
- Incrementa la vida de los equipos e instalaciones. Si tiene buen cuidado con los equipos puede ayudar a incrementar su vida. Sin embargo, requiere de involucrar a todos en la idea de la prioridad ineludible de realizar y cumplir fielmente con el programa.
- Mejora la utilización de los recursos. Cuando los trabajos se realizan con calidad y el programa se cumple fielmente. El mantenimiento preventivo incrementa la utilización de maquinaria, equipo e instalaciones, esto tiene una relación directa con: El programa de mantenimiento preventivo que se hace. Lo que se puede hacer, y como debe hacerse.
- Reduce los niveles del inventario. Al tener un mantenimiento planeado puede reducir los niveles de existencias del almacén.
- Ahorro. Un peso ahorrado en mantenimiento son muchos pesos de utilidad para la compañía. Cuando los equipos trabajan más eficientemente el valor del ahorro es muy significativo.
- Costos del mantenimiento preventivo. Antes de iniciar el programa de mantenimiento preventivo será necesario que tenga una idea completa de cuál será su costo, ya que hay un número de requerimientos a considerar.

### **3.2 MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

El mantenimiento predictivo es una técnica para pronosticar el punto futuro de falla de un componente de una máquina, de tal forma que dicho componente pueda

reemplazarse, con base en un plan, justo antes de que falle. Así, el tiempo muerto del equipo se minimiza y el tiempo de vida del componente se maximiza.

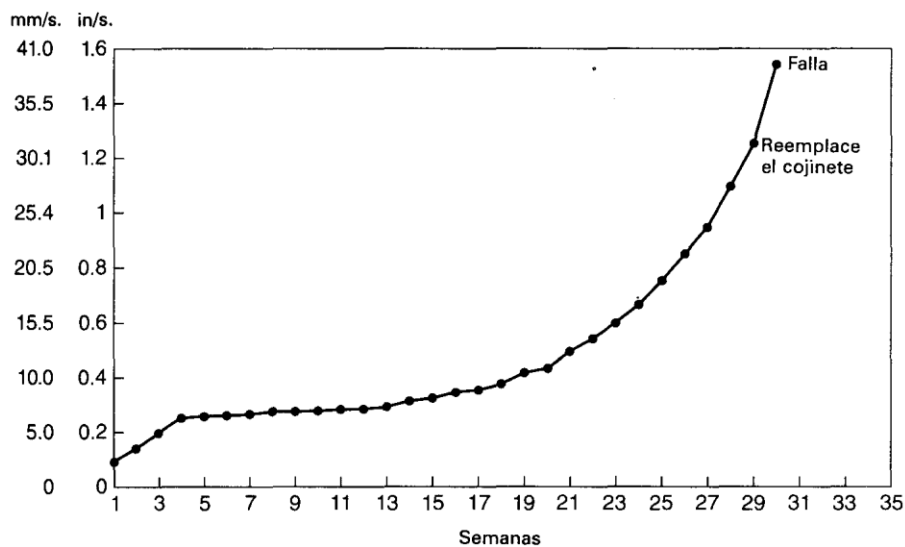
### 3.2.1 Organización para el mantenimiento predictivo.

Esta técnica supone la medición de diversos parámetros que muestren una relación predecible con el ciclo de vida del componente. Algunos ejemplos de dichos parámetros son los siguientes:

- Vibración de cojinetes
- Temperatura de las conexiones eléctricas
- Resistencia del aislamiento de la bobina de un motor

El uso del mantenimiento predictivo consiste en establecer, en primer lugar, una perspectiva histórica de la relación entre la variable seleccionada y la vida del componente. Esto se logra mediante la toma de lecturas (por ejemplo la vibración de un cojinete) en intervalos periódicos hasta que el componente falle. La figura muestra una curva típica que resulta de graficar la variable (vibración) contra el tiempo.

Figura 6. Curva de vibración de un cojinete



Fuente.<http://www.monografias.com/trabajos17/mantenimiento-predictivo/mantenimiento-predictivo.shtml>

Como la curva lo sugiere, deberán reemplazarse los cojinetes subsecuentes cuando la vibración alcance 1,25 in/seg (31,75 mm/seg). Los fabricantes de instrumentos y software para el mantenimiento predictivo pueden recomendar rangos y valores para reemplazar los componentes de la mayoría de los equipos, esto hace que el análisis histórico sea innecesario en la mayoría de las aplicaciones.

### **3.2.2 Metodología de las inspecciones**

Una vez determinada la factibilidad y conveniencia de realizar un mantenimiento predictivo a una máquina o unidad, el paso siguiente es determinar la o las variables físicas a controlar que sean indicativas de la condición de la máquina. El objetivo de esta parte es revisar en forma detallada las técnicas comúnmente usadas en el monitoreo según condición, de manera que sirvan de guía para su selección general. La finalidad del monitoreo es obtener una indicación de la condición (mecánica) o estado de salud de la máquina, de manera que pueda ser operada y mantenida con seguridad y economía.

Por monitoreo, se entendió en sus inicios, como la medición de una variable física que se considera representativa de la condición de la máquina y su comparación con valores que indican si la máquina está en buen estado o deteriorada. Con la actual automatización de estas técnicas, se ha extendido la acepción de la palabra monitoreo también a la adquisición, procesamiento y almacenamiento de datos.

De acuerdo a los objetivos que se pretende alcanzar con el monitoreo de la condición de una máquina debe distinguirse entre vigilancia, protección, diagnóstico y pronóstico.

- **Vigilancia de máquinas.** Su objetivo es indicar cuándo existe un problema. Debe distinguir entre condición buena y mala, y si es mala indicar cuán mala es.
- **Protección de máquinas.** Su objetivo es evitar fallas catastróficas. Una máquina está protegida, si cuando los valores que indican su condición llegan a valores considerados peligrosos, la máquina se detiene automáticamente.
- **Diagnóstico de fallas.** Su objetivo es definir cuál es el problema específico. Su objetivo es estimar cuánto tiempo más Podría funcionar la máquina sin riesgo de una falla catastrófica.

En el último tiempo se ha dado la tendencia a aplicar mantenimiento predictivo o sintomático, sea, esto mediante vibroanálisis, análisis de aceite usado, control de desgastes, etc.

### **3.2.3 Técnicas aplicadas al mantenimiento predictivo**

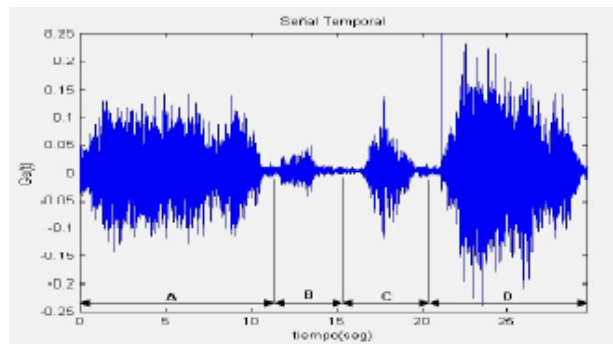
Existen varias técnicas aplicadas para el mantenimiento predictivo entre las cuales tenemos las siguientes:

#### **3.2.3.1 Análisis de vibraciones.**

El interés de de las Vibraciones Mecánicas llega al Mantenimiento Industrial de la mano del Mantenimiento Preventivo y Predictivo, con el interés de alerta que

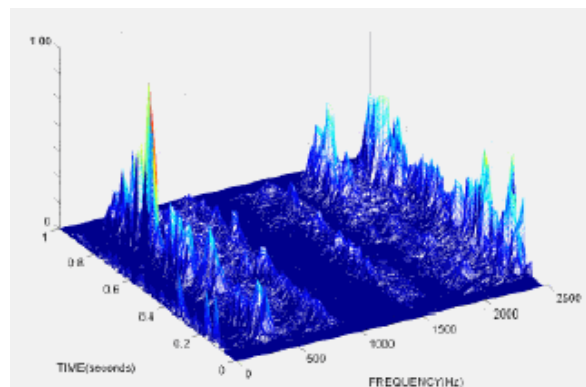
significa un elemento vibrante en una máquina, y la necesaria prevención de las fallas que traen las vibraciones a medio plazo.

Figura 7. Ejemplo de registro de vibraciones en un ciclo de trabajo de la pala



Fuente. <http://www.monografias.com/trabajos17/mantenimiento-predictivo/mantenimiento-predictivo.shtml>

Figura 8. Transformada Tiempo-Frecuencia.



Fuente. <http://www.monografias.com/trabajos17/mantenimiento-predictivo/mantenimiento-predictivo.shtml>

El interés principal para el mantenimiento deberá ser la identificación de las amplitudes predominantes de las vibraciones detectadas en el elemento o

máquina, la determinación de las causas de la vibración, y la corrección del problema que ellas representan. Las consecuencias de las vibraciones mecánicas son el aumento de los esfuerzos y las tensiones, pérdidas de energía, desgaste de materiales, y las más temidas: daños por fatiga de los materiales, además de ruidos molestos en el ambiente laboral, etc.

- **Parámetros de las vibraciones.**

- **Frecuencia:** Es el tiempo necesario para completar un ciclo vibratorio. En los estudios de Vibración se usan los CPM (ciclos por segundo) o HZ (hercios).
- **Desplazamiento:** Es la distancia total que describe el elemento vibrante, desde un extremo al otro de su movimiento.
- **Velocidad y Aceleración:** Como valor relacional de los anteriores.
- **Dirección:** Las vibraciones pueden producirse en 3 direcciones lineales y 3 rotacionales

- **Tipos de vibraciones.**

- **Vibración libre:** causada por un sistema vibra debido a una excitación instantánea.
- **Vibración forzada:** causada por un sistema vibra debida a una excitación constante las causas de las vibraciones mecánicas.

A continuación se detallan las razones más habituales por las que una máquina o elemento de la misma puede llegar a vibrar.

- Vibración debida al Desequilibrado (maquinaria rotativa).
- Vibración debida a la Falta de Alineamiento (maquinaria rotativa)
- Vibración debida a la Excentricidad (maquinaria rotativa).
- Vibración debida a la Falla de Rodamientos y cojinetes.

- Vibración debida a problemas de engranajes y correas de Transmisión (holguras, falta de lubricación, roces, etc.)

### 3.2.3.2 Análisis de lubricantes.

Estos se ejecutan dependiendo de la necesidad, según:

- **Análisis Iniciales:** se realizan a productos de aquellos equipos que presenten dudas provenientes de los resultados del Estudio de Lubricación y permiten correcciones en la selección del producto, motivadas a cambios en condiciones de operación.
- **Análisis Rutinarios:** aplican para equipos considerados como críticos o de gran capacidad, en los cuales se define una frecuencia de muestreo, siendo el objetivo principal de los análisis la determinación del estado del aceite, nivel de desgaste y contaminación entre otros.
- **Análisis de Emergencia:** se efectúan para detectar cualquier anomalía en el equipo y/o Lubricante, según:
  - Contaminación con agua
  - Sólidos (filtros y sellos defectuosos).
  - Uso de un producto inadecuado
- **Equipos**
  - Bombas de extracción
  - Envases para muestras
  - Etiquetas de identificación
  - Formatos

Este método asegura que tendremos:

- Máxima reducción de los costos operativos.
- Máxima vida útil de los componentes con mínimo desgaste.

- Máximo aprovechamiento del lubricante utilizado.
- Mínima generación de efluentes.

En cada muestra podemos conseguir o estudiar los siguientes factores que afectan a nuestra máquina:

- Elementos de desgaste: Hierro, Cromo, Molibdeno, Aluminio, Cobre, Estaño, Plomo.
- Conteo de partículas: Determinación de la limpieza, ferrografía.
- Contaminantes: Silicio, Sodio, Agua, Combustible, Hollín, Oxidación, Nitración, Sulfatos, Nitratos.
- Aditivos y condiciones del lubricante: Magnesio, Calcio, Zinc, Fósforo, Boro, Azufre, Viscosidad.
- Gráficos e historial: Para la evaluación de las tendencias a lo largo del tiempo.

De este modo, mediante la implementación de técnicas ampliamente investigadas y experimentadas, y con la utilización de equipos de la más avanzada tecnología, se logrará disminuir drásticamente:

- Tiempo perdido en producción en razón de desperfectos mecánicos.
- Desgaste de las máquinas y sus componentes.
- Horas hombre dedicadas al mantenimiento.
- Consumo general de lubricantes

### **3.2.3.3 Análisis por ultrasonido.**

Este método estudia las ondas de sonido de baja frecuencia producidas por los equipos que no son perceptibles por el oído humano.

- **Ultrasonido pasivo:** Es producido por mecanismos rotantes, fugas de fluido, pérdidas de vacío, y arcos eléctricos. Pudiéndose detectarlo mediante la tecnología apropiada.

El Ultrasonido permite:

- Detección de fricción en máquinas rotativas.
- Detección de fallas y/o fugas en válvulas.
- Detección de fugas de fluidos.
- Pérdidas de vacío.
- Detección de "arco eléctrico".
- Verificación de la integridad de juntas de recintos estancos.

Se denomina Ultrasonido Pasivo a la tecnología que permite captar el ultrasonido producido por diversas fuentes.

El sonido cuya frecuencia está por encima del rango de captación del oído humano (20-a-20.000 Hertz) se considera ultrasonido. Casi todas las fricciones mecánicas, arcos eléctricos y fugas de presión no vacío producen ultrasonido en un rango aproximado a los 40 Khz Frecuencia con características muy aprovechables en el Mantenimiento Predictivo, puesto que las ondas sonoras son de corta longitud atenuándose rápidamente sin producir rebotes. Por esta razón, el ruido ambiental por más intenso que sea, no interfiere en la detección del ultrasonido.

Además, la alta direccionalidad del ultrasonido en 40 Khz. permite con rapidez y precisión la ubicación de la falla.

La aplicación del análisis por ultrasonido se hace indispensable especialmente en la detección de fallas existentes en equipos rotantes que giran a velocidades inferiores a las 300 RPM, donde la técnica de medición de vibraciones se transforma en un procedimiento ineficiente.

De modo que la medición de ultrasonido es en ocasiones complementaria con la medición de vibraciones, que se utiliza eficientemente sobre equipos rotantes que giran a velocidades superiores a las 300 RPM.

Al igual que en el resto del mundo industrializado, la actividad industrial en nuestro País tiene la imperiosa necesidad de lograr el perfil competitivo que le permita insertarse en la economía globalizada. En consecuencia, toda tecnología orientada al ahorro de energía y/o mano de obra es de especial interés para cualquier Empresa.

#### **3.2.3.4 Termografía.**

La Termografía Infrarroja es una técnica que permite, a distancia y sin ningún contacto, medir y visualizar temperaturas de superficie con precisión.

Los ojos humanos no son sensibles a la radiación infrarroja emitida por un objeto, pero las cámaras termográficas, o de termovisión, son capaces de medir la energía con sensores infrarrojos, capacitados para "ver" en estas longitudes de onda. Esto nos permite medir la energía radiante emitida por objetos y, por consiguiente, determinar la temperatura de la superficie a distancia, en tiempo real y sin contacto.

