



UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS  
VERITATE SOLA NOBIS IMPONETUR VIRILISTOGA. 1948

*Facultad de Ingeniería Industrial, Turismo y Ciencias de la  
Información  
Departamento de Ingeniería Industrial*

# *Trabajo de Diploma*

*Título: Propuesta de selección del tipo de Mantenimiento a aplicar en los  
equipos de la UEB Combinado Lácteos de Morón.*

*Autora: Dinay Herrera Pinto*

*Tutor: Ms.C. Ing. José Ulivis Espinosa Martínez*

*Co-tutora: Rosalba Villa Marín Carballido*

*Santa Clara, 2013 – 2014*

## ***Pensamiento***

*Los grandes espíritus siempre han encontrado una violenta oposición de parte de mentes mediocres*

*Albert Einstein*

## ***Dedicatoria***

*A mis padres por motivarme a seguir adelante en todo momento y por su apoyo incondicional.*

*A mi abuelo por siempre confiar en mí.*

*A mi novio por ayudarme a levantarme en esos momentos que pensaba que todo se derrumbaba.*

## **Agradecimientos**

*A toda mi familia por ser mi fuente de inspiración, por su apoyo y confianza.*

*A mi TUTOR, una persona increíblemente maravillosa, que siempre estuvo a mi lado en todo momento para indicarme el camino correcto a seguir, sin su ayuda este Trabajo de Diploma no hubiera sido posible.*

*A Rosalba por suministrarme toda la información necesaria para el desarrollo de esta investigación.*

*A mis amigos por cinco años increíbles que jamás olvidaré, siempre estarán en mi corazón.*

*Y a todo aquel que de una forma u otra influyó a que este sueño se hiciera realidad.*

## ***Resumen***

En el presente Trabajo de Diploma se selecciona un procedimiento para el mejoramiento de la política de mantenimiento a los equipos del Combinado Lácteos de Morón, lo que permitirá determinar la mejor alternativa de mantenimiento para los equipos productivos en función del contexto operacional en que se desempeñen, todo ello a partir de la selección de las principales variables que caracterizan este contexto (seguridad, calidad, utilidad, afectaciones, consumo de energía eléctrica, frecuencia y tiempo de reparación) y la clasificación de los fallos predominantes en el equipamiento. La propuesta destaca la inclusión de elementos novedosos en determinadas variables en función de las características del proceso productivo analizada.

La tesis contiene, además, una revisión bibliográfica que aborda temas actuales de mantenimiento así como las diversas metodologías que giran en torno al análisis de la criticidad del equipamiento y la selección del sistema de mantenimiento más apropiado a aplicar a los sistema de producción de una organización.

## ***Summary***

This Diploma is selected a method for improving the policy of keeping the teams in the Lactic Combination of Moron, which will determine the best maintenance option for production equipment according to the operational context in which they play, all from the selection of the main variables that characterize this context (safety, quality, utility, affectations, power consumption, frequency and time of repair) and the classification of predominant faults in equipment. The proposal stresses the inclusion of new elements in certain variables depending on the characteristics of the production process analyzed.

The thesis also contains a literature review that addresses current maintenance issues and the various methodologies that revolve around the analysis of the criticality of the equipment and selecting the most appropriate maintenance system applied to production systems of an organization.

## Índice

<b>Introducción</b> .....	1
<b>Capítulo 1: Marco teórico referencial de la investigación</b> .....	3
1.1 Introducción .....	3
1.2 Aspectos generales sobre la gestión del mantenimiento .....	4
1.2.1 Objetivos del mantenimiento .....	4
1.2.2 Funciones del mantenimiento.....	5
1.3 Tipos de mantenimiento y su definición .....	6
1.3.1 Mantenimiento correctivo .....	6
1.3.2 Mantenimiento preventivo .....	7
1.3.3 Mantenimiento predictivo .....	7
1.4 Sistemas de mantenimiento y su filosofía .....	9
1.5 Metodologías para la selección del tipo de mantenimiento.....	14
1.6 Mantenimiento en Cuba .....	23
1.7 Mantenimiento en la Industria Alimenticia Cubana .....	24
1.8 Conclusiones parciales .....	25
<b>Capítulo 2: Caracterización de la entidad objeto de estudio y diagnóstico del mantenimiento en la misma</b> .....	26
2.1 Introducción .....	26
2.2 Caracterización de la entidad.....	26
2.2.1. Caracterización del departamento de mantenimiento de la empresa objeto de estudio.	29
2.3 Análisis del mantenimiento en el centro .....	31
2.4 Conclusiones parciales .....	34
<b>Capítulo 3: Aplicación del procedimiento seleccionado</b> .....	35
3.1 Introducción .....	35
3.2 Metodología para la selección del tipo de mantenimiento a aplicar .....	35
3.3 Propuesta de variante de mantenimiento en los equipos del Combinado Lácteos .....	46
Conclusiones parciales .....	50
<b>Conclusiones</b> .....	51
<b>Recomendaciones</b> .....	52
<b>Bibliografía</b> .....	53
<b>Anexos</b>	

