

**DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LOS  
EQUIPOS ROTATIVOS Y ELECTRICOS DE LAS PLANTAS DE  
DOW QUIMICA Y AMERICAS STYRENICS EN CARTAGENA.**

**OSVALDO RAMÓN HERRERA ORTEGA**



**FACULTAD DE INGENIERÍAS  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
CARTAGENA DE INDIAS**

**2011**

**DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LOS  
EQUIPOS ROTATIVOS Y ELECTRICOS DE LAS PLANTAS DE  
DOW QUIMICA Y AMERICAS STYRENICS EN CARTAGENA.**

**OSVALDO RAMÓN HERRERA ORTEGA**

**TRABAJO FINAL INTEGRADOR PARA OPTAR EL TITULO DE  
ESPECIALISTA EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO**

**DIRECTOR TRABAJO FINAL INTEGRADOR  
MSc, ME ALFREDO ABUCHAR CURI**



**FACULTAD DE INGENIERÍAS  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
CARTAGENA DE INDIAS**

**2011**

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

**Presidente del Jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Cartagena de Indias D. T. y C., 21 de Octubre de 2011**

Cartagena de Indias D. T. y C., 21 de Octubre de 2011

**Señores:**

**Comité Evaluador**

**Especialización en Gerencia de Mantenimiento**

**Universidad Tecnológica De Bolívar**

**Ciudad.**

Apreciados señores:

Por medio de la presente me permito someter para su estudio, consideración y aprobación el Trabajo Final Integrador titulado **“DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LOS EQUIPOS ROTATIVOS Y ELECTRICOS DE LAS PLANTAS DE DOW QUIMICA Y AMERICAS STYRENICS EN CARTAGENA.”** realizada por el estudiante **Oswaldo Ramón Herrera Ortega**, para optar al título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento.

Cordialmente,



---

**Oswaldo R. Herrera Ortega**

## **CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES**

Cartagena de Indias D. T. y C., 21 de Octubre de 2011

Yo, **Oswaldo Ramón Herrera Ortega**, manifiesto en este documento mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica de Bolívar los derechos patrimoniales, consagrados en el artículo 72 de la Ley 23 de 1982 sobre Derechos de Autor, del trabajo final denominado **“DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LOS EQUIPOS ROTATIVOS Y ELECTRICOS DE LAS PLANTAS DE DOW QUIMICA Y AMERICAS STYRENICS EN CARTAGENA.”** producto de mi actividad académica para optar el título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento de la Universidad Tecnológica de Bolívar.

La Universidad Tecnológica de Bolívar, entidad académica sin ánimo de lucro, queda por lo tanto facultada para ejercer plenamente los derechos anteriormente cedidos en su actividad ordinaria de investigación, docencia y extensión. La cesión otorgada se ajusta a lo que establece la Ley 23 de 1982. Con todo, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada con arreglo al artículo 30 de la Ley 23 de 1982. En concordancia suscribo este documento que hace parte integral del trabajo antes mencionado y entrego al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica de Bolívar.



---

**Oswaldo R. Herrera Ortega**  
**C.C. 7.918.948 de Cartagena**

Cartagena de Indias D. T. y C., 21 de Octubre de 2011

**Señores:**

**Comité Evaluador**

**Especialización en Gerencia de Mantenimiento**

**Universidad Tecnológica De Bolívar**

**Ciudad.**

Apreciados señores:

Por medio de la presente me permito informarles que el Trabajo Final Integrador titulado **“DISEÑO DE PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LOS EQUIPOS ROTATIVOS Y ELECTRICOS DE LAS PLANTAS DE DOW QUIMICA Y AMERICAS STYRENICS EN CARTAGENA”** ha sido desarrollado de acuerdo a los objetivos establecidos por la Especialización de Gerencia en Mantenimiento.

Como director del proyecto considero que el trabajo es satisfactorio y amerita ser presentado para su evaluación.

Atentamente



---

**MSc, ME Alfredo Abuchar Curi**

**Director Trabajo Final Integrador**

## CONTENIDO

	pág.
01. INTRODUCCIÓN	15
02. EL PROBLEMA	17
02.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA.	17
02.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.	18
03. OBJETIVOS.	19
03.1 OBJETIVO GENERAL.	19
03.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	19
04. JUSTIFICACIÓN.	20
05. MARCO TEORICO	21
06. MARCO CONTEXTUAL	26
07. HIPOTESIS DEL TRABAJO	27
08. DISEÑO METODOLOGICO	27
08.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	27
08.2 FUENTES DE INFORMACIÓN	27

<b>08.3 TRATAMIENTO DE LA INFORMACION</b>	<b>28</b>
<b>09. ALCANCE</b>	<b>29</b>
<b>1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL</b>	<b>32</b>
<b>2. DEFINICIÓN Y APLICACIÓN DE ESTRATEGIAS</b>	<b>38</b>
<b>2.1 DEFINICIÓN DE LA MATRIZ CBM</b>	<b>38</b>
<b>2.2 TECNOLOGÍAS CBM A SER UTILIZADAS</b>	<b>39</b>
<b>2.3 CRITICIDAD</b>	<b>42</b>
<b>2.4 FRECUENCIAS DE INSPECCIÓN</b>	<b>43</b>
<b>2.5 RESPONSABILIDADES DENTRO DEL PROCESO DE EJECUCIÓN</b>	<b>44</b>
<b>2.6 MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE LA INFORMACIÓN</b>	<b>45</b>
<b>2.7 CONFIGURACIÓN DE LAS RUTINAS DE MONITOREO DE EQUIPOS</b>	<b>46</b>
<b>2.8 CARGUE DE LAS RUTINAS</b>	<b>46</b>
<b>3. PRESUPUESTO</b>	<b>46</b>
<b>4. CRONOGRAMA</b>	<b>47</b>
<b>5. EVALUACIÓN Y MEDICIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>48</b>
<b>6. REQUERIMIENTOS</b>	<b>49</b>



<b>6.1 RECURSO HUMANO</b>	<b>49</b>
<b>6.2 HARDWARE Y SOFTWARE</b>	<b>50</b>
<b>7. CONCLUSIONES</b>	<b>51</b>
<b>8. RECOMENDACIONES</b>	<b>52</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>53</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>54</b>

## LISTA DE TABLAS

	<b>pág.</b>
Tabla 1. Listado de Responsables	36
Tabla 2. Costo Recurso Humano Proyecto	37
Tabla 3. Otros costos del Proyecto	39
Tabla 4. Resumen Costo Total del Proyecto	40
Tabla 5. Cronograma	47
Tabla 6. Diagrama de Gantt del Proyecto	52
Tabla 7: Cuadro de Recursos del Proyecto	

## LISTA DE FIGURAS

	<b>pág.</b>
Figura 1. Proceso de mantenimiento	24
Figura 2. Diagrama de solicitud de servicio	24
Figura 3. Diagrama de Planeación y Programación	24
Figura 4. Backlog	25
Figura 5. Círculo de Deming	26
Figura 6. Plan de mantenimiento preventivo – PPM	26
Figura 7. Formato de la tarea	27
Figura 8. Tecnologías Predictivas Genéricas aplicables	28
Figura 9. Definición de Criticidad	
	32

## LISTA DE ANEXOS

	<b>pág.</b>
Anexo 1. Plantilla de Criticidad de Equipos.	54
Anexo 2. Plantilla de Matriz CBM.	55
Anexo 3. Universo del Mantenimiento.	56

## GLOSARIO

**API:** instituto americano de petróleos

**ASME:** Sociedad Americana de ingenieros mecánicos

**Benchmarking:** Compararse con el mejor en el mismo área de trabajo para reconocer fortalezas y amenazas

**CBM (condición based maintenance):** Mantenimiento basado en condición.

**COF:** Consecuencias de falla

**Confiabilidad:** Es la probabilidad que un equipo o componente desempeñe una función para lo cual fue diseñado, durante un periodo de tiempo específico y bajo condiciones normales de operación.

**Consecuencias:** Efectos de un evento. Puede haber más de una consecuencia para un evento. El rango de consecuencias varía entre positivo a negativo, sin embargo, las consecuencias son siempre negativas por aspecto de seguridad. Las consecuencias pueden ser expresadas cualitativamente o cuantitativamente.

**Deterioro:** La reducción en la habilidad de un equipo para proveer su propósito de contener el fluido. Esto puede ser causado por varios mecanismos de deterioro.

**DMMS (Dow Maintenance Management System):** Sistema de gerenciamiento de mantenimiento de Dow.

**Estimación de Riesgo:** Proceso utilizado para asignar valores a la probabilidad y la consecuencia de un riesgo.

**Evaluación de Riesgos:** Proceso utilizado para comparar el riesgo estimado y el criterio de riesgo dado para determinar la importancia del riesgo.

**Evento:** Un incidente o situación, ocurre en un lugar particular durante un periodo de tiempo particular.

**Falla:** Terminación de la habilidad de un sistema, estructura o equipo de desarrollar su función requerida de contención de fluido.

**FMEA:** Modo de falla y análisis de efectos. Un análisis inductivo que sistemáticamente detalla, a un nivel de equipo todos los posibles modos de falla e identificación los efectos resultantes en el sistema.

**Frecuencia Genéricas de falla:** Una compilación de información disponibles de fallas históricas en los equipos, desarrolladas para cada equipo y cada diámetro de

tuberías; construida utilizando información de todas las plantas en una compañía o de varias plantas en una industria.

**ISO:** Organización Internacional para la Estandarización.

**Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM):** Es un proceso usado para determinar lo que se debe hacerse para asegurar que cualquier recurso físico continúe realizando lo que sus usuarios desean que realice en su producción normal actual.

**Mantenimiento Clase Mundial:** La orientación de la gestión de mantenimiento hacia clase mundial exige cambiar de actitud y de cultura, requiere que se tenga un alto nivel de prevención y planeación, soportando en un adecuado sistema gerencial informatizado de mantenimiento, orientándose hacia las metas y objetivos fijados previamente y realizando las cosas que haya que hacer en la forma más correcta posible con el mayor grado de profundidad científica.

**Mantenimiento Correctivo:** Este mantenimiento no solo repara la avería, sino que corrige la falla para evitar que vuelva a suceder.

**Mantenimiento Estratégico:** El mantenimiento estratégico, o mantenimiento centrado en el riesgo, es una quiebra paradigma una vez que pasa a enfocar las secciones bajo el aspecto. Sistémico y no mas por equipo individual. Será analizado la relación entre el seguimiento de la disponibilidad "versus" la necesidad de utilización de equipos.

**Mantenimiento Integral Logístico:** La logística industrial procura obtener la máxima disponibilidad en los sistemas de producción industrial. Este concepto aboca por un mantenimiento logístico.

**Mantenimiento Orientando al Cliente:** Proporciona un apoyo excelente al cliente, reducción eventualmente eliminando la necesidad de mantenimiento, aumentando la disponibilidad de los equipos.

**Mantenimiento Orientando Tero tecnología (MOT):** La Tero tecnología es la metodología practica derivada de la logística industrial, donde ocurren: los fabricantes, los constructores, los diseñadores, los negociadores los usuarios y los mantenedores de equipos industriales con el fin de maximizar su fiabilidad y mantenibilidad.

**Mantenimiento Preventivo y predictivo:** Este tipo de mantenimiento no solo previene las fallas al corregir la causa, sino que también predice las fallas para anticiparse al evento.

**Mantenimiento proactivo:** En síntesis en vez de reaccionar frente a los problemas el fundamento del proactivo es anticiparse a ellos. El proceso proactivo

utiliza las herramientas TPM, RCM, confiabilidad, preventivo, predictivo etc. Que le permitan alcanzar niveles de eficiencia superiores.

**Mantenimiento Productivo Total (TPM):** El TPM tiene como principal objetivo cuidar y utilizar el sistema productivo manteniéndolos en su estado base (de origen o de referencia) y aplicándolo sobre ellos mejora continua. El TPM procura cuatro principios fundamentales: satisfacción del cliente (Aprovisionamiento – Operación – Producción – Distribución, internos o externos de la compañía), dominio de los procesos y sistema de producción, implicar a personas a través del automantenimiento y el aprendizaje y la mejora continua.

**Mecanismo de Daño:** Acción corrosiva o mecánica que produce el daño de un equipo.

**Modo de Falla:** Se define como la manera en que una parte o ensamble puede potencialmente fallar en cumplir con los requerimientos de liberación de ingeniería o con requerimiento específicos del proceso.

**Modulo Técnico:** Método sistemático usados para acceder los efectos de un mecanismo de falla específicos en la probabilidad de falla. Evalúa dos categorías de información: tasa de deterioro de los equipos y la efectividad del programa de inspección.

**OSHA:** Administración de Seguridad Ocupacional y Salud.

**Probabilidad:** Probabilidad de un evento específico, medido como la tasa de eventos específicos sobre el número total de posibles eventos. Es expresado como un número entre cero y uno.

**PPM (Preventive-Predictive Maintenance):** Mantenimiento Preventivo-Predictivo

**Riesgo Relativo:** El riesgo comparativo de una unidad de producción, sistema o equipo de otras unidades de producción, sistemas o equipos, respectivamente.

**Riesgo:** Combinación de la probabilidad de un evento con su consecuencia. Cuando la probabilidad y la consecuencia son expresadas numéricamente, el riesgo es un producto.

**SITE:** Con este apelativo se nombra a las plantas de Dow Química en el mundo.

**TAG:** Nombre o descripción del equipo en mención

**Vibración:** Movimiento causado por una carga dinámica que cambia la magnitud o dirección con el tiempo, evaluado en función de un punto de referencia.

## **RESUMEN**

En el presente trabajo se diseña una estrategia de mantenimiento predictivo para los equipos rotativos y eléctricos de las plantas de Dow Química de Colombia S.A, y Americas Styrenics, con el objetivo de garantizar mayor control de los equipos críticos con base en análisis de tendencias, lo anterior parte de una propuesta de implementación de un plan de mantenimiento clase mundo adecuada para la compañía.

El trabajo inicia con una descripción de la compañía y los equipos involucrados en la producción, luego se continúa con un marco conceptual referente al Mantenimiento con el propósito de conceptualizar al lector. Culminado con la realización de un análisis aplicado a la situación, seguido de la aplicación de la táctica establecida. Se hacen observaciones y recomendaciones.



## 01. INTRODUCCIÓN

La función de mantenimiento se origina con la era de la industrialización y la aparición de los equipos de producción. Las empresas se organizan según la dimensión de la cantidad, de la calidad y de la producción. Las necesidades, la competencia, la etnología y la experiencia hacen que las empresas evolucionen en el ámbito de mantenimiento. El universo del mantenimiento ha vivido muchas etapas y tipos de mantenimiento; entre estos están el Mantenimiento por rotura, Mantenimiento correctivo, Mantenimiento planificado, TPM, Mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM), Mantenimiento combinado TPM y RCM, Mantenimiento clase mundial, Mantenimiento proactivo, Mantenimiento orientado al cliente, mantenimiento integral logístico, Mantenimiento orientado por la tecnología (MOT), Mantenimiento estratégico y Mantenimiento preventivo-predictivo (PPM)

El amplio universo de estrategias y funciones que hoy en día podemos aplicar al mantenimiento nos lleva a preguntarnos, en verdad estamos siendo efectivos con nuestro programa actual?, estamos encaminados a un “Mantenimiento clase mundo”?, Que debemos hacer para tener la confiabilidad deseada?, estas preguntas nos motivan a realizar un estudio de la situación actual y compararla con los inputs del mantenimiento clase mundo.