La gran mayoría de los problemas y averías en el entorno industrial - ya sea de tipo mecánico, eléctrico y de fabricación - están precedidos por cambios de temperatura que pueden ser detectados mediante la monitorización de temperatura con sistema de Termovisión por Infrarrojos. Con la implementación de programas de inspecciones termográficas en instalaciones, maquinaria, cuadros eléctricos, etc. es posible minimizar el riesgo de una falla de equipos y sus consecuencias, a la vez que también ofrece una herramienta para el control de calidad de las reparaciones efectuadas.

El análisis mediante Termografía infrarroja debe complementarse con otras técnicas y sistemas de ensayos conocidos, como pueden ser el análisis de aceites lubricantes, el análisis de vibraciones, los ultrasonidos pasivos y el análisis predictivo en motores eléctricos. Pueden añadirse los ensayos no destructivos clásicos: ensayos, radiográfico, el ultrasonido activo, partículas magnéticas, etc.

El análisis mediante Cámaras Termográficas Infrarrojas, está recomendado para:

- Instalaciones y líneas eléctricas de Alta y Baja Tensión.
- Cuadros, conexiones, bornes, transformadores, fusibles y empalmes eléctricos.
- Motores eléctricos, generadores, bobinados, etc.
- Reductores, frenos, rodamientos, acoplamientos y embragues mecánicos.
- Hornos, calderas e intercambiadores de calor.
- Instalaciones de climatización.
- Líneas de producción, corte, prensado, forja, tratamientos térmicos.

El método de análisis sin detención de procesos productivos, ahorra gastos.

- Baja peligrosidad para el operario por evitar la necesidad de contacto con el equipo.
- Determinación exacta de puntos deficientes en una línea de proceso.
- Reduce el tiempo de reparación por la localización precisa de la Falla.
- Facilita informes muy precisos al personal de mantenimiento.
- Ayuda al seguimiento de las reparaciones previas.

### **3.2.3.5 Análisis por árbol de fallas.**

El Análisis por Árboles de Fallos (AAF), es una técnica deductiva que se centra en un suceso accidental particular (accidente) y proporciona un método para

determinar las causas que han producido dicho accidente. Nació en la década de los años 60 para la verificación de la fiabilidad de diseño del cohete Minuteman y ha sido ampliamente utilizado en el campo nuclear y químico. El hecho de su gran utilización se basa en que puede proporcionar resultados tanto cualitativos mediante la búsqueda de caminos críticos, como cuantitativos, en términos de probabilidad de fallos de componentes.

Para el tratamiento del problema se utiliza un modelo gráfico que muestra las distintas combinaciones de fallos de componentes y/o errores humanos cuya ocurrencia simultánea es suficiente para desembocar en un suceso accidental.

La técnica consiste en un proceso deductivo basado en las leyes del Álgebra de Boole, que permite determinar la expresión de sucesos complejos estudiados en función de los fallos básicos de los elementos que intervienen en él.

Consiste en descomponer sistemáticamente un suceso complejo (por ejemplo rotura de un depósito de almacenamiento de amoníaco) en sucesos intermedios hasta llegar a sucesos básicos, ligados normalmente a fallos de componentes, errores humanos, errores operativos, etc. Este proceso se realiza enlazando dichos tipos de sucesos mediante lo que se denomina puertas lógicas que representan los operadores del álgebra de sucesos.

Cada uno de estos aspectos se representa gráficamente durante la elaboración del árbol mediante diferentes símbolos que representan los tipos de sucesos, las puertas lógicas y las transferencias o desarrollos posteriores del árbol.

### **3.2.3.6 Análisis FMECA.**

Otra útil técnica para la eliminación de las características de diseño deficientes es el análisis de los modos y efectos de fallos (FMEA); o análisis de modos de fallos y efectos críticos (FMECA)

La intención es identificar las áreas o ensambles que es más probable que den lugar a fallos del conjunto.

El FMECA define la función como la tarea que realiza un componente --por ejemplo, la función de una válvula es abrir y cerrar-- y los modos de fallo son las formas en las que el componente puede fallar. La válvula fallará en la apertura si se rompe su resorte, pero también puede tropezar en su guía o mantenerse en posición de abierta por la leva debido a una rotura en la correa de árbol de levas.

La técnica consiste en evaluar tres aspectos del sistema y su operación:

- Condiciones anticipadas de operación, y el fallo más probable.
- Efecto de fallo en el rendimiento.
- Severidad del fallo en el mecanismo.

La probabilidad de fallos se evalúa generalmente en una escala de 1 a 10, con la criticidad aumentando con el valor del número. Esta técnica es útil para evaluar soluciones alternativas a un problema pero no es fácil de usar con precisión en nuevos diseños.

El FMECA es útil para evaluar si hay en un ensamble un número innecesario de componentes puesto que la interacción de un ensamble con otro multiplicará los efectos de un fallo. Es igualmente útil para analizar el producto y el equipo que se utiliza para producirlo.

El FMECA, ayuda en la identificación de los modos de fallo que es probable que causen problemas de uso del producto. Ayuda también a eliminar debilidades o

complicaciones excesivas del diseño, y a identificar los componentes que pueden fallar con mayor probabilidad. Su empleo no debe confinarse al producto que se desarrolla por el grupo de trabajo. Puede también usarse eficazmente para evaluar las causas de parada en las máquinas de producción antes de completar el diseño.

#### **4. RESTABLECIMIENTO DE FUNCIONES DE EQUIPOS**

En la actualidad, muchas de las funciones del diseño inicial de la planta se encuentran deshabilitadas, esto causa una baja sensible en el desempeño de la misma comprometiendo en muchos casos la calidad final del agua que debe ser entregada al proceso.

La causa principal de las fallas, deterioro y salida de funcionamiento de equipos en la Planta de Tratamiento de Agua (PTA), es por abandono, por falta de repuestos y por falta de un programa de mantenimiento estructurado.

Es necesario que la PTA retorne a sus condiciones iniciales (de diseño) de operación, una vez esto ocurra se tendrán los argumentos básicos para poder clasificar sus componentes según su criticidad lo que será el primer paso para la implementación de mantenimiento preventivo y predictivo. Esto se obtendrá realizando una serie de análisis y actividades descritas a continuación:

- Diagnóstico de cada equipo
- Interpretación de listas de chequeo
- Determinar Criticidad de equipos
- Planeación de la recuperación
- Puesta en marcha

#### **4.1 DIAGNÓSTICO DE CADA EQUIPO**

Es indispensable para un buen comienzo de la recuperación de equipos, recoger y analizar datos disponibles con el fin de evaluar el estado actual y definir las acciones a seguir para cada equipo, si los datos no están disponibles se deberá recurrir a catálogos, fichas técnicas y documentación de estos equipos o equipos similares que normalmente dan indicaciones sobre los síntomas y acciones a tomar en caso de algunas fallas generales (trouble shouting).

El diagnóstico debe realizarse a todos los equipos de cada sistema, teniendo en cuenta que los sistemas son los siguientes:

1. Fosos de laminilla.
2. Desnatador de aceite.
3. Tanque de almacenamiento de aceite de desecho.
4. Pozo de agua caliente
5. Bombas centrífugas verticales tipo turbina para suministro de agua a filtros.  
(bombas de agua caliente)
6. Filtros presurizados multimedia
7. Aire de agitación.
8. Torre de enfriamiento.
9. Pozo de agua fría.
10. Bombas centrífugas verticales tipo turbina para suministro de agua limpia al tren. (bombas agua fría)
11. Tanque de retención de agua de lavado de filtro a contracorriente.
12. Bombas para transferencia de agua obtenida del lavado de filtros.
13. Tanque espesador de lodos.
14. Bombas de lodos.
15. Filtros de vacío.
16. Sistema de control.

17. Sistema de alimentadores de químicos para el control de corrosividad, alcalinidad y crecimiento de algas en el agua.

Con el fin de tener una forma más sencilla de realizar el diagnóstico, los equipos se dividen en cuatro grandes grupos, cada grupo busca seguir una rutina similar de inspección y de recopilación de información.


Los grupos que se definieron son los siguientes:

1. Motores
2. Bombas
3. Filtros
4. Conjuntos mecánicos

Para cada grupo se diseñarán listas de chequeo que abarquen todas las variables que comprometan correcto funcionamiento de los equipos en cuestión

En la siguiente figura se muestra un ejemplo de lista de chequeo para un motor y sus instalaciones. De la misma forma se diseñará para cada uno de los grupos.

Figura 9. Lista de chequeo para motores y sus instalaciones eléctricas

	VSPDR		Código:	
	Documento de Datos		Revisión:	1.0
	Título: FORMATO LISTA DE CHEQUEO		Área:	
	MOTORES Y SUS INSTALACIONES ELECTRICAS		Páginas:	1 de 1
ITEM	DESCRIPCIÓN	ESTADO	OBSERVACIONES/ACCION CORRECTIVA	No. FOTO
1	Funciona			
2	Estado visual del motor			
3	Limpieza del motor			
4	Temperatura en el motor			
5	Vibracion en el motor			
6	Estado de la acometida electrica y puesta a tierra del motor			
7	Estado de la tuberia/bandejas de conduccion cables			
8	Estado externo del tablero de control/arrancador			
9	Estado interno del tablero de control/arrancador			
10	Estado de la base del motor			
11				
12				
13				
14				
<b>OBSERVACIONES GENERALES:</b>				
<b>CONVENCIONES</b>				
B	Bueno.	Condicion/estado aceptable		
R	Regular.	Revisar condición de estado		
M	Malo.	Necesita intervencion inmediata		
	NA: No Aplica.			
<b>NOMBRE INSPECTOR</b>		<b>Vo. Bo.</b>		<b>FECHA</b>

Fuente. El autor

#### 4.1.1 Listas de chequeo<sup>1</sup>

Es de vital importancia entender qué es una lista de chequeo y cuál es su aplicabilidad. Existen muchos formatos de listas de chequeo para diversas actividades ó equipos, sin que esto quiera decir que se pueda tomar una de estas y aplicarla en un equipo ó actividad similar, ya que, esto es un error. Se puede basar en el modelo, pero la lista de chequeo debe ser particular.

- **Paso 1:** se debe definir primero quién la elaborará (debe ser una persona idónea) y para qué se quiere hacer la lista de chequeo, que se busca con esto, cuál sería su aplicabilidad. Se debe definir una única actividad ó una única máquina, a fin que la lista de chequeo no sea extensa, no es aconsejable tener listas de chequeo con más de 10 ó 12 ítems. Una vez definido esto, se puede buscar modelos, analizarlos y escoger el que más convenga ó hacer un híbrido de estos según el caso.
- **Paso 2:** Observar el proceso, actividad ó equipo, en su normal desempeño e ir detectando y registrando los peligros que se van presentando. Esta observación es necesario hacerla durante toda la actividad y operación e incluso en días diferentes ya que las condiciones varían muchas veces de un día a otro.
- **Paso 3:** El trabajador que opera la máquina, equipo, herramienta ó que realiza una actividad específica, posee experiencia importante que debemos aprovechar. Por lo tanto es necesario preguntarle sobre los peligros que él detecta e igualmente comentarle sobre los peligros que

---

<sup>1</sup> Lista de chequeo. (Citado el 09 de octubre de 2010)

Disponible en <<http://www.manceras.com.co/artchecklist.pdf>>

quien está elaborando la lista de chequeo ha detectado para tener su opinión.

- **Paso 4:** El supervisor es una persona que igualmente conoce los procesos y las dificultades que se presentan en ellos, por eso es necesario obtener toda la información posible, mediante preguntas al respecto.
- **Paso 5:** Analizar toda la información e ir haciendo un listado describiendo los ítems que conformarán la lista de chequeo.
- **Paso 6:** Filtrar la lista donde aparecen los ítems descritos, es decir, anular aquellas que se han repetido ó unir en una varias que no se requiere que aparezcan individualmente.
- **Paso 7:** Establecer el formato que queremos utilizar y hacer un pequeño manual de instrucciones. Es necesario que se disponga de un encabezado, donde aparezca el nombre de la empresa, sección de trabajo. Máquina, equipo, herramienta ó actividad (una sola por lista de chequeo). Fecha, responsable. La lista de chequeo como tal deberá contener al menos un número consecutivo para los ítems a evaluar que no sean más de 12, descripción del ítem, evaluación del ítem que no implique cálculos sino que sea algo de fácil aplicación como por ejemplo decir si es aceptable o no aceptable la condición evaluada. Observaciones y recomendaciones. Se puede adicionalmente establecer índices comparativos entre las condiciones aceptables y no aceptables.
- **Paso 8:** Realizar una prueba piloto con el formato y manual de instrucciones, siendo aplicada por diferentes trabajadores.
- **Paso 9:** Realizar retroalimentación de toda la información, a fin de hacer ajustes de forma y contenido.
- **Paso 10:** Normalizar el formato a utilizar y aplicarlo de acuerdo con el cronograma que se establezca.
- **Paso 11:** Realizar retro alimentación periódica.

## **4.2 INTERPRETACION DE LISTAS DE CHEQUEO**

Después de tener elaboradas las listas de chequeo y aplicarlas sobre cada uno de los equipos de PTA, se debe:

- Organizar y evaluar la información
- Determinar viabilidad de la recuperación de cada uno de los equipos
  - Obsolescencia de repuestos
  - Costo de repuestos
  - Costo de mano de obra
  - Modificaciones de las condiciones iniciales de diseño
- Elaborar Diagnóstico de cada equipo, teniendo en cuenta los puntos inspeccionados.

## **4.3 CRITICIDAD DE EQUIPOS**

Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de optimizar el proceso de asignación de recursos (económicos humanos y técnicos).

Criticidad 1. Equipo absolutamente necesario para garantizar la continuidad de operación de la planta. Su falta ocasiona graves perjuicios al servicio.

Criticidad 2. Necesario para la operación de la planta, pero puede ser parcial o totalmente reemplazado.

Criticidad 3. No esencial para los procesos de la planta, fácilmente reemplazable.

#### **4.4 PLANEACIÓN DE RECUPERACION**

Siguiendo con las actividades establecidas para la recuperación de PTA, se procede a planear la forma de recuperar cada equipo, esto debe hacerse teniendo en cuenta que el orden de intervención lo determina la criticidad determinada.

Para lograr que la planeación tenga éxito se deben tener en cuenta aspectos como:

- Elaborar listado de actividades a ejecutar sobre cada grupo de equipos
- Definir listado de repuestos y materiales
- Especificar los recursos necesarios: mano de obra (Contratada o personal directo de mantenimiento), maquinaria, herramientas, etc.
- Construir Cronograma de actividades para la recuperación de PTA. (Microsoft Project).

Es importante que la información plasmada en la planeación sea muy real y con tiempos acertados que no permitan mala utilización de los recursos, pero que al mismo tiempo sean objetivamente realizables.

