

Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas

Facultad de Ingeniería Industrial y Turismo

Carrera de Ingeniería Industrial



Trabajo de Diploma

**Determinación del tipo de mantenimiento a aplicar al equipamiento productivo
de la Unidad Básica de Producciones Metálicas**

“El Vaquerito”

Autor: Oreste León Márquez

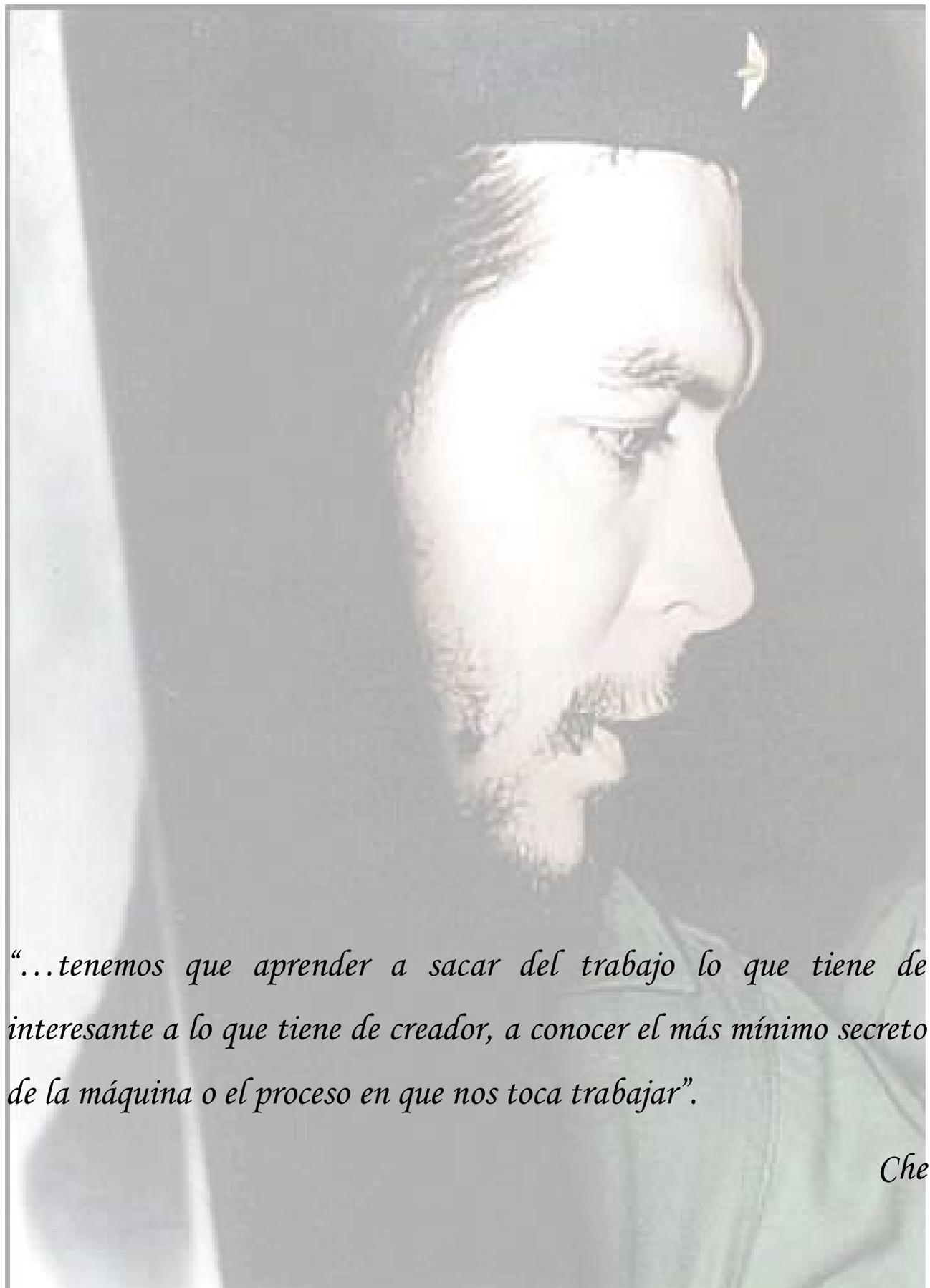
Tutor: Dr.C. Ing. Aramis Alfonso Llanes

Santa Clara

“Año 52 de la Revolución”

Pensamiento

A decorative graphic consisting of a vertical blue bar on the right side of the page and a horizontal black line that intersects it near the bottom. The word "Pensamiento" is written in a stylized, italicized font in the lower-left quadrant of the page.



“...tenemos que aprender a sacar del trabajo lo que tiene de interesante a lo que tiene de creador, a conocer el más mínimo secreto de la máquina o el proceso en que nos toca trabajar”.

Che

Dedicatoria



*A mi mamita y mi abuelo, que han sabido guiarme y darme su ejemplo
para convertirme en un profesional.*

Agradecimientos



A mi madre y mi abuelo por darme su apoyo incondicional en cada minuto de mi vida y ser ejemplos excelentes para mi formación profesional.

A mi novia linda por todo el amor que me ha dado durante estos dos maravillosos años.

A mi tía y primos por confiar siempre en mi.

A mis hermanos de Ciego: Anniel, Calvo, Yoa, Raydy, Lito, el grabie...

A mis maravillosos suegros y cuñada por haberme acogido como uno más de la familia.

A Yurisán por haberme guiado hasta tercer año.

A mi tutor Aramis Alfonso Llanes por la dedicación y amistad que me ha brindado.

A mis amigos de la UCLV por todo lo que compartimos (El Puri, Milia, el piki, Liber Livan, la estrella, lixon, el cojo, el bola, Adonis, el ruso...).

A todos los profesores de la Facultad de Ingeniería Industrial y Turismo por guiarme y enseñarme las herramientas necesarias en la formación como profesional.

A todos los que de una u otra forma han colaborado con la realización de este maravilloso sueño.

Resumen



Resumen

La presente investigación tiene como objetivo seleccionar el tipo de mantenimiento más adecuado para el equipamiento de la Unidad Básica de Producciones Metálicas “El Vaquerito”, en función de su contexto operacional. Para la consecución de este objetivo se realiza, primeramente, un diagnóstico a la Gestión del Mantenimiento con la finalidad de detectar las deficiencias principales que limitan el logro de un mejor desempeño en esta función, para luego finalizar con la determinación de la alternativa de mantenimiento que mejor se adecua al contexto operacional del equipamiento productivo de la entidad objeto de estudio, a partir de la selección de las variables características de su criticidad (Seguridad, Calidad, Régimen de trabajo, Afectaciones, Frecuencia, Tiempo de reparación y Costo de reparación) y la clasificación de los fallos predominantes en dicho equipamiento.

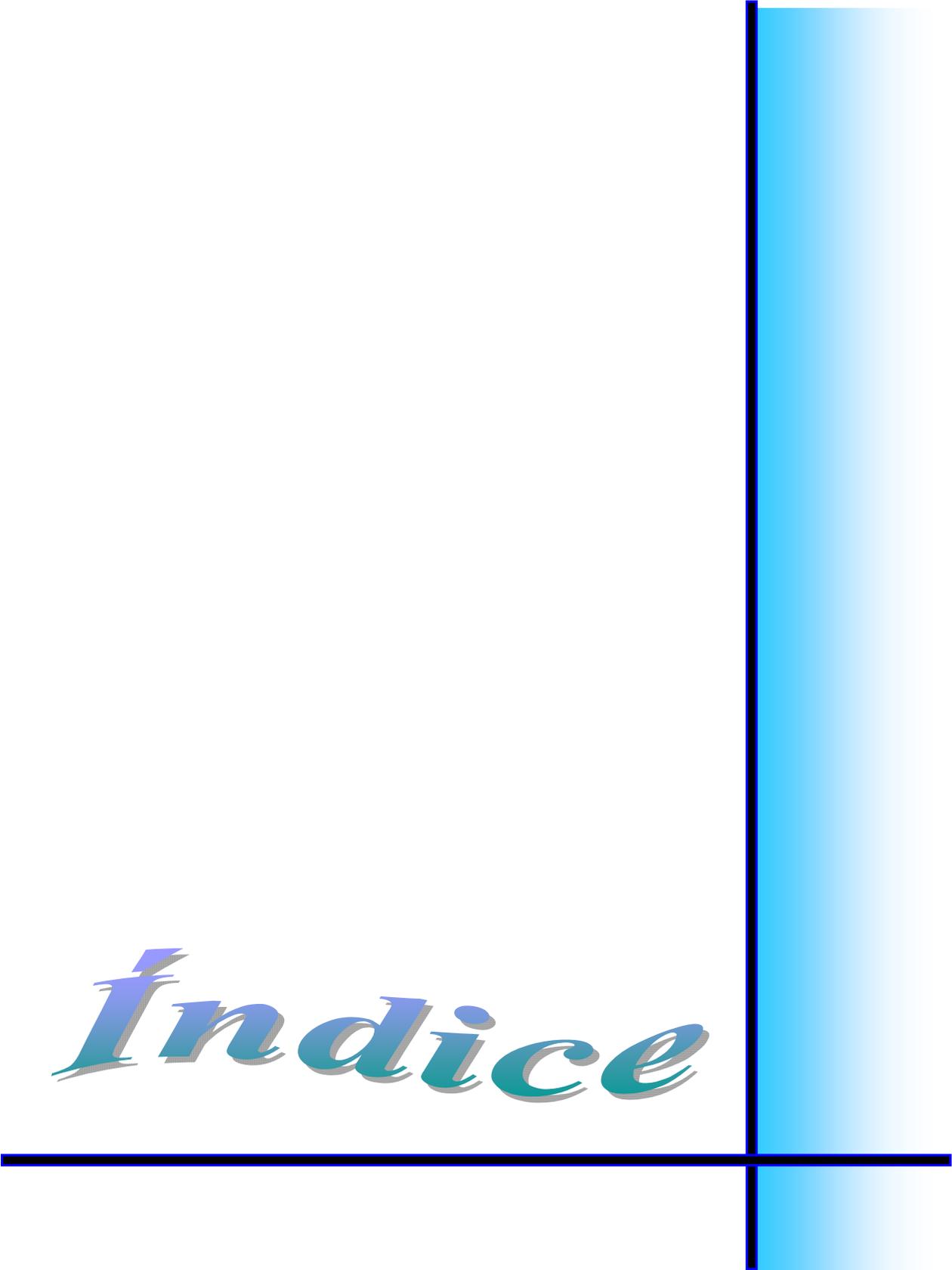
Abstract



Abstract

The present investigation has as objective to select the type of more appropriate maintenance for the equipment of the Enterprise of Metallic Productions "El Vaquerito", in function of its operational context. For the attainment of this objective is carried out, firstly, a diagnosis to the Administration of the Maintenance with the purpose of detecting the main deficiencies that limit the achievement of a better acting in this function, Later to conclude with the determination of the maintenance alternative that better it is adapted to the operational context of the productive equipment of the entity study object, starting from the selection of the characteristic variables of their critical condition (Security, Quality, Work Regime, Affectations, Frequency, Time of repair and repair Cost) and the classification of the predominant shortcomings in this equipment.

Índice



Índice

	Página
Introducción	1
Capítulo 1. Marco teórico referencial	
1.1. Aspectos generales sobre la gestión del mantenimiento	6
1.2. Tipos de mantenimiento y su definición	9
1.2.1. Mantenimiento correctivo.....	9
1.2.2. Mantenimiento preventivo.....	11
1.2.3. Mantenimiento predictivo.....	12
1.3. Sistemas de mantenimiento y su filosofía.....	14
1.4. Metodologías para la selección del tipo de mantenimiento.....	21
1.4.1. Metodologías para la selección directa del tipo de mantenimiento.....	22
1.4.2. Metodologías para la selección del tipo de mantenimiento basadas en el análisis de criticidad	23
1.5. Aspectos generales sobre la selección del tipo de mantenimiento en Cuba	24
1.6. Conclusiones parciales.....	26
Capítulo 2. Diagnóstico en el Área de Mantenimiento de la Unidad Básica de Producciones Metálicas “El Vaquerito”	
2.1. Caracterización general de la entidad.....	27
2.2. Caracterización del departamento de mantenimiento en la unidad.....	29
2.3. Diagnóstico de la situación actual del mantenimiento en la entidad.....	29
2.4. Conclusiones parciales	38
Capítulo 3. Aplicación del procedimiento propuesto en la Unidad Básica de Producciones Metálicas “El Vaquerito”	
3.1. Aplicación del procedimiento para la selección del tipo de mantenimiento	39
3.1.1. Clasificación de la Segueta Mecánica (Línea de vagones).....	39
3.1.2. Clasificación de la Prensa Hidráulica (Línea de vagones)	41
3.1.3. Clasificación de la Cizalla de 4 milímetros (Línea de vagones).....	41
3.1.4. Clasificación de la Pestañadora (Línea de cubos)	43
3.1.5. Clasificación de la Boceladora (Línea de cubos)	44
3.1.6. Clasificación de la Dobladora de Chapa V1 (Línea de cubos)	46
3.2. Conclusiones parciales	47
Conclusiones generales	48
Recomendaciones	49
Bibliografía	50
Anexos	

Introducción



Introducción

El éxito de cualquier empresa se ha convertido, en la actualidad, en un desafío permanente. La globalización de los mercados trae como consecuencia una fuerte competencia y acompañada por un gran desarrollo tecnológico, determina que este éxito dependa del logro de cada uno y de todos sus componentes. Dadas las cambiantes condiciones del mercado, las empresas requieren de una organización flexible que pueda adaptar rápidamente las nuevas herramientas de gestión, de manera creativa e innovadora, que permita mantener sus productos y servicios con las especificaciones que exijan el cliente y la competencia [Ellmann Sueiro y Asociados, 2005].

En la actualidad las empresas cubanas se enfrentan a un mercado más exigente, influenciado por las condiciones externas y a su vez por una época donde el desarrollo científico - técnico e industrial se hace cada vez mayor. Cada día las organizaciones productivas y de servicios tienen mayores retos y exigencias, su trabajo debe estar encaminado al cumplimiento de sus objetivos, logrando la mayor excelencia en la fabricación de los productos o en la prestación de sus servicios, y de esta forma contribuir considerablemente al desarrollo de la economía nacional y a la satisfacción de las necesidades sociales [Amaris Arias, 2006].

Actualmente, según Batista Rodríguez [2000]; Bevilacqua y Braglia [2000]; Huerta Mendoza [2001]; González Danger y Hechavarría Pierre [2002]; Dos Santos Mendes [2002] y Christensen [2006], las actividades de producción o comercialización no son las únicas que agregan valor en la empresa, las actividades de apoyo, especialmente las de mantenimiento, aportan valor en el negocio, mediante las prácticas y filosofías de mantenimiento, herramientas de confiabilidad, costo y riesgo, es la organización y el talento la base que asegura este objetivo.

Con la nueva orientación del mantenimiento en este siglo, reconocido como un elemento fundamental para incrementar la competitividad industrial, la actividad de mantenimiento ha sufrido una transformación en su concepción de trabajo, ha emergido como una sofisticada disciplina que combina técnicas de gestión, organización y planeamiento con aplicaciones ingenieriles de avanzada, pasando a ser de una actividad reactiva (apaga fuegos) a una concepción con enfoque proactivo, debido a que los paros imprevistos son cada vez más costosos con una considerable dosis de quebranto de credibilidad que se refleja en pérdida de mercado [Piotrowski, 2001; Ramirez, Caldas y Santos, 2002; Oliveira, 2003; Apelgren, 2004; López Reyes, 2004; Waeyenbergh y Pintelon, 2004; Acosta Palmer y Troncoso Fleitas, 2006].

Varios autores [Batista Rodríguez, 2000; Piotrowski, 2001; Swanson, 2001; Wang *et al.*, 2007] coinciden en que el objetivo del mantenimiento se caracteriza por ser medible y cuantificable; el mismo garantiza la competitividad de la empresa por medio de: asegurar la disponibilidad y confiabilidad planeadas de la función deseada, cumpliendo con los requisitos del sistema de

calidad de la empresa y con todas las normas de seguridad y medio ambiente, al óptimo costo-eficaz o máximo beneficio global.

Lo anteriormente expuesto muestra la gran relevancia que el mantenimiento tiene en la consecución de unos niveles altos de confiabilidad en una instalación y de hecho en la productividad del capital inmovilizado, sobre todo, cuando las posibilidades de modificar el diseño de los equipos y sistemas son pequeñas o prácticamente nulas.

En esencia, el mantenimiento del sistema debe tratarse con una base comparable a la del rendimiento del mismo si verdaderamente se van a satisfacer las necesidades del entorno actual. Ante la necesidad de mejora de la eficiencia de explotación de una instalación industrial, la optimización del plan de mantenimiento puede ser una importante vía para lograr dicho objetivo [Bevilacqua y Braglia, 2000; Ellmann Sueiro y Asociados, 2005; Colombi, 2006].

La experiencia indica que muchos servicios de mantenimiento funcionan con resultados inciertos y a un costo resultante elevado, incluyendo no solo el dinero invertido, sino también, el esfuerzo del personal, horas extras realizadas en forma habitual, mayor cantidad de materiales y repuestos, en definitiva, la falta de objetivos estables, claros y conocidos encarece la gestión del área [García Garrido, 2003].

Un plan de mejora de mantenimiento, según Colombi [2006], no se debe centrar únicamente en mejorar la disponibilidad de los equipos, a través de una acción encaminada a aumentar su fiabilidad; existen otros aspectos como la organización (carencias en planificación, preparación de trabajos), la infraestructura técnica (carencia de documentación para los trabajos de los equipos) y, el control y seguimiento de los planes (escasa dedicación a análisis y realimentación de resultados) que no deben olvidarse ya que contiene suficiente capacidad para influir en los resultados globales de mantenimiento y han sido tradicionalmente una fuente potencial de puntos débiles.

Ante las nuevas reglas de producción y la importancia que se le concede a la actividad integral de mantenimiento para el logro de esta, varios autores [De la Paz Martínez, 1996; Torres, 1997; Batista Rodríguez, 2000; Bevilacqua y Braglia, 2000; Huerta Mendoza, 2001; González Danger y Hechavarría Pierre, 2002; Dos Santos Mendes, 2002; Borroto Pentón, 2005; Christensen, 2006; Alfonso Llanes, 2009] exponen que un sistema de mantenimiento bien diseñado debe adecuarse a las características de cada máquina, lográndose un sistema de mantenimiento alterno, tanto a nivel de fábrica como a nivel de máquina. De modo que no todos los equipos deben tener el mismo sistema de mantenimiento, lo que permite centrar las fuerzas en aquellas partidas de mayor incidencia en el mismo, y a su vez más susceptibles de mejoramiento, el eficiente uso de los

recursos del área en general. Todo ello va a repercutir favorablemente en el logro eficaz y eficiente de la meta de la organización.

Como **situación problemática** se plantea la inexistencia de un procedimiento de selección del sistema de mantenimiento más adecuado para los diferentes equipos de la Unidad Básica de Producciones Metálicas “El Vaquerito”, lo cual trae consigo que en la mayoría de los casos, la política de mantenimiento empleada no sea la más recomendable y por ello se incrementen los costos de esta actividad y con ellos los costos totales de la entidad por una incorrecta utilización de los recursos y medios disponibles, lo cual se refleja en una elevada estadía del equipamiento productivo, limitando el nivel de adaptación de la organización a las condiciones que le impone el entorno.

Dicha situación problemática refleja que en el proceso de mejoramiento del desempeño de la actividad de mantenimiento se hace necesario disponer de una herramienta que, basada en una serie de variables características del contexto operacional del equipamiento, permita determinar la política de mantenimiento que debe emplearse en la reparación de cada equipo de la Unidad Básica de Producciones Metálicas “El Vaquerito”, de manera que se garantice un desempeño adecuado del proceso productivo; lo cual constituye el **problema científico** a resolver.

Las consideraciones anteriores han conducido a formular la **hipótesis general** de esta investigación como sigue: la combinación de las variables que caracterizan el contexto operacional del equipamiento y la clasificación de los fallos que se presentan en los mismos permite definir el tipo de mantenimiento a aplicar a cada equipo productivo de la empresa objeto de estudio.

El **objetivo general** de la investigación consiste en: seleccionar el sistema de mantenimiento más adecuado para cada equipo productivo, en función de su contexto operacional, en la Unidad Básica de Producciones Metálicas “El Vaquerito”.

Para alcanzar el objetivo general antes expuesto se proponen los **objetivos específicos** siguientes:

- Determinar las variables del contexto operacional del equipamiento bajo estudio, de forma que su interrelación con las características de las diferentes políticas de mantenimiento permita la selección final del sistema más adecuado para dichos equipos.
- Determinar los elementos característicos de las políticas de mantenimiento existentes en la actualidad y definir la factibilidad de aplicación de alguno de ellos a las condiciones concretas de la empresa objeto de estudio.
- Realizar la aplicación del procedimiento propuesto en una muestra del equipamiento de la empresa objeto de estudio con vistas a comprobar la factibilidad del mismo.

Para este fin, la investigación se ha dividido en tres capítulos: el Capítulo I recoge toda la fundamentación teórica de la investigación; lo referente a la caracterización de la situación actual del área de mantenimiento de la Unidad Básica de Producciones Metálicas “El Vaquerito” se ilustra en el Capítulo II; en el Capítulo III se realiza la aplicación de la propuesta en la empresa objeto de estudio con vistas a probar su viabilidad; además, se muestran las conclusiones a las que se arribó, las recomendaciones propuestas y la bibliografía consultada. Finalmente se expone un grupo de anexos de necesaria inclusión para fundamentar, destacar y facilitar la comprensión de los aspectos de mayor complejidad tratados en el cuerpo del documento.

Capítulo 1

A decorative graphic consisting of a vertical blue bar on the right side of the page and a horizontal blue line at the bottom, intersecting at the bottom right corner of the bar.

Capítulo 1. Marco teórico referencial

La revisión del estado del arte y de la práctica sobre la gestión del mantenimiento, con especial énfasis en la determinación del tipo de mantenimiento a aplicar al equipamiento productivo, ha seguido la estrategia que se presenta en la Figura 1.1. Las definiciones, enfoques y procedimientos, así como las tendencias actuales, conforman el cuerpo principal del marco teórico referencial, el cual sustenta las bases teórico-prácticas de la investigación.