Mantenimiento: Conjunto de operaciones y cuidados necesarios para que instalaciones, edificios, industrias, etc., puedan seguir funcionando adecuadamente<sup>1</sup>.

- Antes
  - Es para preservar el Activo Físico.
  - El Mantenimiento preventivo es para prevenir fallas.
  - El objetivo primario de la función Mantenimiento es para optimizar la disponibilidad de la planta al mínimo costo.
  
- Ahora
  - Es para preservar la “función” de los activos.
  - El Mantenimiento preventivo es para evitar, reducir o eliminar las consecuencias de las fallas.
  - El Mantenimiento afecta todos los aspectos del negocio; riesgo, seguridad, integridad ambiental, eficiencia energética, calidad del producto y servicio al cliente. No sólo la disponibilidad y los costos

---

<sup>1</sup> RAE, Real Academia Española

El mantenimiento predictivo o basada en condición (Condition Based maintenance CBM). Consiste en la aplicación de tecnologías en el proceso de detección temprana de fallas y descubrir cambios en las condiciones de los equipos que permitan intervenciones más oportunas y precisas. Las características fundamentales de CBM son:

- Determinar las condiciones del equipo evitando al máximo las paradas innecesarias.
- Monitorear y hacer seguimiento al comportamiento del equipo detectado con problemas y así poder programar el mantenimiento.
- Mejorar la confiabilidad y disponibilidad de los equipos.

## **02.EL PROBLEMA.**

### **02.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA**

El actual programa de mantenimiento basado en condición (CBM), en la compañía Dow Química de Colombia, no tiene en la actualidad rutas claramente establecidas de los equipos que se monitorean, sino que se labora con una orden de servicio genérica la cual se reparte entre los diferentes centros de costo de la planta, factor que impide que se mida con datos reales el cumplimiento del programa, y además no garantiza la disponibilidad y confiabilidad de los equipos, motivo principal de esta propuesta. Además las actividades de lubricación e inspección se cargan en una misma rutina

Las consecuencias de lo anterior se reflejan en la sobrecarga de labores a los empleados, las cuales se deben hacer en forma rápida, eficiente, pero con muy poco tiempo para planear las acciones a ejecutar.

Aparte de lo anterior, la situación actual no permite establecer una medición real del cumplimiento de CBM, lo cual se convierte en una laguna desde el punto de vista de la confiabilidad puesto que los equipos de la planta son muy costosos e importantes para el proceso y en caso de que alguno de ellos llegase a fallar, dependiendo de su función, podría ocasionar una parada de planta no programada y este imprevisto le costaría a la compañía miles de dólares

Para las facilidades de Dow Química y Americas Styrenics - Cartagena, se propone la siguiente estrategia de mantenimiento basado en condición (CBM). Estará conformada sobre un extensivo uso de técnicas de monitoreo por condición y se propone generar beneficios en los siguientes campos:

- Mejorar disponibilidad y confiabilidad según la expectativa del cliente.
- Evitar fallas catastróficas con su consecuente tiempo de parada.
- Incrementar intervalos de mantenimientos programados.
- Reducción de costos de mantenimiento y operación.

Los siguientes grupos de equipos serán cubiertos:

- Maquinaria rotativa de propósito general.
- Equipos Eléctricos.

Es de aclarar que, en el recorrido normal que durante un mes realizan los técnicos de CBM por las plantas, no alcanzan a cubrir todos los equipos de los distintos subprocesos. Sin embargo la Orden de Servicio es concluida al finalizar el mes con el objetivo de que el sistema arroje automáticamente la orden para el mes siguiente; esta conclusión de la orden de servicio cuenta como un “plan realizado” y suma al porcentaje de cumplimiento del programa, es por esto que se hace necesaria la implementación de rutas y tareas acordes con el trabajo real y con las buenas prácticas de mantenimiento.

Debido a las características mencionadas anteriormente, se plantea la siguiente pregunta problema:

## **02.2 FORMULACION DEL PROBLEMA.**

¿ Si el departamento de CBM aplica y sigue los patrones del mantenimiento clase mundo creando rutas específicas, de acuerdo al contexto operacional de los equipos, buscaría mejorar los índices de disponibilidad y confiabilidad de la planta?

## **03.OBJETIVOS**

### **03.1 OBJETIVO GENERAL**

Aplicar estrategias de Mantenimiento Basado en Condición CBM, en las instalaciones de Dow Química y Americas Styrenics en Cartagena, con el fin de buscar mayores índices de disponibilidad y confiabilidad en los equipos y asegurar el cumplimiento del programa de CBM.

### **03.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Definir una matriz de criticidad de equipos por planta (CBM Matriz), en la cual se fijaran las técnicas de CMB a aplicar en los equipos, así como las frecuencias de monitoreo, necesidades tanto humanas como tecnológicas (hardware y software), Responsabilidades dentro del proceso de ejecución del proceso, etc.
- Diseñar rutas de monitoreo de vibraciones mecánicas de acuerdo a la criticidad y operatividad (tiempo de uso) de los equipos.
- Diseñar rutas de inspección específicas de acuerdo con la metodología y recomendaciones del Mantenimiento clase mundo, estas se asignarían a sistemas y subsistemas de la planta y puntualizando en la toma de datos los cuales describirán el comportamiento y prevendrán las fallas, todo esto enfocado a que los activos sigan desempeñando el trabajo que sus dueños desean que hagan.
- Diseñar rutas específicas de Lubricación de acuerdo con la metodología y recomendaciones del Mantenimiento clase mundo haciendo énfasis en los equipos críticos, soportado con manuales y catálogos de fabricantes.
- Formalizar las actividades comprendidas en Inspección (detección de fugas, revisión de estado físico, inspección acústica, medición de temperatura), y Lubricación (Cambio de aceite, toma de muestras para análisis de aceite, reposición de grasa), para así poder controlar las programaciones de estas actividades

## 04. JUSTIFICACION

Estudios recientes demuestran que la incorrecta distribución y aplicación de técnicas en las cuales el método y frecuencia no son adecuados ocasiona aproximadamente el 50% de las fallas en los equipos y el costo de no efectuar a tiempo y adecuadamente las actividades de CBM es muy alto.

Por tal razón se hace necesario formalizar las rutas en las cuales se realizarán las técnicas de CBM (vibraciones, inspección, lubricación) a determinados equipos, por medio de sistemas que debe tener el programa y por órdenes de servicio que sean el resultado de un plan individual y no una solicitud genérica tal como se maneja actualmente. Con esto se busca garantizar la confiabilidad, creando así una disciplina de trabajo enfocada a optimizar la utilización de los recursos con miras a lograr la satisfacción de las necesidades y expectativas de los clientes.

Por los motivos anteriores, para la compañía Wood Group Colombia S. A., es importante demostrar el grado de confiabilidad y productividad que tiene el departamento de mantenimiento, así como su desempeño en los diferentes programas y su sostenibilidad en las plantas, lo cual se puede alcanzar activamente con un plan de mejoramiento de las tácticas de CBM, fundamentado en la definición de estrategias, con el fin de proyectar un mejoramiento continuo y sostenido, así como también conseguir el desarrollo integral de la empresa y del departamento de mantenimiento.

Para cualquier empresa y en este caso particular es de vital importancia el diseño de planes que permitan llevar un mantenimiento de clase mundial direccionado a conseguir la confiabilidad de sus activos, y una forma de hacerlo es definiendo estrategias de mejoramiento de los planes ya existentes, así como directrices operativas que lleven a la formulación de planes específicos.

## 05.MARCO TEÓRICO

El Mantenimiento generalmente se incluye en las organizaciones, dentro de la función denominada Ingeniería de Planta, siendo en muchos casos, su actividad excluyente, para las compañías Dow Química y Americas Styrenics en sus sedes en la ciudad de Cartagena así es.

En mantenimiento, se agrupan una serie de actividades cuya ejecución permite alcanzar un mayor grado de confiabilidad en los equipos, máquinas, construcciones civiles, instalaciones, etc.

La confiabilidad de un sistema complejo, compuesto por una serie de piezas, puede llegar a ser muy mala a pesar de una no muy mala confiabilidad individual. Esto es tanto más cierto cuanto mayor sea la variabilidad del desempeño de cada uno de los componentes del sistema y su grado de dependencia o independencia. Es particularmente cierto cuando es la mano de obra uno de los componentes. En efecto, si no llevamos a cabo una actividad de mejora y de control será muy difícil obtener confiabilidades resultantes elevadas. También es cierto que es a través de esta actividad de mejora donde se puede lograr la diferencia entre un buen y un mal servicio como producto.

Dentro de este contexto el mantenimiento ha venido evolucionando a través de la historia y hoy en día encontramos varios tipos de mantenimiento que se aplican a todo tipo de empresas, entre ellas Dow Química, dentro de este grupo podemos encontrar el mantenimiento correctivo, del cual encontramos esta definición:

### **Mantenimiento Correctivo:**

Es aquel mantenimiento que se lleva a cabo con el fin de corregir (reparar) una falla en el equipo, en la actualidad este tipo de mantenimiento prima en el normal desarrollo de las actividades del departamento que se ejecutan en Dow Química en su sede en Cartagena, este es uno de los puntos que buscamos debilitar con el presente proyecto, el cual muestra el Mantenimiento Predictivo como la clave para alcanzar niveles de mantenimiento clase mundo. El Mantenimiento Correctivo se clasifica en:

a.) No Planificado: El correctivo de emergencia deberá actuar lo más rápidamente posible con el objetivo de evitar costos y daños materiales y/o humanos mayores. Debe efectuarse con urgencia ya sea por una avería imprevista a reparar lo más pronto posible o por una condición imperativa que hay que satisfacer (problemas de seguridad, de contaminación, de aplicación de normas legales, etc.). Este sistema resulta aplicable en sistemas complejos, normalmente componentes electrónicos o en los que es imposible predecir las fallas y en los procesos que admiten ser interrumpidos en cualquier momento y durante cualquier tiempo, sin afectar la seguridad. Con la implementación de las estrategias sugeridas en este proyecto se busca mitigar este tipo de mantenimiento en los equipos rotativos de la planta de Dow Química en su sede en Cartagena

b.) Planificado: Se sabe con anticipación qué es lo que debe hacerse, de modo que cuando se pare el equipo para efectuar la reparación, se disponga del personal, repuestos y recursos técnicos necesarios para realizarla correctamente, para lograr antes citado se hace necesario contar con una infraestructura definida en un programa de mantenimiento en donde se cuente con planes de mantenimiento preventivo, los cuales buscan minimizar los mantenimientos no planeados, así como las emergencias.

Al igual que el anterior, corrige la falla y actúa ante un hecho cierto.

La diferencia con el de emergencia, es que no existe el grado de apremio del anterior, sino que los trabajos pueden ser programados para ser realizados en un futuro normalmente próximo, sin interferir con las tareas de producción. En general, programamos la detención del equipo, pero antes de hacerlo, vamos acumulando tareas a realizar sobre el mismo y programamos su ejecución en dicha oportunidad, aprovechando para ejecutar toda tarea que no podríamos hacer con el equipo en funcionamiento.

### **Mantenimiento Preventivo:**

Cubre todo el mantenimiento programado que se realiza con el fin de:

Prevenir la ocurrencia de fallas. Se conoce como Mantenimiento Preventivo Directo o Periódico por cuanto sus actividades están controladas por el tiempo. Se basa en la Confiabilidad de los Equipos TMEF (Tiempo medio entre fallas,) sin considerar las peculiaridades de una instalación dada. Ejemplos: limpieza, lubricación, recambios programados. En este tipo de mantenimiento se encuentran



la Inspección, Cambio o reposición de aceite, y reengrase de rodamientos, actividades objeto de este proyecto.

### **Mantenimiento Predictivo:**

Es el Servicio de seguimiento del desgaste de una o más piezas o componente de equipos prioritarios a través de análisis de síntomas, o estimación hecha por evaluación estadística, tratando de extrapolar el comportamiento de esas piezas o componentes y determinar el punto exacto de cambio. Dentro de este se encuentra el análisis de aceite.

El mantenimiento Predictivo basado en la confiabilidad o la forma sistemática de como preservar el rendimiento requerido basándose en las características físicas, la forma como se utiliza, especialmente de cómo puede fallar y evaluando sus consecuencias para así aplicar las tareas adecuadas de mantenimiento ( preventivas o correctivas).

Detectar las fallas antes de que se desarrollen en una rotura u otras interferencias en producción. Está basado en inspecciones, medidas y control del nivel de condición de los equipos.

También conocido como Mantenimiento Predictivo, Preventivo Indirecto o Mantenimiento por Condición -CBM (Condition Based Maintenance). A diferencia del Mantenimiento Preventivo Directo, que asume que los equipos e instalaciones siguen cierta clase de comportamiento estadístico, el Mantenimiento Predictivo verifica muy de cerca la operación de cada máquina operando en su entorno real. Sus beneficios son difíciles de cuantificar ya que no se dispone de métodos tipo para el cálculo de los beneficios o del valor derivado de su aplicación.

Por ello, muchas empresas usan sistemas informales basados en los costos evitados, indicándose que por cada dólar gastado en su empleo, se economizan 10 dólares en costos de mantenimiento.

En realidad, ambos Mantenimientos Preventivos no están en competencia, por el contrario, el Mantenimiento Predictivo permite decidir cuándo hacer el Preventivo. En algunos casos, arrojan indicios evidentes de una futura falla, indicios que pueden advertirse simplemente. En otros casos, es posible advertir la tendencia a entrar en falla de un bien, mediante el monitoreo de condición, es decir, mediante la elección, medición y seguimiento, de algunos parámetros relevantes que representan el buen funcionamiento del bien en análisis.

Los aparatos e instrumentos que se utilizan son de naturaleza variada y pueden encontrarse incorporados en los equipos de control de procesos (automáticos), a través de equipos de captura de datos o mediante la operación manual de instrumental específico.

Actualmente existen aparatos de medición sumamente precisos, que permiten analizar ruidos y vibraciones, aceites aislantes o espesores de chapa, mediante las aplicaciones de la electrónica en equipos de ultrasonidos, cromatografía líquida y gaseosa, y otros métodos<sup>2</sup>.

La finalidad del mantenimiento preventivo es: Encontrar y corregir los problemas menores antes de que estos provoquen fallas. El mantenimiento preventivo puede ser definido como una lista completa de actividades, todas ellas realizadas por; usuarios, operadores, y mantenimiento. Para asegurar el correcto funcionamiento de la planta, edificios. Máquinas, equipos, vehículos, etc. Antes de empezar a mencionar los pasos requeridos para establecer un programa de mantenimiento preventivo, es importante analizar sus componentes para que comencemos con una base de referencia común.

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.

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 maquinas, 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 se tienen 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 incendios"

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.

---

<sup>2</sup> [www.mantenimiento.com](http://www.mantenimiento.com)

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.

El mantenimiento predictivo es un control metódico y planeado que usa, entre otras, lecturas de vibración, análisis de aceites, tomografías y otras técnicas para predecir efectivamente cuando una máquina en particular necesitará atención de acuerdo con su condición operativa individualmente.

Que beneficios se obtienen de un buen programa de mantenimiento predictivo?