#### **4.5 EJECUCIÓN DE LA PLANEACION Y PUESTA EN MARCHA**

Al llevar a cabo la ejecución de la planeación establecida, se debe ser muy estricto con el cumplimiento de los tiempos fijados, ya que de esto depende el éxito de la recuperación de PTA. También se debe hacer seguimiento minucioso a todos los procedimientos de compras y de suministros de servicios.

Todos los trabajos programados serán ejecutados por personal de contrato, con el apoyo o supervisión del personal propio de la planta según corresponda (eléctrico o mecánico). Cada actividad realizada debe cumplir con las normas nacionales así como las normas internas de la planta.

En todas de las actividades programadas el cumplimiento de los servicios y la disponibilidad de los repuestos y equipos son indispensables, por tal motivo se debe contar con la logística y los recursos necesarios para cumplir con todo lo mencionado dentro de los tiempos fijados.

La puesta en marcha de cada uno de los equipos debe hacerse dentro de todas las normas de seguridad industrial y medio ambiente establecidas por la empresa PazdelRio. Así mismo dentro de todo criterio técnico que evite un funcionamiento inadecuado.

Cada equipo que sea recuperado debe ingresar inmediatamente en el programa de mantenimiento tanto preventivo como predictivo, esto debe ser realizado tal y como se indica en capítulos posteriores.

## **5. MODELO GERENCIAL PARA IMPLEMENTACION DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

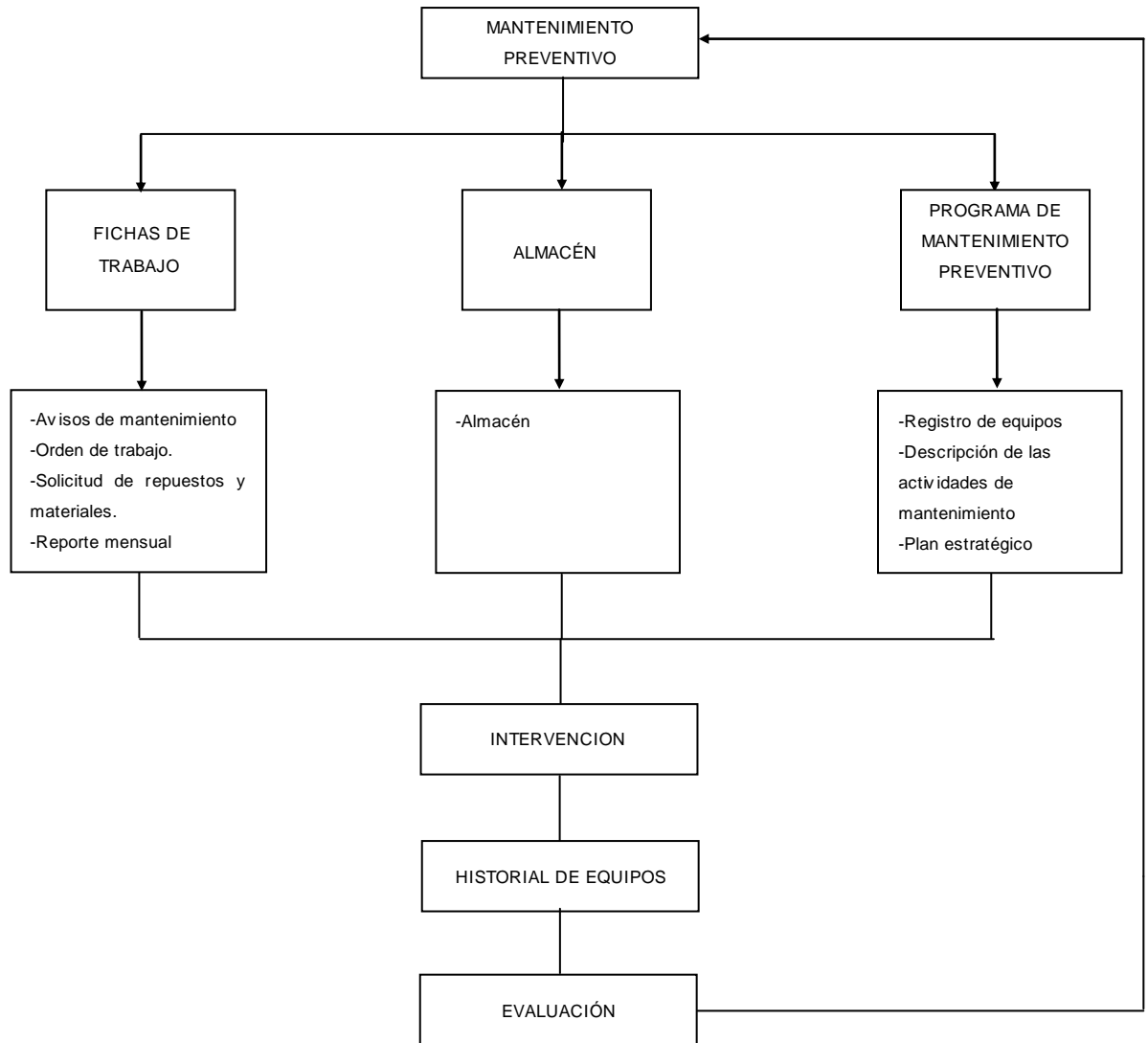
El programa de mantenimiento preventivo es una forma sistemática de control y reparación de una máquina destinada a prevenir daños. Su objetivo básico es garantizar la disponibilidad de la instalación para atender el programa de producción con calidad y productividad y asegurar costos adecuados.

Para elaborar el programa de mantenimiento preventivo, se deben tener en cuenta los siguientes ítems:

- Fichas de trabajo
- Manuales de Mantenimiento
- Almacén
- Programa de mantenimiento preventivo

En la siguiente figura se muestra cómo será el programa de mantenimiento preventivo para la planta de tratamiento de agua PTA.

Figura 10. Organización del mantenimiento preventivo



**Fuente.** Tomada y modificada por el autor de página de internet de mantenimiento<sup>2</sup>

## **5.1 FICHAS DE TRABAJO**

Son un soporte de trabajo que sirven de guía para realizar un nivel de intervención. Para la ejecución del programa de mantenimiento se necesita elaborar unas fichas que servirán para controlar, solicitar, reportar, etc, las actividades que se van a ejecutar, tenemos las siguientes:

- Avisos de mantenimiento
- Orden de trabajo
- Solicitud de repuestos y materiales
- Reporte semanal de mantenimiento
- Historial de los equipos

### **5.1.1 Avisos de mantenimiento**

Un aviso de mantenimiento es la primera herramienta que permite reaccionar frente a una condición subestándar de funcionamiento de cualquier equipo.

La mayor parte de los avisos generados son resultado de las inspecciones realizadas por el personal de mantenimiento, así mismo cualquier integrante del equipo de la compañía podrá reportar una anomalía mediante un aviso de mantenimiento.

---

<sup>2</sup> Tomado y modificado de Mantenimiento. (Citado el 11 de octubre de 2010)

Disponible en < <http://www.cepis.org.pe/bvsatr/fulltext/operacion/cap10.pdf>>

Todo aviso debe generar una orden de trabajo ya sea de mantenimiento o de verificación.

### **5.1.2 Orden de trabajo**

Las órdenes de trabajo son generadas por avisos o por órdenes rutinarias de mantenimiento. Estas órdenes deben incluir: descripción de las actividades, prioridad, cantidad de repuestos, equipos, herramientas, mano de obra, tiempo de ejecución estimado y fechas de ejecución.

### **5.1.3 Creación de avisos y órdenes de mantenimiento en SAP**

La empresa PazdelRio Votorantim cuenta con un sistema de planificación de recursos (SAP ERP) con un módulo de mantenimiento que permite ingresar avisos y generar órdenes de trabajo entre otras aplicaciones.

El procedimiento para ingresar dichos avisos y generar las respectivas órdenes de trabajo se muestra a continuación.

- **Creación de aviso y orden a partir de solicitud de trabajo**
  - **Aviso tipo M1 – Solicitud de trabajo**

Figura 11. Aviso tipo M1

The screenshot displays the SAP M1 incident report interface. At the top, a toolbar contains various icons, with a red box labeled '2' highlighting the 'Interlocutor' icon. Below the toolbar, the incident header shows 'Aviso' 11723188, 'M1', and the title 'Revisar fuga lubricacion cargador 14-429'. A red box labeled '1' highlights the 'Aviso' field, and another labeled '3' highlights the title. The 'Status' is 'MEAB' and 'Orden' is empty. A red box labeled '11' highlights the 'Orden' field. Below the header, a navigation bar includes 'Solicitud', 'Datos de localización', 'Item', and 'Eventos'. The 'Objeto de referencia' section lists 'Ubic.técn.' as '7011-AU-05-CAR00', 'Equipo' as '70069655', and 'Cargador' as 'Cargador'. A red box labeled '4' highlights the 'Cargador' field. The 'Circunstancias' section contains a description 'Revisar fuga lubricacion cargador 14-429' and a detailed text area with a red box labeled '5' highlighting the text. The 'Responsabilidades' section lists 'Grupo planif.' as 'PAU / 7801', 'Pto.tbjo.resp.' as 'AUMESU / 7801', and 'Autor del aviso' as 'Julio C.' with a red box labeled '8'. The 'Fechas extremas' section shows 'Inicio deseado' as '28.08.2010 07:30:36' and 'Fin deseado' as '28.08.2010 09:30:58'. A red box labeled '9' highlights the 'Prioridad' dropdown menu, which is open to show options: '3 3-Normal', '1 1-Emergencia', '2 2-Crítico', and '3 3-Normal'. The 'Posición' section shows 'Parte objeto' as 'PMSINT' and 'SHID' under 'HIDRÁULICO'. A red box labeled '1' highlights the 'Parte objeto' field. A 'Selección catálogo' window is open, showing a tree structure with 'Sint. avería' and 'PMSINT' expanded, listing categories like 'SAUT', 'SCIV', 'SELE', 'SHID', 'SINS', 'SMEC', and 'SPNE'.

Fuente. El autor, tomado de SAP PazdelRio

- **Orden de trabajo**

Figura 12. Creación de OT a partir de aviso M1



Fuente. El autor, tomado de SAP PazdelRio

- **Creacion de aviso y orden a partir de nota de operación**
  - **Aviso tipo M2 – Nota de operación**

Figura 13. Aviso tipo M2

Visualizar aviso-MT: Nota de Operación

Nuevamente en trat.

Aviso: 1723189 M2 Engrase-agregado aceites cargador 14-429

Status: MECE

Solicitud

Objeto de referencia

Ubic.técn.	7011-AU-05-CAR00	Cargadores
Equipo	70069655	Cargador
Conjunto		

Circunstancias

Descripción: Engrase-agregado aceites cargador 14-429

Circunst.txt.explic.

engrasaron los bujes del mecanismo de levante y se agregaron 2 gal. de aceite al motor diesel del cargador #14-429 Trabajo realizado el 27 Agosto de 2010 por el Operador Andres Rodríguez. Cel. 3108787867

Responsabilidades

Grupo planif.	PAU / 7801	Planif Automotores
Pto.tbjo.resp.	AUMESU / 7801	Supervisor Mecanico Automotores
Dpto.responsabl		
Responsable		
Autor del aviso	JULIO CASTAÑ	Fecha de aviso: 27.08.2010 08:34:39

Fuente. El autor, tomado de SAP PazdelRio

- **Crear orden de ocurrencia-reactivo = Genera aviso tipo M3**  
**Las solicitudes de trabajo reactivo se deben crear desde la orden de tipo L001 (automaticamente este genera el tipo de aviso M3).**

Figura 14. Aviso M3

**Crear Orden Correctiva: Acceso**

Datos cab.

Cl.orden	L001	
Prioridad	1 1-Emergencia	
Ubic.téc.	7011-AU-05-CAR00	Cargadores
Equipo	70062141	Cargador
Conjunto		
Ce.planif.	7801	
División	7037	

1 1-Emergencia

2 2-Critico

3 3-Normal

Fuente. El autor, tomado de SAP PazdelRio

Figura 15. Aviso M3

Orden Tratar Pasara Detalles Entorno Sistema Ayuda

**Modificar Orden Correctiva 43396301: Cabecera central**

**Cierre comercial**

Orden: L001 43396301    Reparar motor diesel cargador 14-415

Stat.sist.: LIB. KKMP NLIQ PREC

**Datos cab.**    Oper.    Componentes    Costes    Interloc.    Objetos    Datos adic.    Emplaz.    Planific.    Control

<b>Responsable</b>		Aviso: 11723205	
Gpo.plan.	PAU / 7801    Planif Automotores	Costes	0    COP
Rs.pto.tr.	AUMESU / 7801    Supervisor Mecan...	Cl.actv.PM	A02    Inmediata s/pe...
		EstdInstal	<input type="checkbox"/>
		Dirección	

<b>Fechas</b>		Prioridad: 1 1-Emergencia	
Inic.extr.	01.09.2010	Revisión	
Fin extr.	03.09.2010		

<b>Objeto de referencia</b>		Cargadores	
Ubic.téc.	7011-AU-05-CAR00	Cargador	
Equipo	70062141		
Conjunto			

**Restricciones**

Clase de actividad de mantenier

A...	Denominación de AMA
A01	Inmediata c/perdida producción
A02	Inmediata s/perdida producción
A09	Programable

Fuente. El autor, tomado de SAP PazdelRio

Figura 16. Aviso M3

The screenshot displays the SAP M3 interface for a corrective order. The title bar reads "Modif.Orden Correctiva 43396301: Resumen operaciones". The main area shows the order details: "Orden L001 43396301" and "Reparar motor diesel cargador 14-415". Below this, a table lists the operation details.