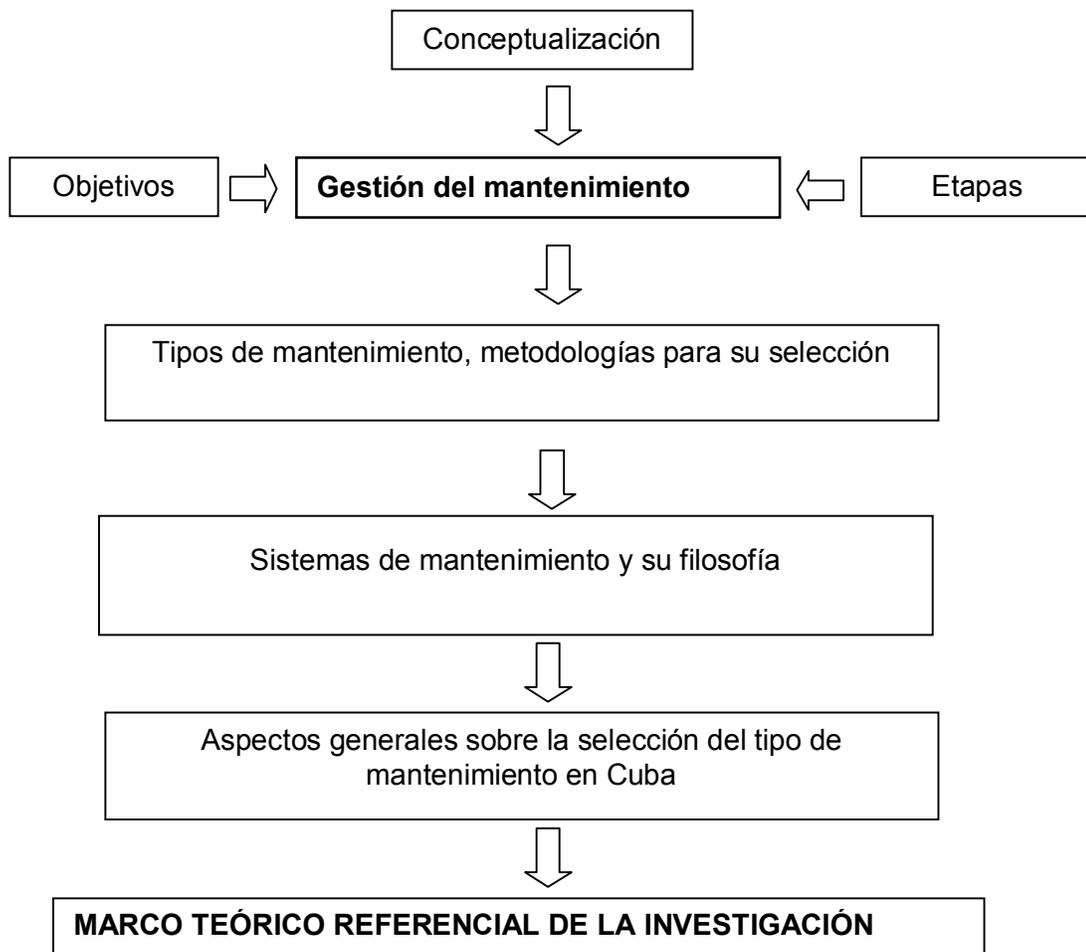


Figura 1.1. Estrategia seguida, en el análisis de la bibliografía, para la construcción del marco teórico referencial.

1.1. Aspectos generales sobre la gestión del mantenimiento

Lo que muchas veces ha pasado desapercibido para los ejecutivos de las empresas, hoy día es bien obvio, un mal mantenimiento y una baja confiabilidad del equipamiento significan: ingresos bajos, costos elevados de mano de obra y niveles de inventario altos, clientes insatisfechos y productos de calidad mala [Alkaim, 2003; Rodrigues, 2003; Cardoso de Moraes, 2004; Pérez Jaramillo, 2004; Amaris Arias, 2006]. Por todo ello resulta de vital importancia tener en cuenta la Gestión del Mantenimiento. Esta recae en la persona, grupo de personas, sección, departamento o subdirección que se encarga de dirigir la organización de mantenimiento y es responsable del cumplimiento de las funciones necesarias para alcanzar los objetivos propuestos, por lo cual se sumerge continuamente en un proceso de toma de decisiones.

La Gestión del Mantenimiento busca garantizarle al cliente interno o externo la disponibilidad de los activos fijos, cuando lo requieran con confiabilidad y seguridad total, durante el tiempo óptimo necesario para operar con las condiciones tecnológicas exigidas previamente, para producir bienes o servicios que satisfagan necesidades, deseos o requerimientos de los usuarios, con los niveles de calidad, cantidad y tiempo solicitados, en el momento oportuno, al menor costo posible y con los mayores índices de productividad, rentabilidad y competitividad [Amendola, 2002; Alkaim, 2003; Fabro, 2003; García González-Quijano, 2004].

Durante los últimos veinte años, la Gestión del Mantenimiento ha cambiado, quizás más que cualquier otra disciplina gerencial. Estos cambios se deben principalmente al enorme aumento en número y variedad de los activos físicos que deben ser mantenidos en todo el mundo, a la elaboración de diseños más complejos, al uso de nuevos métodos de mantenimiento, y a la existencia de una óptica cambiante en la organización de esta actividad y sus responsabilidades [Moubray, 1997; Jeira y Gibson, 2004].

El papel protagónico del éxito del mantenimiento en una organización, incide en diversos factores tales como costos de producción, calidad del producto o servicio, capacidad operacional, capacidad de la empresa como un ente organizado, seguridad e higiene industrial, calidad de vida del personal e imagen y seguridad ambiental de la empresa. Por estos argumentos se llega a la conclusión de que el mantenimiento no es una función miscelánea, produce un bien real que puede resumirse en capacidad de producir con calidad, seguridad y rentabilidad [Sotuyo Blanco, 2001; Da Silva Neto y Gonçalves de Lima, 2002; Fabro 2003; Lodola, 2006].

Existen varios conceptos y definiciones del término mantenimiento. Autores como De la Paz Martínez [1996]; Sánchez Sánchez [1999]; Batista Rodríguez [2000]; Aguilera Martínez [2001]; Duna [2002]; Alkaim [2003]; García González-Quijano [2004]; Borroto Pentón [2005]; Alfonso Llanes [2009], han emitido su criterio en estudios realizados. De acuerdo a los mismos, se pone de

manifiesto que existe consenso en utilizar las expresiones “mantener”, “restablecer”, “conservar”, “restaurar” o “preservar” la función pretendida del activo hasta el estándar de funcionamiento deseado por sus usuarios para definir mantenimiento.

Una de las definiciones que proporciona una visión más integral de esta actividad y con la que el autor se identifica, es la emitida por De la Paz Martínez [1996], en la misma se expresa que el mantenimiento es la totalidad de las acciones técnicas, organizativas y económicas encaminadas a conservar o restablecer el buen estado de los medios básicos, a partir de la observación y reducción de sus desgastes y con el fin de alargar su vida útil, para lograr una mayor disponibilidad y cumplir con calidad y eficiencia su función productiva y(o) de servicio, garantizando la seguridad del personal y del medio ambiente.

Tradicionalmente se contempla la función primordial del área de mantenimiento dentro de cualquier empresa, como la ejecución de todas aquellas actividades tendentes a mantener o restaurar la capacidad operativa de los equipos e instalaciones productivas con el fin de contribuir a que el objetivo fundamental de la empresa pueda llevarse a cabo, todo lo anterior al más bajo costo posible [Borda, 1998; Batista Rodríguez, 2000; Aguilera Martínez, 2001; Duna, 2002; Fabro, 2003; Jeira y Gibson, 2004].

En este nuevo milenio el área de mantenimiento ha sufrido grandes transformaciones dejando de ser vista como un centro de costos, para pasar a ser un proceso integral que contribuye a la generación de utilidades industriales, y es responsable de la sobrevivencia y desarrollo de la empresa.

Un grupo considerable de autores [Moubray, 1997; Batista Rodríguez, 2000; García-Ahumada, 2001; Sotuyo Blanco, 2001; Da Silva Neto y Gonçalves de Lima, 2002; Fabro, 2003; García Garrido, 2003; Torres, 2005; Stefano, 2006; Lodola, 2006] coinciden en que el objetivo del área de mantenimiento es conseguir el nivel máximo de efectividad en el funcionamiento del sistema productivo y/o de servicios con la menor contaminación del medio ambiente y mayor seguridad para el personal al menor costo posible. Todo lo anterior conlleva a:

1. Maximizar la productividad.

- Reducir al mínimo los costos, debido a las paradas por averías accidentales de las máquinas que originan pérdidas de producción.
- Aportar sugerencias de mejora productiva o de calidad a través de la experiencia en las intervenciones en las máquinas.
- Reparar las máquinas averiadas en el mínimo tiempo y con la máxima durabilidad de la reparación.
- Rebajar los paros intempestivos de los equipos.

2. Minimizar los costos.

- Realizar un aprovisionamiento de piezas de recambio de los equipos con una medida justa entre la inversión realizada para la adquisición de estos recambios y el costo que ocasiona la parada por falta de la pieza.
- Alargar la vida de la máquina en sus condiciones originales de calidad y de rechazo.

3. Incrementar el ahorro energético.

- Asegurar el suministro de energía, electricidad, aire comprimido, gas, etc.

4. Minimizar el impacto en el medio ambiente.

5. Maximizar la seguridad e higiene.

- Aseguramiento de las condiciones de trabajo.

En la actualidad el mantenimiento está destinado a ser el pilar fundamental de toda empresa que se respete y que considere ser competitiva, es por ello que se desarrollan técnicas y métodos para la detección, control y ejecución de actividades que garanticen el buen desempeño de la maquinaria. Lo anterior resulta imposible sin una eficiente estrategia y organización de esta disciplina en cada empresa.

La Gestión del Mantenimiento es responsable de armonizar los medios básicos, minimizando los tiempos de parada y los presupuestos de mantenimiento y por esto se afirma que “una adecuada gestión del mantenimiento en el marco de un desarrollo tecnológico creciente y de una política de personal orientada hacia la calidad, ayuda a mejorar la productividad bajo la forma de un incremento en la rentabilidad” [Cáceres, 2004]. Entonces se hace necesario investigar los aspectos que pueden afectar la Gestión del Mantenimiento.

Otra de las conceptualizaciones brindadas sobre el término de Gestión de Mantenimiento es la presentada por Espinosa Fuentes [2006] donde expone que esta no es más que “las actuaciones con las que la dirección de una organización de mantenimiento sigue una política determinada”. Esta definición implica que debe estar fijada la política, pero además evidencia que debe existir una organización de mantenimiento que lleve a cabo las referidas actuaciones.

Según Stefano [2006], la experiencia ha demostrado que una buena gestión de mantenimiento solamente es posible en la medida en que el responsable sea bien informado. De manera que el esfuerzo se centrará en introducir un sistema que permita asegurar el paso de informaciones de manera eficaz para cada nivel de responsabilidad.

La introducción de un sistema de gestión del mantenimiento y el establecimiento de índices para evaluar el desempeño del mismo necesitan un sistema de captación y de evaluación de datos bien desarrollados, tanto en el campo técnico como en el económico. Los datos estarían referidos a [Cáceres, 2004]:

- Los historiales de las máquinas (tiempo de funcionamiento, frecuencia y duración de averías, origen de estas y otros).
- La ejecución de los trabajos (horas directas, tipo de personal, horas indirectas de preparación y control).
- Las piezas de repuesto (utilizadas, reparadas o fabricadas).
- Los costos (personal, materiales, subcontratación, gastos generales).

1.2. Tipos de mantenimiento y su definición

Existen numerosos criterios acerca de los tipos de mantenimiento, muchos autores [Bevilacqua y Braglia, 2000; Batista Rodríguez, 2000; Sotuyo Blanco, 2001; COPIMAN, 2001; Piotrowski, 2001; Ramirez, Caldas y Santos, 2002; Mora Gutiérrez y Pérez Peral, 2002; Oliveira, 2003; Rodríguez, 2003; Apelgren, 2004; López Reyes, 2004; Stefano, 2006] se refieren a varios sistemas de mantenimiento, otros hacen referencia a tipos, métodos, técnicas, estrategias y filosofías. Sin embargo, la mayoría coinciden que los tipos de mantenimiento fundamentales son: el correctivo, el preventivo y el predictivo.

1.2.1. Mantenimiento correctivo

El mantenimiento correctivo es una técnica de la ingeniería que consiste en realizar una serie de trabajos de restauración, que son necesarios cuando la maquinaria, aparatos o instalaciones se estropean, y es necesario recuperarlos. Comprende la compensación de los daños sufridos por fallas incipientes, a una maquinaria o un equipo, y todos los trabajos que resulten pertinentes para su reparación; su aplicación se da cuando el equipo ha dejado de funcionar y es necesario repararlo [Bevilacqua y Braglia, 2000; COPIMAN, 2001; Piotrowski, 2001; Ramirez, Caldas y Santos, 2002; Apelgren, 2004; López Reyes, 2004; Wireman, 2005; Stefano, 2006].

Este tipo de mantenimiento se clasifica según la disposición del equipo de mantenimiento de la empresa a enfrentar una avería en no planificado y planificado [Kardec y Nascif, 2001; Oliveira, 2003; Christensen, 2005; Amaris Arias, 2006].

En el mantenimiento correctivo no planificado el colectivo 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 y de aplicación de normas legales).

Varios autores [Da Silva Neto y Gonçalves de Lima, 2002; Dos Santos Mendez, 2002; Torres, 2005; Stefano, 2006] exponen que este tipo de mantenimiento 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. También para equipos que ya cuentan con cierta antigüedad.

En el mantenimiento correctivo 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, repuesto y documentos técnicos necesarios para realizarla correctamente. 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, se programa la detención del equipo, pero antes de hacerlo, se van acumulando tareas a realizar sobre el mismo y se programa su ejecución en dicha oportunidad, aprovechando para ejecutar toda tarea que no se podría hacer con el equipo en funcionamiento [Bevilacqua & Braglia, 2000; Mora Gutiérrez y Pérez Peral, 2002; Oliveira, 2003; Apelgren, 2004; López Reyes, 2004; Yañez Medina, Gómez de la Vega y Valbuena Chourio, 2004].

Christensen [2005] presenta una clasificación del mantenimiento correctivo según la criticidad del equipo en que ocurre y el tipo de intervención como: mantenimiento de emergencia, que se emplea sobre equipos críticos y la intervención no puede diferirse en el tiempo; mantenimiento de urgencia, que se presenta en equipos críticos o semicríticos y la intervención puede diferirse en el tiempo y mantenimiento de oportunidad, en equipos no críticos o redundantes donde la intervención puede diferirse en el tiempo.

Las ventajas de la aplicación del mantenimiento correctivo se traducen en [COPIMAN, 2001; Piotrowski, 2001; Ramirez, Caldas & Santos, 2002; Oliveira, 2003; Apelgren, 2004; López Reyes, 2004; Espinosa Fuentes, 2006]:

- Si el equipo esta preparado la intervención en el fallo es rápida y la reposición en la mayoría de los casos será con el mínimo tiempo.
- No se necesita una infraestructura excesiva, un grupo de operarios competentes será suficiente, por lo tanto el costo de mano de obra será mínimo, será más prioritaria la experiencia y la pericia de los operarios, que la capacidad de análisis o de estudio del tipo de problema que se produzca.
- Es rentable en equipos que no intervienen de manera instantánea en la producción, donde la implantación de otro sistema resultaría poco económico.

Dentro de los inconvenientes de este tipo de mantenimiento según [Apelgren, 2004; López Reyes, 2004; Torres, 2005; Espinosa Fuentes, 2006; Stefano, 2006] se encuentran los siguientes: la falla puede sobrevenir en cualquier momento, muchas veces, el menos oportuno, debido justamente a que en esos momentos se somete al equipo a una mayor exigencia; se debe disponer de una

cantidad considerable de capital inmovilizado invertido en piezas de repuesto dado que la adquisición de muchos elementos que pueden fallar suele requerir una gestión de compra y entrega no compatible en tiempo con la necesidad de contar con el bien en operación (por ejemplo: caso de equipos discontinuados de fabricación, partes importadas, desaparición del fabricante) y, en lo referente al personal que ejecuta el servicio, no quedan dudas que debe ser altamente calificado y sobredimensionado en cantidad pues las fallas deben ser corregidas de inmediato. Generalmente se agrupa al personal en forma de cuadrillas.

1.2.2. Mantenimiento preventivo

El mantenimiento preventivo son todas aquellas acciones realizadas en forma lógica y sistemática sobre un equipo o sistema con la finalidad de mantenerlo trabajando en condiciones específicas de funcionamiento y para reducir las posibilidades de ocurrencias de fallas; es decir, prolongar el tiempo de vida útil del equipo o sistema [Batista Rodríguez, 2000; Kardec & Nascif, 2001; Sotuyo Blanco, 2001]. Este mantenimiento puede ser de naturaleza menor, como simples reparaciones, o mayor, como una revisión general. Se clasifica en tres procesos:

- Visitas sistemáticas.
- Reparaciones.
- Mantenimiento preventivo.

El mantenimiento preventivo es la ejecución planificada de un sistema de inspecciones periódicas, cíclicas y programadas y de un servicio de trabajos de mantenimiento previsto como necesario, para aplicar a todas las instalaciones, máquinas o equipos, con el fin de disminuir los casos de emergencias y permitir un mayor tiempo de operación en forma continua [Da Silva Neto y Gonçalves de Lima, 2002; Dos Santos Mendez, 2002; Kothari, 2004; Wireman, 2005]. Este tipo de mantenimiento es de suma importancia en cualquier empresa o industria, debido a que con él se puede conseguir que los equipos trabajen en perfectas condiciones con menos paradas inesperadas y menos tiempo de pérdida, contribuyendo así a la mejor calidad del material producido así como también alargar el tiempo de vida útil de los equipos y dispositivos.

Este tipo de mantenimiento presenta las características siguientes [Oliveira, 2003; Apélgren, 2004; Torres, 2005; Stefano, 2006]:

- Se realiza en un momento en que no se está produciendo, por lo que se aprovechan las horas ociosas de la planta.
- Se lleva a cabo siguiendo un programa elaborado previamente donde se detalla el procedimiento a seguir, y las actividades a realizar, a fin de tener las herramientas y repuestos necesarios "a la mano".

- Cuenta con una fecha programada, además de un tiempo de inicio y de terminación preestablecido y aprobado por la directiva de la empresa.
- Está destinado a un área en particular y a ciertos equipos específicamente. Aunque también se puede llevar a cabo un mantenimiento generalizado de todos los componentes de la planta.
- Permite a la empresa contar con un historial de todos los equipos; además, brinda la posibilidad de actualizar la información técnica de los equipos.
- Permite contar con un presupuesto aprobado por la directiva.

El mantenimiento preventivo bien aplicado disminuye los costos de producción, aumenta la productividad, así como la vida útil de la maquinaria y equipo, obteniendo como resultado la disminución de paro de máquinas [Dos Santos Mendez, 2002].

Autores como Yañez Medina, Gómez de la Vega y Valbuena Chourio [2004]; Christensen [2005], Espinosa Fuentes [2006] y Stefano [2006], clasifican el mantenimiento preventivo según el rigor de las intervenciones que se hagan. Dicha clasificación incluye el mantenimiento rutinario, que consiste en el control periódico del equipo requiriendo una intervención menor, pues está dado por ajustes, limpieza y lubricación (generalmente dado por el operario); el mantenimiento sistemático que abarca una intervención mayor (dado por el equipo de mantenimiento), en función del tiempo o por un contador determinado que controla una variable (km., número de unidades producidas); y el mantenimiento predictivo, que mide el desarrollo en función de un contador (hs., km.) de variables, prediciendo una futura intervención que será realizada por el Departamento de Mantenimiento.

Las desventajas que presenta este tipo de mantenimiento están relacionadas con la realización de una inversión inicial en infraestructura y mano de obra y el desarrollo de planes de mantenimiento se deben realizar por técnicos especializados; si no se hace un correcto análisis del nivel de mantenimiento preventivo, se puede sobrecargar el costo de mantenimiento sin mejoras sustanciales en la disponibilidad y los trabajos rutinarios cuando se prolongan en el tiempo producen falta de motivación en el personal, por lo que se deberán crear sistemas imaginativos para convertir un trabajo repetitivo en un trabajo que genere satisfacción y compromiso, la implicación de los operarios es indispensable para el éxito del plan [Batista Rodríguez, 2000; Sotuyo Blanco, 2001; Da Silva Neto y Gonçalves de Lima, 2002; Dos Santos Mendez, 2002; Lucatelli, 2002; Oliveira, 2003; Rodrigues, 2003].

1.2.3. Mantenimiento predictivo

Según Mora Gutiérrez y Pérez Peral [2002], Rodrigues [2003] y Stefano [2006], para evitar las desventajas que lleva consigo el mantenimiento preventivo, comenzó a desarrollarse en los últimos años el concepto de mantenimiento según estado o según síntomas, en que las intervenciones

sobre los equipos no dependen ya del tiempo de funcionamiento, sino de las condiciones efectivas de ese equipo o de sus componentes. Este se conoce como mantenimiento predictivo.

Para autores como Batista Rodríguez [2000]; Sotuyo Blanco [2001]; Da Silva Neto y Gonçalves de Lima [2002] y Dos Santos Méndez [2002], el mantenimiento predictivo consiste en estudiar la evolución temporal de ciertos parámetros y asociarlos a la evolución de fallos, para así determinar en que período de tiempo, ese fallo va a tomar una relevancia importante, y así poder planificar todas las intervenciones con tiempo suficiente, para que ese fallo nunca tenga consecuencias graves. Su objetivo se encuentra enfocado a determinar, en todo instante, la condición técnica real de la máquina examinada, mientras esta se encuentre en pleno funcionamiento, para ello se hace uso de un programa sistemático de mediciones de los parámetros más importantes del equipo; y disminuir las paradas por mantenimientos preventivos, y de esta manera minimizar los costos por mantenimiento y por no producción.

El sustento tecnológico de este mantenimiento consiste en la aplicaciones de algoritmos matemáticos agregados a las operaciones de diagnóstico, que juntos pueden brindar información referente a las condiciones del equipo. La implementación de este tipo de métodos requiere de inversión en equipos, instrumentos, y en contratación de personal calificado. Las técnicas siguientes son utilizadas para la estimación del mantenimiento predictivo [Sotuyo Blanco, 2001; Mora Gutiérrez, y Pérez Peral, 2002; Fabro, 2003; Yañez Medina, Gómez de la Vega y Valbuena Chourio, 2004; Torres, 2005; Stefano, 2006]:

- Analizadores de Fourier (para análisis de vibraciones).
- Endoscopía (para poder ver lugares ocultos).
- Ensayos no destructivos (a través de líquidos penetrantes, ultrasonido, radiografías, partículas magnéticas).
- Termovisión (detección de condiciones a través del calor desplegado).
- Medición de parámetros de operación (viscosidad, voltaje, corriente, potencia, presión, temperatura).