Prevenir Paradas no Programadas de Maquinaria.

La ley de Murphy dice que si una máquina va a fallar, esta lo hará en el momento más inoportuno. Este problema lo podemos eliminar mediante la medición de vibración, conociendo la salud mecánica de una máquina podemos visualizar los problemas en desarrollo antes de que ellos se conviertan en críticos y causen la falla de la máquina. Podemos predecir cuándo una máquina necesitará atención. Podemos programar el mantenimiento de la máquina cuando sea mejor para nosotros. Podemos prevenir paradas no programadas.

Reducir el Tiempo de Parada de los Equipos

Un buen programa de mantenimiento predictivo nos permite determinar cuál es el problema de una máquina mientras ella continúa en operación, esto quiere decir que cuando se programa un mantenimiento, no tenemos que adivinar que parte debe ser reparada o cambiada puesto que ya lo sabemos. Cuando la máquina es parada, las partes necesarias para su reparación estarán listas, el personal necesario estará listo, la reparación se ejecutará más rápidamente y más rápidamente la regresaremos a la línea de producción.

Extender la Vida Útil de los Equipos y sus Componentes

La maquinaria es costosa y a menudo imposible de reemplazar en un corto periodo de tiempo, por ello, manteniendo el equipo existente en operación, el mayor tiempo posible, podemos obtener ahorros sustanciales. Midiendo su vibración y manteniendo la máquina mecánicamente sana, extenderemos su vida útil.

Prevenir las Fallas Catastróficas.

Por monitoreo continuo de la máquina podemos normalmente detectar un problema mayor, permitiendo pararla antes de que se autodestruya. Los ahorros aquí son obvios: costo de la máquina, posibles lesiones en personal, destrucción de la planta y pérdidas de producción.

### Reducir Costo de Energía

Una máquina con problemas mecánicos cuesta más operarla que una máquina sana, ya que se necesita más energía para moverla. Un compresor o una bomba que se encuentren desbalanceados consumen más energía, por que se requiere suministrar más fuerza a sus motores para mantener la carga, incluyendo la energía de la vibración. La energía suministrada, bien puede ser en forma de electricidad, vapor, combustible, etc.

## **06.MARCO CONTEXTUAL**

A continuación Indico las características generales del Marco Contextual de este trabajo:

Este proyecto de grado se llevará a cabo en las instalaciones de Dow Química de Colombia y Americas Styrenics, específicamente en la planta de Producción, ubicada, en el kilómetro 14 de la vía a Mamonal en la ciudad de Cartagena.

El tiempo requerido para el desarrollo del proyecto será el comprendido entre los meses de Octubre del 2011 y Marzo del año 2012.

El proyecto se desarrollará bajo la temática específica de mejoramiento del programa de mantenimiento preventivo – predictivo, en su programa de mantenimiento basado en condición CBM.

## **07.HIPOTESIS DEL TRABAJO**

Se debe contar con rutas de Monitoreo de Vibraciones Mecánicas específicas teniendo en cuenta factores en común como son Criticidad, Utilización y Potencia del equipo.

Se debe contar con rutas de inspección y lubricación específicas teniendo en cuenta factores en común como son tipo de lubricante, frecuencia y desplazamiento del operario.

Se debe alimentar la matriz de criticidad de equipos (CBM Matriz) con la información propia de los equipos a monitorear, como fuentes se utilizan: Datos de placa, catálogos, Hojas de Fabricantes.

## 08.DISEÑO METODOLOGICO

### 08.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para este proyecto se emplea el tipo de investigación analítico-descriptiva, ya que permite identificar, describir, analizar y definir cuáles son las causas y efectos esperados al diseñar un plan de mantenimiento predictivo en los equipos rotativos y eléctricos de las plantas de Dow Química y Americas Styrenics”.

### 08.2 FUENTES DE INFORMACIÓN

**Información Primaria:** para este efecto se tendrán en cuenta las entrevistas a los directivos y jefes de sección de la empresas Dow Química de Colombia y Americas Styrenics, así como a los técnicos y analistas de mantenimiento del dpto. de mantenimiento.

**Información Secundaria:** Como información para la ejecución del proyecto se utilizarán datos Históricos de los equipos, procedimientos, manuales de equipos rotativos, registros de mantenimiento, DMMS (software de sistema de gestión de mantenimiento de Dow)

Se tendrán a disposición documentos, registros pertenecientes al archivo de mantenimiento de la empresa y, además, de textos, documentos y artículos específicos sobre Mantenimiento y Vibraciones.

### 08.3 TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Toda la información será recolectada, ordenada y clasificada con el fin de ser analizada, en talleres especialmente programados con los Ingenieros de Confiabilidad, Coordinadores de Mantenimiento, Técnicos de Mantenimiento y Operarios de planta, quienes se encuentran directamente involucrados en el mantenimiento y confiabilidad de los equipos de proceso de la planta.

## **09.ALCANCE**

El objetivo de esta sección es definir las categorías de equipos de las Áreas de Dow – AMSTY que deberán ser incluidos en la Estrategia de Mantenimiento basado en condición de acuerdo a los lineamientos contractuales previamente definidos. Esta será la guía para la configuración en detalle de la matriz.

### **Agroquímicos "DAS"**

#### **Equipos de Herbicidas.**

- 5 Agitadores.
- 16 Bombas Centrifugas.
- 3 Bombas de Engranajes Internos.
- 2 Ventiladores Centrífgos.

#### **Equipos de Insecticidas.**

- 4 Bombas Centrifugas.
- 2 Bombas de Engranajes Internos.
- 4 Ventiladores Centrífgos.

#### **Equipos Eléctricos.**

- Centro de control de motores MCC's
- Motores Eléctricos
- Transformadores

### **Polioles "PU"**

#### **Equipos Polioles.**

- 2 Agitadores.
- 30 Bombas Centrifugas.
- 17 Bombas de Engranajes Internos.
- 4 Bombas de Vacío
- 3 Ventiladores.
- 1 Válvula Rotativa
- 1 Compresor de Tornillo

#### **Equipos Sistema Contra incendio / Emergencia.**

- 5 Bombas Centrifugas.
- 2 Motores Diesel.
- 1 Generador de Energía.



### **Equipos Eléctricos.**

- Centro de control de motores MCC's
- Motores Eléctricos
- Transformadores

### **Americas Styrenics (Poliestireno)**

#### **Equipos Terminal – Slurry.**

- 3 Agitadores.
- 11 Bombas Centrifugas.
- 5 Bombas de Pistón
- 4 Bombas de Engranajes Internos.
- 1 Motoreductor

#### **Equipos Tren III.**

- 2 Agitadores
- 5 Sopladores.
- 2 Ventiladores
- 3 Enfriadores
- 17 Bombas Centrifugas
- 3 Bombas de Engranajes Internos
- 3 Bombas de Vacío
- 3 Bombas Hidráulicas
- 2 Válvulas Rotativas
- 3 Motores Hidráulicos

#### **Equipos Tren IV.**

- 5 Agitadores
- 7 Sopladores.
- 4 Ventiladores
- 6 Enfriadores
- 32 Bombas Centrifugas
- 9 Bombas de Engranajes Internos
- 4 Bombas de Vacío
- 4 Bombas Hidráulicas
- 2 Válvulas Rotativas
- 4 Motores Hidráulicos
- 3 Compresores

#### **Equipos Utilidades.**

- 2 Sopladores
- 2 Compresores Tornillo
- 2 Ventiladores

- 10 Bombas Centrifugas

**Equipos Empaque.**

- 12 Motores reductores
- 12 Sopladores
- 3 Válvulas Rotativas

**Equipos Eléctricos.**

- Centro de control de motores MCC's
- Motores Eléctricos
- Transformadores

## 1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

### PROCESO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO – PREDICTIVO - PPM EN DOW QUIMICA COLOMBIA Y AMERICAS SYURENICS.

El sistema de mantenimiento preventivo-predictivo de la Compañía Dow Química consiste en laborar bajo una Orden de trabajo (O.S) emitida por un software de la compañía llamado DMMS (Dow Maintenance Management System), el cual genera la orden de servicio de manera automática, previa planeación de la labor a realizar, y al mismo tiempo crea el plan de mantenimiento para el período específico.

**El PPM se divide en cinco áreas:**

- 1) Electricidad
- 2) Mecánica
  - a. Mecánica
  - b. Lubricación
  - c. Inspección
  - d. Vibraciones
- 3) Instrumentación
  - a. Instrumentación
  - b. Dispositivos de Seguridad
- 4) Inspección de equipos Estáticos
- 5) Refrigeración

Cada una de estas áreas debe realizar un programa de mantenimiento preventivo predictivo a través del Sistema Computarizado de Gerencia de Mantenimiento - CMMS, que, al ser personalizado, se llama DMMS (Dow Management Maintenance System), el cual tiene planes establecidos, con tareas y frecuencias para los equipos de sus cuatro plantas en Cartagena y que presenta las siguientes características:

- La principal herramienta para el control de la gestión de mantenimiento es la Orden de Trabajo.
- Todas las actividades de mantenimiento deben ser registradas en una orden de trabajo

Monitoreando el estado de las Órdenes de Trabajo tendremos control sobre el estado de actividades de mantenimiento

La siguiente figura esquematiza el proceso de mantenimiento en la empresa Dow Química de Colombia.

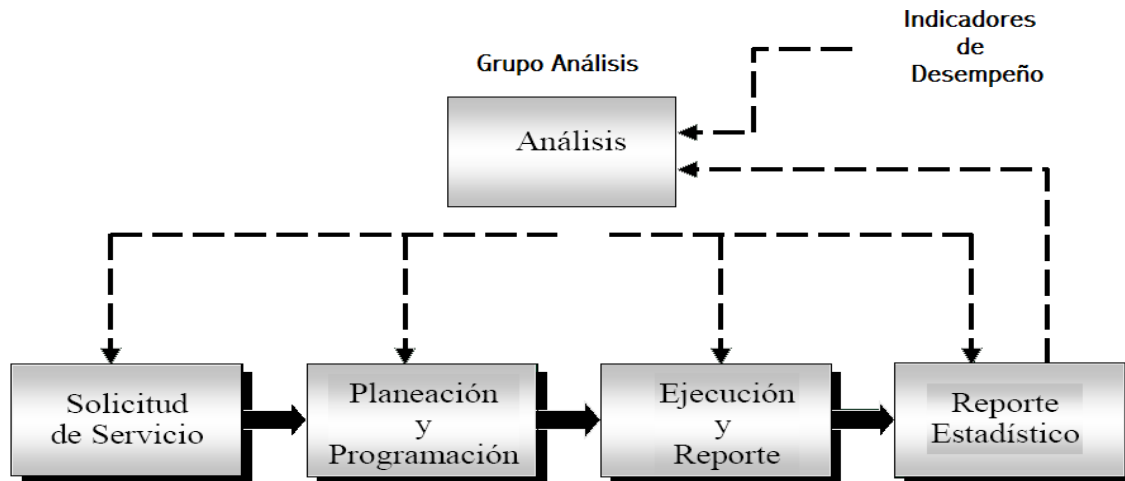


Figura 1. Proceso de mantenimiento. Fuente: Dow Química

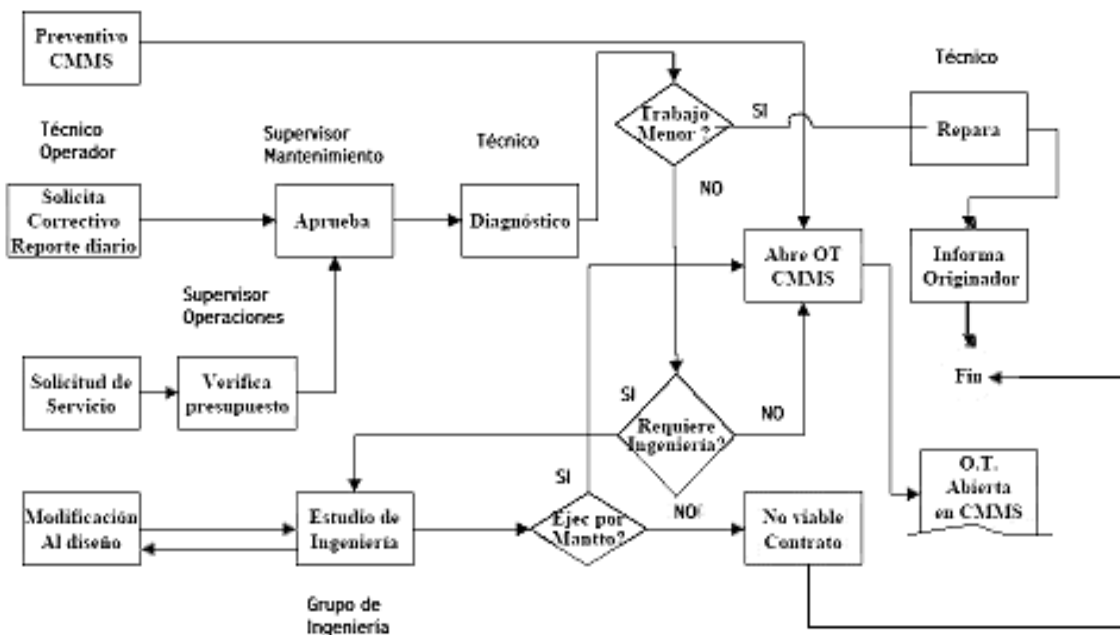


Figura 2. Diagrama de solicitud de servicio. Fuente: Aciem

Una vez realizada las Solicitudes de Servicio, el operador del programa DMMS, introduce los datos correspondientes a la semana y de allí surge el plan de mantenimiento semanal, que se deberá ejecutar y controlar

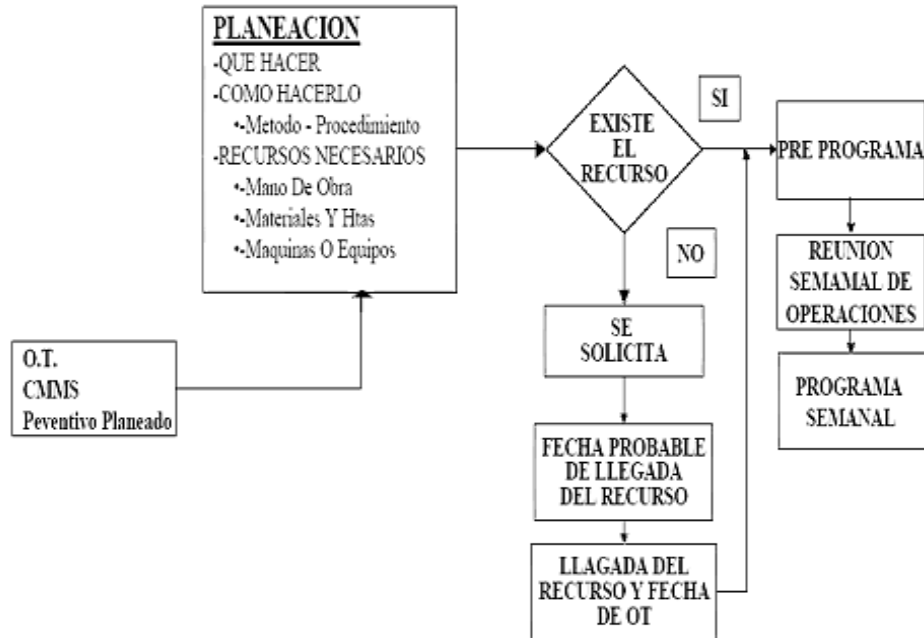


Figura 3. Diagrama de Planeación y Programación. Fuente: Aciem

Los criterios utilizados para la elaboración del diagrama anterior se refieren a:

### Que es planear?

- Es Definir:
  - el qué: Alcance del trabajo o proyecto
  - el cómo: Procedimientos, normas, procesos
  - los recursos: humanos, equipos, herramientas, materiales, etc....
  - la duración: el tiempo total del trabajo

### Cuáles son los criterios de programación?

- Criticidad del equipo
- Necesidades de operación
- Existencia de recursos adecuados
- Backlog
- Carga de trabajo
- Optimización de recursos y equipos

En el Backlog se muestra la cantidad de servicios por realizar, es decir lo que está pendiente, y que deberá ser priorizado para la siguiente semana.