Op.	SOp	PstoTbjo	Ce...	Cla...	Clv.mod	E...	Txt.brj.operación	TE	Tr
0010		AUME	7801	PM01			Reparar motor diesel cargador 14-415		

Fuente. El autor, tomado de SAP PazdelRio

Figura 17. Notificar orden

## Notificación de orden MT registrar : Datos reales

	Movimientos de mercancías		Mensaje		Lista de objetos		Documentos medición	
Orden	43396301	Reparar motor diesel cargador 14-415						
Operación	0010	Reparar motor diesel cargador 14-415						
Status sistema	NOTP CTEC							
<b>Datos de notificación</b>								
Notificación	37613150							
Puesto trabajo	AUME	7801	Mecanico Automotores					
N° personal	00163145			CC-nómina				
Trabajo real		8	H	Clase actividad	MAN	Fecha contab.	03.09.2010	
		<input type="checkbox"/> Notif.final		<input type="checkbox"/> Sin tbjo.rest.		Criterio cálc.		
		<input type="checkbox"/> Comp.reservas		Tbjo.restante		0,00 H		
Inicio trabajo	01.09.2010	20:00:00		Dur.real notif.		0,0 H		
Fin trabajo	02.09.2010	04:00:00		Fin pronóstico		24:00:00		
Mot. desviac.								
Texto notific.							<input type="checkbox"/> Existe bt.expl.	
<b>Datos de notificación totales</b>								
Trbj.real acum.	13,500		H	Durac.real	1,8		H	
Pronóst.trabajo	13,5		H	Dur.planif.	0,0		H	
Inicio real	01.09.2010	20:00:00		Fin real	02.09.2010	09:30:00		

Fuente. El autor, tomado de SAP PazdelRio

Figura 18. Cierre técnico

The screenshot shows the SAP 'Modificar Orden Correctiva' (Modify Corrective Order) interface. The main title is 'Modificar Orden Correctiva 43396301: Cabecera central'. The order details are as follows:

Orden	L001 43396301	Reparar motor diesel cargador 14-415
Stat.sist.	LIB. NOTP DMNV KKMP NLIQ PREC	

The 'Concluir' (Close) dialog box is open, showing the following fields:

- Fecha de referencia: 02.09.2010
- Hora de referencia: 01:07:55
- Concluir mensajes

The 'Aviso' (Notice) section is active, with the 'Fechas aviso' (Notice Dates) tab selected. It contains the following data:

IniAvería	01.09.2010	20:00:00	<input checked="" type="checkbox"/> Parada
FinAvería	02.09.2010	09:30:00	Duración parada 13,50 H

At the bottom of the dialog, there is a 'Lista de empleos' (Employee List) button with a checkmark icon and a close button with an 'X' icon.

Fuente. El autor, tomado de SAP PazdelRio

- **Aviso Tipo M4 y Orden de Trabajo**
  - **Aviso tipo M4 – Nota de inspección**

Figura 19. Aviso tipo M4

The screenshot shows the SAP PM 'Modificar aviso-MT: Nota de Inspección' interface. The callouts point to the following elements:

- 1:** Points to the 'Interlocutor' icon and the 'Aviso' field.
- 2:** Points to the 'Cargar' (load) icon.
- 3:** Points to the 'Status' field.
- 4:** Points to the 'Objeto de referencia' section.
- 5:** Points to the 'Circunstancias' text area.
- 6:** Points to the 'Grupo planif.' field.
- 7:** Points to the 'Pto.tbjo.resp.' field.
- 8:** Points to the 'Autor del aviso' field.
- 9:** Points to the 'Fecha de aviso' field.

The 'Objeto de referencia' section contains:

Ubic.téc.	7011-LL-20-PGL12-...	MOTOR LEVTO/PPAL.
Equipo		
Conjunto		

The 'Circunstancias' section contains:

Descripción: Cambiar escobill.motor lev.grúa I-12

Circunst.bt.explic.  
De acuerdo a Plan de Inspección #4520 de puente grúa I-12: estan cortas 3 escobillas en el brazo portaescobillas superior del motor sistema levantamiento principal. Analista Eléctrico: Camilo Cardozo. Cel. 3203456756

The 'Responsabilidades' section contains:

Grupo planif.	PLL / 7801	Anal. Lam. Largos
Pto.tbjo.resp.	LLAVIPYG / 7801	Analista verificador insp. Mecanico PYG
Dpto.responsabl		
Responsable		
Autor del aviso	CAMILO C.	Fecha de aviso 30.08.2010 16:46:16

The 'Fechas extremas' section contains:

Inicio deseado	31.08.2010 16:48:07	Prioridad
Fin deseado	06.09.2010 16:48:07	

The priority dropdown menu is open, showing:

- 1 1-Emergencia
- 1 ←-Emergencia
- 2 2-Crítico
- 3 3-Normal

Fuente. El autor, tomado de SAP PazdelRio

Figura 20. Aviso tipo M4

Orden Tratar Pasara Detalles Entorno Sistema Ayuda

**Modificar Orden Correctiva 43396302: Cabecera central**

Cierre comercial

Orden L001 43396302 Cambiar escobill.motor lev.grúa I-12

Stat.sist. LIB. DMNV FENA KKMP NLIQ PREC

Datos cab. Oper. Componentes Costes Interloc. Objetos Datos adic. Emplaz. Planific. Control

Responsable: Gpo.plan. PLL / 7801 Planif Lam. Largos; Rs.pto.tr. LLAVIPYG / 7801 Analista verificado...

Aviso 11723196; Costes 0 COP; Cl.actv.PM A02 Inmediata s/pe...; EstdInstal; Dirección

Fechas: Inic.extr. 31.08.2010; Fin extr. 06.09.2010; Prioridad 11-Emergencia; Revisión

Objeto de referencia: Ubic.téc. 7011-LL-20-PGL12-... MOTOR LEVTO/PPAL.

Clase de actividad de mantenimiento: Restricciones

Denominación de AMA: A01 Inmediata c/perdida producción; A02 Inmediata s/perdida producción; A09 Programable

Orden Tratar Pasara Detalles Entorno Sistema Ayuda

**Modif.Orden Correctiva 43396302: Resumen operaciones**

Cierre comercial

Orden L001 43396302 Cambiar escobill.motor lev.grúa I-12

Stat.sist. LIB. DMNV FENA KKMP NLIQ PREC

Datos cab. Oper. Componentes Costes Interloc. Objetos Datos adic. Emplaz. Planific. Control

Op.	SOp	PstoTbjo	Ce...	Cla...	Clv.mod	E...	Txt.br.v.operación	TE	Trabajo	Un	C...	Dur.
0010		LLELMOR	7801	PM01			Cambiar escobill.motor lev.grúa I-12		1,0H	1		1,0

Fuente. El autor, tomado de SAP PazdelRio

### **5.1.3 Solicitud de repuestos y materiales**

Para proveer de materiales y repuestos al personal de mantenimiento se debe:

#### **5.1.3.1 Requisición (solicitud)**

Llenar el formato de “Requisición (Solicitud)”, mostrado en la siguiente figura, donde se debe consignar lo siguiente:

- Fecha de elaboración
- Planta que solicita
- Quien solicita
- Descripción abreviada del material
- Cada uno de los ítems a solicitar, con código de SAP y el valor unitario.
- Valor estimado de la requisición
- Nombre del usuario
- Nombre, firma del director de planta

En la otra hoja del formato se debe consignar:

- Descripción completa de lo solicitado
- Equipo que es beneficiado con los repuestos
- Influencia de los repuestos en el sistema productivo
- Fecha de la posible utilización
- Fecha hasta la cual lo solicitado cubre las necesidades
- Comentarios y observaciones generales

Figura 21. Formato de requisición página 1

<b>ACERÍAS PAZ DEL RÍO S.A.</b>				REFERENCIA A: (SOLICITUD USUARIO)	CÓDIGO PLANTA	NÚMERO SOLICITUD	NÚMERO REQUISICIÓN	
DIVISIÓN MATERIALES				REFERENCIA B: (CÓDIGO MAQUINARIA)				
FORMA 404/V1.5								
REQUISICION (SOLICITUD)								
FECHA DE ELABORACIÓN			SIGLA DE USUARIO	USUARIO		CENTRO DE COSTOS	ENTREGA MATERIAL	
DD	MM	AA					MES AÑO	
01	09	2009	LM	Recuperación planta tratamiento de agua morgan				
CLASE DE REQUISICIÓN	TIPO DE REQUISICIÓN		TIPO DE MATERIAL		REQUIERE CONTROL CALIDAD BELENCTO	VALOR ESTIMADO REQUISICIÓN	PROYECTO DE INVERSIÓN Nº (O REPARACIÓN MAYOR)	
<input type="checkbox"/> REGIONAL <input type="checkbox"/> NACIONAL <input type="checkbox"/> IMPORTACION	<input type="checkbox"/> PROYECTO <input type="checkbox"/> USO DIRECTO <input type="checkbox"/> ENSAYO	<input type="checkbox"/> REPARACIÓN <input type="checkbox"/> ORDINARIO	<input type="checkbox"/> REPUESTOS <input type="checkbox"/> EQUIPOS	<input type="checkbox"/> MATERIAS PRIMAS <input type="checkbox"/> USO GENERAL	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	\$ <b>42.501.500</b>		
PREPARO			DESCRIPCIÓN ABREVIADA DEL MATERIAL					
Sonia Yaneth Vargas								
ÍTEM	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN MATERIAL			ALM.	VALOR UNITARIO	U.M.	CANTIDAD
1	1915908	VALVULA MARIPOSA DIAMETRO 14 PULG, TIPO WAFER, RANGO DE TEMPERATURA DE -29 A 120°C, PRESION MÁXIMA 150 PSI, CONEXION ANSI 150. INCLUYE TUBO NEUMÁTICO CON ACCIONAMIENTO DE DOBLE EFECTO, POSICIONADOR ELECTRONEUMÁTICO REF VRC DE 4 A 20 MA. MARCA BRAY				\$ 7.250.000	CU	2
2	1915909	TRANSMISOR DE PRESION DIFERENCIAL CON COMUNICACIÓN HART, RANGO DE MEDIDA DE -100 A 100 mbar. Calibrado a 20 mbar. REFERENCIA: DELTABAR S PMD70-ABC7D1BBAA. MARCA: ENDRESS & HAUSER.				\$ 4.250.000	CU	4
3	1915910	TRANSMISOR DE PRESION DIFERENCIAL CON COMUNICACIÓN HART, RANGO DE MEDIDA DE -3 A 3 BAR. REFERENCIA: DELTABAR S PMD70-ABC7H1BBAA. MARCA: ENDRESS & HAUSER.				\$ 4.150.000	CU	2
4	1916034	SENSOR DE POSICIÓN INDUCTIVO MARCA BRAY SERIE 52. CONECTOR DE 4 PINES CON CABLE. NORMALMENTE ABIERTO. RANGO DE VOLTAJE 10-20 VDC. CORRIENTE DE CARGA 200MA. BANDEJA PORTACABLES - LAMINA DE ACERO COLD ROLLED, GALVANIZADA EN CALIENTE - 30 CM DE ANCHO - CALIBRE 16, DE 10 CM DE ALTO, TIPO ESCALERA, CON 2 PLATINAS DE UNION Y TORNILLOS CARRIAJE 1/4 X 1/2 PULG Y TUERCAS EXAGONALES - 2400 MM DE LONGITUD, CON 2 TAPAS EN LAMINA DE ACERO COLD ROLLED, GALVANIZADA EN CALIENTE, CALIBRE 18, DOS AGUAS - 1200 MM DE LONGITUD Y GRAPAS DE CIERRE.				\$ 394.000	CU	6
5	1897084	CONDULETA A PRUEBA DE AGUA E INTEMPERIE. NEMA 4X. DE ALUMINIO LIBRE DE COBRE. CON TORNILLOS DE ACERO INOXIDABLE Y TAPA CON EMPAQUE D/NEOPRENO FORMA T. 1 PULG.				\$ 1.010	CU	10
6	1905912	REDUCCION PARA TUBERIA CONDUIT. NEMA 4X. DE FUNDICION FERALOYO ACERO. 1 X 3/4 PULG.				\$ 950	CU	30
26	1915494	TERMINAL TIPO PIN AISLADA EN VILINO PARA CABLE 22 AWG - 18 AWG				\$ 280	CU	600
27								
USUARIO			DIRECTOR DEPARTAMENTO		APROBADO POR			
NOMBRE <b>SONIA VARGAS</b>			NOMBRE <b>ROBERTO OSPINA</b>		NOMBRE _____			
FIRMA _____			FIRMA _____		FIRMA _____			
ORIGINAL: COMPRADOR		1ª COPIA: FOLDER REQUISICIÓN	2ª COPIA: USUARIO	CONVENCIONES	ALM= Almacén	UM= Unidad de medida		

Fuente. PazdelRio Votorantim



Fuente. PazdelRio Votorantim

### **5.1.3.2 Solicitud de pedido en SAP (Materiales), sin orden de trabajo**

Cuando se solicitan materiales sin tener una orden de trabajo de base que justifique la compra, se hace directamente con la transacción ME51N. Se ingresan los datos a SAP para empezar el proceso de aprobaciones y de compras. El procedimiento se muestra a continuación:

1. Inicie la transacción utilizando la ruta del menú o el código de transacción.
2. Para las solicitudes manuales se utiliza ZB solicitud de pedido manual.
3. Se da una breve descripción de acuerdo a las necesidades del solicitante.
4. Se digitan los campos a llenar.

Para ingresar un nuevo material dentro la misma solicitud se repite nuevamente el paso “4” y enter al finalizar cada posición.



5. Haga clic en verificar 
6. Haga clic en  y el sistema grabara y generará un numero de transacción que se posesionara en la parte inferior de la pantalla.

Figura 23. Solicitud de pedido en SAP, sin orden de trabajo

**PASO 2**

PARA LAS SOLICITUDES

**PASO 3**

SE DA UNA BREVE DESCRIPCION DE ACUERDO A LAS NECESIDADES

**OBSERVACION:** EL CHECK SIEMPRE DEBE ESTAR ACTIVO PARA REALIZAR BUSQUEDA AUTOMATICA, SI EL

MATERIAL REQUERIDO PARA ADECUACION TREN 710. SE SOLICITA QUE SEAN ENTREGADOS EN LAS FECHAS ESTABLECIDAS PARA NO GENERAR DEMORA EN LA OBRA SI EL MATERIAL LLEGA DESPUES DE LA FECHA ESTABLECIDA NO SERA RECIBIDO.