El uso del mantenimiento predictivo obliga a dominar el proceso y a tener datos técnicos, caracterizado por ser un método de trabajo científico, riguroso y objetivo, lo cual resultará ventajoso en varios aspectos [Moblely, 2002 y Torres, 2005]:

- Se maximiza la disponibilidad del equipo.
- Algunas inspecciones, a través de los sentidos de los operadores, no tienen costo.
- Los equipos se paran antes de que ocurran daños severos.
- Se alarga el ciclo de vida de los componentes y equipos.

- La causa de las fallas puede ser más fácilmente analizada.
- El mantenimiento puede ser planificado y programado.
- La mano de obra se puede organizar mejor.
- Los repuestos pueden tenerse preensamblados antes de la reparación

Asimismo, presenta las desventajas siguientes [Kardec & Nascif, 2001; Lafraia, 2001; Torres, 2005, Stefano, 2006]:

- El monitoreo de vibraciones, la termografía.
- Requieren de equipos especiales y entrenamiento del personal, lo que es muy costoso.
- Las empresas deben seleccionar correctamente la técnica a utilizar.
- Se requiere de un período de tiempo para determinar la tendencia del parámetro analizado.

1.3. Sistemas de mantenimiento y su filosofía

En la literatura especializada han sido tratados indistintamente los sistemas de mantenimiento como políticas, estrategias o filosofías, métodos y tipos de mantenimiento [Lafraia, 2001; González Danger y Hechavarría Pierre, 2001; Duffuao, Raouf y Dixon Campbell, 2002; Borroto Pentón, 2005]. La decisión de aplicar uno u otro debe ser el resultado de un análisis casuístico de cada equipo o línea de fabricación procurando alcanzar la confiabilidad operacional más alta en combinación con el costo mínimo de mantenimiento [Moubray, 1997; Ellmann, 2001; Sotuyo Blanco, 2001; Amendola, 2003; Alkaim, 2003; Fabro, 2003; García González-Quijano, 2004; Yañez Medina, Gómez de la Vega y Valbuena Chourio, 2004; Tavares *et al.*, 2005]. A continuación se hará referencia a algunos de los sistemas de mantenimiento disponibles en la literatura.

Sistema de Mantenimiento Preventivo Planificado (MPP)

El Mantenimiento Preventivo Planificado (MPP), según Portuondo Pichardo, *et al.*, [1989] y Taboada Rodríguez [1990], es aquel que tiene como objetivo evitar el desgaste o deterioro prematuro de los medios básicos. El personal encargado de la planificación y control del mantenimiento, tiene entre sus funciones la de programar las inspecciones y reparaciones de forma planificada antes de que ocurra una avería o desperfecto de las máquinas y equipos. Es conveniente su aplicación en aquellas empresas donde la demanda es mayor que la capacidad, cuando funciona constantemente o donde existe dificultad en la adquisición inmediata de piezas de repuesto y materiales.

Las ventajas que conlleva el uso de este sistema se traducen en un mayor aprovechamiento del personal y materiales de mantenimiento; disponibilidad de datos que permiten comparar diversos programas de producción desde el punto de vista de mantenimiento y una mayor flexibilidad debido a la disponibilidad de información anticipada y correcta en forma fácilmente interpretable.

El sistema MPP, según De la Paz Martínez [1996] es el más extendido en Cuba. Su aplicación también supone desventajas debido a que los ciclos que se planifican no siempre son los más adecuados para cada equipo y se requiere su revisión periódicamente; muchas veces se desarmen equipos sin necesidad real y entre el desarme y arme posterior se corren riesgos de roturas y errores que pueden ser de gran envergadura; el gasto de piezas, materiales y otros recursos en que se incurre es considerable y en ocasiones no responde a las necesidades reales y su carácter planificado y preventivo conduce a que los desperfectos en realidad no sean detectados con antelación suficiente para prevenir las paradas no planificadas.

En cuanto a sus condiciones de aplicación se ha planteado [Portuondo Pichardo *et al.*, 1989] que resulta engorroso efectuarlo en líneas de producción en cadena y es impráctico en equipos complejos y modernos.

El sistema MPP establecido y casi generalizado, presenta importantes problemas que lo hacen difícil de ejecutar y altamente costoso, además de que los procedimientos normados para su ejecución se violan continuamente al ser impracticables y que en definitiva, la actividad integral de mantenimiento es ineficiente, pues parte de un sistema que ya se ha vuelto caduco en su concepción original, ante las nuevas exigencias y reglas de la producción en entornos competitivos [Taboada Rodríguez, 1990].

Sistema Alternativo de Mantenimiento (SAM)

El Sistema Alternativo de Mantenimiento (SAM), es un sistema para la organización, planificación y control del mantenimiento industrial que se caracteriza por integrar armónicamente más de uno de los sistemas de mantenimiento conocidos, en calidad de subsistemas del mismo caracterizado por su flexibilidad, aplicado en la industria mecánica, ligera y especialmente en la industria textil cubana [Aguilera Martínez, 2001].

Estos sistemas serán aplicados a los diferentes equipos individuales o grupos homogéneos de equipos en función de sus características tecnológicas y otros elementos [De la Paz Martínez, 1996].

Las ventajas que presenta la aplicación del SAM, según Portuondo Pichardo [1989], son:

- Implica la aplicación del sistema de mantenimiento más adecuado a las cantidades y características de cada equipo o línea de producción.
- Se ajusta a las circunstancias específicas de cada equipo. Se debe lograr una disponibilidad alta de los mismos.
- Los costos de mantenimiento deben reducirse, al efectuarse los trabajos solo realmente necesarios en muchos casos.

- Para los equipos más imprescindibles se garantiza un trabajo sin fallos hasta el momento en que se haya previsto que se debe ejecutar un trabajo de reparación.
- Con respecto a los equipos auxiliares o poco principales implica un importante ahorro de recursos a aplicárseles el sistema contra avería (sin que este necesariamente implique que se espere a que se rompa el equipo).
- Disminuyen las posibilidades de producirse desajustes y errores al evitar el desarme y arme de componentes con una regularidad no siempre necesaria.

Para la implantación de este sistema podrían surgir varias dificultades, como [De la Paz Martínez, 1996]:

- Imprecisión por falta de consenso en cuanto a la clasificación de los equipos (reclasificación).
- Carencia de fondos para adquirir los equipos de medición necesarios para aplicar el diagnóstico objetivo.
- Necesidad de personal calificado (para la inscripción y elaboración de diagnósticos efectivos).

Sistema de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC)

Según Sexto [2008], el sistema de Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC o RCM, por sus siglas en inglés) desarrolló sus principios básicos en los años sesenta para la industria aeronáutica norteamericana, donde se generalizó su uso en el ejército y la marina estadounidense. A principios de la década de los años ochenta esta metodología se comenzó a transferir a otros sectores industriales

La filosofía MCC plantea, como criterio general, el mantenimiento exclusivo de los componentes considerados como críticos para el correcto funcionamiento de la instalación, dejando operar hasta su fallo a los componentes no críticos, instante en el que se aplicaría el correspondiente mantenimiento correctivo [Ellmann, 2001; Mokashi *et al.*, 2002; Fernández Pérez, 2003; Alkaim 2003].

El objetivo principal del RCM está en reducir el costo de mantenimiento, para enfocarse en las funciones más importantes de los sistemas, evitando o quitando acciones de mantenimiento que no son estrictamente necesarias [Moubray, 1997; Carretero, Perez, Garcia-Carballeira *et al.*, 2003; Alfonso Llanes *et al.*, 2003; Cheng, 2006].

Según Smith [1997], citado en Amendola [2003], el MCC es una filosofía de gestión del mantenimiento, en la que un equipo multidisciplinario de trabajo se encarga de optimizar la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades más efectivas de mantenimiento en función de la criticidad de los

activos pertenecientes a dichos sistemas. Este propone un procedimiento que permite identificar las necesidades reales de mantenimiento de los activos en su contexto operacional a partir del análisis de las preguntas siguientes [Hardwick y Winsor, 2002; Lucatelli, 2002; Backlund, 2003; Amendola, 2003; Castillo Serpa y Sexto, 2006]:

1. ¿Cuál es la función del activo?
2. ¿De qué manera pueden fallar?
3. ¿Qué origina la falla?
4. ¿Qué pasa cuando falla?
5. ¿Importa si falla?
6. ¿Se puede hacer algo para prevenir la falla?
7. ¿Qué pasa si no se puede prevenir la falla?

El MCC ha sido usado por una amplia variedad de industrias durante los últimos diez años. De todo ello se ha concluido que cuando se aplica correctamente produce los beneficios siguientes [Hipkin & De Cock, 2000; Carretero, Perez, Garcia-Carballeira et al., 2003; Cheng, 2006; Sexto, 2008]:

- Mayor seguridad y protección del entorno.
- Mejores rendimientos operativos.
- Mayor contención de los costos del mantenimiento.
- Mayor vida útil de los equipos.
- Una amplia base de datos de mantenimiento.
- Mayor motivación de las personas en particular.
- Mejor trabajo de grupo.

Lo importante del MCC radica en que provee un marco de trabajo paso a paso efectivo para realizarlos todos a la vez, y para hacer participar a todo el que tenga algo que ver con los equipos de los procesos.

Dentro de este sistema se encuentra el Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad 2 (RCM 2). Esta metodología fue desarrollada por John Moubray de Aladon Ltd., y no solo cumple con la norma SAE JA 1011, referida a certificación de procesos RCM, sino que es una de las tres referencias de dicha norma.

El RCM 2 es un procedimiento estructurado para determinar la política de mantenimiento más adecuada para cada activo físico de una planta industrial, en su contexto de operación. Consiste en analizar las funciones de los activos, ver cuáles son sus posibles fallas, luego preguntarse por los modos o causas de fallas, estudiar sus efectos y analizar sus consecuencias. A partir de la evaluación de las consecuencias es que se determinan las estrategias más adecuadas al contexto

de operación, siendo exigido que no solo sean técnicamente factibles, sino económicamente viables [Moubray, 1997 y Sotuyo Blanco, 2001].

Las consecuencias expuestas por Moubray [1997] sobre el RCM 2 son clasificadas en cuatro categorías:

- Fallas ocultas.
- Seguridad y medio ambiente.
- Operacionales.
- No operacionales.

La implantación del RCM 2 supone los resultados siguientes [Moubray, 1997 y Sotuyo Blanco, 2001]:

- Aumento inmediato de la disponibilidad y confiabilidad de máquinas y equipos.
- Mejor aprovechamiento de todos los recursos productivos con importantes beneficios económicos medibles, que superan altamente la lograda reducción de costos.
- Mejor conocimiento de máquinas y equipos por todo el personal.
- Trabajo en equipo y motivación entre distintas áreas, hacia los objetivos comunes de la empresa.
- Mejor atención a problemas de seguridad y medio ambiente.
- Preservación mejor y más prolongada de activos físicos.

Sistema de Mantenimiento Productivo Total (MPT)

El MPT es una estrategia compuesta por una serie de actividades ordenadas, que una vez implantadas ayudan a mejorar la competitividad de una organización industrial o de servicios. Al considerarse estrategia, ayuda a crear capacidades competitivas a través de la eliminación rigurosa y sistemática de las deficiencias de los sistemas operativos. Permite diferenciar una organización en relación a su competencia debido al impacto en la reducción de los costos, mejora de los tiempos de respuesta, fiabilidad de suministros, el conocimiento que poseen las personas, la calidad de los productos y servicios finales [Zhu y Pintelon, 2000].

Según Chan *et al.*, [2005], en este sistema se combinan las prácticas habituales del mantenimiento preventivo y predictivo con el sistema participativo japonés de involucrar al máximo al personal de operaciones y, su resultado es un sistema innovador que optimiza la eficiencia y la eliminación de roturas, aprovechando las actividades que día a día realiza un grupo de operarios

Por su parte, Torres [2005] plantea que el MPT consiste en “maximizar la efectividad total de los sistemas productivos por medio de la eliminación de sus pérdidas por la participación de todos los empleados en pequeños grupos de actividades voluntarias”.

Las ventajas de este sistema están relacionadas con su carácter [Torres, 2005; Paredes Rodríguez, 2005]:

1. Organizativo

- Mejora la calidad del ambiente de trabajo y el control de las operaciones.
- Incremento de la moral del empleado y aprendizaje permanente.
- Creación de una cultura de responsabilidad, disciplina y respeto por las normas.
- Creación de un ambiente donde la participación, colaboración y creatividad sea una realidad.
- Dimensionamiento adecuado de las plantillas de personal.
- Redes de comunicación eficaces.

2. Seguridad

- Mejorar las condiciones ambientales.
- Cultura de prevención de eventos negativos para la salud.
- Incremento de la capacidad de identificación de problemas potenciales y de búsqueda de acciones correctivas.
- Prevención y eliminación de causas potenciales de accidentes.
- Eliminar radicalmente las fuentes de contaminación y polución.

A pesar de los beneficios expresados anteriormente, se pueden presentar las desventajas siguientes [Zhu y Pintelon, 2000; Paredes Rodríguez, 2005 y Popescu y Elsenbach, 2007]: se requiere un cambio de cultura general, para que tenga éxito este cambio, no puede ser introducido por imposición, requiere el convencimiento por parte de todos los componentes de la organización de que es un beneficio para todos. Lo cual por norma general es de una complejidad elevada. La inversión en formación y cambios generales en la organización, es costosa. El proceso de implantación requiere de varios años.

Sistema de Mantenimiento Esbelto (Lean Maintenance)

El término Lean fue acuñado por un grupo de estudio del (Massachussets Institute of Tecnology) (MIT) para analizar el nivel mundial de los métodos de manufactura de las empresas de la industria automotriz. Lean, es básicamente todo lo concerniente a obtener las cosas correctas en el lugar correcto, en el momento correcto, en la cantidad correcta, minimizando el despilfarro, siendo flexible y estando abierto al cambio.

La filosofía del Mantenimiento Esbelto se desarrolla sobre la base de la Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing) consistente en usar menos de cada cosa en la planta, menos esfuerzo humano, menos inversión en el inventario de materiales y herramientas, menos espacio [Lean Manufacturing, 2006].

Según Paredes Rodríguez [2005], el Mantenimiento Esbelto es una operación de mantenimiento proactivo que emplea actividades de mantenimiento planificado y programado a través de prácticas del mantenimiento productivo total (MPT), usando las estrategias de mantenimiento desarrolladas a través de la aplicación de la decisión lógica del mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC) y practicada por equipos de acción autodirigidos usando el proceso de las 5S, los eventos semanales de mejora Kaisen y, el mantenimiento autóctono, junto con técnicos de mantenimiento con multihabilidades.

Lo anterior se logra a través del uso comprometido de su sistema de orden de trabajo y su sistema computarizado de gestión de mantenimiento (CMMS: Computer Management Maintenance System) o sistema de gestión de activos (EAM: Enterprise Asset Management). Ellos son soportados por un almacén de mantenimiento esbelto distribuido, que proporciona partes y materiales Justo a Tiempo (JIT) basado y apoyado por un grupo de ingeniería de mantenimiento y confiabilidad que efectúa el análisis Causa Raíz (ACR) de fallas, la efectividad del procedimiento de mantenimiento, el análisis del mantenimiento predictivo (MPd), y el análisis de tendencias y resultados del monitoreo de condiciones [Paredes Rodríguez, 2005].

Mantenimiento Centrado en el Negocio (BCM)

El Mantenimiento Centrado en el Negocio (BCM, por sus siglas en inglés) o Mantenimiento Basado en Riesgo (RBM, por sus siglas en inglés) o Mantenimiento Estratégico se desarrolla sobre la base del comportamiento actual de las organizaciones y su entorno a nivel mundial, en cuanto al aumento de las exigencias de calidad y reducción de costos de los productos y servicios, donde el mantenimiento ha pasado a ser un elemento importante en el desempeño de los equipos en grado similar al de la operación, convirtiéndose en la única función operacional que influye y mejora los tres ejes determinantes de la realización industrial al mismo tiempo, o sea, costo, plazo y calidad, definida como la “Función Pivotante” [Mckinsey & Company, 1998, citado en Tavares, 2003; Paredes Rodríguez, 2005].

Según Tavares [2003], el BCM analiza la relación entre el seguimiento de la disponibilidad del equipo versus la necesidad de utilización de este, y donde se presente una disponibilidad menor que la necesaria, será este el punto prioritario de análisis y acción de reajuste del sistema de planificación que también deberá considerar sus importancias operacionales en el proceso, los costos de reparación y los tiempos promedios entre fallas y para reparación.

Las características principales de esta estrategia son las siguientes [Yañez Medina, Gómez de la Vega y Valbuena Chourio, 2004; Paredes Rodríguez, 2005]:

- Decisiones atinentes a compra o reemplazo de plantas fundamentadas en análisis de valor actual del costo de ciclo de vida, considerando costos de mantenimiento y lucro cesante estimado, en lo posible, de experiencia documentada fehacientemente.
- Un acabado análisis de confiabilidad, mantenibilidad y seguridad de la nueva planta, con la participación conjunta del propietario/operador y responsables del diseño, manufactura e instalación. La aproximación a desarrollar incluye la evaluación de aprovisionamiento de repuestos, capacitación del personal de mantenimiento y los servicios de apoyo de proveedores. La criticidad de ésta etapa es función de la magnitud de costos de mantenimiento y lucro cesante.
- Un sistema de registro y análisis de fallas e identificación de áreas con alto costo de mantenimiento, desde la puesta en marcha hasta el reemplazo de la planta, destinado a formular modos de acción conducentes a minimizar costos directos e indirectos de mantenimiento.
- Un sistema de gestión de bienes de capital que trascienda las fronteras tradicionales de toma de decisiones.

Las ventajas de la implementación de este sistema logra que la planificación del mantenimiento se realice en función de la calidad, los costos y plazos de entrega de la organización; reduce al máximo el trabajo burocrático de los ejecutantes de mantenimiento; establece de forma completa los registros que serán recolectados en una intervención del mantenimiento e interrelaciona los registros de un área de mantenimiento con las demás áreas directa o indirectamente involucradas en la actividad final de la empresa y evita el riesgo de estar haciendo un excelente mantenimiento preventivo en el equipo equivocado [Rosaler, 1998; Yañez Medina, Gómez de la Vega y Valbuena Chourio, 2004; Paredes Rodríguez, 2005].

1.4. Metodologías para la selección del tipo de mantenimiento

El mejoramiento de la confiabilidad operacional de cualquier instalación, depende en gran medida de la confiabilidad del mantenimiento, pero no basta con conocer los diferentes tipos y filosofías de mantenimiento que existen, también es necesario saber aplicarlos consecuente y racionalmente al sistema en su conjunto, con el objetivo de decidir sobre el tipo de mantenimiento más apropiado en cada caso [Alfonso Llanes, 2009].

Para tomar esta decisión se han presentado disímiles propuestas por parte de los autores que han tratado el tema. Estas propuestas pueden dividirse en dos tendencias fundamentales, la primera está relacionada a la presentación de metodologías que, considerando varios factores, permiten

decidir directamente la política de mantenimiento a seguir en cada situación específica, mientras que ha tomado mucho auge una segunda estrategia consistente en la determinación del nivel de criticidad de cada activo dentro del proceso productivo para luego, en función de éste, asignar la política de mantenimiento que resulte pertinente.

1.4.1. Metodologías para la selección directa del tipo de mantenimiento

Varios autores [Alsayouf, 2004; Cardoso de Moraes, 2004] han coincidido en agrupar en tres grupos las estrategias utilizadas para seleccionar las políticas de mantenimiento. Al primer grupo se le llama “orientado a los negocios” ya que mediante esta selección tratan de alcanzar ventajas competitivas enfocándose en aspectos claves de la organización. El segundo grupo es nombrado “los verdes” porque se enfocan principalmente en aspectos relativos a la salud y seguridad del medio ambiente y finalmente el tercer grupo es llamado “los seguidores” ya que solamente trabajan acorde a las recomendaciones de los fabricantes del equipamiento.

En la literatura es posible encontrar métodos que pueden ayudar en la selección de políticas y acciones de mantenimiento económicamente efectivas como los empleados para la optimización del mantenimiento, dentro de éstos se destacan, por su amplia utilización, el procedimiento de la filosofía RCM (Reliability Centered Maintenance) [Moubrey, 1997; Ellmann, 2001; Carretero, Perez, Garcia-Carballeira et al., 2003; Cheng, 2006; Sexto, 2008] y el Análisis Multicriterio [Alsayouf, 2004; De Freitas Cordeiro, 2005; Forslund, 2006; Alfonso Llanes et al., 2008]. Todos estos métodos tienen fortalezas y debilidades diferentes, por ejemplo, el procedimiento de RCM no considera los aspectos organizacionales y los Métodos Multicriteriales no consideran los análisis técnicos realizados antes de haber recolectado los datos ni considera el riesgo y la incertidumbre asociada al desempeño [Alsayouf, 2004; De Freitas Cordeiro, 2005 y Forslund, 2006].

Otra de las metodologías empleadas para definir el tipo de mantenimiento a realizar a determinado equipamiento es el análisis del riesgo asociado a los modos de fallos diferentes que se pueden presentar en dichos equipos, todo ello llevado a cabo a través de la llamada “Matriz de Riesgo”. Esta es una estrategia empleada principalmente en las plantas generadoras de energía y en la industria del petróleo con el objetivo de garantizar una seguridad del personal y protección medioambiental adecuada [Yañez Medina, Gómez de la Vega y Valbuena Chourio, 2004; García González-Quijano, 2004].

Finalmente se presentan las estrategias de selección basadas en elementos económicos, desarrolladas con el fin de garantizar que el criterio de mantenimiento empleado en cada equipo (correctivo, preventivo o predictivo) garantice las mayores utilidades (ahorros) [Marín, 1994; Lofsten, 1999; Sondalini, 2002 y Alsayouf, 2004]. En este proceso de toma de decisiones se evalúan principalmente los costos de implementación, disponibilidad de repuestos por dejar de

producir, fallas en cadena para fallas catastróficas, inspección de síntomas y stock de repuestos. Por último se encuentra el Sistema Alternativo de Mantenimiento (SAM) [Portuondo Pichardo *et al.*, 1989; De la Paz Martínez, 1996; Aguilera Martínez, 2001] utilizado en varias industrias cubanas.

1.4.2. Metodologías para la selección del tipo de mantenimiento basadas en el análisis de criticidad

El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, creando una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, direccionando el esfuerzo y los recursos en áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional, basado en la realidad actual [Huerta Mendoza, 2006].

Para realizar un análisis de criticidad se debe definir un alcance y propósito para establecer los criterios de evaluación y seleccionar un método de evaluación para jerarquizar la selección de los sistemas objeto del análisis. Es una técnica de fácil manejo y comprensión, cuya virtud mayor es proveer una figura de mérito cuyo valor es proporcional al riesgo. El objetivo de un análisis de criticidad es establecer un método que sirva de instrumento de ayuda en la determinación de la jerarquía de procesos, sistemas y equipos de una planta compleja, permitiendo subdividir los elementos en secciones que puedan ser manejadas de manera controlada y auditable [González Danger y Hechavarría Pierre, 2001].