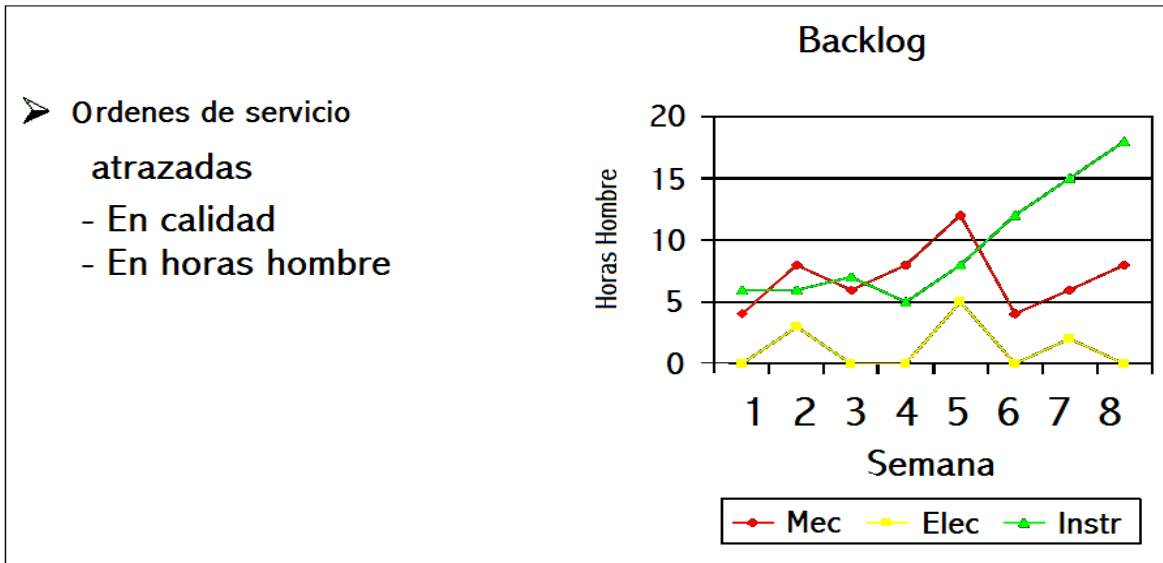


Figura 4. Backlog. Fuente: Aciem

**El Ciclo de Mejoramiento en Mantenimiento.** La empresa Dow Química utiliza el círculo de Deming para el manejo de su programa de mantenimiento ya que esta herramienta permite que cada uno de los empleados tenga claros los conceptos de Planeación, Ejecutar, Verificar y Actuar correctivamente en el desempeño de sus actividades del día a día, con miras al mejoramiento continuo como se muestra en el gráfico siguiente.

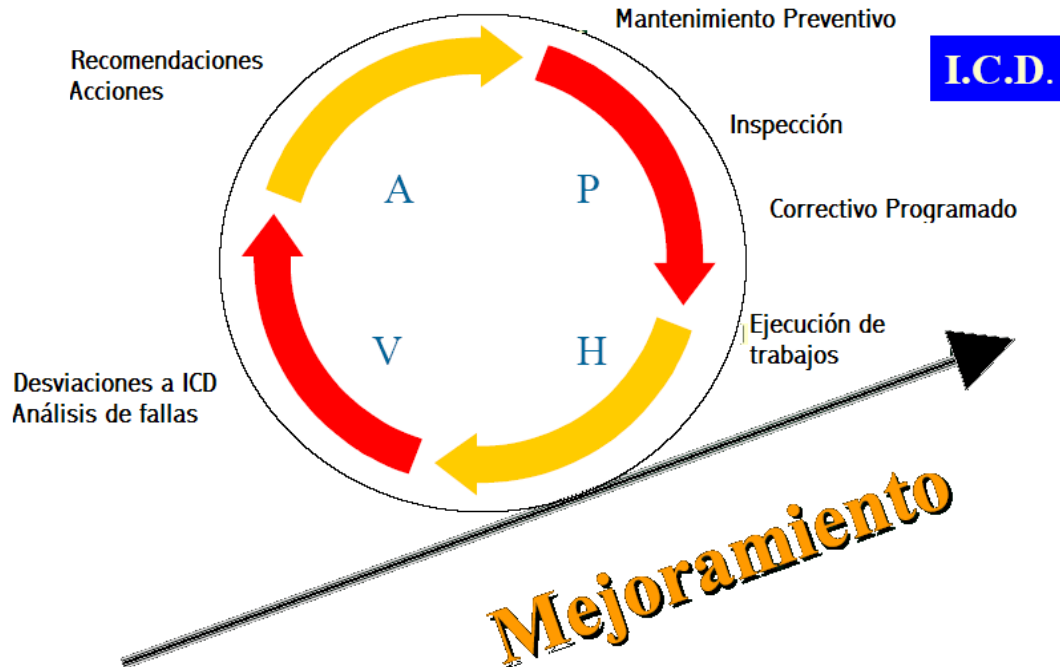


Figura 5. Círculo de Deming. Fuente: Aciem

### DEFICIENCIAS DEL SISTEMA ACTUAL CON REFERENCIA AL MANTENIMIENTO DE CLASE MUNDIAL.

Tal como se dijo en la descripción del problema, en la actualidad la empresa no cuenta con un programa de CBM que defina las técnicas y frecuencias a aplicar, allí sólo se trabaja bajo un sistema de ejecución de ordenes de trabajo arrojadas por el software de mantenimiento de Dow Maintenance Management System - DMMS, las cuales son, por así llamarlas, genéricas porque una sola orden abarca todos los equipos de la planta y tiene una frecuencia mensual, es decir con este tipo de plan no se puede medir realmente el cumplimiento del programa y, más aun, no se pueden analizar los indicadores de confiabilidad.

En el Dow Maintenance Management System - DMMS existe un campo o pantalla llamada matriz de plan de mantenimiento preventivo – PPM; es allí donde se cargan al sistemas los diferentes planes de PPM. Para poder crear un plan es necesario tener identificados algunos ítems, entre los cuales tenemos: La Planta, el Tag o nombre en el sistema, la tarea campo que contiene los pasos a seguir en la labor, una frecuencia expresada en días, un tiempo estimado de duración de la labor, materiales requeridos, etc.





Es de aclarar que, en el recorrido normal que durante un mes realiza el técnico de Vibraciones, no alcanza a cubrir todos los equipos de los distintos subprocesos. Sin embargo la Orden de Servicio es concluida al finalizar el mes con el objetivo de que el sistema arroje automáticamente la orden para el mes siguiente; esta conclusión de la orden de servicio cuenta como un “plan realizado” y suma al porcentaje de cumplimiento del programa, es por esto que se hace necesaria la implementación de rutas y tareas acordes con el trabajo real y las buenas prácticas de Mantenimiento.

## **2. DEFINICIÓN Y APLICACIÓN DE ESTRATEGIAS**

Para la creación de la Matriz CBM se realizaron los siguientes pasos:

1. Investigación y evaluación acerca de las tecnologías CBM actualmente disponibles.
2. Definición de las tecnologías a ser usadas en cada categoría de equipos.
3. Definición de la criticidad para cada equipo.
4. Definición de las frecuencias de inspección.
5. Definición de las responsabilidades en el proceso de ejecución del mantenimiento por condición.
6. Definición de la instrumentación, hardware y software necesarios para llevar a cabo la recolección, procesamiento, análisis, tendencia y almacenamiento de la información.
7. Definición de la información clave y su almacenamiento.
8. Configuración de las rutas de recolección de datos y la creación de las bases de datos.
9. Definición del programa calendario de las inspecciones predictivas. (Esto se realizaría en la fase de implementación)
10. Creación del programa de monitoreo en el sistema de administración del mantenimiento DMMS.

### **2.1 DEFINICIÓN DE LA MATRIZ CBM**

La Matriz CBM será una base de datos dinámica que contiene toda la información requerida para asignar las frecuencias de inspección, tipo de análisis a ser desarrollados y estimación de horas requeridas para la ejecución del trabajo. Será una tabla activa con una completa lista de la clasificación de cada equipo con información sobre el TAG, descripción, frecuencia de inspección, tecnología predictiva utilizada y ruta de inspección.

## 2.2 TECNOLOGÍAS CBM A SER UTILIZADAS

Tecnologías CM disponibles actualmente según las clases de equipos.

<i>Clasificación de los Equipos</i>	<i>Tecnología Predictiva</i>
<b>Maquinaria Rotativa de Propósito General</b>	<p>Análisis de Vibración Espectral y tendencia de información.                      Análisis de onda de tiempo de vibración y tendencia de la información.                      Análisis Espectral de Frecuencias de Falla de Rodamientos (Spike Energy).                      Medición periódica de temperatura de rodamientos.                      Inspección acústica y visual periódica.                      Monitoreo Continuo de parámetros de operación.                      Análisis de aceite de lubricación.</p>
<b>Equipo Eléctrico</b>	<p>Pruebas de nivel de aislamiento (Meggeo).                      Análisis Infrarrojo.(Tomografía)                      Prueba al aceite dieléctrico.</p>
<b>Todas las categorías</b>	<p>Análisis de falla.</p>

Figura 8. Generic Predictive Technologies Applicable

Equipos y tecnologías sugeridas:

Las siguientes son las tecnologías y herramientas sugeridas para llevar a cabo la adquisición de información:

### **Técnica CBM: Análisis de Vibraciones Mecánicas.**

El control y análisis vibracional espectral es la herramienta principal del Mantenimiento Predictivo, se basa en que las máquinas tienen un nivel normal de vibración (frecuencias naturales), como resultado de estar dentro de las tolerancias de las especificaciones de fabricación, montaje y operación.

Sí hay algún parámetro fuera de especificación entonces es una falla que causará el incremento del nivel vibracional, esta falla puede ser identificada por su comportamiento dinámico (amplitud, frecuencia y ángulo de fase).

### **Herramienta: Analizador de Vibraciones (FFT)**

Unidad de análisis de vibraciones directa. Dow Química cuenta con el sistema Emonitor (Software) – Enpac 2500 (Hardware) de la marca Rockwell Automation para realizar recolección y análisis de datos de vibraciones mecánicas. La capacidad del software permite la creación de bases de datos, procesamiento y tendencia de variables de vibración, onda de tiempo, y variables de proceso. El equipo se utilizaría para detectar anomalías en el equipo rotativo:

- Falla en rodamientos
- Solturas mecánicas
- Desalineamiento
- Desbalanceo Dinámico
- Fallas de Engranajes

Equipos a los cuales se le aplicaría esta técnica: Bombas Centrífugas, Bombas de Engranajes Internos, Bombas de Vacío, Bombas de Pistón, Agitadores, Sopladores, Ventiladores, Reductores, Motoreductores, Enfriadores, Válvulas Rotativas y Motores Eléctricos

### **Técnica CBM: Análisis de Aceite (Maquinaria rotativa)**

Muestras de aceites lubricantes enviadas a la compañía suministradora de aceite para su análisis espectrométrico y de condensación. Esto nos va a permitir establecer los cambios de aceite por condición y no por horómetro.

Equipos a los cuales se le aplicaría esta técnica: Equipos críticos que cuenten con el volumen adecuado en el depósito de aceite donde la muestra tomada sería representativa.

### **Técnica CBM: Tomografía infrarroja**

Técnica que extiende la visión humana a través del espectro infrarrojo. La Tomografía posibilita la obtención de imágenes térmicas llamadas Térmogramas, los cuales permiten un análisis cuantitativo para determinación precisa de temperaturas con identificación de niveles isotérmicos, por medio de esta técnica es posible determinar la temperatura de objetos estacionarios ó en movimiento a distancia, lo cual es de gran importancia cuando hay presencia de altas temperaturas, cargas eléctricas, gases venenosos, etc.

**Herramienta:** Cámara de tomografía para la evaluación infrarroja de equipos mecánicos y eléctricos, tales como tableros de distribución, paneles MCC y líneas de alto voltaje.

Equipos a los cuales se le aplicaría esta técnica: MCC's, Motores Eléctricos, Transformadores.

### **Técnica CBM: Análisis del Circuito Motor (MCE)**

En la actualidad se aplican diversas técnicas de mantenimiento predictivo para detectar fallas en motores eléctricos, una de ellas es el meggeo del motor desdichadamente la información brindada es muy general y no precisa la zona de falla del motor en estudio. Es muy fácil el diagnóstico erróneamente si se confía solo en los resultados de un megger. Por ejemplo, un corto entre espiras o entre fases puede perfectamente estar disparando un motor y al medir el aislamiento

este está en buen estado. ya que estas fallas aunque son un problema de aislamiento en el devanado podrían estar aisladas completamente de tierra y por lo tanto el megger no las detecta. Este tipo de anomalías deteriora rápidamente el devanado lo cual resultara en un futuro reemplazo u "overhaul" del motor. También se ha usado el análisis por vibraciones para detectar fallas en el rotor, estator y excentricidad. Por ejemplo en el rotor se encuentran a la frecuencia de paso de polo (barra) para el caso de motores con rotor jaula de ardilla (motores de inducción de CA), con bandas laterales alrededor de esa frecuencia, y excentricidad y cortos en el estator a 2 veces la frecuencia de línea sin ninguna banda lateral. Sin embargo, el análisis a 2 veces la frecuencia de línea no detalla cual de las dos fallas es la que está afectando mas al motor. Y estas son determinadas por especialistas en vibraciones muy experimentados y pueden ya sea pasar desapercibidas por completo o confundirse con otro tipo de influencia.

Entonces no preguntamos, estamos realmente diagnosticando todas las zonas posibles de falla en un motor?

Realmente la respuesta es simple, ni vibraciones, ni un megger logran revisar todas las zonas de falla de un motor, entonces, la tecnología predictiva que está aplicando no es suficiente para evaluar todos los componentes que pueden causar la falla de un motor.

Las pruebas eléctricas aplicadas a un motor deben de ser confiables y nos deben dar un diagnostico completo de todas las zonas o áreas de falla de un motor. Las pruebas a realizar deben incluir pruebas tanto con motor energizado como con motor detenido. Las pruebas con motor detenido son de particular importancia en aquellos casos en que un motor sé este disparando y su puesta en funcionamiento puede terminar de dañarlo, o en el caso de pruebas de puesta en marcha al instalarse un nuevo equipo de producción.

Para el diagnóstico de un motor, se han establecido las siguientes zonas o áreas de fallas.