Pos.	I	P	Pedido	Material	Texto breve	Cant...	UM	Fecha entrega	Gpo.artic.	Almacén	Centro	GGp	Solicitante
				600278		12		18.10.2009		1700	7801	HAY	

**PASO 4**

SE DIGITA LOS CAMPOS A LLENAR

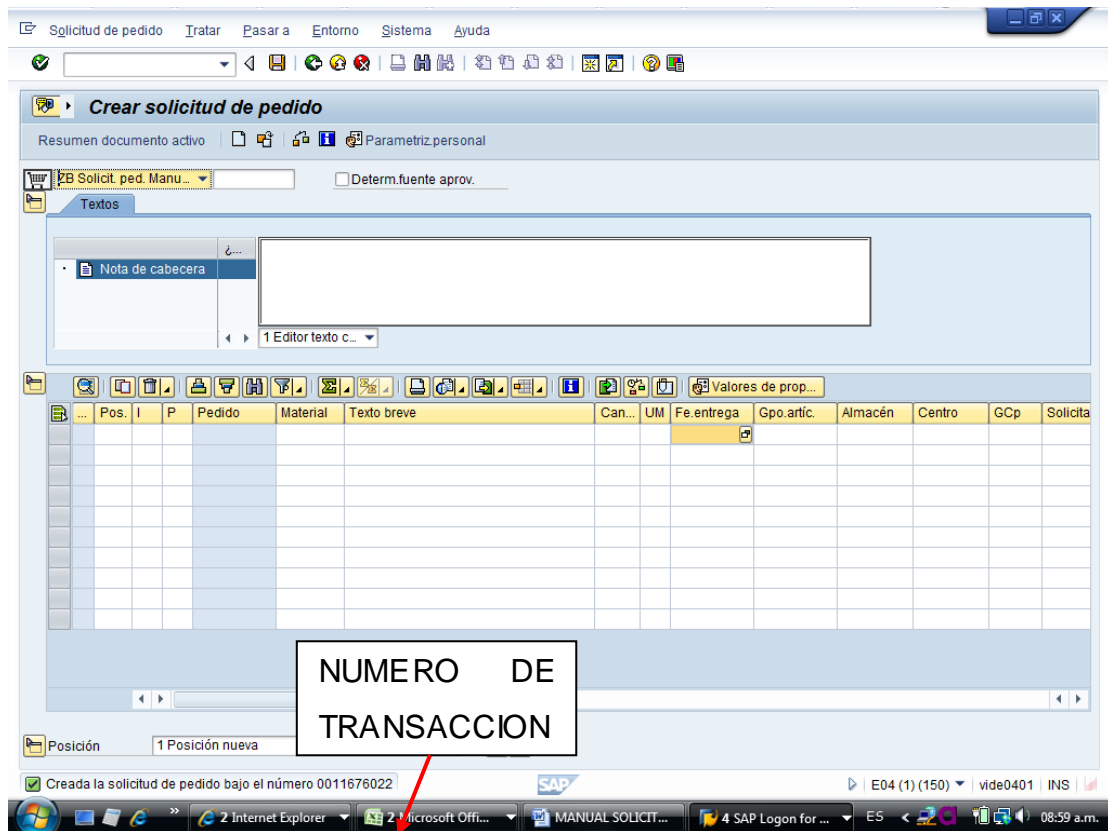
**OBSERVACION:** SI SE TIENE DUDAS SOBRE LOS DATOS QUE VAMOS A DILIGENCIAR SE DESPLEGA LA VENTANA REALIZANDO DOBLE CLICK Y BUSCAMOS LOS DATOS.

**MATCH CODE**

UNA VEZ TERMINADO DE LLENAR LOS CAMPOS

Fuente. PazdelRio Votorantim

Figura 24. Solicitud de pedido en SAP, número de transacción



Fuente. PazdelRio Votorantim

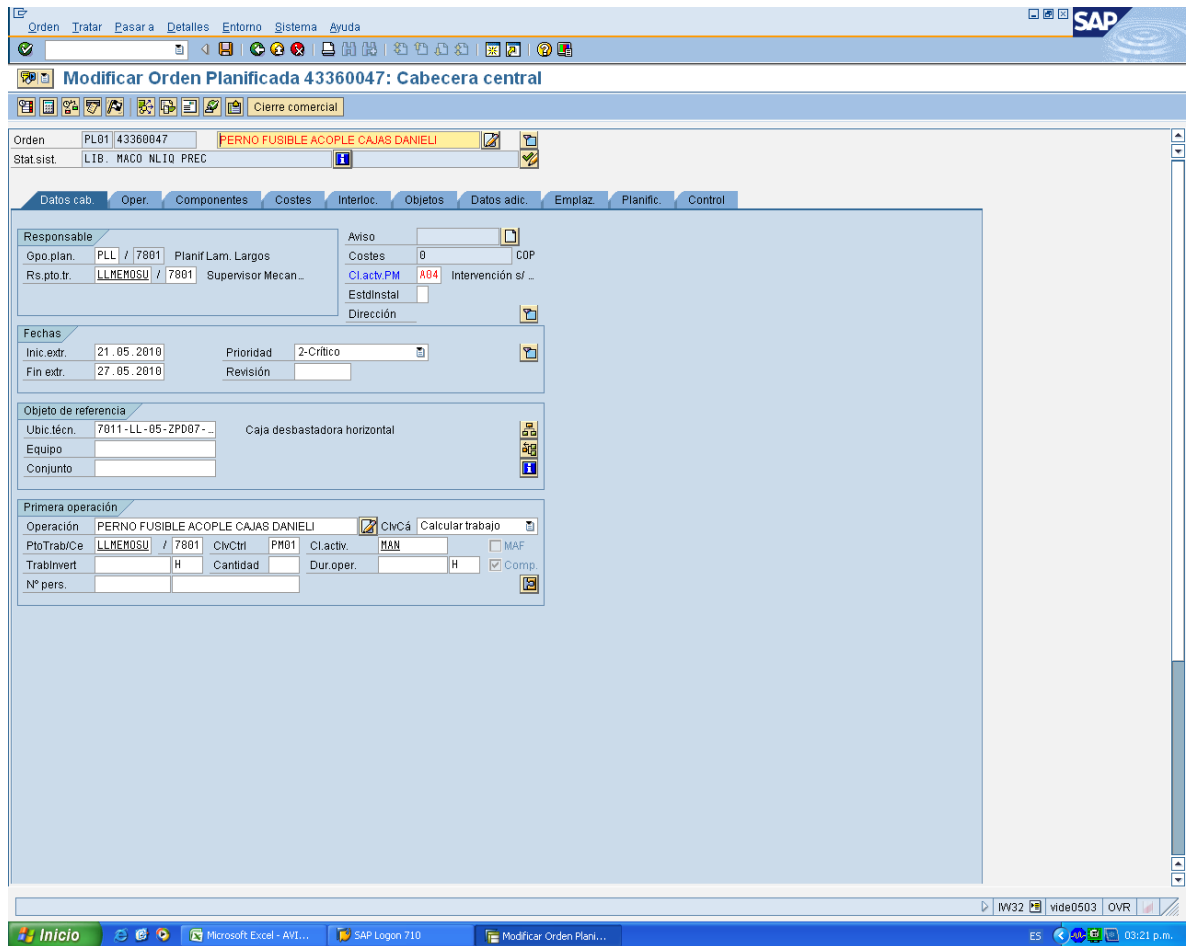
### 5.1.3.3 Solicitud de pedido en SAP (Materiales), a partir de una orden de trabajo

Esta solicitud de materiales se hace con una orden de trabajo ya generada en el sistema, la cual tiene una necesidad de materiales que no se encuentran en los almacenes.

El procedimiento se describe a continuación:

1. Se ingresa a la orden de trabajo ya generada en SAP con la transacción IW32, para modificar la orden.

Figura 25. Modificar orden de trabajo



Fuente. PazdelRio Votorantim

2. Ingresamos a la pestaña componentes.
3. Se ingresan los códigos SAP de materiales a solicitar, cantidad necesaria.
4. En la pestaña TP se selecciona N (Posición no almacén).
5. Clic en norma de liquidación, aceptar, retroceder.
6. Clic en disponibilidad total del material.

7. Clic en determinar costos.
8. Clic en liberar
9. Grabar. Aparece el numero de orden de solicitud

Figura 26. Solicitud de materiales

The screenshot shows the SAP interface for 'Modificar Orden Planificada 43360047: Resumen de componentes'. The main window displays a table with the following data:

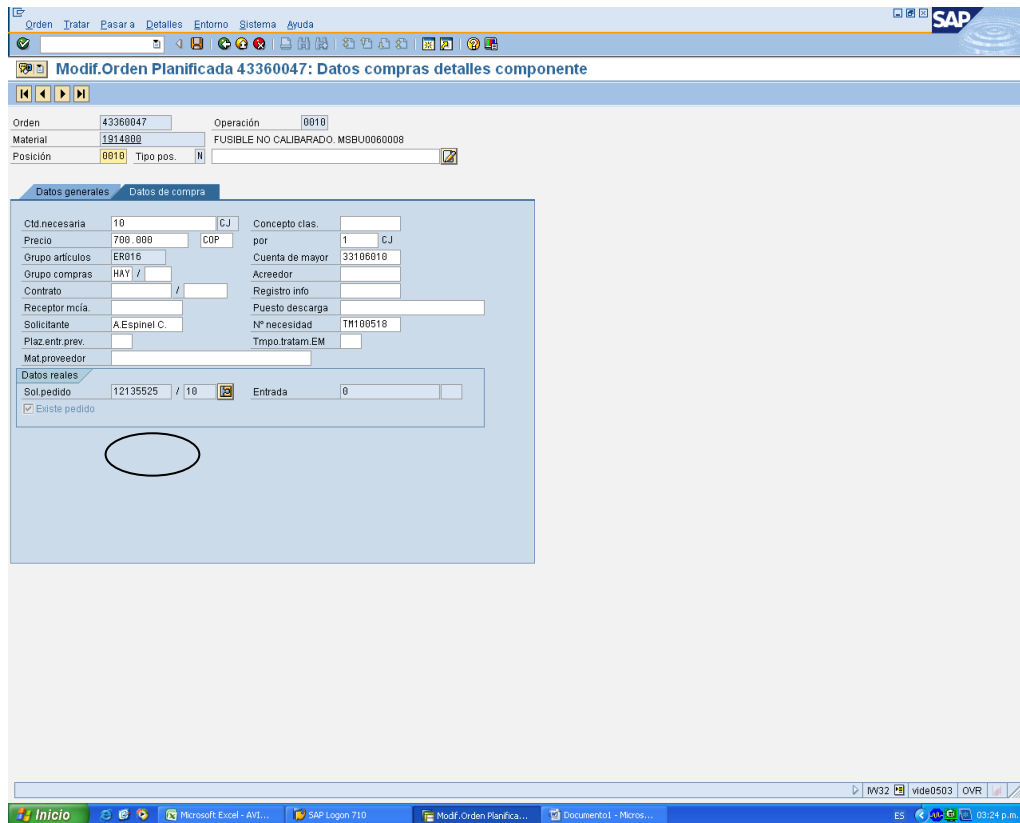
Po.	Componente	Denomin.	TE	Ctd.neces.	UM	TP	S.	Alm.	Ce.	Op.	Lote	Tipo aprovis.
0010	1914800	FUSIBLE NO CALIBARADO. MSBU00600		10	CJ	N			7801	0010		Sol.ped.p.orden
0020	1912711	CONECTOR MACHO DE 6 TERMINALES		5	UN	N			7801	0010		Sol.ped.p.orden
0030												
0040												
0050												
0060												
0070												
0080												
0090												
0100												
0110												
0120												
0130												
0140												
0150												
0160												
0170												
0180												
0190												
0200												
0210												
0220												
0230												
0240												
0250												
0260												
0270												
0280												
0290												

The interface includes a menu bar at the top with options like 'Orden', 'Tratar', 'Pasara', 'Detalles', 'Entorno', 'Sistema', and 'Ayuda'. Below the table, there are buttons for 'Dat.graf.', 'Compras', 'Lista', 'Gráf.', 'Conj.', 'Utiliz.material', 'Rec.', and 'Catal.'. The SAP logo is visible in the top right corner.

Fuente. PazdelRio Votorantim

10. Seleccionar la linea de material
11. Seleccionar datos generales y aparece el numero de reserva
12. En la pestaña datos de compra se ve el numero de solicitud de pedido
13. Con el numero de solicitud de pedido se va a proceso de aprobaciones
14. Luego se va al proceso de compras.

Figura 27. Número de solicitud de pedido



Fuente. PazdelRio Votorantim

#### 5.1.4 Reporte mensual de mantenimiento

Cada mes se deberán recopilar y analizar tanto las paradas acontecidas como las intervenciones preventivas efectuadas a los equipos, las paradas se clasificarán de acuerdo a su duración e impacto en el proceso y se tomaran las seis (6) más importantes para establecer planes de acción que permitan el bloqueo del modo de falla y reduzcan la probabilidad de ocurrencia.

Los planes de acción generados deberán indicar claramente plazos y responsables y serán objeto de seguimiento para evidenciar su efectividad.

Además de los análisis anteriores se analizarán los comportamientos de los principales indicadores de gestión de mantenimiento a saber:

- Disponibilidad
- Confiabilidad
- Tiempo medio entre fallas
- Tiempo medio entre la reparación
- Mantenibilidad

Adicionalmente deberá analizar en conjunto las áreas de producción y mantenimiento los indicadores de estos procesos que hayan sido afectados por el desempeño de la PTA.

De todo lo anterior se le enviara un informe al director de la planta que incluirá planes de acción, seguimientos, indicadores y solicitud de recursos de ser necesario.

A continuación se muestra el formato que se utilizará para el reporte de fallas por turno para la PTA, informe que debe diligenciar el supervisor.