El método clásico de evaluación de la criticidad de los componentes de un sistema se realiza normalmente mediante la técnica de Análisis de los Modos de Fallo y sus Efectos (FMEA, Failure Mode and Effect Analysis) y, en otros casos, mediante la herramienta de Modos de Fallo y Análisis de Criticalidad (FMECA, Failure Modes, Effects and Criticality Analysis) [García González-Quijano, 2004].

La forma más generalmente utilizada para realizar la jerarquización de los elementos dentro de un sistema productivo o de servicios es el empleo de un grupo de factores, criterios o variables que caractericen su contexto operacional, valorando las consecuencias que sobre cada una de ellas genera cada modo de fallo que se presente. En el Anexo 1 se muestra un resumen de las propuestas realizadas por diferentes autores e instituciones concernientes a la realización del análisis de criticidad.

De manera general se observa que los métodos con pocos criterios o variables de análisis son de aplicación más fácil y por ende más utilizados; en contrapartida, dejan de considerar factores que pudieran ser decisivos a la hora de priorizar el equipamiento. Los métodos más complejos describen con fidelidad mayor la realidad operacional del equipamiento; sin embargo, requieren

una infraestructura más compleja para la recolección de los datos necesarios ya que éstos deben ser más “completos” [Alfonso Llanes, 2009].

1.5. Aspectos generales sobre la selección del tipo de mantenimiento en Cuba

Los tipos de mantenimiento analizados se pueden combinar de forma tal que se obtenga el máximo rendimiento de las instalaciones. Varios autores [De la Paz Martínez, 1996; Batista Rodríguez, 2000; González Danger y Hechavarría Pierre, 2001; Borroto Pentón, 2005; Alfonso Llanes, 2009] han coincidido que no es justificable pensar que toda una planta debe estar sujeta a un único tipo de mantenimiento. En el proceso industrial existen diversidad de equipos ocupando una posición desigual y poseedores de características propias que lo hacen diferente del resto, incluso de otros equipos similares.

Para la selección del tipo de mantenimiento, varios autores cubanos han diseñado metodologías con este fin, tal es el caso de González Danger y Hechavarría Pierre [2001], los mismos proponen un algoritmo que incluye el estudio del régimen de explotación y del sistema de mantenimiento existente en la empresa, la clasificación de la industria según sus características de producción, grado de mecanización y régimen de trabajo, la aplicación del proceso de diferenciación de máquinas y definición de la política de mantenimiento hasta nivel de sistemas; de estos resultados se obtiene el tipo de acción de mantenimiento a acometer y luego de una valoración económica de ser positivo el análisis, se implanta el sistema, el cual puede irse perfeccionando hasta el logro de una gestión de mantenimiento automatizada.

Asimismo, Sexto Cabrera, Parra Suárez y Palacio Gallego [2003], realizan para la selección del tipo de mantenimiento una selección y análisis de las máquinas críticas a partir de un método de categorización basado en 12 puntos: intercambiabilidad, importancia productiva, régimen de operación, nivel de utilización, grado de precisión, mantenibilidad, conservabilidad, automatización, valor de la máquina, factibilidad de aprovisionamiento, seguridad operacional y disponibilidad, aplicando la técnica del criterio de expertos.

Para la selección del tipo de mantenimiento Alfonso Llanes [2009] propone un algoritmo, a partir de las propuestas presentadas por Torres [1997], Borroto Pentón [2005] y Chistensen [2006], que alcanza este objetivo en dependencia del valor de cada una de las variables contenidas en el mismo (ver Figura 1.2.), las cuales van a caracterizar el entorno operacional en que se desempeña el equipamiento estudiado.

Teniendo en cuenta las características propias de cada tipo de mantenimiento (ventajas, desventajas y condiciones de aplicación) se deciden las políticas de mantenimiento a considerar, así como su orden de prioridad según la estrategia trazada para cada clase y el tipo de fallo que se presente (ver Tabla 1.1.), siendo estas las que se definen a continuación:

1. Mantenimiento preventivo con base en la condición

2. Mantenimiento preventivo basado en el tiempo
3. Mantenimiento contra avería
4. Mantenimiento de mejora

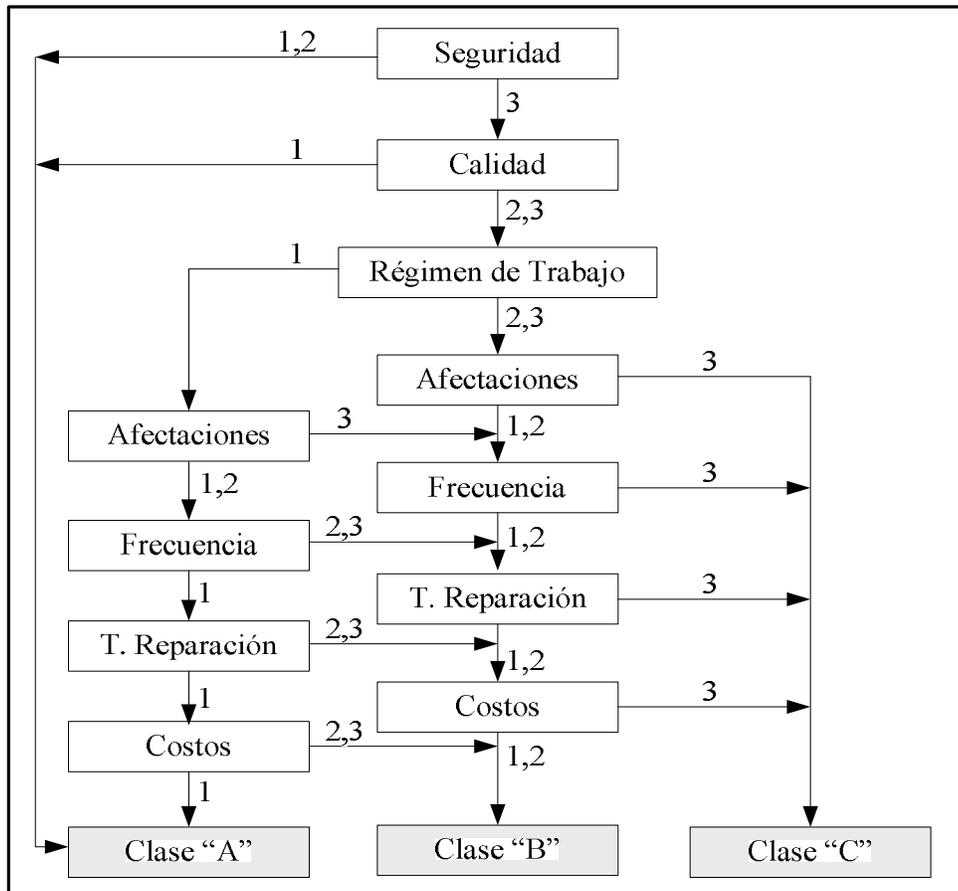


Figura 1.2. Algoritmo para la definición del nivel de criticidad del equipamiento. Fuente: Alfonso Llanes, 2009.

Tabla 1.1. Variantes de mantenimiento propuestas

Clase	Clasificación de los fallos			
	Periódico de Fácil Detección	Periódico de Difícil Detección	Aleatorio Poco Frecuente	Aleatorio muy Frecuente
"A"	1, 2, 4	2, 1, 4	1, 4	1, 4
"B"	2, 3, 4	2, 3, 4	3, 4	2, 3, 4
"C"	2, 3	2, 3	3	3

Fuente: Alfonso Llanes, 2009.

Se puede concluir que a la hora de decidir la aplicación de la tarea de mantenimiento propuesta, primeramente se debe analizar si existen todas las condiciones técnicas para su implementación

(factibilidad técnica) y luego analizar su factibilidad desde el punto de vista económico. El incumplimiento de alguno de estos factores puede dar al traste con la realización de la tarea que se esté considerando y entonces pasar a analizar la que le sigue en prioridad.

En este caso, se deben considerar los elementos siguientes:

- Bajo ninguna circunstancia se debe proponer una política de mantenimiento contra averías para un equipo catalogado como clase “A”.
- Dado que, a pesar de realizar el mantenimiento preventivo las acciones correctivas son inevitables, tanto el personal, las piezas de reposición como la documentación deben estar disponibles para planear trabajos no programados en las unidades críticas.

1.6. Conclusiones parciales

1. En la bibliografía consultada existen varias clasificaciones respecto al tipo de mantenimiento, siendo los más usados el correctivo (contra averías), el preventivo basado en el tiempo y el preventivo basado en la condición (predictivo); asimismo, la mayoría de los autores referidos consideran que no se debe optar por uno solo de ellos, sino que deben aplicarse varios en función del contexto operacional en que se desempeñe cada equipo.
2. La propuesta presentada por Alfonso Llanes [2009] se considera acertada para realizar la selección del tipo de mantenimiento a aplicar al equipamiento productivo de la Unidad Básica de Producciones Metálicas “El Vaquerito” dado que aborda un grupo de elementos afines con la situación real de la entidad.

Capítulo 2

A decorative graphic consisting of a vertical blue bar on the right side of the page and a horizontal blue line at the bottom, intersecting at the bottom right corner.

Capítulo 2. Diagnóstico en el Área de Mantenimiento de la Unidad Básica de Producciones Metálicas “El Vaquerito”

En el presente capítulo se muestran los resultados del diagnóstico realizado en el Área de Mantenimiento de la Unidad Básica de Producciones Metálicas “El Vaquerito”. En este espacio se detallan un grupo de problemas y deficiencias que afectan la gestión del mantenimiento, provocando una baja disponibilidad y confiabilidad del equipamiento productivo y un incremento significativo de los costos vinculados a dicha actividad.

2.1. Caracterización general de la entidad

La Unidad Básica de Producciones Metálicas “El Vaquerito”, está subordinada a la Empresa Constructora de Obras de Arquitectura e Industriales N° 1 de la Construcción en Villa Clara, perteneciente al Ministerio de la Construcción. La empresa inició sus actividades en 1970 con el objetivo de brindar servicios de reconfiguración de metales, corte y conformado, maquinado y soldadura, de ahí que su **misión** esté definida por: construir, reconstruir y adecuar obras de arquitectura e industriales con eficiencia y calidad cumpliendo los compromisos contraídos con la sociedad. Para ello cuenta con la estructura organizativa que se muestra en la Figura 2.1.

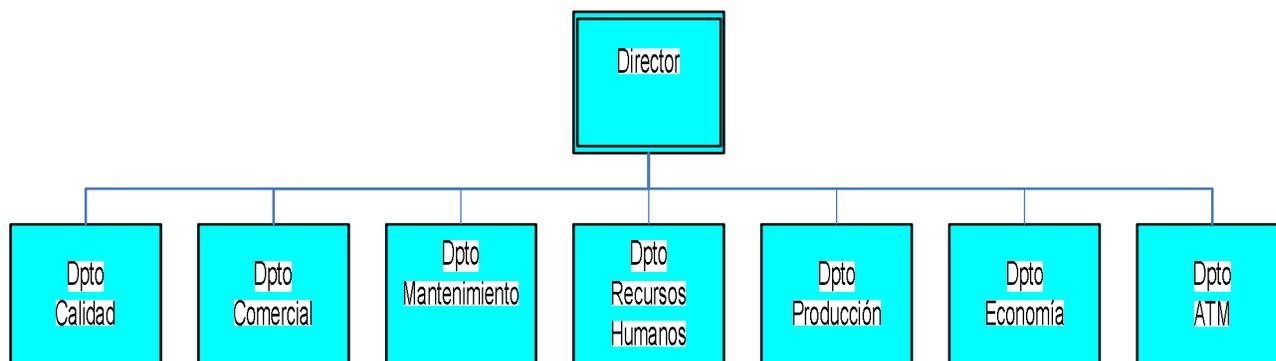


Figura 2.1. Estructura organizativa de la Unidad Básica de Producciones Metálicas “El Vaquerito”. Fuente: documentos de la entidad.

A pesar de la difícil situación por la que ha atravesado el país, la entidad ha logrado mantener el cumplimiento de las metas trazadas, y tiene como proyecciones futuras:

- ❖ Alcanzar un desarrollo elevado de los Recursos Humanos, con un alto nivel de desempeño y motivación en el trabajo, a partir de la implementación del Perfeccionamiento Empresarial y la aplicación de los sistemas de Gestión de la Calidad y Ambiental.
- ❖ Obtener una mejora significativa en la entrada de técnicos y profesionales a la empresa, y avanzar en el completamiento y preparación de la reserva.

- ❖ Potenciar el movimiento de investigación y desarrollo, con el objetivo de sustituir tecnologías costosas.
- ❖ Lograr un incremento en el sentido de pertenencia del colectivo de trabajadores.

Para el cumplimiento de los objetivos trazados, la entidad cuenta con una plantilla de 61 trabajadores, tal como se muestra en la Tabla 2.1.

La empresa, a pesar de verse afectada por la escasez y limitación de recursos y aunque no cuenta con una tecnología de punta, ha sido capaz de ofertar diversos productos, tales como:

- ❖ Vagones
- ❖ Cubos metálicos
- ❖ Puertas y persianas de aluminio
- ❖ Parlería (rejas, tapas de registros)

Todos estos productos son destinados a satisfacer a un grupo de clientes los cuales se ven identificados con la calidad de los mismos. Dentro de los consumidores principales se destacan:

- ❖ FAR
- ❖ Empresas constructoras

Tabla 2.1. Plantilla aprobada y cubierta de la entidad

Categoría ocupacional	Plantilla aprobada	Plantilla cubierta
Dirigentes	3	3
Técnicos	7	7
Trabajadores administrativos	5	5
Trabajadores de servicio	4	4
Obreros	50	42
Total	69	61

Fuente: documentos de la empresa.

La entidad tiene como proveedores principales de materias primas e insumos:

- ❖ Comercializadora Escambray
- ❖ Metal Cuba
- ❖ ACINOX

2.2. Caracterización del departamento de mantenimiento en la unidad

La empresa cuenta con un área de mantenimiento subordinada al director de la Unidad Básica de Producciones Metálicas, la cual apoya el desarrollo eficiente del proceso productivo en caso de presentarse dificultades en el equipamiento instalado. La misión actual del área de mantenimiento se define como: conservar el equipamiento, edificios y servicios, minimizando las fallas imprevistas de manera que aumente la productividad, disminuyendo los costos y garantizando la seguridad tanto del hombre como del medio ambiente, contribuyendo, de esta forma, a mejorar la eficiencia de la organización; para cumplir con esta misión se cuenta con una plantilla de cuatro trabajadores: un técnico en mantenimiento, un electricista, un engrasador y un mecánico de taller (A).

Para asegurar el óptimo estado técnico de los equipos se realizan tres tipos de mantenimiento:

- ❖ **Mantenimiento Planificado:** se realiza basado en la experiencia y teniendo en cuenta el manual de operación y mantenimiento de cada equipo y se ejecuta atendiendo a las posibilidades y prioridades de la producción.
- ❖ **Mantenimiento Predictivo:** este se deriva de la inspección que realiza diariamente el mecánico en el área, la cual se hace de forma visual, audible y al tacto, para detectar deficiencias que puedan, en algún momento, afectar el proceso productivo.
- ❖ **Mantenimiento Correctivo:** se realiza cuando ocurre una rotura o avería imprevista que provoca afectaciones en el proceso productivo.

2.3. Diagnóstico de la situación actual del mantenimiento en la entidad

El análisis de este apartado se realiza a partir de la metodología propuesta por Alfonso Llanes [2009], ver Figura 2.2, donde se muestran los pasos del procedimiento para realizar el diagnóstico en la empresa objeto de estudio. A continuación se detallan y aplican cada una de las etapas que conforman el procedimiento.

Etapa 1. Inicio del diagnóstico de mantenimiento

Este espacio contempla dos acciones específicas enfocadas a preparar las condiciones necesarias para desarrollar el diagnóstico de manera efectiva.

Paso 1. Selección del equipo de diagnóstico y definición de sus tareas

En este paso se selecciona el equipo que desarrollará el diagnóstico teniendo en cuenta las competencias necesarias para lograr los objetivos del mismo. Los miembros del equipo deben tener conocimientos y capacidad para:

- ❖ Recopilar información a través de los métodos diseñados con estos fines.

- ❖ Verificar que la evidencia (sólo la información que es verificable) del diagnóstico sea suficiente.
- ❖ Evaluar los hallazgos (resultados de la evaluación de la evidencia) del diagnóstico.
- ❖ Presentar los resultados del diagnóstico.

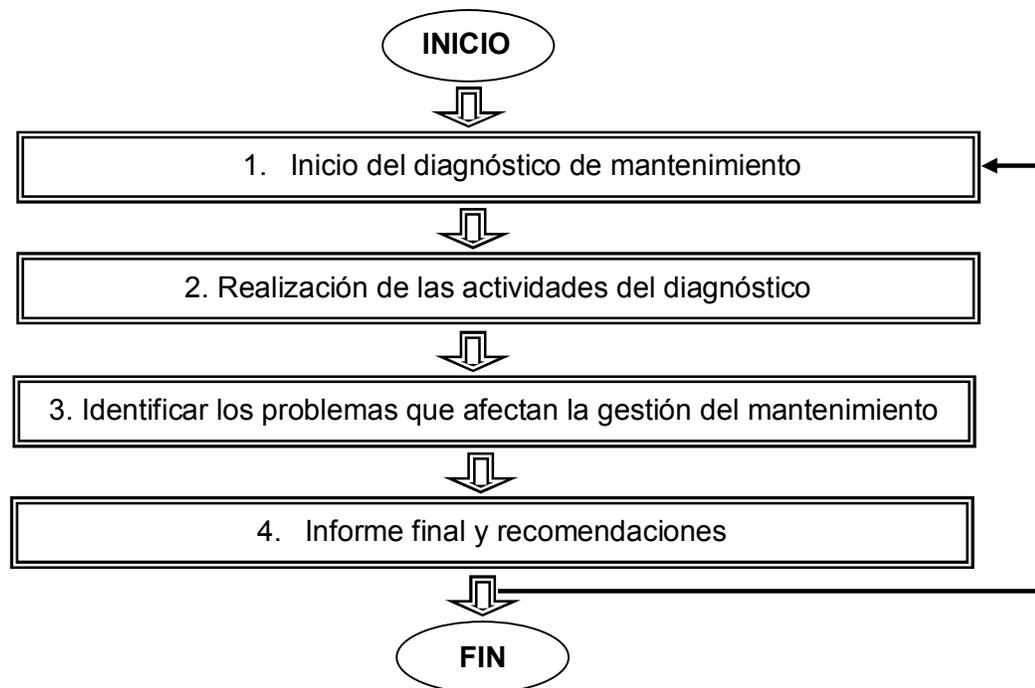


Figura 2.2. Procedimiento para el diagnóstico de la gestión de mantenimiento.

Fuente: Alfonso Llanes, 2009.

El equipo auditor es creado ad hoc y está conformado por: un estudiante de quinto año de ingeniería industrial de la Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas y un especialista de dicha universidad (Doctor en Ciencias Técnicas, especialista en mantenimiento).

Paso 2. Preparación del plan del diagnóstico

En el presente apartado se definen las características del diagnóstico a realizar, la plasmación documental de los procedimientos de aplicación, así como los principales objetivos, criterios y el alcance de la misma.

En este paso se detallan los objetivos principales del diagnóstico:

- ❖ Comprobar y valorar el grado de cumplimiento de los objetivos del servicio.
- ❖ Comprobar y valorar la adecuación y eficiencia de los medios y sistemas para la consecución de los objetivos.
- ❖ Comprobar y valorar la existencia de sistemas organizativos y de control idóneos a las necesidades de la gestión.

- ❖ Elaborar un plan de reformas para potenciar la eficacia del servicio y el cumplimiento de los objetivos parciales y generales del mismo.

El modelo de diagnóstico que se propone se divide en seis aspectos, tratando de cubrir todos los campos que una buena gestión del mantenimiento debe considerar, dígame: administración del mantenimiento, servicio de terceros, personal, gestión de piezas de repuesto, evaluación y control, e infraestructura.

En este espacio queda definido el cronograma de actividades a ser desarrolladas por el equipo (Ver Figura 2.3).

No	Nombre de la tarea	Duración (d)	Abril 2010	
1	Reunión de apertura	0,25 (2 h)		
2	Diagnóstico de mantenimiento	5		
3	Determinación de los problemas	1,5		
4	Análisis de los resultados	2		
5	Reunión de conclusiones	0,5 (4 h)		

Figura 2.3. Cronograma para la realización del diagnóstico de mantenimiento.

Etapa 2. Realización de las actividades del diagnóstico

La realización propia del diagnóstico constituye la parte más importante de esta etapa ya que mediante el mismo serán detectadas aquellas áreas en las cuales la empresa presenta problemas en lo referente a la gestión del mantenimiento, y por ende, serán espacios sobre los cuales se podrá accionar con los recursos propios que se posean con vistas a alcanzar un mejoramiento de su desempeño. La recopilación, verificación y análisis de los datos se propone realizarlas a través de examen documental, observación directa y guías de diagnóstico.

A continuación se especifican comentarios esclarecedores para la mayoría de los aspectos tratados en el cuestionario con el fin de proporcionar la información pertinente que posibilite el mejor entendimiento de los criterios y respuestas de los especialistas consultados en la empresa (ver Anexo 2).

Administración del mantenimiento

Interrogantes: 1.6, 1.7. Los fallos que se producen, en su mayoría, son de tipo eléctrico y mecánico. Debido a esta diversidad y a los distintos grados de complejidad que pueden presentar los mismos, no es posible definir con exactitud el tiempo requerido para diagnosticar un fallo, según el especialista del área de mantenimiento. El tiempo que demora en hacerse efectivo el mantenimiento no se tiene cuantificado, pero sí se aclaran en el registro de interrupciones, los

tiempos que se emplean en hacer la reparación y los tiempos de espera por falta de materiales o del personal contratado si es necesario.

Interrogante: 1.11. En la empresa se encuentra definido el Plan de Seguridad, el cual cuenta con un procedimiento para la identificación, evaluación y control de los riesgos a los que están sometidos los trabajadores, a pesar de esto, en muchas ocasiones no se disponen de los recursos necesarios para que se cumpla adecuadamente.

Interrogantes: 1.8, 1.14. Los equipos no están agrupados según su criticidad operacional ante un fallo, aspecto este fundamental para establecer prioridades a la hora de realizar los trabajos de mantenimiento. La información técnica de cada equipo existe, pero no está disponible en las diferentes áreas donde estos se ubican. Esta información se puede encontrar en la oficina de Mantenimiento donde cada equipo posee una carpeta que contiene todos los modelos necesarios, estos son: tarjeta de control de piezas de repuesto, orden de trabajo y ficha técnica. En esta última se ofrece toda la información técnica acerca de los equipos como: nombre, país de origen, año de fabricación y de puesta en funcionamiento, ciclo de reparaciones, etc. Según la opinión del personal que opera el equipamiento, aunque existen los catálogos del equipamiento, no todos son lo suficientemente explícitos, lo cual dificulta el manejo de los mismos.