## ***Introducción***

El proceso de globalización económica impone nuevos retos a las empresas, exigiendo en ellas cambios radicales en la estructura y la estrategia, en la forma de hacer las cosas, con el fin de presentar al mercado además de un producto de excelente calidad, un servicio eficiente y sin reparos que logre satisfacer totalmente las expectativas y exigencias impuestas por los nuevos clientes y esto depende en gran medida del mantenimiento de los equipos productivos.

Con la aplicación de la actividad de mantenimiento se logra estabilizar los activos fijos donde se reducen los tiempos de interrupción por rotura. La actividad de mantenimiento independientemente de la empresa que se desarrolle, debe lograr reducción de las averías imprevistas y del tiempo de reparación, procurar la prolongación de la vida útil de los componentes con el correspondiente ahorro de recursos y energía, reduciendo así el costo de mantenimiento de las instalaciones, dando como resultado la mejora continua de la calidad, el rendimiento de los productos y la eficiencia de los servicios.

En los últimos años, se aprecia un significativo interés por optimizar las actividades de mantenimiento que se desarrollan en las instalaciones industriales, existiendo un importante grupo de nuevas metodologías de mantenimiento, como es el caso del procedimiento de selección de alternativas de mantenimiento para los equipos planteado por el autor Espinosa Martínez, 2010 para la selección del sistema de mantenimiento con el objetivo de garantizar la máxima disponibilidad del equipamiento con un óptimo empleo de recursos.

En el caso de las empresas cubanas, no están ajenas a esta nueva forma de llevar a cabo las decisiones de mantenimiento, es por ello que las empresas que buscan mayor competitividad y productividad utilizan técnicas como esta, como el caso del Combinado Lácteos de Morón, que constituye el **objeto de estudio práctico** de la presente investigación.

En la empresa se conoce que existen paradas imprevistas en la producción debido a que el Sistema de Mantenimiento Preventivo Planificado que poseen reglamentado por el Manual de Organización, Mantenimiento y Reparaciones desde hace más de 20 años no se efectúa actualmente, ya que se emplea el mantenimiento correctivo en todas sus máquinas reconociéndose que las máquinas del local son atendidas solo cuando presentan fallas considerables, sin analizarlas de forma independiente, lo cual provoca una disminución de la disponibilidad de sus recursos, aumento de los costos del mantenimiento, demoras en los plazos entrega de los pedidos, y deterioro de la relación con sus clientes tanto internos y como externos, debido a que la reputación de la organización se ha reducido, siendo lo anterior la

**situación problemática** identificada en la organización, que permite fundamentar la investigación a desarrollar.

El **problema de investigación** se plantea como la inexistencia de una herramienta que permita evaluar y determinar el tipo de mantenimiento a emplear en cada uno de los equipos de la UEB Combinado Lácteos, de manera tal que se garantice un desempeño más eficiente del proceso productivo.

Por lo que el **objetivo general** de la investigación es: Seleccionar el tipo de mantenimiento a aplicar al equipamiento productivo del Combinado Lácteos de Morón. Este objetivo general se desglosó en un conjunto de **Objetivos Específicos**:

1. Evaluar la política de mantenimiento que posee cada equipo que conforma el proceso clave del Combinado Lácteos de Morón.
2. Seleccionar un procedimiento que permita aplicar la mejor alternativa para la política de mantenimiento de los equipos de las UEB.
3. Aplicar el procedimiento propuesto para los equipos de la UEB, y realizar propuestas de mantenimiento

El presente Trabajo de Diploma ha sido dividido en tres capítulos. En el primero se recoge toda la fundamentación teórica de la investigación. En el segundo capítulo, a través de un diagnóstico se obtiene la situación actual del mantenimiento. En el capítulo tres se realiza la definición para la selección de un procedimiento de alternativas de Sistema de Mantenimiento a equipos; 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.