- Circuito de Potencia
- Aislamiento
- Estator
- Rotor
- Excentricidad (entrehierro)
- Calidad de energía

El análisis de estas 6 zonas nos permite distinguir entre un problema mecánico o eléctrico. Y en el caso de un problema eléctrico detallar la solución.

### **Herramienta: MCEmax**

Como ya se planteó anteriormente, las tecnologías predictivas más comunes tienen severas limitaciones y fallan en precisar la causa de la anomalía en un motor eléctrico, pero si ayudan a dar un indicio de donde podría estar el problema.

El diagnosticar el problema en un motor debe involucrar todas las zonas de falla presentes como lo son: Calidad de energía, circuito de potencia, aislamiento, estator, rotor y excentricidad, para ello deben de utilizarse tanto tecnologías dinámicas como estáticas. Y estas deben de ser de tipo no destructivas para no acelerar el daño en el motor.

Actualmente se utiliza el equipo MCEmax, el cual es considerado la herramienta más completa para el diagnóstico eléctrico de motores, tanto estática como dinámicamente a la fecha. Este equipo permite probar tanto motores de inducción, sincrónicos, de rotor devanado y de corriente directa. Se han probado motores desde menos de 1 HP hasta 2000 HP, realmente el tamaño no importa.

La tecnología dinámica es de particular importancia para diagnosticar anomalías en aquellos motores que por razones del proceso productivo no pueden ser detenidos. Y la tecnología estática es vital para revisar aquellos motores que se dispararon por algún motivo y su puesta en funcionamiento es peligrosa para el motor. O para revisar aquellos motores que han sido reparados por un taller de reparación de motores y se quiere tener certeza de que están aptos para funcionamiento.

Como se ha explicado ambas tecnologías son vitales.

Equipos a los cuales se les aplicaría esta técnica: Motores Eléctricos cuya potencia exceda los 5 HP.

### **Técnica CBM: Vibraciones en equipos Reciprocantes**

A diferencia de las máquinas rotativas, las máquinas alternativas (motores de explosión, compresores a pistón y bombas de desplazamiento positivo) no son susceptibles de aplicar el análisis espectral FFT de vibraciones para el control de su condición operativa y la detección prematura de fallos mecánicos. En una máquina alternativa de varios cilindros, el espectro de vibraciones es tan nutrido que no pueden desprenderse resultados concluyentes de su análisis.

### **Herramienta: WINDROCK**

Para estos casos se utiliza equipos Windrock, los cuales ofrecen sus sistemas portátiles 6300 (Off-line) como permanentes 6100 (On-line), que basan todo su potencial en diagnósticos del análisis multicanal y congelación de variables en el tiempo o ángulo del cigüeñal: Presión, Vibración, Ultrasonido, Encendido, Cinemática rotacional, etc. Los defectos mecánicos y operacionales que pueden ser detectados en motores de explosión con los sistemas WINDROCK son:

- Desequilibrio de presiones de encendido
- Fugas en válvulas y segmentos de pistón
- Camisas de cilindro desgastadas o rayadas
- Defectos en articulaciones de bielas
- Daños en apoyos de cojinetes
- Defectos en turbocargadores y bombas de agua y aceite
- Exceso de vibración en la estructura de bancada

- Potencia mecánica baja y consumo anómalo de combustible.

En compresores a pistón, los defectos detectados son:

- Holguras mecánicas y cabeceo de pistones
- Fugas en válvulas y segmentos de pistón
- Pulsación
- Restricción de paso del fluido
- Descargadores tarados inapropiadamente
- Exceso de carga sobre bielas
- Desgaste de camisas de cilindro
- Pérdida de carga excesiva en válvulas
- Capacidad mecánica baja

Equipos a los cuales se les aplicaría esta técnica: Generadores de Energía.

### 2.3 CRITICIDAD

De acuerdo a lo establecido en el estudio realizado, estos niveles de criticidad son el resultado de la correlación entre las criticidades por importancia del equipo dentro del sistema, confiabilidad del equipo e impacto del equipo dentro del sistema.

<b>Criticidad=2</b>	Equipo crítico.
<b>Criticidad= 3</b>	Equipo Esencial.
<b>Criticidad=4</b>	Equipo de Propósito General.

Figura 9. *Criticality Definition*

### 2.4 FRECUENCIAS DE INSPECCIÓN ( $f_i$ )

Inicialmente las frecuencias de Inspección se asignarán de acuerdo a la criticidad del equipo, en combinación o corregidas por el promedio de horas de utilización al día y la potencia del equipo. Las frecuencias inicialmente establecidas serán optimizadas en común acuerdo con el personal de soporte técnico y confiabilidad de DOW. Se propone realizar revisiones periódicas para ajustar las frecuencias una vez se tengan las tendencias de los valores críticos y se hayan establecido y evaluado el comportamiento mecánico de los equipos a través del tiempo.

Se propone las siguientes frecuencias con los factores de corrección por tiempo de funcionamiento y potencia:

1. Factor de criticidad ( $f_b$ )
  - 2 : 5
  - 3 : 10
  - 4 : 17
  
2. Factor de corrección de acuerdo a horas de funcionamiento al día ( $F_{hrs}$ )
  - 16 – 24 hrs : 1.0
  - 8 - 16 hrs : 1.2
  - 0 - 8 hrs : 1.4
  
3. Factor de corrección por potencia ( $F_{hp}$ )
  - > 15 H.P : 0.8
  - 7.5 - 15 H.P : 1.0
  - 3 - 7.5 H.P : 1.4
  - 0 - 3 H.P : 2.0

$$f_i = f_b \times F_{hrs} \times F_{hp} \quad [ \text{Semanas} ]$$

La anterior información hará parte en la conformación de la matriz de CBM. Si alguno de los datos requeridos no está disponible el valor de corrección se asumirá como 1.0.

## **2.5 RESPONSABILIDADES DENTRO DEL PROCESO DE EJECUCIÓN DE MONITOREO POR CONDICIÓN**

Para el éxito de esta gestión se propone crear un compromiso desde la gerencia, por lo tanto el responsable en primera instancia del programa y los resultados del monitoreo por condición estará en cabeza del líder del grupo de Ingeniería y Mantenimiento. Como Segunda instancia se debe contar con especialistas en técnicas de mantenimiento predictivo, tales como monitoreo de vibraciones en maquinaria rotativa, para el análisis y recolección de la información, estas personas deberían estar exclusivamente dedicadas a estas tareas y ajenas totalmente de otro tipo de labores de mantenimiento para garantizar la continuidad en la toma de información y por ende del éxito del programa de monitoreo. El personal de operaciones jugará un rol importante en lo referente a la toma de información periódica y consistente de parámetros de operación que van a ser parte de la base de datos para la tendencia y evaluación de los mismos.



- **Técnico CBM:**  
Encargado de la recolección de información en campo, su administración y generación de reportes.
- **Responsable área eléctrica:**  
Responsable por la ejecución de los trabajos generados por el grupo CBM en su área.
- **Responsable área mecánica:**  
Responsable por la ejecución de los trabajos generados por el grupo CBM en su área.
- **Ingeniero CBM:**  
Responsable por la supervisión de los análisis de mantenimiento predictivo, generación de reportes, verificación de los resultados de medición y administración de la estrategia de CBM.

**Flujo de responsabilidades:** El Ingeniero CBM le responderá como sigue al personal de Dow Química según las técnicas de monitoreo:

Tabla 1. Responsables

<b>Técnica</b>	<b>Responsable</b>	<b>Resp a: (Dow – AmSty)</b>
Vibraciones FFT Rotativos	Ing. CBM	Ing. Confiabilidad
Inspección Acústica y Visual	Ing. CBM	Ing. Confiabilidad
Tomografía	Ing. CBM	Ing. Confiabilidad
Análisis de Aceite-Programa de lubricación	Ing. CBM / Técnico de Lubricación	Ing. Confiabilidad
MCE	Ing. CBM	Ing. Confiabilidad
Análisis en Equipos Reciprocantes	Ing. CBM	Ing. Confiabilidad

## 2.6 MANEJO Y ALMACENAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Para cada tecnología de monitoreo por condición una apropiada base de datos debe ser creada. Aunque cada software especializado ofrece su propio sistema de base de datos, la información adicional debe ser manejada mediante programas de información que permitan su fácil almacenamiento y manejo (i.e Excel). Para seguridad una rutinaria creación de respaldos o back-ups debe ser hecha para garantizar que la información no se pierda.

El manejo de la información clave, igual que la generación de reportes y su distribución puede ser hecha mediante la red propia de DOW QUIMICA (EDMS, e-

mail, archivos compartidos, copias digitales o duras etc.), comunicando de una manera versátil y rápida a las disciplinas correspondientes los hallazgos de cada rutina de monitoreo.

## **2.7 CONFIGURACIÓN DE LAS RUTINAS DE MONITOREO DE EQUIPOS.**

El punto de inicio para un programa de monitoreo por condición fuera de línea será la configuración de cada equipo en la correspondiente base de datos en el software especializado correspondiente. Una vez la frecuencia de inspección ha sido determinada, se agruparán los equipos por áreas e igual frecuencia de inspección. Como resultado se obtendrá un calendario acorde con la disponibilidad de recurso humano (horas hombre) y técnico (disponibilidad de equipos para monitoreo).

## **2.8 CARGUE DE LAS RUTINAS EN DMMS**

Una vez las tareas para ejecución de las rutinas de medición en campo se han definido, estas tareas deben ser cargadas en el sistema de administración de mantenimiento (DMMS). Las rutinas se generaran automáticamente para ser ejecutadas por los responsables (técnicos CBM o contratista). Los hallazgos de anomalías encontradas en las rutinas serán reportados y manejados según los flujos gramas antes expuestos

### 3. PRESUPUESTO

Tabla 2: Costo Recurso Humano Proyecto

<b>Costo Recurso Humano Proyecto.</b>					
<b>Rubro</b>	<b>No meses</b>	<b>Dedicación hora /semana</b>	<b>Costo hora</b>	<b>Costo mensual</b>	<b>Costo Total</b>
Coordinador del proyecto.	6	24	\$ 15.000	\$ 1.440.000	\$ 8.640.000
Docente Asesor del Proyecto	6	15	\$ 25.000	\$ 1.500.000	\$ 9.000.000
Ingeniero de Confiabilidad	0,5	10	\$ 35.000	\$ 1.400.000	\$ 700.000
Coordinador de PPM	2	24	\$ 10.000	\$ 960.000	\$ 1.920.000
Tecnico CBM Vibraciones	6	7	\$ 5.500	\$ 154.000	\$ 924.000
<b>TOTAL RECURSO HUMANO</b>					<b>\$ 21.184.000</b>

Tabla 3: Otros costos del Proyecto

<b>Otros costos del proyecto</b>		
<b>Descripción rubro</b>		<b>Valor</b>
<b>Servicios</b>	Equipos de Computo	\$ 2.500.000
	Movilización de personal	\$ 250.000
<b>TOTAL OTROS COSTOS</b>		<b>\$ 2.750.000</b>

Tabla 4: Resumen Costo Total del Proyecto

<b>RESUMEN COSTO TOTAL DEL PROYECTO.</b>				
<b>Rubro</b>	<b>Vr Total</b>			
COSTO DE RECURSOS HUMANOS	\$ 21.184.000			
OTROS COSTOS	\$ 2.750.000			
<b>TOTAL PROYECTO</b>	<b>\$ 23.934.000</b>			

## 4. CRONOGRAMA

Tabla 5: Cronograma

	Task Name	Duration	Start	Finish	Resource Names
1	Consecucion de la Informacion	20 days	Mon 12/09/11	Fri 07/10/11	Coordinador del Proyecto
2	Diseño de la Propuesta	15 days	Mon 17/10/11	Fri 04/11/11	Coordinador del Proyecto,Docente Asesor
3	Diseño del Programa de Actividades	15 days	Mon 07/11/11	Fri 25/11/11	Coordinador del Proyecto,Docente Asesor
4	Clasificación de Equipos Criticos	10 days	Mon 28/11/11	Fri 09/12/11	Coordinador del Proyecto,Ingeniero de Confiabilidad
5	Diseñar Rutas de CBM	35 days	Mon 12/12/11	Fri 27/01/12	Coordinador del Proyecto,Coordinador de PPM
6	Incluir Rutas de CBM en DMMS	30 days	Mon 30/01/12	Fri 09/03/12	Coordinador del Proyecto,Coordinador de PPM
7	Entrega de Proyecto y recomendaciones	5 days	Mon 12/03/12	Fri 16/03/12	Docente Asesor,Coordinador del Proyecto

Tabla 6: Diagrama de Gantt del Proyecto

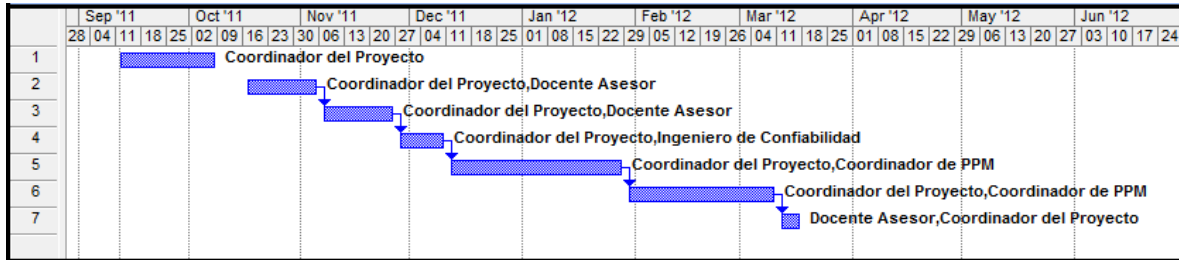


Tabla 7: Cuadro de Recursos del Proyecto

	Resource Name	Type	Initials	Code
1	Coordinador del Proyecto	Work	Coor Proy	Oswaldo Herrera
2	Ingeniero de Confiabilidad	Work	RE	Luis R. Rincón
3	Coordinador de PPM	Work	Coord PPM	Lewis Villalobos
4	Docente Asesor	Work	DA	Miguel A. Romero

## 5. EVALUACIÓN Y MEDICIÓN DE RESULTADOS.

Es sabido que esta estrategia de monitoreo de condición es complemento de un mantenimiento basado en Confiabilidad por lo que la estrategia de CBM le apunta a mantener o aumentar los niveles de confiabilidad y disponibilidad exigidos por el cliente. Para el control y medición de los resultados de la estrategia de CBM se proponen indicadores de desempeño (KPI) tales como:

- **Indicador de cumplimiento:** Equipos monitoreados programados vs. Equipos monitoreados – Este indicador sería de seguimiento mensual.
- **Indicador de trabajos adicionales:** Equipos monitoreados no programados Vd. Equipos monitoreados - Este indicador sería de seguimiento mensual. Horas hombre por trabajo adicional Vd. Horas hombre programadas.
- **Indicador de Acertividad:** Numero de diagnósticos realizados Vd. Numero de diagnósticos acertados – Nota: Para darle en principio agilidad a este indicador se sugiere , al final de cada mes, sumar todos los trabajos que se realizaron con base en diagnósticos del grupo CBM y cotejarlo con lo realmente encontrado, ambas informaciones se obtendrán del DMMS, la primera por los trabajos generados por CBM y la segunda del reporte o información consignada por el grupo ejecutor una vez concluido el trabajo.
- **Indicador de Seguimiento:** Número de eventos generados por CBM Vd. Número de eventos atendidos por el grupo ejecutor.