Interrogantes: 1.21, 1.23. El presupuesto destinado a las actividades de mantenimiento está constituido por un por ciento en moneda nacional y otro, mucho menor, en divisa. Aunque la Dirección de Mantenimiento participa en las reuniones de distribución de este presupuesto (reuniones de equipos paralizados), las cantidades asignadas nunca se corresponden con las necesidades reales de la Unidad Básica de Producciones Metálicas “El Vaquerito”, por lo que no constituye una garantía desde el punto de vista de adquisición para la realización efectiva de la actividad de mantenimiento.

Interrogante: 1.25. La Unidad Básica de Producciones Metálicas “El Vaquerito”, no cuenta con ningún software que le permita, a la hora de tomar decisiones, facilitar el trabajo. Toda la información que se necesite se debe buscar en archivos, limitando la agilidad del proceso.

Servicios de terceros

Interrogante: 2.1. En la empresa se encuentra definida la política de contratación de servicios de mantenimiento, aunque se hace necesario destacar que esta actividad se realiza de forma muy ocasional. Solamente se contratan los servicios que el área de mantenimiento no es capaz de brindar por falta de medios como equipos, herramientas, piezas de repuesto, materiales o personal debidamente calificado, pues sus objetivos se basan fundamentalmente en garantizar la disponibilidad técnica de los equipos. Dentro de estas actividades destacan la elaboración de piezas de repuesto que no se pueden fabricar o recuperar en el taller.

Interrogantes: 2.2, 2.3. De manera general, en la empresa prevalece el criterio de que siempre es mejor realizar las actividades de mantenimiento con medios propios que contratar a terceros, debido a los altos costos que esto implica, pero dicha afirmación no está basada en ningún estudio que acredite dicha teoría, por lo que no se reconoce la tercerización como uno de los instrumentos de auxilio a la reestructuración organizacional, al incremento de la productividad y la competitividad. Esta política, aunque no se ha utilizado mucho, ha permitido resolver los problemas que se han presentado, aún así no puede afirmarse que sea del todo efectiva ya que no se han puesto en práctica otros procedimientos cuyos resultados puedan ser comparados con los obtenidos actualmente.

Interrogante: 2.4. No existe un procedimiento definido para la selección de proveedores. En la mayoría de los casos se contratan los servicios a las unidades donde se encuentren las piezas que se necesitan de forma tal que la empresa pueda sufragar los gastos para el arreglo la máquina que lo demande.

Interrogantes: 2.8, 2.9. Los proveedores son evaluados mediante el análisis de las actas que describen correctamente cada uno de los trabajos realizados, firmadas y acuñadas por la entidad que presta el servicio así como por el jefe de mantenimiento y aunque los resultados no sean los mejores casi siempre se vuelven a contratar debido a las pocas ofertas que hay en el mercado respecto a este servicio y el escaso nivel de competencia entre los mismos.

Personal

Interrogante: 3.2. No existen planes de actualización y capacitación para el personal de mantenimiento aunque según los obreros no se hace necesario ya que a través de los años ellos han ido ganando experiencia hasta casi conocer los equipos con que se encuentran diariamente.

Interrogante: 3.11. El personal se encuentra motivado para realizar su labor, pero no siempre pueden desarrollar sus iniciativas debido a que deben limitarse por la falta de presupuesto, lo que se refleja en escasez de recursos y piezas de repuesto.

Interrogante: 3.13. Debe señalarse que en ocasiones se producen ciertas incongruencias entre el personal de mantenimiento y el de producción cuando se debe parar la producción sin estar planificado. Aunque el departamento de mantenimiento tiene potestad para interrumpir los procesos cuando lo estime necesario, siempre se realizan debates entre ambas partes hasta llegar a un acuerdo.

Interrogante: 3.17. Cada obrero conoce y está familiarizado con su labor y por tanto saben los riesgos a que están expuestos cuando realizan su trabajo, pero en muchas ocasiones no utilizan

los medios de protección, ya sea porque no los tienen o porque no los usan por problemas de indisciplina laboral.

Interrogante: 3.19. La mayoría de los trabajadores saben de la existencia del plan medioambiental pero no conocen con profundidad su contenido por lo que no están concientizados al respecto.

Gestión de piezas de repuesto

Interrogante: 4.4. En el almacén existe un grupo de piezas que tienen una rotación muy lenta, en ocasiones llegan a deteriorarse por los años que llevan inutilizados, otros, como las correas y rodamientos, que son los más utilizados, son demandados en cuanto se les da entrada al almacén, lo cual se debe a que los pedidos de piezas de repuesto se hacen en función de las roturas.

Interrogante: 4.5. Los trabajadores concuerdan que los plazos de emisión de pedidos casi nunca son lo suficientemente cortos, ya que se hace la solicitud al departamento de compras y estos son los responsables de localizar los materiales necesarios en el mercado.

Interrogantes: 4.6, 4.12. Los proveedores están definidos y clasificados según su oferta, a pesar de ello la gestión de compras se dificulta pues muchas veces los surtidos que se ofrecen no satisfacen las necesidades o los precios no permiten la adquisición de muchos de los artículos debido a la falta de presupuesto.

Interrogante: 4.7. De los artículos más utilizados no existe un stock propiamente dicho, sino que se conoce, por experiencia, que la cantidad mayor de las roturas están asociadas a los mismos, por lo que cuando se encuentran en el mercado y el presupuesto lo permite se compran, sin tener definidas previamente las cantidades a reaprovisionar.

Interrogantes: 4.9, 4.10. Se encuentra definido un sistema de inspección y ensayo de las entradas de repuestos al almacén pero no siempre se pone en práctica, generalmente se comprueba la calidad en el momento de su uso. No se puede definir el tamaño del inventario para garantizar cierta disponibilidad de un equipo porque, además de que no existe un stock garantizado por equipo, la vida útil de la gran mayoría está agotada, lo que ocasiona un índice de roturas alto.

Interrogante: 4.17. Dentro del sistema de compras, los mecánicos y electricistas, en lo relativo a las piezas de repuestos, son quienes definen la conformidad o no de las adquisiciones, o sea, no se emplea ningún indicador propiamente dicho para determinar la eficacia del sistema.

Evaluación y Control

Interrogante: 5.2. En la Unidad Básica de Producciones Metálicas “El Vaquerito” no se emplea la evaluación cruzada entre empresas del mismo sector industrial. Los obreros no se ven motivados a esforzarse para lograr resultados superiores que conduzcan al mejoramiento de los índices de eficiencia y eficacia de la entidad.

Interrogantes: 5.3, 5.9, 5.10. En el área de mantenimiento nunca se han realizado auditorías internas por lo que no existe un plan de acciones correctivas para deficiencias encontradas según los resultados de la misma. El auditor solo realiza controles financieros y a partir de las deficiencias detectadas se toman acciones que carecen de un plan elaborado, de plazos de cumplimiento y a las que no siempre se les da seguimiento.

Interrogante: 5.8. El plan de mantenimientos programados no siempre se cumple como fue planificado, generalmente las causas se refieren a la falta de disponibilidad de los materiales en la empresa. Los adelantos o retrasos se señalan en el plan de mantenimiento. Los tiempos extra que se emplean para el mantenimiento, fuera de los turnos de trabajo, no siempre son registrados, por lo que no se conoce, con exactitud, la relación entre tiempo extra y tiempo para trabajos programados.

Infraestructura

Interrogantes: 6.3, 6.7. Las herramientas existentes, en su mayoría, se corresponden con las que se necesitan aunque las de mayor uso no están en óptimas condiciones por los años de explotación, siendo escasa su renovación y actualización debido a las limitaciones del presupuesto e inexistencia de algunas en el mercado. De manera general, no es suficiente la cantidad de herramientas de las que se dispone para realizar el mantenimiento.

Interrogante: 6.9. La Unidad Básica de Producciones Metálicas “El Vaquerito” no cuenta con una política de reemplazo de equipos. Esto está dado por la falta de presupuesto con que cuenta la entidad objeto de estudio.

Etapa 3. Identificar los problemas que afectan la gestión del mantenimiento

En esta etapa, se muestran los problemas detectados a partir de la guía de diagnóstico y entrevistas al personal, los cuales se detallan a continuación:

1. No se encuentra cuantificado el tiempo que espera el equipo por el arribo del personal responsable de la reparación.
2. No se cumple adecuadamente el Plan de Seguridad, por falta de recursos.

3. La información técnica referida al equipo existe pero no se encuentra disponible para los operarios.
4. Algunos documentos importantes existen pero carecen de información necesaria, lo que dificulta la manipulación del equipo.
5. Carencia de presupuesto en la empresa para realizar algunas actividades básicas e indispensables de mantenimiento.
6. La información referida al mantenimiento no se encuentra en soporte digital lo que dificulta el proceso de toma de decisiones referido a dicha actividad, carencia de un software.
7. No se utiliza ningún procedimiento para validar la optimalidad en la selección de las actividades de mantenimiento candidatas a ser tercerizadas.
8. Carencia de estudios y procedimientos para la selección de proveedores.
9. No existen planes de formación y capacitación del personal.
10. Existen algunas incongruencias entre las decisiones que se toman en el Departamento de Producción y el Área de Mantenimiento.
11. Los obreros no utilizan los medios de protección.
12. Ineficiente gestión de inventario de pieza de repuestos e insumos referidos al mantenimiento.
13. Deficiencias en el sistema de inspección y ensayo de las piezas que son adquiridas por la empresa.
14. Carencia de auditorías de mantenimiento.
15. Desviaciones en el tiempo planificado para mantenimiento y el tiempo real dedicado al mantenimiento de los equipos (no incluye el tiempo dedicado al mantenimiento correctivo).
16. Estado desfavorable de las herramientas utilizadas para el mantenimiento.
17. Inexistencia de una política de reemplazo de equipos que le permita a la hora de decidir, que equipo se debe reemplazar.
18. Inexistencia de un procedimiento para la selección del sistema de mantenimiento a aplicar en los equipos, que provoca en ocasiones la indisponibilidad de equipos críticos en el proceso productivo.

Posteriormente, los expertos seleccionados¹ (ver Tabla 2.2.), agruparon los problemas detectados, reduciéndolos a seis deficiencias principales, las cuales se detallan a continuación:

1. No existe ningún software que incluya información referida al mantenimiento, de manera que apoye el proceso de toma de decisiones relativas a esta actividad.
2. La gestión de inventario de pieza de repuestos e insumos referidos al mantenimiento se cataloga como ineficiente, reflejado entre otros aspectos, por deficiencias en el sistema de inspección y ensayo de las piezas que son adquiridas por la empresa.
3. Inexistencia de una política de reemplazo de equipos.
4. No se utiliza ningún procedimiento para validar la optimalidad en la selección de las actividades de mantenimiento candidatas a ser tercerizadas; de igual forma, la selección de los proveedores de servicios de mantenimiento no se realiza siguiendo ningún procedimiento, puesto que no se han realizado estudios referidos a esta problemática.
5. No existen planes de formación y capacitación del personal.
6. Inexistencia de un procedimiento para la selección del sistema de mantenimiento a aplicar al equipamiento, que provoca en ocasiones la indisponibilidad de equipos críticos en el proceso productivo.

Tabla 2.2. Datos de los expertos seleccionados

Responsabilidad	Años de experiencia
Director General	12
Jefe de Brigada	24
Jefe de área técnica productiva	16
Técnico en mantenimiento	5
Técnico en Gestión de la Calidad	9
Mecánico de taller (A)	6
Electricista de mantenimiento (A)	14

Por último, se determinó el orden de prioridad de los problemas de acuerdo con los efectos negativos que provocan. Para el procesamiento estadístico se utiliza el método propuesto por Siegel (1972) (ver Anexo 3), concluyéndose que el orden de prioridad es el siguiente:

1. Inexistencia de un procedimiento para la selección del sistema de mantenimiento a aplicar al equipamiento.

¹La selección de los expertos a participar en el estudio se realizó mediante el procedimiento propuesto por Hurtado de Mendoza Fernández [2003].

2. Ineficiente gestión de inventario de pieza de repuestos e insumos requeridos para el mantenimiento.
3. Inexistencia de planes de formación y capacitación del personal.
4. Inexistencia de una política de reemplazo de equipos.
5. Inexistencia de un procedimiento científicamente fundamentado para realizar la selección de las actividades de mantenimiento a someter a la tercerización y de los proveedores correspondientes.
6. Inexistencia de un software que incluya información referida al mantenimiento.

Etapas 4. Informe final y recomendaciones

El diagnóstico realizado a la Gestión de Mantenimiento permite determinar las áreas y funciones con mayores dificultades, y que son susceptibles de acciones correctivas, preventivas y/o de mejora con recursos propios de la entidad.

La prioridad dada a los problemas evidenció que las deficiencias fundamentales están relacionadas con la determinación del sistema de mantenimiento a aplicar al equipamiento, lo que conlleva a que exista indisponibilidad de equipos críticos en el proceso productivo y por ende, ocurran atrasos en la producción, reflejados en pérdidas económicas para la empresa.

Por lo anteriormente expuesto se presenta como propuesta de mejora, la aplicación del algoritmo presentado por Alfonso Llanes [2009] para la selección del sistema de mantenimiento a aplicar a través de la definición del nivel de criticidad del equipamiento.

Debe tenerse en cuenta que toda entidad es dinámica, por tanto se deben aplicar estos cuestionarios con una periodicidad regular y a la vez introducir aquellos aspectos que sean de interés dadas las nuevas condiciones tecnológicas y competitivas de la entidad objeto de estudio según se requiera.

2.4. Conclusiones parciales

1. La realización del diagnóstico de la Gestión del Mantenimiento en la entidad objeto de estudio arrojó los principales problemas que limitan el logro del desempeño deseado. La organización de los problemas principales, mediante la aplicación de un método de trabajo en grupo, permitió definir como problemática principal en el área de mantenimiento, la inexistencia de un procedimiento para la selección del sistema de mantenimiento a aplicar al equipamiento.

Capítulo 3

Capítulo 3. Aplicación del procedimiento propuesto en la Unidad Básica de Producciones Metálicas “El Vaquerito“

En el presente capítulo, dando cumplimiento a lo planteado al inicio de esta investigación en la situación problemática, se realiza la aplicación práctica del procedimiento para la selección del tipo de mantenimiento a aplicar propuesto por Alfonso Llanes [2009].

3.1. Aplicación del procedimiento para la selección del tipo de mantenimiento

La aplicación eficaz del procedimiento precisa, primeramente, la definición del grupo de expertos que desarrollará el algoritmo. En este caso se coincide con los seleccionados en el capítulo anterior.

La clasificación del equipamiento productivo presupone la realización de tres etapas:

1. Clasificación del equipamiento.
2. Clasificación de los fallos.
3. Propuesta de variantes de mantenimiento.

Para desarrollar el apartado correspondiente a la clasificación de los fallos en cada uno de los equipos estudiados se le presenta a los expertos la información disponible correspondiente al comportamiento histórico del equipamiento en cuanto al nivel de interrupciones ocasionadas por el mantenimiento (acciones correctivas), dígase, modo de fallos, frecuencia de los mismos y grado de acceso a las piezas afectadas en la rotura. Con esta información los expertos poseen argumentos para realizar la clasificación de los fallos ocurridos en cada equipo.

A continuación se presenta la aplicación del procedimiento para varios equipos representantes de dos líneas productivas de la empresa. En el Anexo 4 se presenta un grupo de informaciones sobre los equipos que conforman las líneas productivas más importantes de la entidad, los cuales constituyen datos necesarios para el proceso de toma de decisiones.

3.1.1. Clasificación de la Segueta Mecánica (Línea de vagones)

Se procederá a presentar el comportamiento de este equipo en función de cada una de las variables que conforman el algoritmo (ver Figura 3.1.).

Clasificación del fallo

El análisis de los fallos históricos arrojó que, por lo general, se clasifican como: Periódicos de Fácil Detección (PFD).

Seguridad: el fallo del equipo no trae riesgos para los operarios ni afecta al medio ambiente (nivel 3)

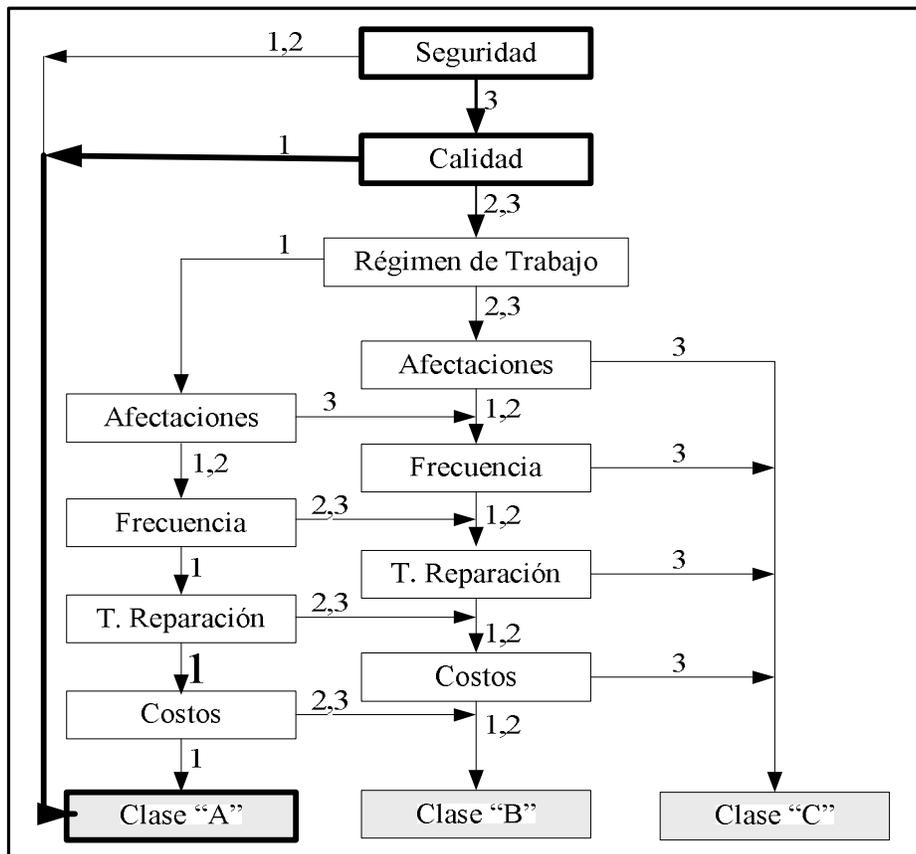


Figura 3.1. Algoritmo para la definición del nivel de criticidad del equipo “Segueta Mecánica”.

Calidad: el fallo del equipo afecta la calidad del producto y no puede ser reprocesado (nivel 1)

Régimen de trabajo: el equipo es utilizado durante la jornada laboral en el cortado del plato y su tasa de utilización es menor a la mitad de la media de la línea productiva ($1.8 < 2.32$: nivel 1)

Afectaciones: la parada de este equipo repercute en la continuidad del resto de los equipos, es decir, la rotura paraliza la línea completamente (nivel 1)

Frecuencia: la tasa de fallo está entre la media y la mitad de la media de la línea productiva ($4.93 < 9 < 9.86$: nivel 2)

Tiempo de reparación: el tiempo de reparación es medio, ya que se encuentra entre la mitad de la media y la media de la línea ($0.74 < 1.23 < 1.49$: nivel 2)

Costo de reparación: el costo de reparación es medio, o sea, se encuentra entre la mitad de la media y la media de la línea ($36.64 < 60.3 < 73.28$: nivel 2)

A partir del comportamiento observado, en función de las variables del algoritmo de decisión, la criticidad de este equipo se clasifica como “Clase A”.

Subsistema de mantenimiento propuesto

Mantenimiento preventivo con base en la condición.

3.1.2. Clasificación de la Prensa Hidráulica (Línea de vagones)

Clasificación del fallo

El análisis de los fallos históricos arrojó que, por lo general, se clasifican como: Aleatorios muy Frecuentes (AMF).

Seguridad: el fallo del equipo no trae riesgos para los operarios ni afecta al medio ambiente (nivel 3)

Calidad: el fallo del equipo no afecta la calidad del producto (nivel 3)

Régimen de trabajo: el equipo es utilizado durante la jornada laboral en el prensado de la chumacera y en el conformado de las partes de la llanta del vagón. Su tasa de utilización es mayor que la media de la línea productiva ($7.4 > 4.65$: nivel 1)

Afectaciones: este es el equipo limitante de la línea productiva (nivel 1)

Frecuencia: la tasa de fallo es alta, o sea, es mayor que la media de la línea productiva ($21 > 9.86$: nivel 1)

Tiempo de reparación: el tiempo de reparación es medio, ya que se encuentra entre los valores de la media y la mitad de la media de la línea productiva ($0.74 < 1.28 < 1.49$: nivel 2)

Costo de reparación: el costo de reparación es alto, o sea, se encuentra por encima de la media de la línea productiva ($180.74 > 73.28$: nivel 1)

A partir del comportamiento observado, en función de las variables del algoritmo de decisión, la criticidad de este equipo se clasifica como "Clase B".

Subsistema de mantenimiento propuesto

Mantenimiento preventivo basado en el tiempo.

En la Figura 3.2 se presenta el algoritmo para la definición del nivel de criticidad de la prensa hidráulica.

3.1.3. Clasificación de la Cizalla de 4 milímetros (Línea de vagones)

Clasificación del fallo

El análisis de los fallos históricos arrojó que, por lo general, se clasifican como: Aleatorios Poco Frecuentes (APF).