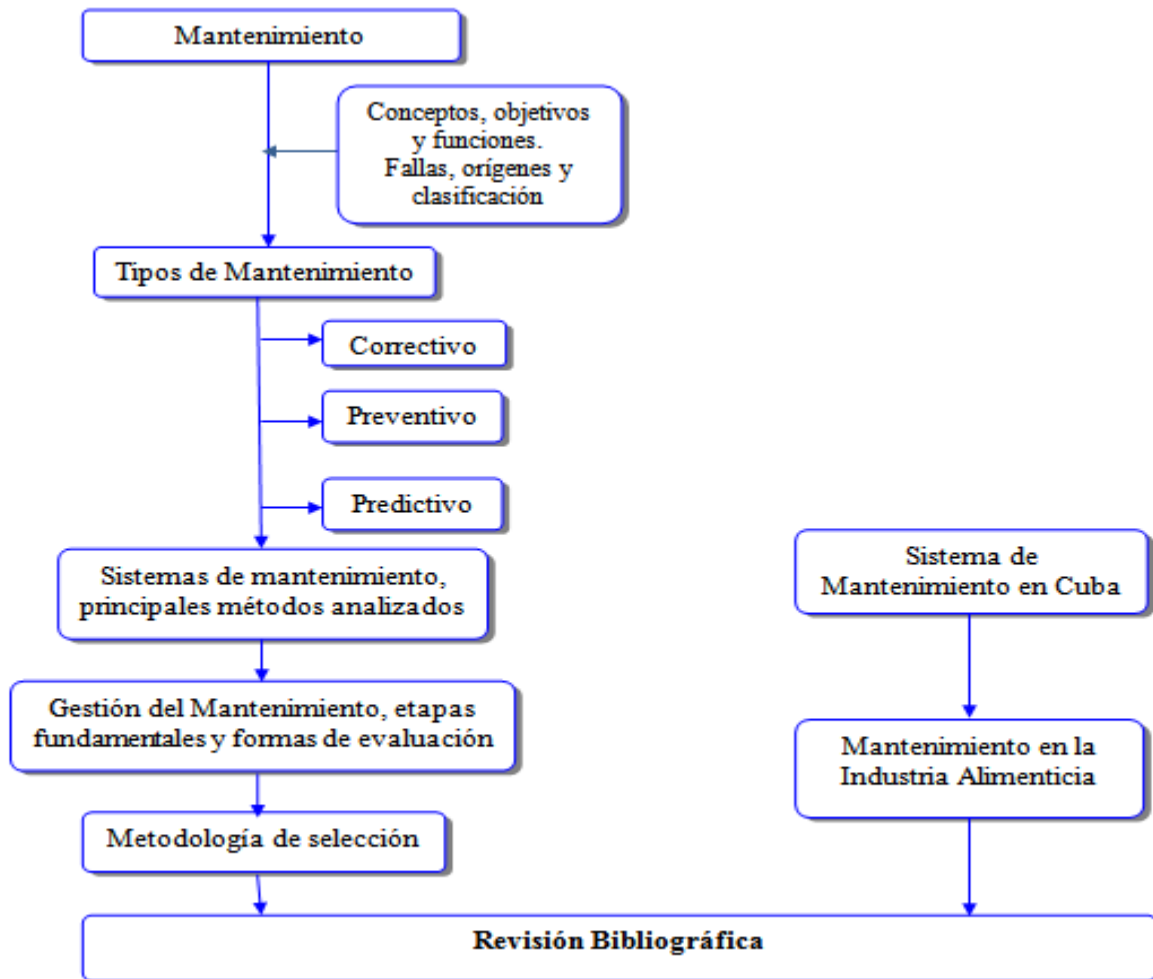
# Capítulo 1

## Capítulo 1: Marco teórico referencial de la investigación

### 1.1 Introducción

En el presente capítulo se hace un análisis exhaustivo de la literatura especializada y de otras fuentes involucradas en la temática objeto de estudio, con vistas a precisar los principales aspectos conceptuales involucrados en la investigación. Para la construcción del marco teórico referencial de la investigación se tomó como patrón el hilo conductor que se muestra en la figura 1.1.