Los indicadores podrán ser ajustados y adecuados a las necesidades organizacionales del cliente y evolucionaran paralelamente en la medida que lo haga la Estrategia de Mantenimiento.

Es importante ligar de alguna forma, que se discutirá con DOW QUIMICA la manera en la que la gestión de CBM está impactando los indicadores de gestión globales Confiabilidad y Disponibilidad de tal manera que se pueda hacer tangible su aporte. Los indicadores tangibles clásicos son el consumo de repuestos.

Para esto se deben establecer líneas bases tanto del monto económico de repuestos por mantenimiento (exceptuando paradas programadas mayores) anual. Se estudiaran indicadores de aporte económico según transcurra el programa de monitoreo ligados al aumento de confiabilidad y disponibilidad, de forma tal que se pueda realizar una comparación periódica y monitorear el desempeño del programa.

## **6. REQUERIMIENTOS**

### **6.1 RECURSO HUMANO**

El recurso humano dedicado al monitoreo por condición debe ser altamente competente en las técnicas que se requieran, tanto para la recolección de información en campo como para el análisis de la información recolectada.

El punto focal para el desarrollo del programa de monitoreo por condición será una detallada matriz. Esta matriz será el resultado de un estudio de la criticidad de los equipos, evaluación de técnicas de diagnóstico y tendencias. Contendrá frecuencias de inspección y definición de rutas de monitoreo.

Las rutinas de monitoreo por condición establecidas en la CBM-Matriz se cargarán con sus respectivas frecuencias en el sistema de administración de mantenimiento DMMS de tal manera que se disparen automáticamente. Una continua revisión de las frecuencias de monitoreo será realizada para garantizar un óptimo nivel de atención para cada categoría de los equipos.

Para la implementación de la estrategia que se plantea en el presente documento deben existir algunos requisitos mínimos organizacionales para obtener los resultados positivos y el éxito que se espera con este enfoque del mantenimiento. El primero es que la organización entera debe estar comprometida y convencida de los beneficios que conlleva este enfoque del mantenimiento. El segundo es la disposición de recurso humano 100% al manejo y/o ejecución de esta estrategia para garantizar los resultados esperados. El tercero es contar con los equipos de monitoreo y personal calificado para realizar las labores previstas con la máxima precisión. El cuarto y último, es crear un sistema de evaluación de los resultados que permita medir los avances y valor agregado de la gestión.

### **6.2 HARDWARE Y SOFTWARE**

Computador personal con software estándar, Analizador de vibraciones para ver tendencia, espectros, onda de tiempo y fase, Computador con acceso a DMMS y al EDMS. Para inspecciones demográficas, MCE y Análisis en equipos recíprocantes se contratará externos.

## **7. CONCLUSIONES**

Con la elaboración de este proyecto se buscó encaminar el proceso de mantenimiento que se lleva a cabo en las compañías Dow Química y Americas Styrenics en sus sedes en la ciudad de Cartagena hacia el modelo de Mantenimiento Clase Mundo, dando el primer paso en el programa de mantenimiento predictivo CBM.

Se diseñaron rutas específicas de Inspección y lubricación de acuerdo a especificaciones de los fabricantes y geografía de la planta, en total se hizo una distribución de las actividades de Inspección de equipos rotativos, cambio de aceite, cambio o reposición de grasa y toma de muestra para análisis de aceite

Se enmarcaron las actividades de inspección dentro de un listado de revisión, el cual diligenciaría el técnico a la hora de realizar la inspección, estas actividades son: revisión de estado físico, medición de temperatura, chequeo de fugas e inspección acústica.

Una vez se implemente lo recomendado en este proyecto el departamento de mantenimiento de la compañía Dow Química en la ciudad de Cartagena a través de su out sourcing (Wood Group), se proyectará hacia un modelo de Mantenimiento Clase Mundo.

## 8. RECOMENDACIONES

Se recomienda a la directiva de la compañía Wood Group Colombia S.A. realizar una presentación a su cliente Dow Química de las estrategias sugeridas en este proyecto, las cuales de acuerdo a su viabilidad fortalecerían las relaciones contractuales y por ende el negocio sería un gana gana.

Al departamento de mantenimiento de la compañía Dow Química de Colombia se le sugiere que permita la implementación de las estrategias descritas en este proyecto, ya que su objetivo es acercarlo a los parámetros del Mantenimiento Clase Mundo.

La no implementación de las estrategias sugeridas en este proyecto dejaría a la compañía en una situación que no beneficiaría la confiabilidad de los equipos, porque el programa seguiría limitado al no realizar mediciones reales ni ejercer control, sin mencionar que lo situaría lejos de las metodologías y progresos del modelo de mantenimiento clase mundo.

Otra investigación puede ser el mejoramiento de los planes de mantenimiento predictivo por medio del diseño de rutas específicas de monitoreo de vibraciones mecánicas a equipos rotativos en las plantas de Dow Química en el site de Barranquilla.



## BIBLIOGRAFÍA

### NORMAS

**ISO 10816** Mechanical Vibration.- Evaluation of machina by measurement on nonrotating parts.

**ISO 14224** Petroleum, petrochemical and natural gas industries — Collection and exchange of reliability and maintenance data for equipment.

### LIBROS

ESHLEMAN, Ronald L. 1999. **Vibraciones Básicas de Maquinas**. Clarendon Hill – Illinois. Vibration Institute

BERRY, James E. 1993. **Mantenimiento Predictivo y Análisis de Señal de Identificación de Vibración**. Columbus, Ohio, IRD Mechanalysis, Inc.

MOUBRAY, John. 1997. **Reliability-Centred Maintenance**. Oxford, Mc Graw-Hill

YACAMÁN FARAH, Víctor Enrique. 2002. **Estudio de Implementación de Inspección Basada en Riesgo**. Bogotá, Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica.

SANJINES, Álvaro. **Introducción al Mantenimiento**, 1978, Trabajo de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica.

MORA GUTIERREZ, Luis Alberto. **Tendencias, Perspectivas y Evolución Histórica de la Gestión del Mantenimiento Industrial en el mundo: CONGRESO INTERNACIONAL DE MANTENIMIENTO**. 2002 Bogotá.

[www.solomantenimiento.com](http://www.solomantenimiento.com)

[www.confiableidad.net](http://www.confiableidad.net)

[www.semapi.com](http://www.semapi.com)



**MATRIZ CBM PARA EQUIPO ROTATIVO DE PROPOSITO GENERAL**  
**MANTENIMIENTO BASADO EN CONDICION (CBM)**

PLANT AREA	TAG	DESCRIPTION	Units	HP Factor		Oper. Hrs Factor		Freq/Criticality		Technical Used & Frequency (weeks)							Rout ID												
				H.P Factor	Factor	Oper. Hrs-day	Factor	Criticality	Week Calc	Week DNMS	FFT	TW	Temp	Insp A	Insp Y	Oil A		Term											

- Keys:
- FFT : Fast Fourier Transformer Vibration Analysis
  - TW : Time Waveform Vibration Analysis
  - Temp: Temperature Measurement
  - Insp A: Acoustic Inspection
  - Insp Y: Visual Inspection
  - Oil A: Oil Analysis
  - Term: Thermographic Image

**ANEXO B: Plantilla Matriz CBM**

## **ANEXO C. Universo del Mantenimiento**

### **Reseña Histórica.**

Esta reseña histórica es un resumen de una exhaustiva investigación, científica bibliográfica e industrial en el ámbito mundial, realizada mediante consulta a los mejores textos y libros de gestión, a las revistas mas importantes de la ingeniería, paginas Web de Internet de los últimos años consultas a expertos de varios países, estudios de “benchmarking” sobre mantenimiento en los estados unidos y países europeos análisis de mantenimiento Industrial en empresas usuarias de tecnología avanzadas en Colombia, Venezuela y otros países, entrevistas a profesores e investigadores catedráticos en el tema, etc. Es copiada de tesis “tendencias, perspectivas y evolución historias de la digestión del mantenimiento industrial en el mundo”, escrita por Luís Alberto Mora Gutiérrez (Universidad EAFIT, Colombia) y Carlos Manuel Dema Pérez (Universidad Politécnica de Valencia, España).

La bibliografía específica se encuentra en el documento.

En conjunto se recopila la información relevante y secuencial sobre la evolución de la gestión del mantenimiento, desde la Florencia era industrial en la Inglaterra del siglo XVIII, la era industria Americana (EE.UU.) desde finales del siglo XIX y el siglo XX: las diferentes tendencias japonesas desde la segunda mitad de este siglo, los diferentes desarrollos europeos de la ultimas décadas, la situación real y su desarrollo en Colombia durante los últimos años.

Se contrastan los diferentes conceptos evolutivos y fundamentos de la gestión de Mantenimiento con los diferentes enfoques del mundo en distintas épocas, se presenta un modelo adecuado a las necesidades y expectativas de la situación colombiana, se concluye la dependencia de la gestión de mantenimiento en función de la tecnología y de la organización industrial donde se aplique, de la calidad centrada en la ciencia y en el recurso humano de la necesidad de convertir el mantenimiento en un ente independiente de servicio basado en competencia y habilidades.

### **Estado de Arte de la Gestión de Mantenimiento (Evolución).**

La experiencia empresarial demuestra que los equipos industriales utilizados para producir bienes se ven influenciados por sucesivas degradaciones debido a su uso, a la influencia del tiempo y la tecnología. En la medida que posean niveles

más altos de esta última se requerirá mucho más nivel científico de mantenimiento, departamento (o empresa) encargado de darle el sostenimiento, para que las degradaciones no afecten ni calidad ni los volúmenes de producción. En la medida que crezca la complejidad de los equipos y el tamaño de las industrias se requerirá más personal de mantenimiento con mayor nivel técnico y con más recursos económicos disponibles. Desde finales del siglo anterior con la aparición masiva de la producción, con las guerras mundiales, etc., cada vez se exigen niveles más confiables de operación en los equipos que producen; se empiezan a descubrir la relación entre las horas de funcionamiento de equipos y su vida útil. Con esto aparecen nuevas áreas de intereses para la gestión de mantenimiento como la mecánica y la electricidad (fundamentación tecnológica de los equipos de esos años). Sobre los años sesenta aparece la electrónica como otro ingrediente importante en las máquinas lo que obliga a mantenerse a nivelarse en esa ciencia, sobre los años setenta y la raíz de las crisis económicas aparece la necesidad de reducir los costos de mantenimiento de los equipos; se descubre la importancia de la administración de los recursos de mantenimiento y aparece por primera vez en la escena la necesidad de realizar gestiones de mantenimiento. Desde esos años setenta hasta la fecha se exigen mejores niveles de servicio por parte de mantenimiento como calidad, oportunidad, costo bajos, altos niveles tecnológicos, etc., siempre con el fin de conservar el cuerpo y la función de los equipos industriales requeridos para producir y se toma importante el servicio posterior al trabajo prestado. Normalmente en las empresas el nivel de mantenimiento es bajo y menor que el de producción (departamento al que atiende), por lo cual se hace necesario prestarle más relevancia al tema de gestión de mantenimiento por parte de las industrias y las universidades.

La función de mantenimiento aparece originarse con la era de la industrialización con la aparición de los equipos organizados para producir. La misma aparición de producción genera la existencia de averías y fallos en los equipos, lo que crea desde esa época hasta la actual las condiciones de gestión de mantenimiento.

El desarrollo de la gestión de mantenimiento está altamente influenciado por el proceso de desarrollo de las organizaciones, en este campo se abre en tres dimensiones el crecimiento de las empresas: en una primera etapa se orientan hacia la *cantidad*, siendo lo más relevante en esta sección al cumplir con los volúmenes de programación, una segunda fase donde importa la *calidad*, por el último la instancia *productividad* donde lo que interesa es producir al más bajo costo los volúmenes requeridos con la máxima calidad alcanzable.

Por otro lado el mantenimiento en forma histórica ha evolucionado desde:

- 1- Mantenimiento por rotura en los años cincuenta, donde lo importante era reparar las averías pues se trataba de equipos simple.

- 2- Mantenimiento correctivo, hasta antes de los años sesentas donde lo vital era no solo reparar las averías sino corregirlas.
- 3- Surge en el seno de la General Electric hacia los sesenta la dimensión del mantenimiento planificado que se fue desarrollando en todas sus etapas de correctivo, preventivo y predictivo. Nace en esta fase el productivo en estados unidos hacia los sesenta (pero con unos departamentos de producción y departamentos aislados) y en Japón en el año 1964, pero con la diferencia de actuación conjunta entre mantenimiento y producción.
- 4- Mantenimiento productivo total (TPM), introducido por primera vez en la industria japonesa Nipondenso (grupo Toyota) en 1964, generalizado en el país en 1971, alcanza su gran magnitud hacia 1980.

El concepto evoluciona tanto en Japón como en Norteamérica hacia un progreso de las versiones anteriores con la aparición de mejorar continua e integración de la función mantenimiento a las aéreas productivas de la organización.

La evolución de los tipos de mantenimiento, se desarrolla (siguiendo la analogía con la asociación francesas de normas técnicas (AFNOR)) de la siguiente forma: se inicia en un mantenimiento de avería en el cual se actúa porque el elemento sufrió daños por desgaste o una mala operación, se pasa luego a un mantenimiento correctivo donde se arregla el daño por sustitución del elemento, posteriormente se trabaja con mantenimiento que tratan de anticipar a la avería como el *preventivo* y el *predictivo*, que se basan en inspecciones y mediciones respectivamente, intermedio entre los anteriores aparece el concepto de *mantenimiento preventivo sistemático*, que consiste en un riguroso programa de vigilancia e inspecciones, siendo este ultimo superado por el predictivo, por ultimo aparecen las combinaciones de los anteriores, luego el *TPM* y finalmente es de *mejora continua*<sup>3</sup> e *integración*<sup>4</sup> de mantenimiento.

### **Mantenimiento Productivo Total.**

El sentido global del TPM adquiere importancia cuando el objetivo de las unidades de producción es optimizar los procesos en un contexto competitivo.

Francisco Rey Sacristán define TPM como “el conjunto de disposiciones técnicas – medias y actuaciones que permiten garantizar que las maquinas- instalaciones y organización que conforman un proceso básico o línea de

---

<sup>3</sup> Relaciónese con Mantenimiento “CORD Competente” hacia las habilidades y competencias

<sup>4</sup> Asociar con Mantenimiento logístico integral

producción, puedan desarrollar el trabajo que tiene previsto un plan de producción en constante evolución en la aplicación de la mejora continua.

El TPM tiene como principal objetivo cuidar y utilizar los sistemas productivos manteniéndolos en su estado base (de origen o de referencia<sup>5</sup>) y aplicando sobre ellos mejora continua. El TPM procura cuatro principios fundamentales: satisfacción del cliente (Aprovisionamiento – Operación – Producción – Distribución, internos o externos a la compañía), dominio de los procesos y sistemas de producción, implicar a personas a través del auto mantenimiento y el aprendizaje y la mejora continua. El TPM tiene como pilares básicos: Mantenimiento programado, ingeniería de mantenimiento, grupos de fiabilización y mejora técnica continua.

La mejora continua que involucra el TPM desarrollan en las organizaciones: la innovación, la mejora continua propiamente dicha y el mantenimiento de estándares y su superación.