Seguridad: el fallo del equipo no trae riesgos para los operarios ni afecta al medio ambiente (nivel 3)

Calidad: el fallo del equipo afecta la calidad del producto pero el mismo puede ser reprocesado (nivel 2)

Régimen de trabajo: el equipo es utilizado durante la jornada laboral en el cortado de las patas, los tirantes, el narigón y la chapa chumacera del vagón. Su tasa de utilización está entre la mitad de la media y la media de la línea productiva ($2.32 < 3.6 < 4.65$: nivel 2)

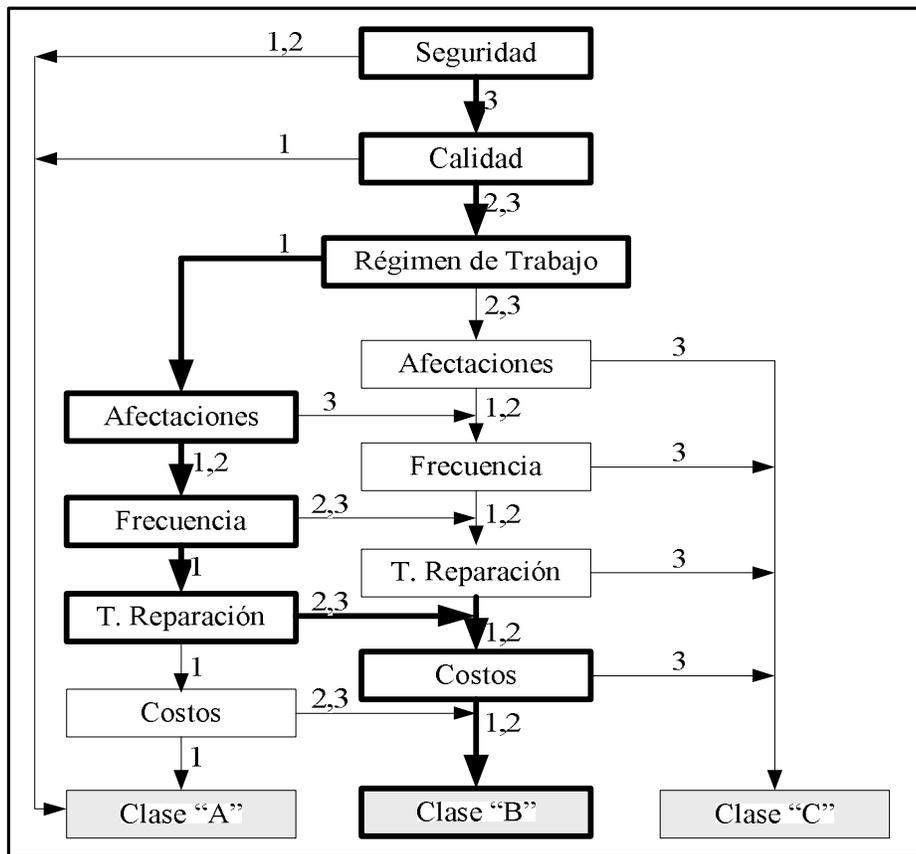


Figura 3.2. Algoritmo para la definición del nivel de criticidad del equipo “Prensa Hidráulica”.

Afectaciones: el fallo provoca la interrupción del conformado de la chapa chumacera (nivel 2)

Frecuencia: la tasa de fallo es media, o sea, esta se encuentra entre la mitad de la media y la media de la línea productiva ($4.93 < 7 < 9.86$: nivel 2)

Tiempo de reparación: el tiempo de reparación es bajo, ya que el tiempo medio para reparaciones es menor que la mitad de la media de la línea productiva ($0.5 < 0.74$: nivel 3)

Costo de reparación: el costo de reparación se encuentra por debajo de la mitad de la media de la línea productiva ($28.95 < 36.64$: nivel 3)

A partir del comportamiento observado, en función de las variables del algoritmo de decisión, la criticidad de este equipo se clasifica como “Clase C”.

Subsistema de mantenimiento propuesto

Mantenimiento contra avería.

En la Figura 3.3 se presenta el algoritmo para la definición del nivel de criticidad de la prensa hidráulica.

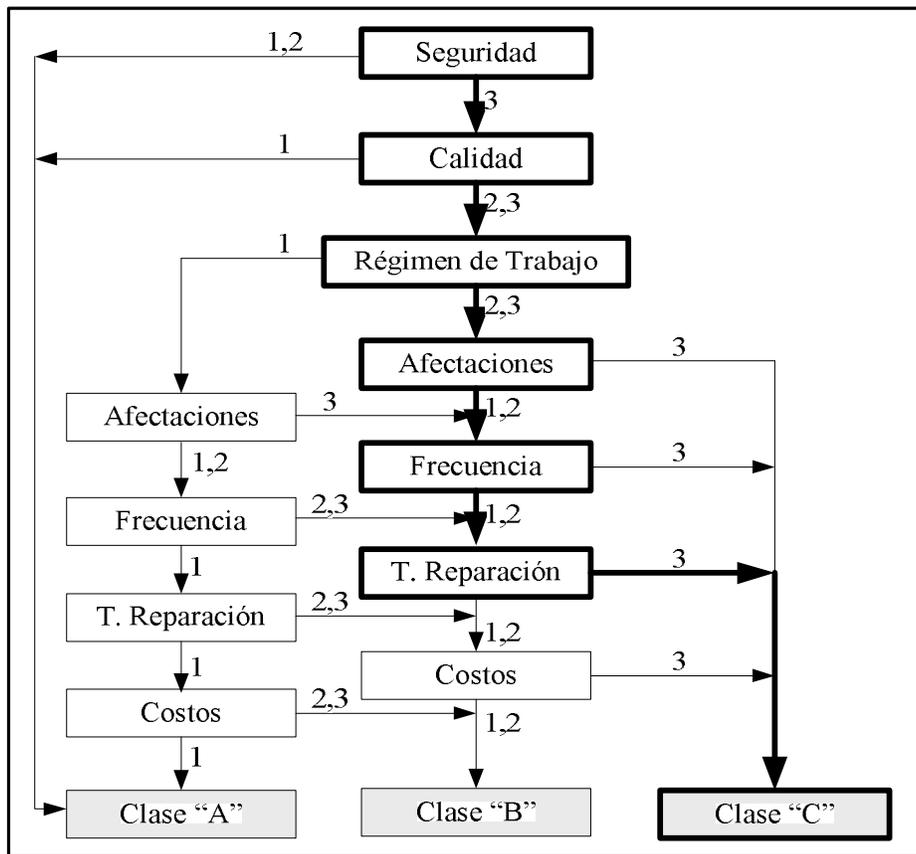


Figura 3.3. Algoritmo para la definición del nivel de criticidad del equipo “Cizalla de 4 milímetros”.

3.1.4. Clasificación de la Pestañadora (Línea de cubos)

Clasificación del fallo

El análisis de los fallos históricos arrojó que, por lo general, se clasifican como: Periódicos de Fácil Detección (PFD).

Seguridad: el fallo del equipo no trae riesgos para los operarios ni afecta al medio ambiente (nivel 3)

Calidad: el fallo del equipo afecta la calidad del producto pero puede ser reprocesado (nivel 2)

Régimen de trabajo: el equipo es utilizado durante la jornada laboral para hacer la pestaña del fondo del cubo. Su tasa de utilización es mayor que la media de la línea productiva ($7.3 > 5.7$: nivel 1)

Afectaciones: el fallo del equipo provoca interrupción de un sistema importante en la línea productiva (nivel 2)

Frecuencia: la tasa de fallo es alta, o sea, es mayor que la media de la línea productiva ($10 > 7.8$: nivel 1)

Tiempo de reparación: el tiempo de reparación se encuentra por encima de la media de la línea productiva ($3.81 > 1.91$: nivel 1)

Costo de reparación: el costo de reparación es alto, o sea, se encuentra por encima de la media de la línea productiva ($68.14 > 50.06$: nivel 1)

A partir del comportamiento observado, en función de las variables del algoritmo de decisión, la criticidad de este equipo se clasifica como "Clase A".

Subsistema de mantenimiento propuesto

Mantenimiento preventivo con base en la condición.

En la Figura 3.4 se presenta el algoritmo para la definición del nivel de criticidad de la prensa hidráulica.

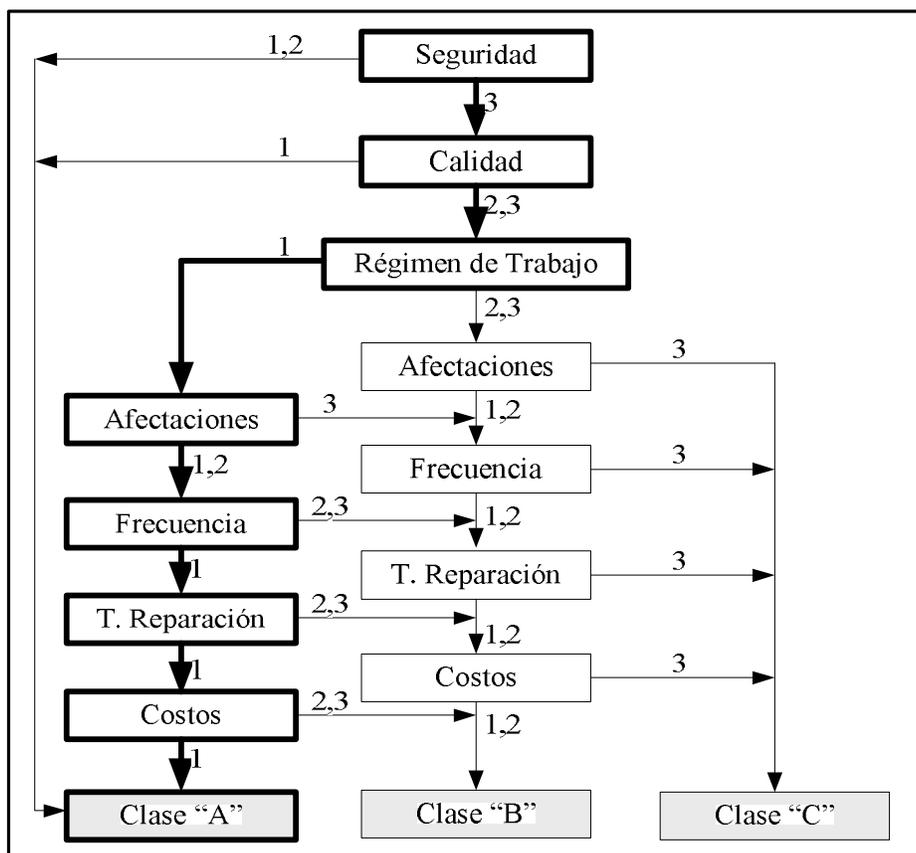


Figura 3.4. Algoritmo para la definición del nivel de criticidad del equipo "Pestañadora".

3.1.5. Clasificación de la Boceladora (Línea de cubos)

Clasificación del fallo

El análisis de los fallos históricos arrojó que, por lo general, se clasifican como: Aleatorios muy Frecuentes (AMF).

Seguridad: el fallo del equipo no trae riesgos para los operarios ni afecta al medio ambiente (nivel 3)

Calidad: el fallo del equipo no afecta la calidad del producto (nivel 3)

Régimen de trabajo: el equipo es utilizado durante la jornada laboral para hacer el bocelón del cubo. Su tasa de utilización es mayor que la media de la línea productiva ($7.5 > 5.7$: nivel 1)

Afectaciones: este es el equipo limitante de la línea productiva (nivel 1)

Frecuencia: la tasa de fallo es alta, o sea, es mayor que la media de la línea productiva ($11 > 7.8$: nivel 1)

Tiempo de reparación: el tiempo de reparación se encuentra por encima de la media de la línea productiva ($2.48 > 1.91$: nivel 1)

Costo de reparación: el costo de reparación se encuentra entre la mitad de la media y la media de la línea productiva ($25.03 < 40.25 < 50.06$: nivel 2)

A partir del comportamiento observado, en función de las variables del algoritmo de decisión, la criticidad de este equipo se clasifica como “Clase B”.

Subsistema de mantenimiento propuesto

Mantenimiento preventivo basado en el tiempo.

En la Figura 3.5 se presenta el algoritmo para la definición del nivel de criticidad de la prensa hidráulica.

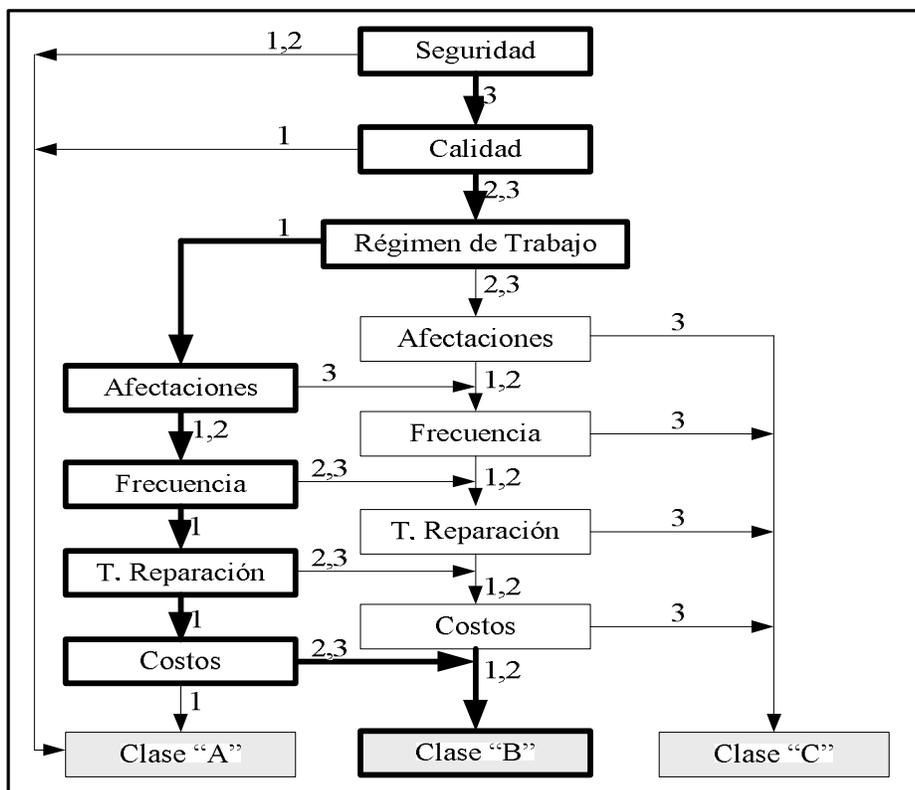


Figura 3.5. Algoritmo para la definición del nivel de criticidad del equipo “Boceladora”.

3.1.6. Clasificación de la Dobladora de Chapa V1 (Línea de cubos)

Clasificación del fallo

El análisis de los fallos históricos arrojó que, por lo general, se clasifican como: Periódicos de Fácil Detección (PFD).

Seguridad: el fallo del equipo no trae riesgos para los operarios ni afecta al medio ambiente (nivel 3)

Calidad: el fallo del equipo afecta la calidad del producto pero puede ser reprocesado (nivel 2)

Régimen de trabajo: el equipo es utilizado durante la jornada laboral para darle la forma a la oreja del cubo. Su tasa de utilización se encuentra entre la mitad de la media y la media de la línea productiva ($2.85 < 4.3 < 5.7$: nivel 2)

Afectaciones: el fallo del equipo no afecta la producción (nivel 3)

Frecuencia: la tasa de fallo es alta, o sea, es mayor que la media de la línea productiva ($9 > 7.8$: nivel 1)

Tiempo de reparación: el tiempo de reparación se encuentra entre la mitad de la media y la media de la línea productiva ($0.95 < 1.18 < 1.91$: nivel 2)

Costo de reparación: el costo de reparación está por encima de la media de la línea productiva ($61.12 > 50.06$: nivel 2)

A partir del comportamiento observado, en función de las variables del algoritmo de decisión, la criticidad de este equipo se clasifica como "Clase C".

Subsistema de mantenimiento propuesto

Mantenimiento preventivo basado en el tiempo.

En la Figura 3.6 se presenta el algoritmo para la definición del nivel de criticidad de la prensa hidráulica.

La clasificación del resto del equipamiento de las líneas productivas estudiadas, así como el tipo de fallo que lo caracteriza y el sistema de mantenimiento propuesto para cada uno, se muestran en el Anexo 5. El análisis de los resultados expuestos en este anexo permite apreciar que el 28.57% de los equipo fueron clasificado como clase "A"; como clase "B" el 28.57% y como clase "C" el restante 42.86%. En cuanto a la clasificación de los fallos, la mayoría del equipamiento presenta paradas de tipo Aleatorio Poco Frecuente (APF) con un 47.63%, el 33.33% se clasifica como Periódico de Fácil Detección (PFD), el 9.52% corresponde a Aleatorio muy Frecuente (AMF) y el resto se clasifican como Periódico de Difícil Detención (PDD), con un 9.52% también.

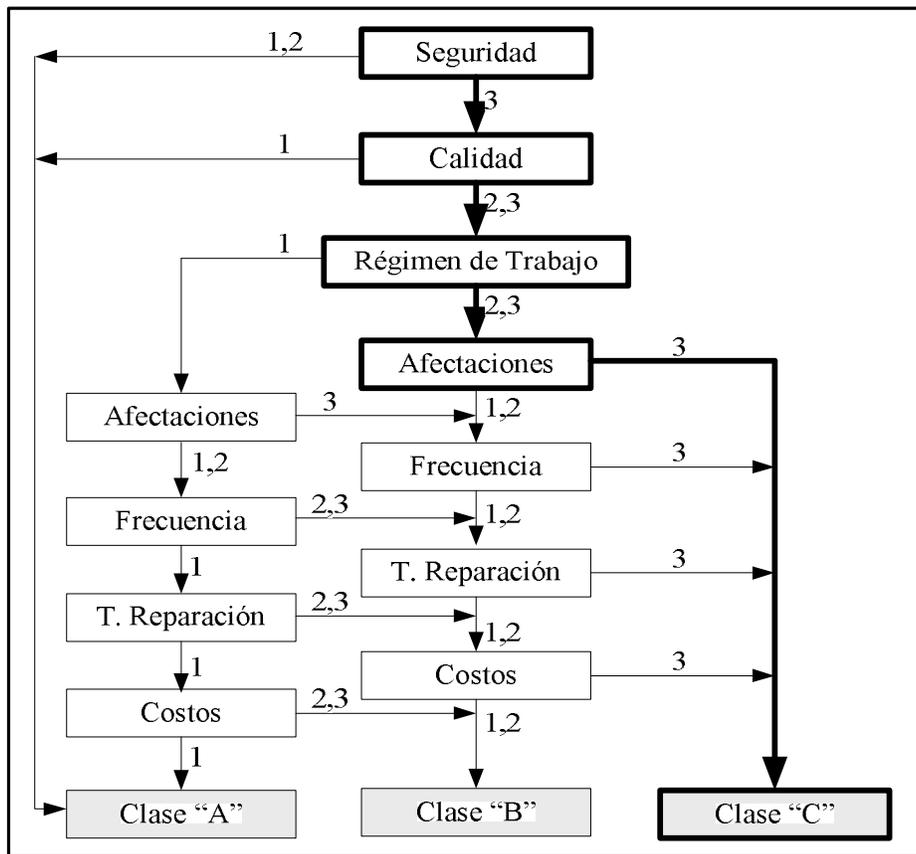


Figura 3.6. Algoritmo para la definición del nivel de criticidad del equipo “Dobladora de Chapa V1”.

3.2. Conclusiones parciales

1. El procedimiento propuesto, en especial el algoritmo para definir la criticidad del equipamiento, aborda “todas” las variables que caracterizan el entorno operacional de la empresa objeto de estudio y ha quedado demostrada la factibilidad de su aplicación.

Conclusiones



Conclusiones generales

Luego del desarrollo y resultados obtenidos en este trabajo se llega a las conclusiones siguientes:

1. Los aspectos que caracterizan el entorno empresarial actual obligan a las organizaciones a ser cada vez más flexibles. Una de las formas de lograr esta demandada flexibilidad radica en la aplicación eficiente de la Gestión del Mantenimiento, definiendo claramente la política más adecuada para cada equipo en función de su contexto operacional.
2. La realización del diagnóstico de la Gestión del Mantenimiento en la Empresa de Producciones Metálicas “El Vaquerito”, permitió determinar los problemas principales que dificultan el logro de un mejor desempeño de esta función, resultando la inexistencia de un procedimiento para la selección del sistema de mantenimiento a aplicar al equipamiento productivo como la deficiencia de mayor incidencia en dicho comportamiento.
3. El análisis de la situación problemática que fundamenta la presente investigación motivó la necesidad de disponer de una herramienta que, basada en la combinación de una serie de variables características del contexto operacional del equipamiento y el tipo de fallo predominante, permitiera determinar la política que debe emplearse en el mantenimiento de cada equipo.
4. La efectividad del procedimiento propuesto por Alfonso Llanes [2009] para la selección del tipo de mantenimiento a aplicar, quedó demostrada mediante su aplicación en dos líneas productivas de la organización objeto de estudio, al permitir la determinación de las variantes más efectivas de políticas de mantenimiento para cada equipo, basada en el ordenamiento por grupos críticos de éstos y la clasificación de sus fallos.

Recomendaciones



Recomendaciones

1. Valorar la posibilidad de difundir el procedimiento propuesto a las demás líneas productivas de la entidad, considerando las modificaciones que en cada caso pudieran ser necesarias.
2. Capacitar al personal que se ocupará de la implantación y seguimiento de la propuesta, según su grado de implicación, de forma tal que se garanticen los resultados esperados y puedan incrementarse.
3. Implementar un sistema de recopilación de la información vinculado al comportamiento histórico de los parámetros que caracterizan el contexto operacional donde se desempeña el equipamiento, que garantice las entradas necesarias al proceso de toma de decisiones bajo análisis.