Figura 1.1: Hilo conductor de la investigación



Fuente: Elaboración propia

## **1.2 Aspectos generales sobre la gestión del mantenimiento**

Durante los últimos veinte años, el mantenimiento ha cambiado, quizás más que cualquier otra disciplina gerencial. Estos cambios se deben principalmente al enorme aumento en número y en variedad de los activos físicos que deben ser mantenidos en todo el mundo, diseños más complejos, nuevos métodos de mantenimiento, y una óptica cambiante en la organización de esta actividad y sus responsabilidades [Moubray, 1997; Jeira y Gibson, 2004]. El mantenimiento también está respondiendo a expectativas cambiantes. Estas incluyen una creciente toma de conciencia para evaluar: hasta qué punto las fallas en los equipos afectan la seguridad y el medio ambiente, la relación entre el mantenimiento y la calidad del producto, y la presión de alcanzar una alta disponibilidad en la planta y mantener acotado el costo. *"El objetivo del mantenimiento es conservar todos los bienes que componen los eslabones del sistema directa e indirectamente afectados a los servicios, en las mejores condiciones de funcionamiento, con un muy buen nivel de confiabilidad, calidad y al menor costo posible"*. [Torres, 2003].

Según Rey Sacristán (1996) se puede decir que el objetivo de mantenimiento *es lograr con el mínimo coste, el mayor tiempo en servicio de las instalaciones y maquinarias productivas, con el fin de conseguir la máxima disponibilidad, aportando la mayor productividad y calidad de producto y la máxima seguridad de funcionamiento*, sin embargo, el objetivo así definido no queda medido ni expresado en cifras.

Portuondo Pichardo (1994) plantea que *incluye todos aquellos trabajos destinados a conservar o restituir a máquinas, equipos, instalaciones, redes técnicas y otros, el estado técnico que le permita cumplir eficientemente su función productiva de servicios*.

Por su parte Fuertes [1994] plantea que *recientes análisis sobre la efectividad de la gestión del mantenimiento indican que un tercio de todos los costos de mantenimiento se debe a una mala gestión*.

### **Fallas, orígenes y clasificación**

Teniendo en cuenta los aspectos tratados se hace necesario tener definido en el presente estudio el concepto de fallo mediante el cual se sustentara teóricamente los elementos prácticos a analizar posteriormente.

Se define el término Fallo como: el deterioro o desperfecto en las instalaciones, máquinas o equipos que no permite su normal funcionamiento. Siguiendo con la idea anterior, no puede existir conformidad con detectar una falla y repararla, lo importante es descubrir el origen del desperfecto y prever que se repita en el futuro, lo cual constituye una tarea de aprendizaje para los trabajadores que se desempeñen en dicha área, ya que utilizando la experiencia propia y ajena, pueden predecir cualquier inconveniente en la producción. A lo largo de los años se ha demostrado que no existen instalaciones, máquinas o equipos que estén libres de fallas durante su vida útil, y que siempre que se efectúe una adecuada gestión de mantenimiento es posible reducir a un mínimo los perjuicios que ocasiona algún desperfecto.

Es importante mencionar que si el estado de algún equipo pone en riesgo la seguridad de personas o el buen funcionamiento de la instalación, también estamos ante una falla, considerándose de este modo que el ambiente es esencial para cualquier actividad humana, y mantenerlo descontaminado debe ser un objetivo que en un proceso de fabricación no se debe obviar. Es por ello que para alcanzar un normal funcionamiento de una instalación se debe mantener el nivel productivo, la calidad del producto, la seguridad de las personas y la calidad del medio ambiente, en las mejores condiciones posibles. Otro elemento a tener en cuenta lo constituye su clasificación lo cual se puede realizar de la manera siguiente:

- 1) Fallas que afectan a la producción.
- 2) Fallas que afectan a la calidad del producto.
- 3) Fallas que comprometen la seguridad de las personas.
- 4) Fallas que degradan el ambiente.