Más que un método de mantenimiento es una metodología para elevar la eficiencia de la gestión de mantenimiento, es oriundo del Japón su implementación exige una compleja organización con altos niveles de desarrollo<sup>6</sup>, su eficiencia se logra en el muy largo plazo (lo cual genera otra barrera para la industria colombiana), ya que se trata de un método vertical descendiente culturalmente.

### **Mantenimiento Centrado en Confibialidad.**

El RCM (Mantenimiento Centrado en Confibialidad) encuentra sus raíces en los años sesenta, inicialmente fue desarrollado por la industria de la aviación civil norteamericana, el primer esfuerzo serio lo promulga la A.T.A. (Air Transport Association) en Washington en 1968 conocido como informe MSG1; posteriormente actúa en departamento de defensa de U.S.A. y por comisión Stanley Nolan y Howard Heap escriben por primera vez su trabajo bajo el nombre de “Reliability Centered Maintenance” en 1978 que procura optimizar los factores humanos y productivos alrededor del mantenimiento. El estudio MSG2 primero y el MSG3 promulgado en 1980 han permitido divulgación de la metodología.

Se puede definir RCM como un proceso usado para determinar lo que debe hacerse para asegurar que cualquier recurso físico continúe realizando lo que sus usuarios desean que realice en su producción normal actual.

---

<sup>5</sup> Estado de referencia, procura mantener características de tiempo de vida útil, parámetros de proceso, de engrase, de calibración, de electricidad, de calidad, mecánico, hidráulico, etc.

<sup>6</sup> Situación que poco se da en las empresas colombianas, donde más bien se debe desarrollar una cultura de gestión para mantenimiento y otras áreas antes de buscar su eficiencia.

La filosofía del RCM se fundamenta en: evaluación de los componentes de los equipos, su estado y su función; identificación de los componentes críticos; aplicación de las técnicas de mantenimiento proactivo y predictivo; y chequeo en sitio y en operación del estado. Corpóreo y funcional de los elementos mediante permanentes revisión y análisis. De esta forma se conceptualiza sobre sus estándares de funcionamiento.

### **Mantenimiento combinado TPM y RCM.**

La combinación de ambas modalidades de mantenimiento es una sana costumbre que se está incrementando en las fábricas modernas para mejorar las opciones de conservar equipos y funciones. El TPM (Mantenimiento Productivo Total) garantiza ganancias en la productividad, mientras que el RCM enfatiza en el aseguramiento de la máxima confiabilidad de los equipos y no se basa en reparaciones rápidas si no sistemáticas. El RCM sirve para determinar los requerimientos de mantenimientos se difundan como los más efectivos y económicos.

### **Mantenimiento Clase Mundial.**

La orientación de la gestión de mantenimiento hacia clase mundial exige cambiar de actitud y de cultura, requiere que se tenga un alto nivel de prevención y plantación, soportando con un adecuado sistema gerencial informatizado de mantenimiento, y orientándose hacia las metas y objetivos fijados previamente utilizando las cosas que haya que ser en forma correcta posible con el mayor grado de profundidad científica.

La asociación “producción Mantenimiento e ingeniería” ha conocido a muchas organizaciones al mantenimiento de clase mundial, donde mantenimiento aporta la calidad en el diseño y la adecuada instalación de los equipos, con altos niveles de vida útil. El mantenimiento de clase mundial se diferencia de los tipos de mantenimiento ya que producción e ingeniería también aportan a la búsqueda de la confiabilidad de planta y cada departamento aporta al mantenimiento de los equipos.

Los pasos fundamentales para instalar gestiones de mantenimiento de clase mundial son: planeación prevención, programación, anticipación, fiabilidad, análisis de pérdidas de producción y de repuestos, información técnicas y cubrimiento de los turnos de planeación; todo esto soportado en una organización adecuada y apoyada por sistemas de información computarizado, con un cambio de actitud y cultura hacia el cliente.

Con habilidades y competencias, generando en su departamento y en la empresa un cambio en el comportamiento conductual.



El resultado es un mantenimiento proactivo que genera innumerable ahorro a las empresas, con lo cual pagan su instalación e implementación, generando percepciones positivas como: mejor imagen del cliente garantía y calidad de los equipos operaciones confiables en los equipos, seguridad y economía en los costos.

El sistema proactivo fija estándares para su alcance. El proceso proactivo utiliza las herramientas TPM y RCM, confiabilidad, preventivo, predictivo, etc., que le permitan alcanzar niveles de eficiencia superiores. El procedimiento establece prioridades para sus acciones. En síntesis en vez de reaccionar frente a los problemas el fundamento del proactivo es anticiparse a ellos. La gestión de mantenimiento preactiva es dinámica y especialmente diseñada para constante evaluación y mejoramiento continuo. Sobre todo requiere de un cambio cultural en el enfoque para la gestión de mantenimiento.

### **Mantenimiento Orientado al Cliente – Nueva Cultura.**

La nueva definición de gestión de mantenimiento es: Proporcionar un apoyo excelente al cliente, reduciendo y eventualmente eliminando las necesidades del mantenimiento, aumentando la disponibilidad de los equipos<sup>7</sup>. El departamento de mantenimiento debe integrarse a las demás aéreas como diseño producción ingeniería, etc. Debe procurarse integrar las actividades de los mantenimientos menores a la producción. La optima estructura cada vez mas es en forma matricial. El nuevo enfoque no acepta las averías, solo acepta la mejora continua y la mayor disponibilidad del parque industrial. El aérea de mantenimiento debe actuar antelación a las necesidades deseos requerimientos del servicio de los clientes.

### **Mantenimiento Integral Logístico.**

Va dirigido a la empresa usuarias o generadoras de tecnologías avanzadas, mas sin embargo se desea aclarar algunos conceptos relacionado con la tendencia actual a descentralizar los departamentos de mantenimientos hacia las unidades de producción, mas aun en ciertas empresas el mantenimiento se les asigna a los operarios de producción como el TPM.

---

<sup>7</sup> Nótese analogía con enfoque del mantenimiento orientado hacia el cliente, con apoyo logístico a departamentos que agregan valor.

La logística industrial procura obtener la máxima disponibilidad en los sistemas de producción industrial. Este concepto aboca por un mantenimiento integral logístico.

### **Mantenimiento Orientado por la Terotecnología – M.O.T.<sup>8</sup>**

La tero tecnología es la metodología práctica derivada de la logística industrial<sup>9</sup>, donde concurre: los fabricantes, los constructores, los diseñadores, los negociadores los usuarios y los mantenedores de equipos industriales con el fin de maximizar su fiabilidad y mantenibilidad. Los estudios y pruebas conducentes a optimizar la función de producción aumentando la disponibilidad, la fiabilidad y la productividad de los equipos industriales. Implica la aparición activa de un conjunto de ciencias que permiten estudiar los criterios de diseño y uso de las maquinas productivas, entre las cuales sobresalen la administración la ingeniería y las finanzas, mediante la utilización de los conceptos y la metodología a través de los expertos en tales ramas del conocimiento. Involucra a fabricantes, constructores, diseñadores, usuarios, usufructuantes, mantenedores, etc. Con el objetivo integral de cuidar la tecnología del parque industrial maximizando su operación y disponibilidad al mejor costo posible.

La relación de tero tecnología con la gestión de mantenimiento, está en su ubicación superior a los esquemas clásicos y modernos de gestión de mantenimiento con el T.P.M. y otros; en su dependencia de la logística como un área superior del conocimiento que gobierna todas las actividades industriales. De esta manara se logra escalar niveles en la conceptualización de la gestión gerencial y aplicada en el mantenimiento industrial.

### **Tendencia y Perspectivas Mundiales de la Gestión de Mantenimiento**

La norma británica 3811 define mantenimiento como "...la combinación de todas las técnicas y actividades administrativas y asociadas, que intenten retener y conservar el estado original de los equipos en que fueron diseñados en lo cual se requieren..."<sup>10</sup>, la tendencia en que el mantenimiento llegue adquirir la dimensión de una estrategia corporativa de base mundial, que permita sistemas justo a tiempo en producción que conduzca a una manufactura ágil que conlleve alta confiabilidad en los equipos, que labore

---

<sup>8</sup> Mantenimiento orientado por la tero tecnología. (M.O.T) – TeroTechnology oriented in Maintenance. (T.O.M).

<sup>9</sup> La palabra de origen británico desarrollada por Dennis Parkes, con raíces griegas que significa cuidar la tecnología.

<sup>10</sup> Norma de la Asociación Beritich Standard.

bajo el concepto de servicio al cliente, en los momentos oportunos la mayor confiabilidad y otorgue precios de servicio de mantenimiento competitivos. Wireman define a mantenimiento como la última frontera, es decir un descubrimiento de su potencialidad para contribuir con la competitividad de las empresas. Numerosas tecnologías y diferentes organizaciones industriales han influenciado en las conductas gerenciales de mantenimiento. Los grandes desarrollos implementados en las industrias están obligando a la gestión de mantenimiento a ser un área de permanente aprendizaje. En el presente la tecnología y las organizaciones son las que definen las pautas de los sistemas gerenciales de mantenimiento.

Estudio de “benchmarking” realizados en los países escandinavos donde participaron activamente cinco (5) de estos países, muestran la influencia de las diferentes tecnología y culturas empresariales sobre la gestión del mantenimiento. Por ejemplo Dinamarca las compañías desde hace 10 años gastan en mantenimiento aproximadamente el 4.9% de sus activos, desde el 91 hasta la fecha dicha cifra a incrementado en un 0.6% los gastos se distribuyen así: 32% en repuestos, 31% en mano de obra y 23.8% en proveedores de servicio externos de mantenimiento, otros en varios. En el 23% de las empresas el gerente de operación administra mantenimiento y solo el 16% funciona integrado mantenimiento con producción, en el 84% de las compañías la gerencia de mantenimiento tiene una posición jerárquica media. Los elementos comunes encontrados en los países nórdicos son que la gestiona de mantenimiento necesita definir unos objetivos claros para su mejor funcionamiento, debe desarrollar la gestión de mantenimiento apoyándose en sistemas computarizados gerenciales de información deben planear e investigar muchos alrededores de la gestión de mantenimiento si desean alcanzar niveles óptimos en sus procesos de sostenimiento industrial. El estudio complementario liderado por Wireman de “benchmarking” sobre industrias norteamericanas muestra que ellas gastan en promedio anual en mantenimiento entre el 10% y el 15%. Dentro los problemas que tienen las industrias americanas aparecen: altos inventarios de repuestos, averías inesperadas, falta de control, deficiencia en la gerencia, etc.

La comisión EUREKA enuncio los doce principios más importantes en la gestión de mantenimiento, de las partes técnicas son: servicios y productos, calidad de los mismos, métodos de trabajo de mantenimiento, manejos de materiales óptimos de mantenimiento y control de todas las actividades de mantenimiento, de la parte de recursos humanos: función de relaciones internas de personal, función de relaciones externas, función de la organización del mantenimiento y del campo económico: estructura del mantenimiento, economía en la gerencia del mantenimiento y economía frente a la producción. Estas reglas de oro permiten una mejora en la competitividad del mantenimiento. Las conclusiones de los estudios de “ benchmarking” en ambas regiones arrojan la necesidad de que la gestión de mantenimiento

desarrolle con base en las necesidades de los clientes, con su dinamismo, con su tecnología, con su mercadeo, con su productos y procesos; que se integre la función de mantenimiento con el desarrollo de los sistemas de producción, organización estructural, gente usos de información tecnológica; que la gestión de mantenimiento se maneje en forma corporativa e integral en la empresa desarrollándose hacia la ciencia y en el conocimiento.

### **El tiempo de Hoy Implica Mantenimiento.**

Las circunstancias mundiales competencia y competitividad del mundo industrial actúan condicionan la gestión de mantenimiento a tener en cuenta que:

- 1- Su actividad fundamental es cumplir su función mediante gestión por procesos dentro y fuera de la organización.
- 2- Debe cuidar los componentes corporales de los equipos y la función para la cual fueron diseñados.
- 3- Es necesario aplicar las herramientas y las técnicas de la gestión industrial, sectorial, nacional e internacional para mantener maquinarias acorde a las necesidades del cliente interno externo.
- 4- Debe medir permanente la gestión administrativa mediante índices gerenciales de productividad, disponibilidad, confiabilidad, mejoramiento continuo, reingeniería, "benchmarking" o a través de modelos de dirección para controlar la eficiencia de los factores productivos en forma individual y colectiva.
- 5- Es fundamental orientar su gestión hacia el servicio, centrado su atención hacia el cliente interno externo.
- 6- Debe establecer sistemas de costeo para presupuestar y facturar el servicio a los clientes internos o externos.
- 7- La ciencia es el eje fundamental de su servicio para satisfacer las necesidades de sostener el funcionamiento de equipos o de mantener el cuerpo de las maquinas.
- 8- Es el diseño el inicio más importante del proceso de mantenimiento en los equipos. El doce (12%) de las fallas ocurren debido a las malos diseños o cálculos deficientes de los equipos
- 9- Debe estructurarse el departamento de mantenimiento como una unidad estratégica de negocios centrados en sus recursos humanos y potenciar estos hacia el desarrollo intelectual.

- 10- La calidad de los ejecutivos y el personal de medios e inferiores con escalas de de evaluación y exigencia altas, con el fin de brindar el mejor servicio al cliente, con los mejores costos posibles, en el mínimo tiempo esperado.
- 11-Recurrir a herramientas de planeación para determinar con antelación el volumen y la calidad de la demanda requerida en el corto y el largo plazo.

El enfoque moderno de mantenimiento genera dos nuevas dimensiones diferentes al de simplemente reparar averías en los equipos, básicamente tu orientación debe fundamentarse en garantizar que el envejecimiento no afecte el cuerpo del equipo y por otro lado la función de la maquina siempre esté en condiciones originales; ambos principio filosóficos da la gestión de mantenimiento se ven afectados por los efectos que aquellos causan.

Se amplía dicha definición en: “garantizarle al cliente interno que el parque industrial esté disponible, cuando lo requiera, durante el tiempo necesario para operar, con las condiciones técnicas y tecnologías exigidas previamente, para producir bienes o servicios que satisfagan necesidades, deseos o requerimiento de los compradores o usuarios, con los niveles de calidad, calidad tiempos solicitado en el momento oportuno en el menor costo posible y con los mayores índices de productividad y competitividad posible, siempre procurado involucra el mejoramiento posible en todas las facetas. Aun a esta definición se le debe involucra el servicio centrado en el cliente, el desarrollo de funciones hacia el servicio con base a la ciencia, desarrollando habilidades y competencias administrando sistema de costeo que permitan una facturación adecuada a precios más competitivos de los que surgen el medio y considerando la posibilidad de subcontratación de mantenimiento. Debe considerar también la capacidad y culturización de los clientes en cuanto lo que debe exigir el mantenimiento y las diferentes alternativas que debe ser ofrecidas por el departamento para que su cliente tenga la posibilidad de escoger, acorde de sus necesidades y presupuesto. Se resalta la importancia de que mantenimiento deja de trabajar bajo el enfoque de manejar un presupuesto a tener que salir a buscar sus propios ingresos, para lo cual debe desarrollar estrategias de mercadeo que le permita alcanzar niveles de productividad y competitividad, mediante el establecimiento planes estratégicos de alta dirección como empresa independiente que tiende a convertirse generando ingresos propios y adicionales a la empresa de su origen.