Figura 29. Códigos de fallas y de localización de los equipos

FALLAS			LOCALIZACION		
Grupo	Código	Descripción	Grupo	Código	Descripción
MECANICAS	01 - MECANICAS	011 BOMBAS	R1-FOSOS DE LAMINILLA	R101	MOTOR FOSO 1
		012 TUBERIAS, MANGUERAS		R102	MOTOR FOSO 2
		013 FILTROS		R103	REDUCTOR FOSO 1
		014 VALVULAS		R104	REDUCTOR FOSO 2
	02 - SISTEMAS HIDRAULICOS	015 ACEITE		R105	CADENA FOSO 1
		021 BOMBAS		R106	CADENA FOSO 2
		022 TUBERIAS, MANGUERAS		R107	RASPADORES FOSO 1
		023 FILTROS		R108	RASPADORES FOSO 2
		024 VALVULAS		R109	
		025 ACEITE		R110	
	03 - SISTEMAS NEUMATICOS	026 ACTUADORES		R201	
		031 COMPRESORES		R202	
		032 LINEA DE CONDUCCION		R203	
		033 VALVULA DE PASO		R204	
		034 ELECTROVALVULAS		R205	
		035 FILTROS Y REGULADORES		R206	
	04 - MODULO - REDUCTORES - COJINETES	036 ACTUADORES		R207	
		041 INCREMENTADORES		R208	
		042 MODULOS		R301	
		043 ACOPLER		R302	
	05 - ELEMENTOS DE TRANSMISION	044 COJINETES - RODAMIENTOS		R303	
		051 ALARGADERAS		R304	
		052 CORREAS		R305	
		053 CADENAS		R306	
		054 REDUCTORES		R307	
	055 CAJA DE PIÑONES	R308			
	06 - FALTA DE REPUESTOS	061 FALTA DE REPUESTOS		R309	
07 - ELEMENTOS CONDUCCION DE BARRAS	071 TUBOS	R401			
	072 RODILLOS	R402			
	073 PLACAS	R403			
08 - CONJUNTO JERVIS WEBB	081 ESTRUCTURA	R404			
	082 GANCHO	R405			
	083 CADENA	R406			
	084 CONJUNTO MOTRIZ	R501			
	085 SISTEMA NEUMATICO	R502			
09 - REFRIGERACION	091 FILTRO RETROLAVADO	R503			
	092 MANGUERAS	R504			
	093 CABEZALES FLAUTAS	R505			
10 - ELECTRICAS	094 VALVULAS	R506			
	101 ELECTRICAS	R601			
	111 SUBESTACIONES 13.8KV	R602			
	112 SUBESTACIONES 440V.#1-2-3. LP1 - LP2	R603			
	113 RECTIFICADORES MOTORES P/PLS - RECTIFICADOR 250VDC	R604			
	114 MOTORES PRINCIPALES	R605			
	115 MOTORES AUXILIARES AC Y DC	R606			
	121 SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO (DSC)	R607			
	122 SISTEMAS HIDRAULICOS Y DE LUBRICACION	R701			
	123 SISTEMAS DE CONTROL SEÑALES TREN	R702			
	124 RED DE ALUMBRADO TA'S	R703			
	125 HMD - FINES DE CURSO - SENSORES	R704			
	131 ALIMENTACION CTR INSTRUMENTACION T. MORGAN	R705			
	141 MOTORES	R706			
	142 TABLEROS DE POTENCIA Y CONTROL, COMBINADORES	R801			
143 RIELES AUXILIARES, PANTOGRAFOS, RESISTENCIAS	R802				
151 FINES DE CURSO - ELECTROVALVULAS	R803				
15 - JERVIS WEBB	152 MOTORES	R804			
	153 TABLEROS DE CONTROL WD'S	R805			
	201 GUIAS ESTATICAS	R901			
	202 GUIAS DE RODILLOS	R902			
	203 TWISTER	R903			
	204 CALIBRACION - ALINEAMIENTO	R904			
	205 RODILLOS SNAP SHEAR	R905			
	206 CONJUNTO RUEDA GUIA	R906			
	207 FALTA DE REPUESTOS	R1001			
	208 MORGOL	R1002			
209 MAL REPARADAS	R1003				
30 - CILINDROS Y HERRAMIENTAS	301 ROTURA DE CILINDRIOS	R1004			
	302 SUMINISTRO DE CILINDRIOS	R1005			
	303 CANALES CONDUCTORES	R1006			
	304 BARRONES	R1007			
	305 CUCHILLAS	R1101			
	306 FALTA DE REPUESTOS	R1102			
40 - MATERIAL	308 EMBUDOS	R1103			
	401 PAJAS	R1104			
	402 BARRA ABIERTA	R1105			
	403 BARRA CON HUECO	R1106			
	404 MEZCLA DE CALIDAD	R1107			
	405 SECCION DE LA PALANQUILLA	R1108			
	501 CAMBIO DE CILINDROS Y/O CAJAS	R1201			
	502 CAMBIOS DE PASO	R1202			
	503 CALIBRACION TREN	R1203			
	504 AJUSTE DE VELOCIDADES	R1204			
50 - FABRICACION	505 EVACUACION CHATARRA CIZALLA 7	R1205			
	506 EVACUACION CHATARRA CIZALLA 13	R1206			
	507 MANIOBRA INADECUADA	R1207			
	508 FALTA DE PERSONAL	R1301			
	509 ENSAYOS	R1302			
	510 CAMBIOS DE CAMPAÑA	R1303			
	601 SUSPENSION EN EL DESHORNE	R1304			
	602 FALTA DE PALANQUILLA HORNO	R1305			
	603 BARRA DOBLADA HORNO DE PALANQUILLA	R1306			
	604 PALANQUILLA FUERA DE DIMENSIONES	R1307			
60 - SUMINISTROS DE PALANQUILLA	605 PALANQUILLA TORCIONADA	R1308			
	701 SUMINISTRO DE AGUA PTA DE AGUA				
	702 SUMINISTRO DE AIRE				
	703 CALENTAMIENTO HORNO DE PALANQUILLA				
	704 EVACUACION LAMINILLA CARCAMO				
	70 - SERVICIOS INTERNOS	801 SUMINISTRO DE ENERGIA			
		802 SUMINISTRO DE COMBUSTIBLE			
		803 SUMINISTRO DE VAPOR			
		804 CONTROL DE CALIDAD			
		805 RESULTADO PROPIEDADES MECANICAS			
806 PUENTE Y GRUAS					
807 OTROS					
80 - SERVICIOS EXTERNOS	901 CAMBIOS DE PRODUCTO				
	902 MANTENIMIENTO PROGRAMADO				
	903 DESCANSO PROGRAMADO				
	904 LAMINANDO PARA EL TREN 450 POR UNA SOLA LINEA				

Fuente. El autor

Ahora se consignarán las seis (6) paradas más importantes en un cuadro que se ve en la siguiente figura.

**Figura 30. Reporte seis (6) paradas PTA**

REPORTES (6) PARADAS MAS IMPORTANTES MES OCTUBRE 2010 PTA											
EVENTO 1		EVENTO 2		EVENTO 3		EVENTO 4		EVENTO 5		EVENTO 6	
TIEMPO	COMENTARIO	TIEMPO	COMENTARIO	TIEMPO	COMENTARIO	TIEMPO	COMENTARIO	TIEMPO	COMENTARIO	TIEMPO	COMENTARIO
115	Caida de tension	81	Twister caja 2 con rodillo descanastado. No alinea con respecto al paso cilindro superior	80	Material final defectuoso, pliegue(octubre 01 T.1)	42,5	Rotura tornillos de anclaje actuador; movimiento transversal, de la vela. L 1.	35	Material final defectuoso, raya.(sept. 30 T1)	35	Cizalla 13 no hace corte cabeza.

Fuente. Planta Laminación PDR

El cuadro de seis paradas será enviado a cada uno de los responsables para que en conjunto con todos los implicados, realicen el análisis de fallas el cual se debe hacer en el formato que se muestra a continuación.

Figura 31. Formato Análisis de fallas

Paz del Río, S.A.  
 División Laminación Largos.  
 Formulario de Análisis de Fallas.  
 Tipo: Alta complejidad

Reglas de este análisis:  
 2 reuniones mín. (máx. 1 hora). 100% evidencia objetiva.  
 Para ser escrito antes de la primera reunión.  
 Para ser escrito durante la primera reunión.  
 Para ser escrito antes de la segunda reunión.  
 Para ser escrito durante la segunda reunión.

<b>Oficina Técnica – Análisis de fallas</b>	<b>Análisis N°1</b>
---------------------------------------------	---------------------

<b>Area:</b>	<b>Sector:</b>	<b>Fecha de ocurrencia:</b>
--------------	----------------	-----------------------------

<b>Equipo:</b>
<b>Personas que intervienen en el análisis:</b>

1) Problema detectado.
2) Consecuencias:
3) Acciones inmediatas tomadas:

<b>Oficina Técnica – Análisis de fallas.</b>	<b>Análisis N°</b>
----------------------------------------------	--------------------

4) Causas probables:
5) Plan de investigación

Acción	Responsable	Fecha compromiso	Status

Fuente. PazdelRio Votorantim

Figura 38. Continuación

Paz del Rio, S.A.  
 División Laminación Largos.  
 Formulario de Análisis de Fallas  
 Tipo: Alta complejidad

Reglas de este análisis:  
 5 reuniones más que 1hr c/u. 100% evidencia objetiva.  
 Para ser escrito antes de la primera reunión.  
 Para ser escrito durante la primera reunión.  
 Para ser escrito antes de la segunda reunión.  
 Para ser escrito durante la segunda reunión.

<b>Oficina técnica – Análisis de fallas</b>		<b>Análisis N°</b>	
<b>5) Resultado de los análisis</b>			
<b>6) Conclusiones</b>			
<b>7.1) Origen de Causa Raíz (marque con una x)</b>			
<input checked="" type="checkbox"/> Deficiencia del Programa de mantenimiento		<input checked="" type="checkbox"/> Falla de materia prima o fabricante.	
<input checked="" type="checkbox"/> Falla de Mano de Obra Operacional;		<input checked="" type="checkbox"/> Falla por mortalidad infantil de equipo.	
<input checked="" type="checkbox"/> Falla del proyecto original;		<input checked="" type="checkbox"/> Falla por catástrofe imprevista	
<input checked="" type="checkbox"/> Falla Mano de obra de mantenimiento		<input checked="" type="checkbox"/> Falla indefinida (repetir todo el análisis)	
<input checked="" type="checkbox"/> Falla / Falta de procedimiento operacional		<input checked="" type="checkbox"/> Obsolescencia de equipos	
<input checked="" type="checkbox"/> Falla de programación			
<b>8) Plan de acción para evitar reincidencia:</b>		<b>Fecha de elaboración del plan:</b> 5 /09/2010	
<b>Acción</b>	<b>Responsable</b>	<b>Fecha de compromiso</b>	<b>Status</b>
<b>Oficina técnica – Análisis de fallas</b>		<b>Análisis N°</b>	
<b>9) Seguimiento y control de la eficacia:</b>			
Después de que todas las acciones han sido ejecutadas, se toma un plazo de 6 meses para determinar si efectivamente se puede dar por cerrado el problema. En caso de que no ocurran eventos en este plazo puede decirse que SI hubo eficacia. En caso de que durante el plazo de 6 meses se repitan eventos originados por la misma causa raíz, puede decirse que NO hubo eficacia, y deberá iniciarse el proceso de análisis desde la etapa N°4. El status de eficacia deberá actualizarse en la planilla de seguimiento y control de los análisis.			
<b>Observaciones:</b>			
Pueden actualizarse o recomendarse:			
1. Se ejecuta una ampliación en el alcance de la investigación.			
2. Indicar los costos originados en la investigación de las hipótesis.			
3. Recomendarse para otras áreas de la división o de otras divisiones.			
4. Proponerse nuevas políticas de gestión o capacitación.			
5. Espacio para la reflexión			

Fuente. PazdelRio Votorantim

## **5.2 ALMACÉN**

Un factor importante para la política de reducción de costos es el control adecuado de los repuestos, materiales y accesorios de mantenimiento. Un manejo carente de planificación genera sobrecostos por el gran número de repuestos que se requieren, o bien deriva en largas paralizaciones en la producción debido a la falta de ellos.

Entre los factores que determinan la cantidad de repuestos están los siguientes:

- La cantidad utilizada
- La frecuencia de remplazo
- Los efectos en la depreciación, lo cual es importante para no invertir dinero en partes o piezas que, por lo general, se reemplazan con baja frecuencia.
- Informar a los demás sobre lo que se ha realizado y lo que se pretende realizar.

## **5.3 ELABORACION DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

La planeación y la programación adecuada de las actividades de mantenimiento son fundamentales en los objetivos del programa (cumplimiento, calidad, productividad, rentabilidad, etc) y por lo tanto en el desempeño del área (disponibilidad y confiabilidad), ya que la ausencia de estas conlleva al incremento de la cantidad y gravedad de las fallas en el área de producción especialmente.

La calidad y efectividad de los trabajos realizados es de alta importancia, pero irá en aumento a medida que el personal gana experiencia y conocimiento en la forma de realizar el trabajo, adicionando un correcto acompañamiento por parte de sus compañeros y superiores en el área y de toda la compañía.

Por eso es importante implementar la programación de actividades para el área de mantenimiento, ya que utilizar al máximo el conocimiento y la experiencia del personal más antiguo hará aumentar el conocimiento generalizado del área.

El planear y organizar las actividades favorece el objetivo del mantenimiento preventivo, ya que en las reparaciones preventivas se puedan realizar de manera planificada a partir de inspecciones y no cuando se presenten fallas catastróficas (con el tiempo improductivo que incluyen).

El programa de mantenimiento se elabora teniendo en cuenta lo siguiente:

### **5.3.1 Registro del equipo**

El primer paso para la elaboración del programa de mantenimiento será inventariar y recopilar información de todos los equipos e identificar su ubicación física, según una ruta que coincida con el recorrido del agua por las diferentes instalaciones y unidades del proceso de la planta de tratamiento de agua.

Una vez inventariados los equipos, se procede a agruparlos por secciones, codificarlos y clasificarlos.

Las secciones serán:

- Sección de entrada
- Sección de tratamiento
- Sección de salida del agua tratada.

Cada equipo será codificado mediante un código alfanumérico, si existen dos máquinas iguales que operen en una determinada sección, por ejemplo dos filtros

multimedia, entonces las unidades quedarán codificadas como PTAF1 y PTAF2, respectivamente.

Para la clasificación del equipo se debe tener en cuenta la criticidad del equipo desarrollada en el capítulo cinco.

Con la información recopilada sobre cada equipo, se elabora la ficha llamada “Registro del equipo” un formato que identifica al equipo y contiene las características y datos más importantes, tales como los siguientes: código del equipo, sección, fecha de adquisición e instalación, capacidad, fabricante, modelo, número de serie, características técnicas, partes principales, criticidad, etc. La cantidad de estas dependerá de la cantidad de equipos que existan en la planta de tratamiento de agua.

Los datos para llenar tales fichas se obtienen de las placas de los equipos suministrados por las firmas proveedoras o fabricantes.

En la siguiente figura se muestra un ejemplo de una ficha “Registro del equipo” para un motor eléctrico.

Figura 32. Formato Registro de equipos. Motores eléctricos

	<b>VSPDR</b>		Código:	
	<b>Documento de Datos</b>		Revisión:	<b>1.0</b>
	<b>Título: FORMATO REGISTRO DE EQUIPOS "MOTORES ELECTRICOS"</b>		Área:	
			Páginas:	<b>1 de 1</b>

<b>CARACTERISTICAS GENERALES</b>			
Forma Constructiva		Tipo de Cable (Entrada)	
Tamaño Constructivo		Tamaño de Cable (mm <sup>2</sup> )	
Clase de aislamiento		Momento de Inercia (kg.m <sup>2</sup> )	
Corriente de Vacío		Calidad de Escobillas	
Freno		No. De Plano de Escobillas	

<b>DIMENSIONES ( m.m. )</b>			
<b>MOTOR</b>		<b>EJE</b>	
a - (Dist. / Huecos - Part. laterales)		f - (Long. Eje / Acople)	
b - (Dist. / Huecos - Part. front.-post.)		e - (Diámetro Eje)	
c - (Longitud Total)		j - (Medida Eje c/ Cuña)	
d - (Diámetro Carcasa Motor)		k - (Ancho de Cuña)	
d' - (Ancho con Caja de Conexión)			
g - (Dist. / Huecos a Acople)			
h - (Altura Base a centro Eje)			
i - (Diámetro Huecos / anclaje)			

<b>CARACTERISTICAS CORRIENTE ALTERNA (C. A.)</b>		<b>CARACTERISTICAS CORRIENTE CONTINUA (C. C.)</b>	
Tensión Estator		Tensión Armadura	
Corriente Estator		Corriente Armadura	
Tensión Rotor		Tensión Excitación	
Corriente Rotor		Corriente Excitación	
Conexión Estator		Tipo de Excitación	
Conexión Rotor			
Factor de Potencia			

<b>DATOS DE BOBINADO</b>					
<b>DETALLE</b>	<b>ESTATOR</b>	<b>ROTOR</b>	<b>DETALLE</b>	<b>ESTATOR</b>	<b>ROTOR</b>
Plano Bobinado No.			Calibre del Hilo		
No. de Fases			Dimensión de la Platina		
No. de Ranuras			No. de Hilos en Paralelo		
Paso de Bobinas			Tipo de Devanado		
No. de Polos			Paso en el Colector		
No. de Bobinas por Fase			No. de Delgas		
No. de Espiras por Bobina					

Fuente. El autor

### **5.3.2 Descripción de las actividades de mantenimiento**

Contiene las actividades de mantenimiento que se deben realizar con cada equipo, con la finalidad de eliminar o disminuir los problemas más frecuentes que provocan la paralización intempestiva de una o varias máquinas.