Las dos primeras afectan directamente al producto, ya sea en su cantidad y/o calidad; las restantes afectan al entorno. De manera general se producen fallas que combinan algunos de los casos de ésta primera clasificación, y también se pueden hacer muchas otras clasificaciones si tomamos diferentes conceptos como parámetro. Para lo cual se debe partir del análisis del origen de las fallas como se expone a continuación:

- a) Mal diseño o error de cálculo en las máquinas o equipos: Se dan casos en que el propio fabricante, por desconocer las condiciones en que trabajará, realiza un diseño no adecuado de estas máquinas o equipos. Se puede estimar en un 12 % del total de las fallas.
- b) Desperfectos de fabricación de las instalaciones, máquinas o equipos: Si en la fabricación se descuida la calidad de los materiales, o de los procesos de fabricación de las piezas

componentes, las máquinas e instalaciones pueden tener defectos que se subsanan reemplazando la pieza defectuosa. Este tipo de error se puede encontrar en un 10,45 % del total de las fallas.

- c) Mal empleo de las instalaciones, máquinas o equipos: Es el más frecuente debido a que se produce por falta de conocimiento del modo de operarla, o por usarla para realizar trabajos para los cuales no fue diseñada. Considerándose de este modo como el 40 % del total de las fallas.
- d) Fenómenos naturales y otras causas: Las condiciones atmosféricas pueden influir en el normal funcionamiento de las instalaciones, máquinas o equipos, y junto con otro tipo de fallas pueden ocasionar roturas y paradas espurias de la producción. Las suponemos en un 27 % de las fallas totales.

Los aspectos anteriores son clasificaciones propuestas desde el punto de vista de la producción de la perspectiva del mantenimiento, y dentro de ellos pueden ser interesantes otros tipos de clasificaciones como:

- En función de la capacidad de trabajo de la instalación de la cual podemos distinguir, a su vez, averías totales y fallas parciales. Las totales son aquellas que ponen fuera de servicio a todo el equipo y las parciales sólo a una parte de él.
- En función de la forma de aparecer la falla, podemos encontrar la organización de la producción (en paralelo o en serie), y del grado de complejidad de la instalación.

Son muy útiles también otros tipos de clasificación de las fallas, como por ejemplo, aquellas que se distinguen por la técnica que debemos aplicar para subsanarlas, eléctricas, mecánicas, instrumentales, electrónicas, etc. O las que se originan a partir de otro fallo o no, distinguiendo así fallas dependientes o independientes. Aunque también se tiene conocimiento de las que son según el tiempo que duran las fallas, que suelen ser continuas, intermitentes o erráticas. Para ello deben tenerse en cuenta en la realización de cualquier propuesta de investigación, una forma en que se pueda contar con instalaciones en óptimas condiciones y una disponibilidad total del sistema puesto que, como bien expresa (Tavares y colectivo de autores en 2009), “El mantenimiento es el área de la compañía que afecta más rápido las cifras generales del negocio”. Disponibilidad, calidad, eficiencia, son solo tres factores que en su totalidad o en buena medida dependen del mantenimiento. Y actuando sobre ellos se afecta positiva o negativamente las utilidades de la compañía, razón por la cual se busca cotidianamente en las empresas la carencia de errores y fallas, que constituyen uno de los aspectos a alcanzar en el presente estudio.

### **1.2.1 Objetivos del mantenimiento**

A partir de las definiciones planteadas anteriormente se puede entender que para alcanzar una buena gestión de mantenimiento es preciso conocer el objetivo u objetivos. Estos objetivos fueron planteados por varios autores como: Heberlein [1991], Pérez [1992], Borda [1998], Parra [1999] y Schults [2000].

El objetivo buscado por el mantenimiento es contar con instalaciones en óptimas condiciones en todo momento, para asegurar una disponibilidad total del sistema en todo su rango de performance, lo cual está basado en la carencia de errores y fallas. El mantenimiento debe procurar un desempeño continuo y operando bajo las mejores condiciones técnica, sin importar las condiciones externas (ruido, polvo, humedad, calor, etc.) del ambiente al cual este sometido el sistema.