Bibliografía



Bibliografía

1. Acosta Palmer, H. y Troncoso, M. [2006] “Metodología para el Diagnóstico y Evaluación de la Función Mantenimiento”. Sociedad Uruguaya de Mantenimiento, Gestión de Activos y Confiabilidad. 16 h. Disponible en http://www.uruman.org/TrabajosTec/Hector_Acosta.pdf. Última consulta: 20.03.2010.
2. Aguilera Martínez, A. F. [2001] “Perfeccionamiento de la planificación de recursos humanos en el Sistema Alternativo de Mantenimiento (SAM). Una aplicación en la Industria Textil Cubana”. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad Central de las Villas (UCLV). Santa Clara. Cuba.
3. Alfonso Llanes, A. (2009). Procedimiento para la asistencia decisional al proceso de tercerización de la ejecución del mantenimiento. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. UCLV. Santa Clara, Cuba.
4. Alfonso Llanes, A. *et al.*, [2003] “Integración Mantenimiento (RCM) – Gestión de la Producción. Su influencia en el mejoramiento de la Confiabilidad Operacional de la empresa”. Disponible en http://www.confiabilidad.net/art_05/RCM/rcm_11.pdf. Última consulta: 11.04.2010.
5. Alfonso Llanes, A. *et al.*, [2008] “Propuesta de procedimiento para la realización del análisis de criticidad del equipamiento productivo en la empresa.”. Informe de Investigación Terminada. Fondos de la biblioteca “Chiqui Gómez Lubián”, código 658. 27/Alf/P. UCLV, Santa Clara, Cuba.
6. Alkaim, J. L. [2003] “Metodologia para incorporar conhecimento intensivo às tarefas de Manutenção Centrada na Confiabilidade aplicada em ativos de sistemas elétricos”. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ingeniería de Producción. Universidad Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Brasil.
7. Alsyouf, I. [2004] “Cost Effective Maintenance for Competitive Advantages”. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Filosofía. Universidad de Vaxjo, Suecia.
8. Amaris Arias, J. B. [2006] “Un modelo de gestión de mantenimiento hacia la excelencia”. Ponencia presentada en el V Congreso Cubano de Mantenimiento. III CIMEI. Santa Clara, Cuba.
9. Améndola, L. [2002] “Modelos Mixtos de Confiabilidad”. Disponible en <http://datastream.net/latinamérica/libroaméndola/default.asp?lang=esp>. Última consulta 20.03.2010.
10. Apelgren, R. (2004). Corrective Maintenance Task Generation. Senior Reliability Engineer Posted. Disponible en <http://www.maintenanceworld.com/Articles/apelgren/Corrective-Maintenance.htm>. Última consulta: 26/3/10.
11. Backlund, F. (2003). Managing the Introduction of Reliability-Centred Maintenance, RCM

12. Batista Rodríguez, C. [2000] "Contribución al diseño de un sistema de gestión de mantenimiento para los centrales azucareros cubanos". Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad de Holguín. Cuba.
13. Bevilacqua, M. y Braglia, M. [2000] "The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection". Reliability Engineering and System Safety, No. 70. pp. 71-83.
14. Borda, J. [1998] "Creación de un mantenimiento avanzado y beligerante. Revista Mantenimiento". España, No 81, Enero-Febrero, Pág. 31.
15. Borroto Pentón, Yodaira [2005] "Contribución al mejoramiento de la gestión del mantenimiento en hospitales en Cuba. Aplicación en hospitales de la provincia Villa Clara". Tesis en opción al grado científico de Doctora en Ciencias Técnicas. UCLV. Santa Clara, Cuba.
16. Cáceres, B. (2004). "Como Incrementar la Competitividad Mediante Estrategias para Gerenciar Mantenimiento". VI Congreso Internacional de Mantenimiento. ACIEM. Bogotá. Colombia.
17. Cardoso de Morais, V. [2004] "Metodologia de priorização de equipamentos médico-hospitalares em programas de manutenção preventiva". Tesis en opción al grado académico de Master en Ingeniería Biomédica. Universidad de Campiñas. Brazil.
18. Carretero J, Perez JM, Garcia-Carballeira F, *et al.*, (2003) Applying RCM in large scale systems: a case study with railway networks. Reliab Eng Syst Safety.
19. Castillo Serpa, A y Sexto, L.F. (2006). Elementos de la aplicación piloto de los principios del RCM en la empresa Transportadora de Electricidad de Bolivia. Proceedings IV Congreso Cubano de Ingeniería de Mantenimiento, 29 de Noviembre al 1 diciembre de 2006, CCIM. La Habana. Cuba.
20. Chan, F.T.S., Lau, H.C.W., Ip, R.W.L., Chan, H.K., Kong, S., (2005). Implementation of total productive maintenance: a case study. International Journal of Production Economics 95, 71–94.
21. Cheng Z. (2006) Intelligent RCM analysis. China: PhD's degree thesis of Mechanical Engineering College.
22. Christensen, C [2006] "Criticidad de equipos". www.clubdemantenimiento.com.ar Última consulta: 20.03.2010.
23. Christensen, C. [2005] "Tipos de Mantenimiento y Tendencias". Disponible en <http://www.simingenieria.com.ar> y <http://www.clubdemantenimiento.com.ar> Última consulta: 25.03.2010.
24. Colombi, M. [2006] "Gestione e politiche di manutenzione". MEMC Electronic Materials SPA. Revista Manutenzione, Tecnica e Management, mayo, 2006. pp. 19-25
25. COPIMAN. (2001). Tipos de Mantenimiento. Disponible en <http://www.mantenimientomundial.com/mantenimiento/tipos.htm>. Última consulta 25.03.2010.

26. Da Silva Neto, J. C. y Gonçalves de Lima, A. M. [2002] “Implantação do Controle de Manutenção”. Revista Club de Manutenimento. No. 10, Septiembre, 2002. Disponible en http://www.clubdemantenimento.com.ar/r11t6_controle.htm Última consulta 25.03.2010.
27. De Freitas Cordeiro, L. A. [2005] “Ferramenta de seleção de fornecedores e formação de rede de fornecimento – aplicação na área de itens estampados”. Tesis en opción al grado académico de Master en Ingeniería de Producción. Universidad Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Brasil.
28. De la Paz Martínez, Estrella M. [1996] “Perfeccionamiento del sistema de mantenimiento en la Industria Textil Cubana. Aplicación en la Empresa Textil "Desembarco del Granma". Tesis en opción al grado científico de Doctora en Ciencias Técnicas. UCLV. Santa Clara, Cuba.
29. Dos Santos Mendes, A. L. [2002] “Gestão do valor nas operações de manutenção”. Tesis en opción al grado académico de Master en Ingeniería de Producción. Universidad Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Brasil.
30. Duffuao, S. O; Raouf, A y Dixon Campbell, J. [2002] “Sistemas de mantenimiento. Planeación y Control”. Editorial Limusa. México.
31. Ellmann, E. P. [2001] “Nuevas Estrategias de Mantenimiento”. Revista Ingeniería de Planta No. 36, Abril 2001. http://www.servic.cl/art_rm/rev.html/rev36.html/rev36_art3/rev36_art3.html
32. Espinosa Fuentes, F. F. [2006] “Metodologia para inovação da gestão de manutenção industrial”. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ingeniería Mecánica. Universidad Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Brasil.
33. Fabro, E. [2003] “Modelo para planejamento de manutenção baseado em indicadores de criticidade de processo”. Tesis en opción al grado académico de Master en Ingeniería de Producción. Universidad Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Brasil.
34. Fernández Pérez, A. J. et al., [2003] “Optimización del mantenimiento. Implantación de la metodología RCM en máximo”. Revista Ingeniería y Gestión de Mantenimiento. No. 2, Sep/oct, 2003, pp. 40-45.
35. Forslund, H. [2006] “Supplier Selection – A Study of the Supplier Selection Process within the Sporting Goods Manufacturing Industry”. Tesis en opción al grado académico de Master en Administración Logística. Escuela de Administración y Economía, Universidad de Vaxjo. Escocia.
36. García González-Quijano, J [2004] “Mejora en la confiabilidad operacional de las plantas de generación de energía eléctrica: desarrollo de una metodología de gestión de Mantenimiento Basado en el Riesgo (RBM)”. Tesis en opción al grado académico de Master en Gestión Técnica y Económica en el Sector Eléctrico. Universidad Pontificia Comillas, Madrid. España.

37. García Garrido, S. [2003] "Organización y Gestión Integral de Mantenimiento. Manual práctico para la implantación de sistemas de gestión avanzados de mantenimiento industrial". Editorial Díaz de Santos. Madrid, España
38. García Garrido, S. [2003] "Organización y Gestión Integral de Mantenimiento. Manual práctico para la implantación de sistemas de gestión avanzados de mantenimiento industrial". Editorial Díaz de Santos. Madrid, España
39. García-Ahumada, F. [2001]. "Función del mantenimiento y las nuevas tecnologías". Revista Mantenimiento, No. 141, enero/febrero 2003. España.
40. González Danger, A. H. y Hechavarría Pierre, L. [2001] "Metodología para seleccionar sistemas de mantenimiento". Revista Club de Mantenimiento, No. 8; año 2, marzo, 2002. <http://www.datastream.net/latinamerica/mm/articulos/club.asp> Última consulta: 11.10.2010.
41. Hardwick, J. and Winsor, G. (2002). 'RCM - Making the process more effective - One year later'. *Proceedings of International Conference Maintenance Societies - ICOMS*, Brisbane, Australia, Paper 13, pp. 1-6.
42. Hipkin, I. B. and DeCock, C. (2000), 'TQM and BPR: lessons for maintenance management'. *OMEGA, The International Journal of Management Science*, Vol. 28 No. 3, pp. 277-292.
43. Huerta Mendoza, R [2001] "El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la Confiabilidad Operacional". Revista Club de Mantenimiento, No. 6. Disponible en: http://www.confiabilidad.net/art_05/RCM/rcm_8.pdf Última consulta: 21.01.2010.
44. Huerta Mendoza, R [2006] "El Análisis de Criticidad, una Metodología para Mejorar la Confiabilidad". Curso dictado en el Instituto Argentino del Petróleo y del Gas (IAPG).
45. Jeira, C. y Gibson, P. [2004] "Las tendencias del mercado moderno. Outsourcing". KPMG Auditores Consultores Ltda. Disponible en http://www.kpmg.cl/documentos/Final_Presentacion_BPO_July_2004.pdf. Última consulta 20.03.2010.
46. Kardec, A. & Nascif, J. (2001), *Manutenção – Função Estratégica*. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed. – 2001. 341p.
47. Kothari, V. [2004] "Assessment of Dynamic Maintenance Management". Tesis en opción al grado académico de Master en Ingeniería Industrial y de Sistemas, Universidad Estatal de Virginia, USA.
48. Lafraia, J. R. B. (2001) *Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade*. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 2001. 388p.
49. Lean Manufacturing [2006] Disponible en: http://es.wikipedia.org/wiki/Lean_Manufacturing.htm. Última consulta: 11.02.2010.
50. Lodola, E. [2006] "Maintenance global service contracts: a guide to develop maintenance management strategies and performance indicators". Tesis en opción al grado académico de Master en Gestión de la Ingeniería, Universidad de Pisa. Italia.

51. Lofsten, H. [1999] "Management of industrial maintenance – economic evaluation of maintenance policies. International Journal of Operations & Production Management. Vol. 19, No 7 1999, pp. 716-737.
52. López Reyes, J. (2004). Tesina sobre Tipos de Mantenimiento. Disponible en <http://usuarios.lycos.es/mugresoft/tesina.htm>. Última consulta: 20.03.2010.
53. Lucatelli, M. V. (2002), Proposta de Aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade em Equipamentos Médico-Hospitalares. Florianópolis, 2002. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Catarina.
54. Marín, C. [1994] "Selección de criterios de mantenimiento". Revista de Mantenimiento. No 16. Chile. Disponible en : <http://www.mantencion.com/articulos/rev16.html/rev16art4.htm> Última consulta: 12.10.2010.
55. Mobley, R.K. (2002). An Introduction to Predictive Maintenance, Second ed. Elsevier science, New York.
56. Mokashi, A. J., Wang, J. and Verma, A. K. (2002), 'A study of Reliability-Centred Maintenance in maritime operations'. *Marine Policy*, Vol. 26 No. 5, pp. 325-335.
57. Mora Gutiérrez, L. A. y Pérez Peral, A. [2002]. "Control y medición internacional estandarizadas de la gestión y operación de mantenimiento industrial bajo la metodología terotecnológica RAM". Ponencia en el 2do Congreso Internacional de Mantenimiento ACIEM. Bogotá. Colombia
58. Moubray, J. (1997), Reliability-Centred Maintenance. Second ed., Butterworth-Heinemann Ltd., London, England.
59. Oliveira, R. P. (2003). Dicionário Técnico de Manutenção e Engenharia Industrial. Livro On-line – manutençãomundial.com. Disponible en: <http://www.datastream.net/latinamerica/libro/policarpo.asp?lang=POR>. Última consulta: 20.03.2010.
60. Paredes Rodríguez, F. [2005] "Lean Maintenance". Disponible en: <http://www.lean-vision.com.htm> Última consulta: 11.04.2010.
61. Pérez Jaramillo, C. M. [2004] "El futuro del mantenimiento de la ingeniería de manufactura". Soporte y Cía. Ltda. Disponible en <http://www.soporteycia.com.co/documentos/mtopasado1.doc>. Última consulta 26/3/10.
62. Piotrowski, J. April 2, 2001. Pro-Active Maintenance for Pumps, Archives, February 2001, Pump-Zone.com [Report online]. Available URL: <http://www.pump-zone.com>. Reprinted with permission of Pump-Zone.com. Última consulta: 16.11.2010
63. Popescu, C., Eisenbach, J. (2007). The Total Productive Maintenance concept and our concern. Proceedings of the 5th International Conference ICAMaT 2007, ISSN 1843-3162, p. 313-316, Sibiu, July 12-14, , Romania

64. Portuondo Pichardo, F., et al. [1989] "Sistema alterno de mantenimiento". Revista Ingeniería Industrial, Vol. 10, pp. 113-120. Cuba.
65. Ramirez, E. F.F. , Caldas, E. C. & Santos, P. R. (2002). Manual Hospitalar de Manutenção Preventiva. Editora da Universidade Estadual de Londrina – Londrina. 180p.
66. Rodrigues, M. [2003] "Manutencao industrial em Curitiba e cidades circunvizinhas: un diagnóstico atual". Tesis en opción al grado académico de Master en Tecnología. Centro Federal de Educacao tecnológica do Paraná. Curitiba. Brasil.
67. Rosaler, R.C. (1998), HVAC Maintenance and Operations Handbook, McGraw-Hill, U.S.A.
68. Sánchez Sánchez, R. [1999] "Contribución al perfeccionamiento del sistema de gestión del mantenimiento a las máquinas y equipos productivos y energéticos en la fase de operación en las fábricas de azúcar crudo cubanas". Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad Central de las Villas (UCLV). Santa Clara. Cuba.
69. Sexto Cabrera, Parra Suárez y Palacio Gallego [2003]. Pautas para la implementación de mejoras en el programa de mantenimiento en una fábrica de helados. Disponible en http://www.tpmonline.com/articles_on_total_productive_maintenance/management/costodeignorancia.html. Última consulta: 11.05.2010.
70. Sexto, L.F. (2008).La evaluación de tareas en un proceso de mantenimiento centrado en la confiabilidad. Disponible en <http://www.mantenimientomundial.com> & blog Sostenibilidad & Mantenimiento <http://luisfelipeseixo.blogia.com>. Última consulta: 11.04.2010.
71. Siegel, S. [1972] "Diseño experimental no paramétrico". La Habana, Edición Revolucionaria. Instituto Cubano del Libro.
72. Sondalini, M. [2002] "Win Production and manufacturing over to doing better maintenance with this new equipment criticality rating method that uses the real costs of production loss". Lifetime Reliability Solutions. 7 p. Disponible en: <http://www.lifetime-reliability.com/ABC%20Based%20Equipment%20Criticality.pdf> Última consulta: 18.01.2010.
73. Sotuyo Blanco, S. [2001] "Optimización Integral de Mantenimiento (OIM)". Ellmann, Sueiro y Asociados. Disponible en <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mmnew/bib/notas/oim.asp> Última consulta 20.03.2010.
74. Stefano, L. [2006] "Maintenance global service contracts: a guide to develop maintenance management strategies and performance indicators". Tesis en opción al grado de Especialista en Administración de la Ingeniería. Universidad de Pisa. Italia.
75. Swanson, L., (2001). Linking maintenance strategies to performance. International Journal of Production Economics 70, 237–244.

76. Taboada Rodríguez, C. et al. [1990] "Organización y Planificación de la Producción". (Primera parte). Ciudad de La Habana, Editorial Pueblo y Educación.
77. Tavares, L. A. [2003] "Auditorías de mantenimiento". Primer Congreso Mexicano de Confiabilidad y Mantenimiento. Octubre 30-31. León, México. Disponible en: www.mantenimientoplanificado.com/gerardo%20trujillo%20norio/lourival%20AUDITORIA%20MANTENIMIENTO.pdf Última consulta: 18.01.2010
78. Tavares, L. A., et al. [2005] "Manutencao Centrada no Negocio". Editorial Novo Polo Publicacoes. Brasil. 157 p.
79. Torres, J. [1997] "A MCC-Manutenção Centrada na Confiabilidade e o Capítulo-4 do Manual de directrizes da linha seg: Uma proposta para racionalização das tarefas e redução do custo de manutenção". II Seminario de Manutenção CEMAN, Brasil.
80. Torres, L. D. [2005] "Mantenimiento. Su implementación y gestión". Editorial UNIVERSITAS. 2^{da} Edición. Argentina. 347 p.
81. Waeyenbergh, G., Pintelon, L., (2004). Maintenance concept development: A case study. International Journal of Production Economics 89, 395–405.
82. Wang, L., Chu, J., Wu, J., 2007. Selection of optimum maintenance strategies based on a fuzzy analytic hierarchy process. International Journal of Production Economics 107, 151–163.
83. Wireman, T. [2005] "Developing Performance Indicators for Managing Maintenance". Editorial Industrial Press, Inc., 2da Edición. New York, USA.
84. Yañez Medina, M.; Gómez de la Vega, H. y Valbuena Chourio, G. [2004] "Ingeniería de Confiabilidad y Análisis Probabilístico de Riesgo". Reliability and Risk Management, S. A. México. pp 332
85. Zhang, Z. et al. [2003] "Evolution of Supplier Selection Criteria and Methods". Disponible en: http://www.pbsrg.com/overview/cibtg61/downloads/Zhiming%20Zhang_Evolution%20of%20Supplier%20Selection%20Criteria%20and%20Methods.pdf Última consulta: 11.04.2010.
86. Zhu, G. y Pintelon, L. [2000] "Integrated Production Maintenance Management (IPMM) as an Enterprise Approach to Maintenance Management". Centro para la Administración Industrial. Universidad Católica de Leuven, Bélgica

Anexos

A decorative graphic on the right side of the page. It consists of a vertical bar with a blue-to-white gradient, a solid black horizontal line, and a solid black vertical line that intersects the horizontal line, forming a crosshair shape.

Anexo 1 Resumen de las variables de priorización del equipamiento propuestas por los autores

No	Fuente	Variabes de priorización
1*	Fennigkoh & Smith [1989]	- Función del equipamiento; - Riesgo físico para el paciente/operador;
2*	Moussavi & Whitmore [1993]	- Histórico de fallas; - Necesidad de mantenimiento.
3*	Hertz [1990]	- Probabilidad de falla del equipamiento; - Probabilidad de que el operador no perciba la falla; - Probabilidad de que la falla dañe al paciente; - Equipamiento con un MP atrasado.
4*	Martins, <u>et al.</u> [1990]	- Grado de urgencia del equipamiento; - Grado de dependencia del equipamiento; - Grado de utilización del equipamiento; - No confiabilidad del equipamiento; - No existencia de alternativas; - Viabilidad de realización de MP; - Costo de reparación.
5*	Anderson [1992]	- Riesgo físico para el paciente/operador; - Efectos sobre el tratamiento del paciente; - Efecto de la falla del equipamiento en el paciente.
6*	Kendall, <u>et al.</u> [1993]	Prioridad para equipamientos: - de soporte de vida; - con piezas de vida útil predeterminada; - que consumen altos niveles de energía; - sujetos a normas de MP.
7	Marín [1994]	-Costo de implementación - Costo por dejar de producir - Costo por parada de equipos - Costos asociados a existencias de repuestos
8	MINAL [1994]	- Afectación a la producción
9	Moreu de León, Crespo Márquez y Sánchez Herguedas [2000]	- Seguridad - Efectos en el entorno - Disponibilidad requerida por el plan de producción - La existencia de equipos de reserva - Los costos de reparación
10*	Ramírez [1996]	- Riesgo físico para los pacientes/operadores; - Requerimientos de mantenimiento (fabricante); - Histórico de fallas; - Importancia estratégica; - Viabilidad de realización del MP.
11	De la Paz Martínez [1996]	- Cantidad de producción - Calidad - Costo - Seguridad
12	Torres [1997]	- Seguridad - Calidad - Régimen de trabajo - Afectaciones o confiabilidad operacional - Frecuencia de fallas - Costo

Anexo 1 Continuación...

13*	Capuano y Koritko [1998]	<ul style="list-style-type: none"> - Riesgo físico para el paciente/operador; - Función del equipamiento; - Consecuencias de la falla; - Histórico de fallas; - Análisis de los costos del ciclo de vida del equipamiento.
14*	Sánchez [1997]	<ul style="list-style-type: none"> - Riesgo físico para los pacientes/operadores; - Dispositivos de protección; - Grado de utilización y razón de uso; - Complejidad del equipamiento; - Régimen de operación; - Requerimiento de mantenimiento (fabricante); - Condiciones de operación;
15	Calil y Teixeira [1998]	<ul style="list-style-type: none"> - Riesgo físico para el paciente/operador; - Dificultad de prestación de servicios; - Grado de utilización; - Existencia de normas de fiscalización gubernamentales; - Requerimientos de mantenimiento (fabricante).
16*	Silva y Pineda [2000]	<ul style="list-style-type: none"> - Riesgo físico para el paciente/operador; - Características del proyecto; - Condiciones de operación; - Costos de reparación.
17*	Wang y Levenson [2000]	<ul style="list-style-type: none"> - Riesgo físico para el paciente/operador; - Importancia estratégica; - Requerimientos de mantenimiento (fabricante).
18	Bevilacqua y Braglia [2000]	<ul style="list-style-type: none"> - Seguridad - Importancia del equipo en el proceso - Costo de mantenimiento - Frecuencia de fallos - Tiempo de reparación - Condiciones de operación
19	Huerta Mendoza [2001 y 2006]	<ul style="list-style-type: none"> - Impacto en seguridad del personal - Impacto ambiente - Nivel de producción - Costos (operacionales y de mantenimiento) - Tiempo promedio para reparar - Frecuencia de falla
20	González Danger y Hechavarría Pierre [2002]	<ul style="list-style-type: none"> - Intercambiabilidad - Importancia productiva - Régimen de operación - Nivel de utilización - Precisión - Mantenibilidad - Conservabilidad - Automatización - Valor de la máquina - Aprovechamiento - Seguridad
21	García Garrido [2003]	<ul style="list-style-type: none"> - Seguridad y medio ambiente - Producción (pérdidas de producción) - Calidad - Mantenimiento (costos)

Anexo 1 Continuación...

22	Murthi [2003]	<ul style="list-style-type: none"> - Impacto en el proceso de producción • Disponibilidad • Productividad funcional • Calidad funcional • Tiempo de reparación (Lead Time) • Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF) • Costos de Mantenimiento
23	García González-Quijano [2004]	<ul style="list-style-type: none"> - Matriz de Riesgo • Probabilidad de Fallo • Consecuencia del Fallo
24	Seifeddine [2003]	<ul style="list-style-type: none"> - Salud y Seguridad - Integridad Ambiental - Rendimiento - Calidad de producción - Costo de operación y mantenimiento - Frecuencia de la falla
25	Fabro [2003]	<ul style="list-style-type: none"> - Riesgo ambiental - Riesgo de accidente - Índice de falla (TMEF) - Tiempo para reparación (TMPR) - Costo de mantenimiento - Informatización - Equipo limitante (cuello de botella) - Índice de relación preventivo-correctivo - Índice de monitoreo de las condiciones del equipamiento
26	Cardoso de Morais [2004]	<ul style="list-style-type: none"> - Factor de riesgo - Factor de falla - Importancia del equipo - Factor de mantenimiento - Factor de operación - Factor de proyecto - Factor de costo
27	Alsyouf [2004]	<ul style="list-style-type: none"> - Grupo: Orientado al negocio • Ventajas competitivas a partir de aspectos claves del negocio - Grupo: Los verdes • Salud • Seguridad del medio ambiente - Grupo: Los seguidores • Recomendaciones de los fabricantes
28	Pettersson y Martel [2005]	<ul style="list-style-type: none"> - Producción - Condiciones medioambientales - Conformidades de salud y seguridad - Viabilidad financiera (costo) - Mantenimiento (recursos disponibles)
29	Espinosa Fuentes [2005]	<ul style="list-style-type: none"> - Factor de velocidad de manifestación de la falla - Factor de seguridad del personal y ambiente - Factor de costos de la parada de producción - Factor de costos de reparación

Anexo 1 Continuación...