Estas actividades se obtienen de los manuales de los fabricantes, de la experiencia del personal de operación y de mantenimiento, etc., y tienen una duración anual, según se vaya comprobando su grado de eficiencia y aplicabilidad.

En la siguiente figura se muestra el formato “Descripción de las actividades para el mantenimiento”.

En la primera columna se colocan números en forma correlativa a cada actividad. En la siguiente columna se listan las actividades de mantenimiento, seguidas de la frecuencia de trabajo y de los materiales o repuestos indispensables para ejecutar dicha actividad.

La frecuencia de trabajo describe la periodicidad con que se deben realizar dichas actividades. Para esto se adopta la simbología con la que se suelen representar los periodos de intervención:

Figura 33. Frecuencia de trabajo.

H	Actividad que se desarrolla cada hora
D	Actividad que se desarrolla diariamente
S	Actividad que se desarrolla semanalmente
Q	Actividad que se desarrolla quincenalmente
M	Actividad que se desarrolla mensualmente
2M	Actividad que se desarrolla cada dos meses
3M	Actividad que se desarrolla cada tres meses
6M	Actividad que se desarrolla cada seis meses
A	Actividad que se desarrolla anualmente
3A	Actividad que se desarrolla cada tres años

Fuente. El autor



Fuente. El autor

### 5.3.3 Plan estratégico

Se debe elaborar específicamente para facilitar el proceso de desarrollo de las actividades que se deben realizar para el mantenimiento en forma diaria durante un mes, a través de acciones coordinadas y orientadas.

Figura 35. Modelo Formato Plan de mantenimiento Preventivo

		VSPDR		Código:																																																						
		Documento de Datos		Revisión: 1.0																																																						
		FORMATO: PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO PARA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DEL TREN MORGAN PARA EL AÑO 2010		Área:																																																						
				Páginas: 1 DE 1																																																						
ITEM	SISTEMA	EQUIPO	INTERVENCION	ENERO																FEBRERO																																						
				SEMANA 1				SEMANA 2				SEMANA 3				SEMANA 4				SEMANA 1				SEMANA 2				SEMANA 3				SEMANA 4																										
				L	M	J	V	S	D	L	M	J	V	S	D	L	M	J	V	S	D	L	M	J	V	S	D	L	M	J	V	S	D	L	M	J	V	S	D	L	M	J	V	S	D	L	M	J	V	S	D							
1	FOSO DE LAMINILLA No.1	MOTOR	Realizar gama 1	M																																																						
2	XXXXXX	XXX	Realizar gama 2	S					S					S					S					S					S																													
3	XXXXXX	XXX	Realizar gama 3																Q																																							
4	XXXXXX	XXX	Realizar gama 4	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D		
5	XXXXXX	XXX	Realizar gama 5																																																							
6																																																										
7																																																										
8																																																										

Fuente. El autor

Se diseñaran gamas para cada labor de mantenimiento, para simplificar un poco el formato del plan estratégico.

Figura 36. Ejemplo de gama de mantenimiento

<b>GAMA 1 MANTENIMIENTO ELECTRICO</b>		
EJECUTOR:	SITUACION:	FRECUENCIA:
ELECTRICISTA	PARO	MENSUAL
<b>MOTOR DC</b>		
1. Medir aislamiento de motor		
2. Comprobar estado caja de conexiones		
3. Comprobar el estado del cableado		
4. Ajustar conexiones		
5. Comprobar el estado del acople		
6. Comprobar alineamiento y anclaje		
<b>SEGURIDADES</b>		
1. Desenergizar		
2. Colocar carteles de aviso o prevención		
<b>COORDINACIONES</b>		
1. Con SSMA el procedimiento de desenergización y energización de equipos		
2. Al terminar entregar equipo a producción según formato establecido para el caso.		
<b>MATERIALES Y HERRAMIENTAS</b>		
1. Bolsa de herramientas		
3. Dinamómetro		
3. Lija o similar		
4. Calibrador pie de rey		
5. Banda de lija		
6. Trapo		

Fuente. El autor

## **5.4 HISTORIAL DE LOS EQUIPOS**

Cada equipo que previamente debió haber sido identificado, debe contar con una carpeta u hoja de vida en donde además de los datos técnicos, manuales y planos, deberá incluir todas las intervenciones tanto correctivas, preventivas como predictivas que se le hagan a las máquinas mediante la inclusión de una copia de todas las ordenes de trabajo que apliquen al equipo, separando las correctivas, preventivas y las predictivas.

Esta carpeta será la base al final del año para la evaluación y ajustes a los programas de mantenimiento, teniendo en cuenta las frecuencias de intervención contra las paradas correctivas.

## **5.5 EVALUACIÓN DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO**

Una vez realizado el programa de mantenimiento y ejecute, se tendrá que evaluar la efectividad del programa, si las actividades resultan no ser efectivas se hará la revisión y los ajustes respectivos. Se debe tener en cuenta que sin una evaluación, cualquier sistema de mantenimiento tiende a fracasar. Para la evaluación, se analizarán los datos y la información contenida en las fichas de trabajo.

Ésta evaluación hace posible lo siguiente:

- Ajustar el programa y mantener actualizados los manuales de mantenimiento.
- Analizar los trabajos realizados y los materiales empleados a fin de determinar los costos de mantenimiento, para efectos de programación y control del presupuesto
- Determinar los costos que demanda la gestión administrativa del almacenamiento, adquisición y uso de los repuestos.

## **6. MODELO GERENCIAL PARA IMPLEMENTACION DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

El mantenimiento predictivo es la serie de acciones que se toman y las técnicas que se aplican con el objetivo de detectar fallas y defectos de maquinaria en las etapas incipientes para evitar que las fallas se manifiesten catastróficamente durante operación y que ocasionan paros de emergencia y tiempos muertos causando impacto financiero negativo.

El programa de Mantenimiento Predictivo o por condición debe ser considerado como un complemento al programa de mantenimiento preventivo. Cabe señalar, que el ámbito de acción propio de este sistema es el de aquella maquinaria que presenta por su forma de operación un deterioro paulatino de sus condiciones de funcionamiento. La mayor importancia recae sobre las máquinas rotatorias y recíprocantes.

Aplicando una serie de técnicas de medición, monitoreo y análisis, se puede establecer un sistema en los equipos de PTA, con el que se pueda tener información actualizada del estado de funcionamiento de nuestras máquinas y observar las tendencias temporales de dicho estado para poder prever las averías y anticiparnos a ellas planeando las intervenciones oportunas en cada caso. Es necesario ajustar la periodicidad en la toma de valores para que la efectividad del sistema de predicción sea total.

De esta manera el Mantenimiento Predictivo nos permite:

- Evaluar el estado de funcionamiento de los equipos y de sus componentes
- Determinar si el equipo funcionará de forma fiable hasta la próxima intervención programada

- Predecir averías del equipo
- Permitir una programación del trabajo que se requiera en el mantenimiento
- Evitar paradas imprevistas y reducir al mínimo la paralización de la producción
- Mantener los equipos de máquinas en un estado óptimo de funcionamiento

La fase de diseño del programa de mantenimiento predictivo debe contemplar lo siguiente:

- Una evaluación de la criticidad para constatar que el programa se concentre en la maquinaria con el “costo de propiedad” más alto o donde la falla podría hacer peligrar la seguridad de las personas o el equipo de la planta, u ocasionar una pérdida significativa de producción.
- Luego debe realizarse un Análisis del Modo de Falla y efectos y análisis de criticidad (FMECA) para identificar los modos y frecuencias de falla.
- Finalmente, debe diseñarse un programa de mantenimiento utilizando la combinación más adecuada y costoefectiva de técnicas de mantenimiento predictivo y otros tipos de mantenimiento para proteger el equipo contra los modos de falla identificados en el FMECA.

## **6.1 ELABORACION DEL PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

### **6.1.1 Maquinaria a monitorear.**

La selección de la maquinaria para ser incluida en estos programas depende de un análisis de su criticidad (hecho en el capítulo 4), su costo, sus requerimientos de seguridad y ambientales, la confiabilidad esperada y el impacto de su falla.

El mantenimiento predictivo no es una estrategia económica y deberán ser identificados aquellos equipos en el proceso de producción que afectan a cualquiera de las siguientes:

- Confiabilidad
- Disponibilidad
- Costo
- Seguridad

Se debe considerar una condición de optimización de las estrategias de mantenimiento y conservación, de tal manera que los costos de la aplicación de las tecnologías y estrategias no sean superiores a los que se tratan de evitar.

#### **6.1.2 Selección del método/s a aplicar**

El objetivo de un programa de monitoreo de condición, es conocer la condición de la maquinaria, de tal manera que se pueda determinar su operación de manera segura, eficiente y con economía. Las técnicas de monitoreo están dirigidas a la medición de variables físicas que son indicadores de la condición de la máquina y mediante un análisis, efectuar la comparación con valores normales, para determinar si está en buen estado o en condiciones de deterioro. Esta estrategia asume que hay características medibles y observables que son indicadores de la condición de la maquinaria.

La selección del método adecuado para cada equipo depende de varios factores como son:

- El tipo de maquinaria
- El modo de fallo a diagnosticar
- La capacidad de inversión.

La manera de aplicar esta tecnología en la PTA, se hará mediante el Análisis de Modos de Falla, Efecto y Criticidad. (FMECA). El programa de monitoreo de condición será dirigido a la causa de falla y deben poder identificarse los indicadores de su deterioro.

Una vez que se ha efectuado el análisis de las causas de falla críticas de la maquinaria, es importante identificar una acción de mantenimiento que permita eliminarla, detectarla y controlarla. De esta manera se construye el plan de mantenimiento. De la misma manera, se está ahora en condiciones de establecer el programa de mantenimiento preventivo, se selecciona la tecnología o estrategia que pueda ayudar a responder las siguientes preguntas:

- ¿De dónde proviene?
- ¿Cuál es la causa?
- ¿Qué tan severa es?
- ¿Se puede controlar?
- ¿En cuánto tiempo ocurrirá?

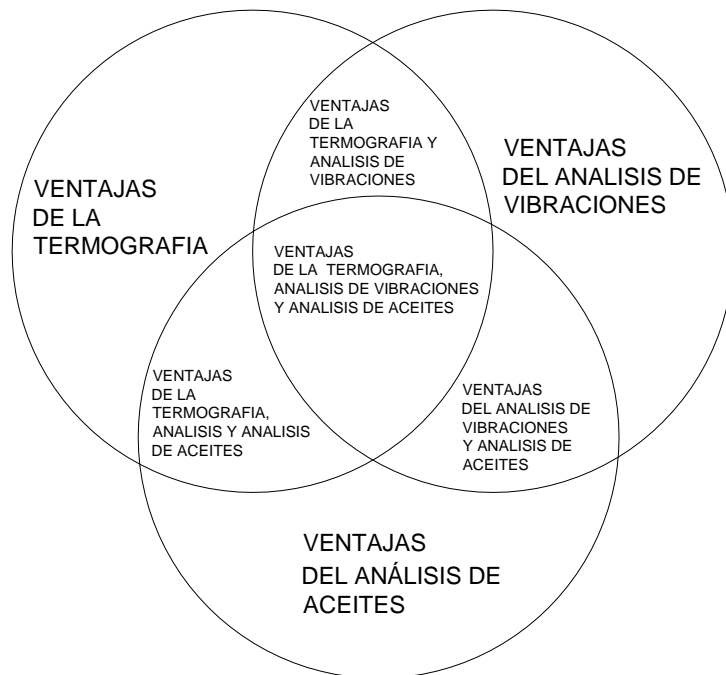
Los operadores y mecánicos perciben señales de la maquinaria con sus propios sentidos. Ahora lo que se pretende es amplificar estas señales y aislarlas para incrementar su percepción mediante tecnología y medición.

Las técnicas de monitoreo a utilizar en PTA son las siguientes:

- Inspecciones de los equipos
- Mediciones de desempeño de los equipos
- Monitoreo de las condiciones dinámicas de los equipos
- Monitoreo de los fluidos
- Monitoreo de las partículas de desgaste

Se debe hacer un análisis de las causas de falla y definir cuál técnica o tecnología tiene la capacidad de responder a la mayor cantidad de las 5 preguntas planteadas arriba. Ahora se debe ver cuáles de ellas tienen la capacidad de avisar antes que las otras y como estas tecnologías y técnicas se interrelacionan entre sí, ver siguiente figura.

**Figura 37. Relación de tecnologías de predictivo**



Fuente. El autor

### **6.1.3 Elaboración de la ruta de medición**

Basados en la criticidad de los equipos, se determinaran tres niveles de criticidad, A, B y C, donde A es la más crítica y C la de menor criticidad.

Se debe empezar a monitorear los equipos con criticidad A, se programa para hacerles inspección semanal, al cabo de dos meses se estudiaran y analizaran los resultados y se determinara si aumentar o disminuir los tiempos de inspección, el

resto de equipos se les realizará inspección por generación de avisos de trabajo, luego de tres meses se empezara a trabajar con los equipos de criticidad B, con el mismo procedimiento.

Figura 38. Formato plan de mantenimiento predictivo

 <b>PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO: MEDICION Y ANALISIS DE VIBRACIONES MECANICAS</b>		AÑO: 2010																										SEMANA																									
No	EQUIPO	Fr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	PLANTA																								
1	CONO FORMADOR L. Nº 1	4			B				B				B				B				B				B				LAMINACION																								
2	CONO FORMADOR L. Nº 2	4			B				B				B				B				B				B				LAMINACION																								
3	RUEDA GUIA L. Nº 1	4			B				B				B				B				B				B				LAMINACION																								
4	RUEDA GUIA L. Nº 2	4			B				B				B				B				B				B				LAMINACION																								
5	BOMBA A. CALIENTE 1A	4			B				B				B				B				B				B				LAMINACION																								
6	BOMBA A. CALIENTE 2A	4			B				B				B				B				B				B				LAMINACION																								
7	BOMBA A. CALIENTE 3A	4			B				B				B				B				B				B				LAMINACION																								
8	BOMBA A. CALIENTE 4A	4			B				B				B				B				B				B				LAMINACION																								
9	BOMBA A. FRIA Nº 1	4			B				B				B				B				B				B				LAMINACION																								
10	BOMBA A. FRIA Nº 2	4			B				B				B				B				B				B				LAMINACION																								
11	BOMBA A. FRIA Nº 3	4			B				B				B				B				B				B				LAMINACION																								
12	BOMBA A. FRIA Nº 4	4			B				B				B				B				B				B				LAMINACION																								
13	COMPR. INGERSOLL Nº 1	4			B				B				B				B				B				B				LAMINACION																								
14	COMPR. INGERSOLL Nº 2	4			B				B				B				B				B				B				LAMINACION																								
15	CONJ. MOTORES L. Nº 1	4			B				B				B				B				B				B				LAMINACION																								
16	CONJ. MOTORES L. Nº 2	4			B				B				B				B				B				B				LAMINACION																								

Fuente. El autor

### 6.1.4 Establecimiento de la periodicidad de medición

Una vez se ha seleccionado las técnicas y tecnologías para monitorear la causa de falla y sus efectos, es necesario determinar la frecuencia con la que se aplicará este monitoreo.