Los autores Navarro, Pastor y Mugaburu enuncia que la gestión de mantenimiento debe enfocarse en dos direcciones: una de ellas en la gestión que realiza mantenimiento con los demás mantenimiento enmarcando dentro de los objetivos de la empresa y el segundo nivel en la gestión integral interna propia del departamento.

El párrafo anterior a pesar de que muestra una buena visión de la gestión de mantenimiento, no tiene en cuenta dos aspectos importantes de la empresa: su evolución industrial, el grado de desarrollo que se tiene para acomodar diferentes tipos de gestión de mantenimiento acorde al grado de desarrollo de la organización y segundo no permite visualizar un desarrollo de mantenimiento sobre la organización, lo cual lo priva de tener una dimensión de empresas de servicios que en algún momento puede ser generador de divisas para la compañía o simplemente adquirir un tamaño más grande que la organización de origen; todo esto conlleva a unas restricciones en la visualización y planeación del desarrollo de mantenimiento, donde es impositivo para el área de producción comprarle obligatoriamente los servicios de mantenimiento y nunca bajo la premisa de sistema de costo y facturación, que permite una mejor competitividad interna en la compañía y externa con otros proveedores de servicio de mantenimiento.

Se nota la evolución actual desde reparaciones, correctivos, hasta el mantenimiento condicional basado en el grado tecnológico<sup>11</sup>.

Los diferentes objetivos de mantenimiento se enmarcan en campos como: tecnología, calidad, gestión, recursos humanos, informática, economía, etc. La orientación del grupo de mantenimiento debe tender a ser una empresa dentro de la organización, orientada hacia el servicio, centrada en los recursos y en procura de elevar la eficiencia<sup>12</sup>.

La gestión de mantenimiento debe proveer un sistema que planifique, organice, dirija, controle y administre todas las actividades inherentes al mantenimiento a la vez que debe permitir un negocio eficaz, fiable, capaz de responder a las necesidades de producción, que procure la competitividad y la productividad de la empresa y tenga activa participación de sus empleados.

## **Conclusiones**

Los conceptos, la literatura, las revistas, los libros, las experiencias y demás permiten concluir que las empresas usuarias o generadoras de tecnología avanzadas deben desarrollar las siguientes premisas para tener un excelente gestión de mantenimiento en sus estructuras organizacionales.

- Poseer un sistema gerencial de mantenimiento.

---

<sup>11</sup> La gestión de mantenimiento es función del grado de tecnología de las empresas, concepto ampliamente citado.

<sup>12</sup> Orientación hacia el servicio, centrado en recursos humanos y sirviendo a su cliente Producción, concepto de escritos como nuevo enfoque en gestión de mantenimiento.

- Desarrollar la ciencia y la tecnología en mano de sus recursos humanos.
- Soportar el sistema de gestión de mantenimiento de sistema computarizado (CMMS).
- Desarrollar grupo de personas que analicen constantemente las averías y sus causas.
- Irrigar en el personal de producción todas aquellas actividades de Mantenimiento que no requieren altos niveles de tecnología avanzadas
- Medir cortantemente la gestión y la operación mediante indicadores y modelos de evaluación.
- Capacitar permanente sus recursos humanos en los aspectos tecnológicos, administrativos de servicio al cliente.
- Reconocer a su cliente detectando sus necesidades, deseos o requerimientos.
- Subcontratar las labores de mantenimiento que se requieran por exceso de trabajo o por calidad superior de proveedor.
- Desarrollarse con los proveedores en todos los aspectos, no solamente considerar importante el precio.
- Ofrecer una gamma amplia de servicio al cliente tanto en oportunidad, calidad, nivel técnico, opciones y demás consideraciones importantes.
- Realizar “benchmarking” con otras organizaciones del mundo.
- Medir el grado evolutivo de la empresa y de los departamentos clientes como el nivel de desarrollo del área de mantenimiento antes de definir los tipos de gestión que se usaran.
- Aplicar conocimiento especializados de administración en el mantenimiento.
- Estudiar permanente la incidencia del tiempo, de la tecnología, de la obsolescencia o la renovación en el parque industrial.
- Establecer métodos TPM y RCM.

- Medir permanentemente la productividad y la efectividad de mantenimiento.
- Procurar que el automantenimiento se extienda a todo el personal de producción.
- Elevar la disponibilidad de de equipos críticos.
- Ofrecer diferentes niveles de servicio para mantenimiento estándares, mantenimientos menores y mantenimientos específicos de tecnologías avanzadas.
- Desarrollar sistemas de presupuestación, cobro y facturación de servicios.
- Tener en cuenta constantemente la influencia de la automatización en la gestión de mantenimiento.
- Insertar mantenimiento de tipo proactivos (anticipación) más que reactivos.
- Orientar mantenimiento hacia una gestión de clase mundial, mediante cambios y mejoras continuas de actitudes y de culturas.
- Adelantarse a las necesidades, deseos o requerimientos técnicos y de servicio de los clientes internos o externos.
- Descentralizar el mantenimiento en aquellas actividades que no se requiere mucho nivel, desarrollando en simultaneo una estructura de tecnología avanzada para las actividades de mayor requerimiento de ingeniería y ciencia.
- Orientar la dirección de mantenimiento hacia el análisis de sus procesos.
- Desarrollar la misión de mantenimiento orientada por las políticas y objetivos de la compañía origen.
- Utilizar los procesos estadísticos para una mejora toma de decisiones en mantenimiento.
- Orientar a mantenimiento bajo la filosofía que es el departamento que otorga el soporte logístico para que aquellas divisiones de la compañía (o foráneas) que valor puedan hacerlo mediante maquinas confiables y disponibles, bien conservadas en cuerpo y funciones.



- Desarrollar la formación de trabajo en equipo tanto de mantenimiento como de su cliente producción, es decir, de ambos para mejor análisis de problemas y oportunidades en las actividades de mantenimiento.
- Establecer planes de control de costos de servicio y la profesionalización de la plantilla.
- Aplicar conocimiento y metodología científica en la solución de problemas o en el aprovechamiento de oportunidades en la gestión de mantenimiento.
- Ofrecer una amplia variedad de gestiones de mantenimiento basada en la productividad.
- Alcanzar la flexibilidad en todo sentido para acomodarse a nuevos: clientes, tecnologías, equipos, estructuras, etc.
- Aumentar la fiabilidad y mantenimiento de los elementos y maquinas de producción.

Las tendencias mundiales marcan hacia una gestión de mantenimiento orientada por la ciencia la tecnología, la organización industrial y la tero tecnología.

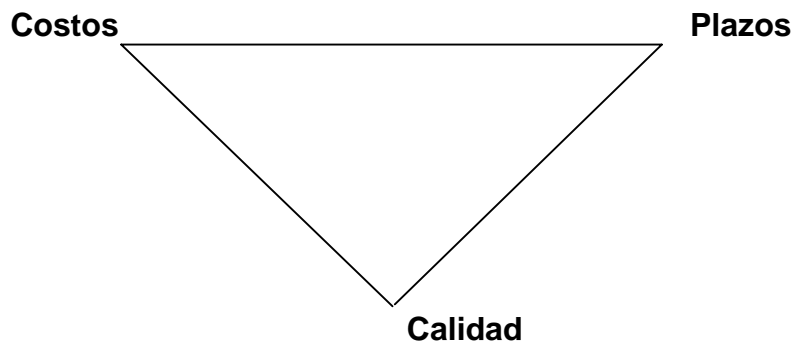
### **Mantenimiento en Colombia.**

Colombia, siendo un país subdesarrollado cuenta con una amplia diversidad de tecnología ciencia y organización dentro de sus empresas. Las fábricas pequeñas más antiguas, de firmas poco reconocidas aun cuentan con planes de mantenimiento curativo, o en el peor de los casos, no siguen procedimientos de reparación escritos previamente. Así mismo encontramos empresas que cuentan con planes de mantenimiento de todo tipo.

Las multinacionales con sede en Colombia traen a nuestro país las tendencias mundiales en mantenimiento para ser aplicadas en sus instalaciones. Empresas colombianas de alto prestigio como ECOPETROL, Leonisa, etc. También cuentan con estrategias de mantenimiento a la vanguardia de tecnología y se utilizan periódicamente.

A pesar de la diversidad la gran mayoría de empresa en el periodo actual dejaron de definir la competitividad industrial por los ingresos de escala de la producción

seriada, y tipificada por el modelo "fordista", pensando hacer decidida en el campo de la calidad y de la productividad. La economía de escala está dando lugar a la economía de objetivo. Y este escenario, el mantenimiento se destaca como la única función operacional que influye y mejora los tres ejes determinantes del desempeño industrial al mismo tiempo, ósea, los costos, plazos y calidad de productos y servicios, define según Mckinsey Company como la función pivotante<sup>13</sup>.



*Función Pivotantes, según Mckinsey Company*

### **Costo de mantenimiento**

Durante los últimos años, los máximos ejecutivos fijaron su atención principalmente en calidad de productos y servicios, frecuentemente asumiendo que los costos estaban bajo control.

La búsqueda exaltada de ventajas competitivas llevo a la conclusión de que en el costo de mantenimiento no estaba bajo control, y es un factor importante en el incremento del desempeño global de los equipos. Esta se va tornando cada vez más aceptada por las empresas, grupos de consultores y organizaciones profesionales, que para el desempeño de la producción en el término mundial es, el gasto de mantenimiento debe estar alrededor del 2% o menos del valor del activo<sup>14</sup>.

Actualmente se tiene en cuenta el costo del mantenimiento, y se observa que las empresas exitosas colombianas han adoptado una visión prospectiva de gestión de oportunidades, usualmente apoyada por:

---

<sup>13</sup> Gestión técnica económica del mantenimiento, Lourival Augusto Tabares.

<sup>14</sup> Gestión técnica económica del mantenimiento, Lourival Augusto Tabares.

- Rutinas sistematizadas para economizar mantenimiento
- Sistema de mantenimiento con ayuda de procesamiento electrónico de datos
- Herramienta y dispositivos de medición
- Consultarías competentes en el reconocimiento del potencial de mejorar y en la implementación de soluciones estratégicas.

## **Mantenimiento en el siglo XXI**

Recientemente, las organizaciones manufactureras y de servicios se han visto sometidas a una enorme presión para ser competitivas y ofrecer una entrega oportuna de productos de calidad. La creciente competencia y la demanda por parte de los clientes de una entrega oportuna de productos de alta calidad han obligado a los fabricantes a adoptar la "automatización". Esto ha dado lugar a inversiones muy grandes en equipos. Para alcanzar la tasa de rendimientos de la inversión fijadas, el equipo tiene que ser confiables y capaz de mantenerse en ese estado sin que se den paros de trabajo y reparación costosa. Este nuevo entorno ha obligado a los gerentes y a los ingenieros a optimizar todos los temas que intervienen en su organización.

El mantenimiento, como sistema, tiene una función clave en los de las metas y objetivos de la empresa. Contribuye a reducir los costos minimizar los tiempos muertos en los equipos, mejorar la calidad, incrementar la productividad y contar con equipos confiables que sean seguros y estén bien configurados para lograr la entrega oportuna de las ordenes a los clientes. Además, un sistema de mantenimiento, juega un papel importante en minimizar los costos del ciclo de vida de los equipo para alcanzar la tasa de rendimiento sobre la inversión que se ha fijado como meta, se debe maximizar la disponibilidad de la planta y de la eficiencia de los equipos.

Hoy en día definimos el mantenimiento como la combinación de actividades mediante las cuales un equipo o un sistema se mantiene en, o se establece a, un estado en el que puede realizar las funciones designadas. Es un factor importante en la calidad de los productos y puede utilizarse como una estrategia para una competencia exitosa<sup>15</sup>.

Son características de un mantenimiento óptimo<sup>16</sup>.

- Estimular las habilidades de mantenimiento por departamento en la planificación y en el control de mantenimiento, y en el arreglo de rotulas y mejoras de equipos;

---

<sup>15</sup> "Sistema de Mantenimiento, Planeación y Control".

<sup>16</sup> "Gestión técnica económica del mantenimiento, Lourival Augusto Tabares.

- Realizar trabajos de mantenimiento, de acuerdo con planes documentados y estandarizados, labores programadas y ordenes de servicios;
- Realizar mantenimiento preventivo según el programa (no posponer trabajos);
- Documentar y analizar el histórico de mantenimiento y roturas con el objetivo de asegurar que los índices de fallas sean optimizadas y los costos totales minimizados; medir y mejorar la productividad del personal e identificar oportunidades de mejora;
- Desarrollar los temas inteligentes necesarios para promover las acciones indicadas por el mantenimiento basado en la condición y, de esta manera, capturar el conocimiento actual y futuro.

La planificación de mantenimiento se compone de una serie de actividades siendo las principales etapas del proceso: estimular el esfuerzo, desarrollar los planes e implementarlos. El resultado de esa planificación deberá ser una serie coherente de estrategias de mantenimiento, continuamente monitoreadas y ajustadas con el objetivo de minimizar costos totales. La estrategia óptima de mantenimiento es aquella que minimiza el efecto conjunto de componentes de costos, o sea, identifica en el punto en donde el costo de reparación es aún menor que en el costo de la pérdida de producción.

Una nueva tendencia óptima de mantenimiento se generaliza como mantenimiento estratégico, ya que involucra cualquier estrategia centrada en el riesgo. Esta última novedad en el campo de mantenimiento llegó a Colombia por medio de las multinacionales.

### **Mantenimiento Estratégico.**

El mantenimiento estratégico (o mantenimiento centrado en el riesgo) es un rompimiento de paradigma una vez que pasa a enfocar las acciones bajo el aspecto sistémico y no más por equipos individuales. Será analizada la relación entre el seguimiento de la disponibilidad "versus" la necesidad de utilización de equipos. El primer paso es determinar cuál es el equipo que está deteniendo el proceso o sea, cual es aquel que se convierte en el "cuello de botella" del sistema productivo. Deberán ser analizadas las estructuras del sistema productivas, a través de sus sectores serie, paralela, redundante y mixtos, calculando, en función de las disponibilidades individuales, sus indisponibilidades total. Esta determinación es de gran importancia para permitir la adecuada priorización y definición de estrategias de intervención para determinar el riesgo de estar haciendo un excelente mantenimiento preventivo en el equipo equivocado.

Determinados los "cuellos de botella" deben ser examinados los reflejos en la disponibilidad final en las siguientes condiciones:

- Aumento de disponibilidad en el ítem que se constituye en el mayor cuello de botella del sistema y/o
- Examen de la disponibilidad de transferir para otros sectores capacidad de proceso reduciendo aquel donde se encuentra "cuello de botella.

Esta tendencia del mantenimiento para el siglo XXI es muy interesante desde el aspecto de reducción de costo y, por ser un enfoque nuevo, recibe muchos aportes, siendo, no obstante, y con certeza, una visión de futuro. El mantenimiento estratégico paso hacer una tendencia mundial y la historia del mantenimiento abre un nuevo capítulo aun "virgen" para muchas multinacionales importantes. Dentro de este marco se ramifica muchas formas de afrontar estratégicamente el mantenimiento de las plantas, y surgen diversos métodos que utilizan el riesgo para generar frecuencias de inspección.