De acuerdo con Varios autores (De la Paz Martínez, 1996; Knezevic, 1996; Arce, 2005) han definido los objetivos de mantenimiento que se puede concretar de forma general en:

- Mejorar la disponibilidad de las instalaciones.
- Mejorar la fiabilidad y la calidad del servicio.
- Incrementar la productividad de los recursos.
- Reducir los costos de mantenimiento.
- Maximización de la vida útil económica de los equipos.
- Garantizar la seguridad del personal y de las instalaciones.
- Conservar los bienes productivos en condiciones seguras y preestablecidas de operación.

### **1.2.2 Funciones del mantenimiento**

Portuondo Pichardo (1990) plantea que las funciones de mantenimiento caracterizan y de hecho justifican la existencia de una subdivisión de la empresa dedicada al mantenimiento. Al respecto describió las funciones básicas de mantenimiento desglosadas en primarias y secundarias. Castellón (2005) coincide con Portuondo en su planteamiento de que las funciones de mantenimiento pueden clasificarse en dos grupos (primarias y secundarias); atendiendo a la dedicación por parte del grupo de mantenimiento.

Afín con los autores antes citados las funciones se pueden concretar de forma general en: Funciones básica o primaria:

- Mantenimiento del equipo industrial.
- Mantenimiento de edificios y terrenos.
- Inspección y lubricación de equipos.
- Gestión de la información relativa al mantenimiento.
- Modificación de las instalaciones y realización de las instalaciones nuevas.

Funciones secundaria:

- Protección técnica de las instalaciones.
- Gestión de almacenes de mantenimiento.
- Seguridad de las plantas.
- Eliminación de residuos.
- Limpieza de las edificaciones y áreas no productivas.

En particular Portuondo en estas incluye la generación y distribución de algunas producciones auxiliares (energía eléctrica, vapor, aire comprimido, aire para instrumentos y agua de enfriamiento).

### **1.3 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; Ramírez, 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, políticas, métodos, técnicas, estrategias y filosofías. Sin embargo, la mayoría coinciden que los tipos de mantenimiento fundamentales son: el correctivo, el preventivo, el predictivo y el detectivo.

#### **1.3.1 Mantenimiento correctivo**

La evolución de la función de mantenimiento ha pasado por varias etapas. Inicialmente, la función del mantenimiento consistía en reparar un equipo cuando se averiaba, aplicando lo que se llama mantenimiento correctivo. Así pues las intervenciones eran todas, empleando la

terminología que se usa actualmente, de emergencia, es decir, cuando la avería había tenido ya lugar. [Introducción al mantenimiento 2006].

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; Ramírez, Caldas y Santos, 2002; Apélgren, 2004; López Reyes, 2004; Wireman, 2005; Stefano, 2006].

### **1.3.2 Mantenimiento preventivo**

Con el desarrollo de la mecanización y el aumento del número de máquinas en funcionamiento la imagen del mantenimiento cambió. En los años cincuenta, cuando los responsables de esta función se dan cuenta que no basta con reparar la avería una vez aparecida, sino que es necesario prevenirla. Así que nace la segunda etapa que es el mantenimiento preventivo. [Introducción al mantenimiento y su historia, 2006].

Por lo que entiende el mantenimiento preventivo como una actividad planificada en cuanto a inspección, detección y prevención de fallas, cuyo objetivo es mantener el equipo bajo condiciones específicas de operación. Se ejecuta a frecuencias dinámicas, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, las condiciones operacionales y la historia de fallas de los equipos. [Ing. Diógenes Suárez “Guía Teórico-Práctico Mantenimiento Mecánico”, (2001).]

Aplicándose correctamente el mantenimiento preventivo, se ayuda en gran medida a controlar los equipos e instalaciones, así como ayudar en el desempeño de los otros sistemas vigentes en la organización. [Introducción a los tipos de mantenimiento, 2005]

### **1.3.3 Mantenimiento predictivo**

Según Mora Gutiérrez y Pérez Peral [2002], Rodríguez [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, constituye lo que se conoce como tercera etapa o etapa más

reciente en la evolución del mantenimiento, y está basado en la observación continua o periódica de la máquina, medida y análisis del valor que toman sus parámetros de funcionamiento, detección de la averías en su fase inicial, antes de que se presenten de forma catastrófica y actuación sobre la máquina solamente en este caso. [Introducción al mantenimiento y su historia, 2005].