El análisis del periodo P-F, se usará para determinar la periodicidad de medición. Todos los equipos deben entregar un rango de desempeño. Mientras el

desempeño esperado se mantenga dentro de esos límites, se considera que el activo está efectuando su trabajo.

#### **6.1.4.1 Período P-F<sup>3</sup>**

El periodo de tiempo P.F es el intervalo de tiempo entre que se detecta la falla potencial y se convierte en una falla funcional.

Ante una misma falla, cada técnica de monitoreo posee su intervalo P-F característico, y que determinará la frecuencia óptima de inspección, como un tercio del intervalo P-F.

Cada técnica posee su campo de aplicación, donde es mayor su poder de detección, así como también la aplicación combinada de varias técnicas puede potenciar y complementar su eficacia.

Por ejemplo, en el caso de cajas de engranajes, tanto se podría aplicar el monitoreo de condición, a través de análisis de vibraciones, como por análisis de aceite, pero indudablemente el análisis de aceite permitirá detectar, una falla en forma más temprana, ya que el aumento en la tendencia de contenidos de desgaste se pondrá de manifiesto, antes de que se produzca un incremento en los niveles de vibración del equipo.

---

<sup>3</sup> Tomado de Las Técnicas de Monitoreo de Condición, como herramienta del Mantenimiento Proactivo. (Citado el 14 de octubre de 2010)  
Disponible <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mmnew/bib/notas/tecnicas-monitoreo.pdf>

Para cada caso, hay que seleccionar la técnica más apropiada que posea el intervalo P-F más conveniente, y diseñar la frecuencia de monitoreo de forma adecuada, de manera que exista un intervalo de tiempo tal, que cuando es detectada una falla potencial, siempre sea posible programar y ejecutar una intervención correctiva, de otra forma no tiene sentido aplicar el Monitoreo de Condición.

Un correcto Plan de Monitoreo de Condición requiere establecer dos tipos de alarmas:

- Alarmas Absolutas
- Alarmas Estadísticas

Las alarmas absolutas son límites condenatorios, en algunas ocasiones, son suministrados por el propio fabricante del equipo, o pueden estar dados por una norma, en el caso de valores globales de velocidad de vibración: norma ISO 10816/1.

En cambio, las alarmas estadísticas, son tendencias que están basadas en los propios valores históricos registrados en el equipo a lo largo del tiempo.

Es importante mencionar que ni el Mantenimiento Preventivo, ni el Monitoreo de Condición intervienen sobre la Causa de la Falla, por lo tanto no afectan la Tasa de Fallas y la Confiabilidad del equipo.

#### 6.1.4.1 Ejemplo de P-F<sup>4</sup>

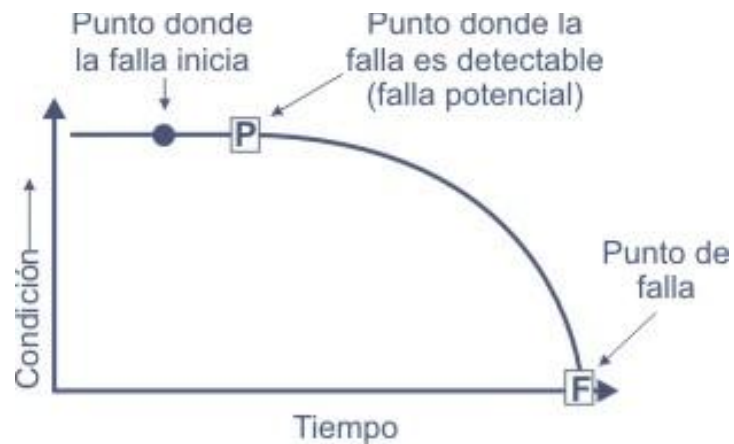
De gran importancia en esta decisión es considerar una de las herramientas de RCM: el análisis del periodo P-F. Toda la maquinaria debe entregar un rango de desempeño. Mientras el desempeño esperado se mantenga dentro de esos límites, se considera que el activo está efectuando su trabajo. Supongamos que tenemos una bomba que debe entregar entre 45 y 50 gpm en el proceso para mantener su funcionalidad. Cuando la bomba está nueva, entrega 50 gpm y conforme se gasta, su desempeño disminuye a 45 gpm. Al llegar a este valor, se determina que el equipo está fuera de especificación de desempeño y debe ser reparado a la condición original o reemplazado. Esta pérdida de desempeño puede deberse a un deterioro gradual del equipo por su funcionamiento y entonces estaremos esperando que el tiempo que transcurra sea equivalente a la vida útil esperada del equipo (TEV). Otro escenario es que se presente una causa de falla en el equipo que pueda acortar su desempeño. Cuando esta causa de falla se presenta, el periodo de vida esperada de la bomba se acorta y tendremos una falla del equipo antes del TEV. Dependiendo del modo de falla, será la severidad del daño y por consecuencia el tiempo en que la bomba fallará.

El punto P en este análisis, es el momento en que la causa de falla se puede detectar en el equipo (P siempre será posterior al momento en que la causa de falla se presenta) y F es el momento en el que el activo llega a su límite inferior de desempeño. Vea siguiente figura. En nuestro ejemplo F es cuando la bomba entrega menos de 45 gpm.

---

<sup>4</sup> Tomado de Congreso mexicano de confiabilidad y mantenimiento. (Citado el 14 de octubre de 2010). Disponible en [www.mantenimientoplanificado.com/.../Monitoreo%20de%20Condición%20-%20CMCM.doc](http://www.mantenimientoplanificado.com/.../Monitoreo%20de%20Condición%20-%20CMCM.doc) -

Figura 39. Inicio de falla – final de la falla P-F



Fuente. [www.mantenimientoplanificado.com/.../Monitoreo%20de%20Condición%20-%20CMCM.doc](http://www.mantenimientoplanificado.com/.../Monitoreo%20de%20Condición%20-%20CMCM.doc) –

Es muy importante señalar que en un mismo modo de falla, podemos tener varios P-F, dependiendo de la tecnología que se seleccione. El analista debe seleccionar la tecnología que proporcione el periodo P-F más largo que permitirá que la toma de decisiones permita mantener el equipo dentro de su rango de desempeño útil. Vea la siguiente figura.

Figura 40. Seleccione la Tecnología con el P-F más largo

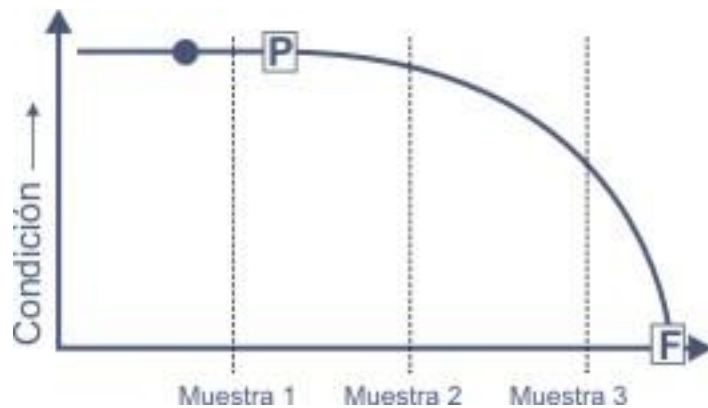


Fuente. [www.mantenimientoplanificado.com/.../Monitoreo%20de%20Condición%20-%20CMCM.doc](http://www.mantenimientoplanificado.com/.../Monitoreo%20de%20Condición%20-%20CMCM.doc)

Una vez se ha seleccionado la tecnología que proporciona el P-F más largo, debemos establecer el periodo de monitoreo que permita capturar el modo de falla que significa el P-F crítico más corto en el equipo. Si la frecuencia de monitoreo (FM) es establecida con una frecuencia igual al P-F, entonces la posibilidad de detectar el problema es muy remota. Si por el contrario, la FM es mayor que P-F, entonces el programa no será capaz de detectar este problema y nuestro programa carece de sentido.

A partir de lo anterior, es obvio que la FM debe ser menor que P-F. Idealmente deberá ser establecida como  $FM = P-F/3$ . De esta manera se está en la condición de detectar el inicio del problema, su avance y todavía estar en condiciones de monitorear el final de la vida del equipo. Ver la siguiente figura.

Figura 41. Frecuencia ideal de muestreo



Fuente. [www.mantenimientoplanificado.com/.../Monitoreo%20de%20Condición%20-%20CMCM.doc](http://www.mantenimientoplanificado.com/.../Monitoreo%20de%20Condición%20-%20CMCM.doc)

En muchas ocasiones la maquinaria puede tener un P-F demasiado corto para algunos modos de falla, ocasionando que las tecnologías de monitoreo deban ser efectuadas en línea para garantizar su efectividad.

### **6.1.5 Mediciones. Recolección de datos. Análisis de los resultados. Elaboración de informe**

La organización de mantenimiento que tiene actualmente el tren Morgan cuenta con:

- Analista verificador eléctrico
- Analista verificador mecánico
- Y un analista de informes

Estas personas serán las directamente implicadas con la ejecución y control del plan de mantenimiento predictivo.

Los analistas verificadores serán los encargados de hacer las mediciones, de acuerdo al plan de mantenimiento predictivo elaborado y además de elaborar los formatos con la recolección de datos, luego estos se enviarán al analista de

informes quien dará el informe correspondiente a todo el personal de la planta involucrado con los equipos.

Además los analistas verificadores, en el momento de encontrar alguna anomalía en los equipos, deben generar un aviso para el área de mantenimiento y socializarlo con el responsable.

Algo muy importante que se debe hacer antes de empezar la implementación del mantenimiento predictivo, es la capacitación que se le debe hacer a todo el personal asignado al mantenimiento predictivo. Con ayuda del departamento de capacitación de la empresa se hará un estudio de los temas de capacitación, la duración y el orden de ejecución.

El plan estratégico a utilizar para el predictivo será igual al tratado en la sección 5.3.3, aplica el mismo formato para el plan de mantenimiento y se diseñaran las gamas para el predictivo.

## **6.2 CONTROL Y EVALUACION DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO.**

Para tener una mayor claridad respecto a la forma de trabajo que posee el Sistema de Mantenimiento Predictivo, se detallará su ciclo de operación general:

- La máquina deberá ser periódicamente monitoreada a través de las diferentes Técnicas de Diagnóstico que se hayan definido e implementado para su análisis.
- Los parámetros medidos serán comparados con las alarmas de operación previamente definidas. Si el límite no es excedido se continuará el monitoreo de las variables con la periodicidad establecida. En caso contrario, si la máquina presenta valores de parámetros por sobre los límites establecidos se deberá efectuar un análisis del problema.
- El análisis, que deberá ser efectuado por personal idóneo, tanto por sus conocimientos en la máquina como en las técnicas de diagnóstico, definirá

la necesidad de incrementar los intervalos de medición o de programar una reparación.

- Si el análisis ha definido la necesidad de efectuar la reparación de la máquina, ésta se llevará a cabo de acuerdo a lo programado. Una vez ejecutado el trabajo será necesario tomar una nueva medición de parámetros, a fin de evaluar el óptimo funcionamiento de la máquina y que éstos se constituyan como "línea base" (referencia) del futuro estudio de tendencias.
- Por último, la máquina volverá a su monitoreo periódico, hasta que se produzca una nueva alarma operacional.

## **7. CONCLUSIONES**

Antes de empezar a implementar los programas de mantenimiento preventivo y predictivo, se debe capacitar al personal que va a formar parte del proceso, para lograr mayor efectividad en el desarrollo del proceso.

Identificando los modos de falla de los equipos de PTA, se obtienen mejores resultados de confiabilidad y disponibilidad.

Antes de iniciar el programa de mantenimiento preventivo será necesario que tenga una idea completa de cuál será su costo, ya que hay un número de requerimientos a considerar.

El planear y organizar las actividades favorece el objetivo del mantenimiento preventivo, ya que en las reparaciones preventivas se puedan realizar de manera planificada a partir de inspecciones y no cuando se presenten fallas catastróficas

Se debe considerar una condición de optimización de las estrategias de mantenimiento y conservación, de tal manera que los costos de la aplicación de las tecnologías y estrategias no sean superiores a los que se tratan de evitar.

Sin una evaluación, cualquier sistema de mantenimiento tiende a fracasar.

## BIBLIOGRAFÍA

- A. Kelly. M.J. Harris. Gestión del mantenimiento industrial. Publicaciones Fundación Resol. Madrid. 1995.
- García Castro, Alfonso. Mantenimiento predictivo, análisis de vibraciones. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Bogotá. 2008. pág. 126.
- González Fernández, Francisco Javier. Auditoría del Mantenimiento e Indicadores de Gestión. Editorial FC. España.
- Mora Gutiérrez, Alberto. Mantenimiento industrial efectivo. Editado por Goldi. Antioquia Colombia. 2009.
- Navarro Elola, Luis. Pastor Tejedor, Ana Clara. Gestión integral del mantenimiento. Editorial Mrcombo. España. 1997.
- Rey Sacristán, Francisco. Hacia la excelencia en mantenimiento. Editorial TGP HOSHIN. España. 1996
- Mantenimiento. (Citado el 11 de octubre de 2010). Disponible en <  
<http://www.cepis.org.pe/bvsatr/fulltext/operacion/cap10.pdf>>
- Solo mantenimiento.com. Tipos de mantenimiento. (Citado el 29 de junio 2010). Disponible en [http://www.solomantenimiento.com/m\\_preventivo.htm](http://www.solomantenimiento.com/m_preventivo.htm)
- Mantenimiento Predictivo. (Citado el 11 de octubre de 2010). Disponible en <http://www.monografias.com/trabajos17/mantenimiento-predictivo/mantenimiento-predictivo.shtml>

- Las Técnicas de Monitoreo de Condición, como herramienta del Mantenimiento Proactivo Mantenimiento. (Citado el 14 de octubre de 2010). Disponible <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mmnew/bib/notas/tecnicas-monitoreo.pdf>
- Congreso mexicano de confiabilidad y mantenimiento. (Citado el 14 de octubre de 2010). Disponible en [www.mantenimientoplanificado.com/.../Monitoreo%20de%20Condición%20-%20CMCM.doc](http://www.mantenimientoplanificado.com/.../Monitoreo%20de%20Condición%20-%20CMCM.doc)