30	Zorita, <u>et al.</u> [2006]	<ul style="list-style-type: none"> - Gravedad (a través del tiempo medio de reparación) - Detectabilidad (a través del tiempo medio de retraso generado) - Ocurrencia (a través de la tasa de fallo)
31	Torres [2005]	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Influencia sobre producción</i> <ul style="list-style-type: none"> • Porcentaje de tiempo de uso del equipo • Redundancia o la producción es recuperable con otro equipo - <i>Importancia sobre la calidad</i> <ul style="list-style-type: none"> • Pérdidas por no cumplir requisitos de calidad • Influencia del equipo en la calidad final del producto - <i>Influencia sobre el mantenimiento</i> <ul style="list-style-type: none"> • Frecuencia o costo de las averías • Número de horas paradas por mes • Grado de especialización del equipo y personal para atenderlo - <i>Seguridad</i> <ul style="list-style-type: none"> • Riesgo de las personas • Riesgo de los equipos - <i>Medio ambiente</i>
32	Borroto Pentón [2005]	<ul style="list-style-type: none"> - Seguridad - Calidad - Afectaciones - Frecuencia de Fallas - Utilización - Tiempo
33	Colombi [2006]	<ul style="list-style-type: none"> - Seguridad - Medio ambiente - Producción - Clientes - Tiempo de reparación - Capacidad operativa - Frecuencia del fallo - Mantenibilidad
34	Wikoff [2006]	<ul style="list-style-type: none"> - Misión e impacto en el cliente - Seguridad e impacto ambiental - Habilidad para separar los puntos de fallo - Historia de las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo - Tiempo Medio Entre Fallos (MTBF) o fiabilidad - Probabilidad de fallo - Tiempo de suministro de los repuestos - Valor de reemplazo del activo - Tasa de utilización planificada
35	Christensen [2006]	<ul style="list-style-type: none"> - Seguridad y medio ambiente - Calidad y productividad - Oportunidad de producción - Tasa de ocupación - Frecuencia de parada - Mantenibilidad
36	Espinosa Fuentes [2006]	<ul style="list-style-type: none"> - Velocidad de manifestación del fallo - Seguridad del personal y del medio ambiente - Costo de la parada de la producción - Costo de reparación

Anexo 1 Continuación...

37	Braglia, Fantoni y Frosolini [2007]	<ul style="list-style-type: none">- Seguridad humana- Impacto medioambiental- Calidad (pérdida de desempeño)- Costo de mantenimiento- Pérdida de producción
----	-------------------------------------	---

* Estas propuestas han sido referenciadas por Cardoso de Morais [2004] en su tesis aplicada a equipamiento médico-hospitalario.

Anexo 2. Guías para realizar el diagnóstico de mantenimiento

1- ADMINISTRACIÓN DEL MANTENIMIENTO

		1	2	3	4	5
1.1	¿Se encuentra definido e implementado un Plan de Mantenimiento Programado?					X
1.2	¿Se encuentran definidos los objetivos del área de mantenimiento y están acorde con la política de la empresa?					X
1.3	¿Tiene calculado el volumen de trabajos de mantenimiento que puede hacer?					X
1.4	¿Se utilizan adecuadamente las Órdenes de Trabajo y se lleva el control de avance de las mismas?					X
1.5	¿Se encuentra definido el programa de trabajos de mantenimiento para cada equipo?	X				
1.6	¿Se conoce el tiempo requerido para hacer el diagnóstico de un fallo?				X	
1.7	¿Tiene cuantificado el tiempo que se demora en hacer efectivo el mantenimiento?			X		
1.8	¿Los equipos se encuentran agrupados según su criticidad operacional ante un fallo?	X				
1.9	¿Sabe con exactitud cuál es el costo de pérdida de producción/servicio por falla?					X
1.10	¿Está definido e implementado el Plan Medioambiental en la empresa?					X
1.11	¿Está definido e implementado el Plan de Seguridad en la empresa?				X	
1.12	¿Existen reglas definidas para establecer prioridades a la hora de realizar los trabajos de mantenimiento?	X				
1.13	¿La documentación económica se encuentra correctamente ordenada y es accesible para la toma de decisiones?					X
1.14	¿Posee en cada área los catálogos e información técnica de todos los equipos?			X		
1.15	¿Posee registros históricos, de los mantenimientos, para cada equipo?					X
1.16	¿La información capturada en terreno es legible, útil y oportuna?					X
1.17	¿Tiene información precisa para llevar índices de control de eficiencia y eficacia?	X				
1.18	¿Está correctamente ordenada la documentación y se puede acceder a ella fácilmente?					X
1.19	¿Sabe exactamente el número de trabajos pendientes por período?					X
1.20	¿Se mantiene un levantamiento de las reparaciones diarias?					X
1.21	¿Está definido un presupuesto anual para gastos de mantenimiento y obedece a un análisis de las necesidades?			X		
1.22	¿El departamento de mantenimiento o la vicedirección a la cual se subordina participa en la previsión del presupuesto para mantenimiento?					X
1.23	¿El presupuesto para mantenimiento garantiza la adquisición de los recursos necesarios para la organización, planificación, ejecución y control del mantenimiento?	X				

Anexo 2. Continuación...

1.24	¿Existe compatibilidad de la toma de decisiones entre producción y mantenimiento?					X
1.25	¿Los <u>softwares</u> existentes arrojan información suficiente y efectiva para la toma de decisiones en el área de mantenimiento?	X				
1.26	¿Existe algún procedimiento para determinar la política de mantenimiento adecuado para cada equipo?					X

2- SERVICIOS DE TERCEROS

		1	2	3	4	5
2.1	¿Se encuentra definida una política para la contratación de trabajos de mantenimiento, incluyendo sus metas y objetivos?					X
2.2	¿Sabe qué actividades es más rentable tercerizar que realizar con recursos propios?		X			
2.3	¿Resulta efectiva la política de contratación existente?			X		
2.4	¿Tiene definido un procedimiento para la selección de proveedores de servicios de mantenimiento, y se lleva a cabo según los criterios de técnica y de competencia?	X				
2.5	¿Los procedimientos para la selección de proveedores de mantenimiento están correctamente implementados?	X				
2.6	¿Está definido el documento legal que permite la tercerización de mantenimiento en la entidad?					X
2.7	¿Se elaboran cuidadosamente los documentos descriptivos de los trabajos y los pliegos de condiciones?					X
2.8	¿Tiene un procedimiento establecido para evaluar y homologar los proveedores?	X				
2.9	¿Se dispone de un procedimiento para supervisar la actuación de los proveedores y llevar a cabo una acción de seguimiento que incluya la reevaluación de los que no han actuado satisfactoriamente?	X				
2.10	¿Se incluyen cláusulas de resultados en los contratos con empresas contratistas?	X				
2.11	¿Se desarrollan garantías de calidad y de colaboración con los contratistas?	X				
2.12	¿Se verifica el cumplimiento de la garantía por parte de la entidad?					X
2.13	¿Conoce la proporción del costo de mantenimiento perteneciente a servicios contratados?					X

3- PERSONAL

		1	2	3	4	5
3.1	¿La plantilla de mantenimiento se encuentra definida y cubierta adecuadamente?					X
3.2	¿Se poseen planes de actualización, capacitación y adiestramiento del personal de mantenimiento y se encuentra implementado?	X				
3.3	¿Están claramente definidas las responsabilidades y tareas del personal? ¿Se verifican periódicamente?					X

Anexo 2. Continuación...

3.4	¿Considera que el nivel de capacitación es acorde a la tecnología del equipamiento?					X
3.5	¿Los operarios de los equipos realizan tareas simples de mantenimiento (mantenimiento autónomo)?					X
3.6	¿Son considerables las pérdidas de tiempo productivo debido a ausentismos e impuntualidades del personal?	X				
3.7	¿Tiene registros de los operarios que trabajan en los equipos?					X
3.8	¿El personal conoce las normas, políticas y procedimientos asociados con su labor?					X
3.9	¿La fluctuación del personal afecta la ejecución de los planes de trabajo?	X				
3.10	¿El perfil del personal se corresponde con las necesidades existentes?					X
3.11	¿El personal se encuentra motivado a realizar su labor y desarrollar sus iniciativas?				X	
3.12	¿El criterio del personal de mantenimiento es tomado en cuenta para la toma de decisiones?					X
3.13	¿Existe buena comunicación entre el personal de producción y el de mantenimiento?			X		
3.14	¿Están definidos los métodos y procedimientos para evaluar el desempeño del personal?					X
3.15	¿Se conoce con exactitud cuál es el costo de la mano de obra de mantenimiento?					X
3.16	¿Se ha efectuado la evaluación de riesgos al personal para cada equipo en la empresa?					X
3.17	¿Los trabajadores usan habitualmente los medios de protección individual?			X		
3.18	¿Los trabajadores reciben de manera periódica formación en materia de seguridad?					X
3.19	¿El personal se encuentra sensibilizado y actúa de acuerdo con el Plan Medioambiental?				X	

4- GESTIÓN DE PIEZAS DE REPUESTO

		1	2	3	4	5
4.1	¿Las fichas de <u>stocks</u> se encuentran en todo momento actualizadas (manualmente o informatizada)?					X
4.2	¿Se hace un seguimiento del consumo de repuestos para los distintos equipos?					X
4.3	¿Se puede disponer con facilidad del valor y número de artículos en <u>stock</u> ?					X
4.4	¿Está bien definido el punto de pedido y las cantidades a reaprovisionar para cada artículo en <u>stock</u> ?			X		
4.5	¿Se opina que el plazo de emisión de un pedido es lo suficientemente corto?		X			
4.6	¿Se conoce el tiempo de abastecimiento para cada grupo de repuestos?		X			
4.7	¿Existe una lista de repuestos mínimos a mantener en <u>stock</u> y se actualiza periódicamente?				X	

Anexo 2. Continuación...

4.8	¿Existe un sistema coherente y adecuado para realizar inventarios del material contenido en el almacén?					X
4.9	¿Puede definir el tamaño necesario del inventario para garantizar determinada disponibilidad del equipo?	X				
4.10	¿Está definido e implementado un sistema para la inspección y ensayo de las entradas de repuestos al almacén?			X		
4.11	¿Se conoce la ubicación física de todo lo existente en el almacén?					X
4.12	¿Se encuentran identificados y clasificados los proveedores de partes y repuestos?					X
4.13	¿Esta definido e implementado un procedimiento para el pronóstico de la demanda de piezas de repuesto?					X
4.14	¿Es adecuado el estado físico de los almacenes y los medios unitarizadores?					X
4.15	¿Se encuentra definido e implementado un plan de acción para darle respuesta a solicitudes de repuestos de emergencia?	X				
4.16	¿Existen indicadores para evaluar la eficacia del almacén?					X
4.17	¿Existen indicadores para evaluar la eficacia del sistema de compras?			X		

5- EVALUACIÓN Y CONTROL

		1	2	3	4	5
5.1	¿Se poseen parámetros confiables para realizar el control y evaluación de los servicios de mantenimiento?					X
5.2	¿Se compara el desempeño del mantenimiento con el de organizaciones similares para conocer cuán bien se marcha (Benchmarking)?	X				
5.3	¿Se han establecido procedimientos documentados para la realización de auditorías internas?	X				
5.4	¿Están definidos y utilizándose un grupo de indicadores para realizar la evaluación y control del mantenimiento?					X
5.5	¿Resultan adecuados los indicadores definidos para la evaluación y control del mantenimiento?					X
5.6	¿Está definido como norma la evaluación del mantenimiento y es respetada por los integrantes del área?					X
5.7	¿Existe un sistema para investigar las causas de las no conformidades del servicio de mantenimiento?	X				
5.8	¿Se cumple el programa de trabajos programados de mantenimiento?				X	
5.9	¿Se planifican acciones correctivas para deficiencias encontradas en las auditorías internas, con plazos de consecución determinados?	X				
5.10	¿Se toman medidas de seguimiento para asegurar la eficacia de las acciones correctivas?			X		
5.11	¿Tiene cuantificado el tiempo de producción perdido por fallos?					X
5.12	¿Los resultados del mantenimiento se analizan y se toman decisiones a partir del análisis efectuado?					X
5.13	¿Se encuentran estipulados los tiempos estándares para el mantenimiento de equipos?				X	

Anexo 2. Continuación...

5.14	¿Se lleva un control estadístico de los gastos de mantenimiento por equipo?					X
5.15	¿Sabe cuál es la relación entre tiempo extra y tiempo para trabajos programados?					X

6- INFRAESTRUCTURA

		1	2	3	4	5
6.1	¿Su organización tiene catalogadas las herramientas a utilizar en cada tarea?					X
6.2	¿La instrumentación utilizada en el mantenimiento tiene una calibración certificada?					X
6.3	¿Las herramientas existentes se corresponden con las que se necesitan?				X	
6.4	¿Sabe el valor de adquisición y residual de cada uno de sus equipos?					X
6.5	¿Tiene un levantamiento de planta que describa e identifique a todos los equipos a mantener?					X
6.6	¿Se actualizan las herramientas e instrumentos asiduamente?	X				
6.7	¿Se consulta al personal de mantenimiento y/o producción para la selección de nuevo equipamiento?	X				
6.8	¿Se encuentra estipulada una política de reemplazo de equipos en la empresa?	X				
6.9	¿Está garantizada la suficiencia y pertinencia del equipamiento para realizar las labores de mantenimiento?					X
6.10	¿Está garantizada la suficiencia y pertinencia de las herramientas para realizar las labores de mantenimiento?					X
6.11	¿Está determinada, proporcionada y mantenida la infraestructura necesaria que permita alcanzar la conformidad con la prestación del servicio de mantenimiento?					X
6.12	¿Es suficiente el espacio disponible en el taller de mantenimiento para poder realizar todos los trabajos demandados?					X
6.13	¿El taller de mantenimiento está bien ubicado respecto a los equipos a brindarle mantenimiento?					X
6.14	¿Los útiles y herramientas se encuentran cerca del taller de mantenimiento?					X
6.15	¿Existe un inventario considerable de las herramientas que se usan para el mantenimiento?					X
6.16	¿El taller de mantenimiento parece limpio y ordenado?					X
6.17	¿Los <u>softwares</u> existentes abarcan las principales aplicaciones informáticas exigidas en el área?	X				

Donde²: 1= no; 2= Más bien no; 3= ni si ni no; 4= más bien si; 5= si

Fuente: Alfonso Llanes, 2009.

² El equipo de diagnóstico podrá definir una escala diferente a la hora de aplicar estas guías de diagnóstico en la empresa que se esté estudiando.

Anexo 3. Determinación del orden de prioridad de los problemas de acuerdo a los efectos negativos que provoca.

A partir de la evaluación de los expertos será indispensable determinar su nivel de concordancia mediante la hipótesis siguiente:

H_0 : No es concordante el juicio de los expertos.

H_1 : Es concordante el juicio de los expertos.

RC: $\chi^2 > \chi^2_{\alpha; k-1}$

donde rechazar H_0 , significa que el juicio de los expertos es consistente y que el orden de importancia en los problemas es el obtenido como resultado de dichos criterios.

Para evaluar la concordancia de los expertos, se construye una tabla con los resultados de la evaluación que los mismos dan a los problemas, la cual se denomina matriz de rangos:

Expertos \ Problemas	Expertos								
	1	2	3	...	M	$\sum_{j=1}^M U_{ij}$	Δ	Δ^2	
1	U_{11}	U_{12}	U_{13}	...	U_{1M}				
2	U_{21}	U_{22}	U_{23}	...	U_{2M}				
3	U_{31}	U_{32}	U_{33}	...	U_{3M}				
...	
K	U_{K1}	U_{K2}	U_{K3}	...	U_{KM}				

Las fórmulas a utilizar se muestran a continuación:

$$\tau = \frac{1}{2} * M * (K + 1) \quad (1)$$

$$\Delta = \sum_{j=1}^M U_{i,j} - \tau \quad (2)$$

$$W = \frac{12 * \sum_{j=1}^M \Delta^2}{M^2 * (K^3 - K)} \quad (3)$$

$$\chi^2 = M * W * (K - 1) \quad (4)$$

donde:

M: cantidad de expertos.

U_{ij} : rango dado al problema i por el experto j. $i \in [1..K]$; $j \in [1..M]$

τ : puntuación promedio de los problemas o rango medio.

Δ : desviación respecto a τ .

K: cantidad total de problemas o categorías.

W: coeficiente de concordancia.

Anexo 3. Continuación...

Para el caso bajo estudio:

Experto Problema	1	2	3	4	5	6	7	$\sum U_{ij}$	Δ	Δ^2
1	6	5	6	6	5	6	6	40	15.5	240.25
2	2	1	3	1	2	2	4	15	-9.5	90.25
3	4	4	5	4	1	4	2	24	-0.5	0.25
4	5	6	4	5	6	5	5	36	11.5	132.25
5	3	3	2	3	3	3	3	20	-4.5	20.25
6	1	2	1	2	4	1	1	12	-12.5	156.25

$$\tau = \frac{1}{2} 7(6+1) = 24.5$$

$$W = \frac{7674}{10290} = 0.74$$

$$X^2 = 7 * 0.74 * (6-1) = 25.9$$

$$RcX^2 > X_{\alpha, k-1}^2$$

$$X_{0.05, 5}^2 = 7.815$$

$$25.9 > 11.070$$

Por lo que se rechaza H_0 , lo que significa que el juicio de los expertos es consistente y que el orden de importancia es el obtenido como resultado en la tabla anterior, donde el problema que más afecta toma el menor valor de $\sum U_{ij}$ y así sucesivamente.

Anexo 4. Información estadística de los fallos del equipamiento productivo

Línea de vagones

Equipos	t_u (h)	$t_{\bar{u}}$	$t_{\bar{u}}/2$	λ	$\bar{\lambda}$	$\bar{\lambda}/2$	TMPR (h)	$t_{\bar{r}}$	$t_{\bar{r}}/2$	C_r (\$/a)	$C_{\bar{r}}$	$C_{\bar{r}}/2$
Segueta mecánica	1.8	4.65	2.32	9	9.86	4.93	1.23	1.49	0.74	60.3	73.28	36.64
Taladro de columna	7.2			5			1.72			41.2		
Torno IK-62	7.3			18			3.8			110.81		
Equipo de soldar	7.1			12			0.48			72.45		
Torno IMS-63	6.6			14			2.6			77.8		
Cizalla de 2.5mm	5.4			4			2.52			35.48		
Prensa hidráulica	7.4			21			1.28			180.74		
Cizalla 4mm	3.6			7			0.5			28.95		
Cizalla manual	7.2			9			0.3			30.3		
Sierra de péndulo	2.4			4			2.1			48.53		
Plana	1.8			6			0.8			98.21		
Barrenadora	2.7			15			1			61.24		
Dobladora de chapa V2	4.8			8			1.25			48.35		
Lijadora	2.7			7			0.92			63.25		
Sierra circular	1.8	9	1.9	89.21								

Anexo 4. Continuación...

Línea de cubos para la construcción

Equipos	t_u (h)	$t_{\bar{u}}$	$t_{\bar{u}}/2$	λ	$\bar{\lambda}$	$\bar{\lambda}/2$	TMPR (h)	$t_{\bar{r}}$	$t_{\bar{r}}/2$	C_r (\$/a)	$C_{\bar{r}}$	$C_{\bar{r}}/2$
Cizalla mecánica	2.2	5.7	2.85	6	7.8	3.9	2.21	1.91	0.95	42.27	50.06	25.03
Taladro vertical	5.8			5			1.37			53.18		
Cizalla portátil	7.5			7			0.43			35.41		
Pestañadora	7.3			10			3.81			68.14		
Boceladora	7.5			11			2.48			40.25		
Dobladora de chapa V1	4.3			9			1.48			61.12		

Anexo 5. Determinación del tipo de mantenimiento a aplicar al equipamiento de la empresa

Equipos	Línea de Vagones																					Clase	Tipo de fallo	Sistema de mantenimiento propuesto	
	Seguridad			Calidad			Régimen de Trabajo			Afectaciones			Frecuencia			Tiempo de reparac.			Costo de reparac.						
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3				
Segueta mecánica			X	X					X	X				X			X				X		A	PFD	1, 2, 4
Taladro de columna			X		X	X				X				X			X				X		B	APF	3, 4
Torno IK-62		X			X	X				X			X				X	X				A	PDD	2, 1, 4	
Equipo de soldar		X			X	X				X			X				X				X	A	PFD	1, 2, 4	
Torno IMS-63		X			X	X					X	X		X			X				X		A	PDD	2, 1, 4
Cizalla de 2.5mm			X	X	X						X			X		X						X	C	APF	3
Prensa hidráulica			X		X	X			X				X				X	X				B	AMF	2, 3, 4	
Cizalla 4mm			X	X			X			X				X			X					X	C	APF	3
Cizalla manual			X	X	X					X				X	X		X					C	APF	3	
Sierra de péndulo			X		X		X			X				X		X			X			X	C	APF	3
Plana			X		X			X	X					X			X	X					B	APF	3, 4
Barrenadora			X	X			X				X	X				X		X			X	C	PFD	2, 3	
Dobladora de chapa V2			X	X			X				X		X			X		X			X	C	PFD	2, 3	
Lijadora			X		X			X	X					X			X		X			X	B	APF	3, 4
Sierra circular			X		X			X	X					X	X			X			X	B	PFD	2, 3, 4	

Anexo 5. Continuación...

Equipos	Línea de cubos																					Clase	Tipo de fallo	Sistema de mantenimiento propuesto
	Seguridad			Calidad			Régimen de Trabajo			Afectaciones			Frecuencia			Tiempo de reparac			Costo de reparac.					
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
Cizalla mecánica			X			X			X			X			X			X		X		C	APF	3
Taladro vertical			X	X			X					X			X			X		X		A	APF	1, 4
Cizalla portátil			X		X		X			X					X			X		X		C	APF	3
Pestañadora			X		X		X				X		X					X		X		A	PFD	1, 2, 4
Boceladora			X			X	X			X			X					X		X		B	AMF	2, 3, 4
Dobladora de chapa V1			X		X			X				X	X					X		X		C	PFD	2, 3