Las técnicas siguientes son utilizadas para la estimación del mantenimiento predictivo [Sotuyo Blanco, 2001; Mora Gutiérrez, y Pérez Peral, 2002; Fabro, 2003; Yáñez 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).

En sitios Web donde se trata el tema destacan los tres tipos expuestos primeramente y se adicionan nuevos tipos como:

- **Mantenimiento Detectivo (o búsqueda de fallos):** Consiste en la inspección de las funciones ocultas, a intervalos regulares, para ver si han fallado y reacondicionarlas en caso de falla (falla funcional). Solamente se aplica para fallos ocultos o evidentes. Los fallos ocultos a su vez solo afectan a dispositivos de protección.
- **Mantenimiento Mejorativo:** Consiste en la modificación o cambio de las condiciones originales del equipo o instalación [Tipos de mantenimiento, sin fecha].
- **Mantenimiento de oportunidad:** Más que una técnica, es realmente una estrategia de mantenimiento, pues es una combinación entre el mantenimiento Planificado (Preventivo) y el mantenimiento por Fallas (Correctivo). El mantenimiento de Oportunidad puede ser útil, ya que cuando existe una parada obligada del equipo, da al equipo de mantenimiento acceso inesperado a este, para llevar a cabo inspecciones y/o mantenimientos. En inspecciones durante las paradas, por otras reparaciones, se pueden identificar problemas que pueden ser resueltos inmediatamente, evitando que se presenten nuevas fallas, o se puedan programar para próximas fechas o próximas paradas. [Márquez, 2000].

- **Mantenimiento productivo:** Consiste en un concepto más amplio del mantenimiento e involucra a todos los departamentos que intervienen en la producción o fabricación en el mismo, desde el nivel más básico del mantenimiento.
- **Mantenimiento Modificativo:** Este tipo de mantenimiento es todo aquel que se realiza tanto para modificar las características de producción de los equipos, como para mejorar la fiabilidad, mantenibilidad, seguridad o instalación de la máquina. [Introducción a los tipos de mantenimiento, 2005].

#### **1.4 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. Este sistema es el que mejor se adapta a las condiciones existentes de nuestra economía, de ahí su gran difusión en la mayoría de las empresas industriales del país.

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.

### **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].

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.

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].

La meta del MPT es aumentar la eficacia del equipo de forma que cada pieza del mismo pueda ser operada óptimamente y mantenida en este nivel. El personal y la maquinaria deben funcionar ambas de manera estable bajo condiciones de averías y defectos cero. Aunque sea difícil aproximarse al cero, el creer que los defectos cero pueden lograrse es un requisito importante para el éxito del MPT [Elejebarrrieta, 1998].

El MPT tiene los siguientes objetivos:

1. Maximizar la efectividad de los equipos.
2. Establecer, a través de un sistema de mantenimiento preventivo/ predictivo una larga vida y disponibilidad del equipo.
3. Asumir el concepto de MPT teniendo en cuenta todos los departamentos (operación, mantenimiento, ingeniería, I+D, comercial, logística, etc.).
4. Involucrar en este proceso a todos, desde la dirección hasta el último trabajador.
5. Promover MPT a través de una acción de dirección para crear los grupos de pequeñas actividades e ideas.

## **Sistema Alternativo de Mantenimiento (SAM)**

Es un sistema integrador de varios de los sistemas tradicionales y se caracteriza por su flexibilidad, es aplicado en la Industria Mecánica, en la Industria Ligera y especialmente en la Industrial Textil Cubana. [Portuondo Pichardo, 1989].

El 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. 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].

El SAM incluye, por lo general los sistemas:

- Mantenimiento Preventivo Planificado (MPP).
- Mantenimiento Predictivo o por Diagnóstico.
- Mantenimiento Correctivo.
- Mantenimiento de Línea.

Según Portuondo Pichardo [1989] las ventajas que el SAM representa para una organización se encuentran:

- 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 alta disponibilidad 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 halla previsto que se debe ejecutar un trabajo de reparación.

La metodología para desarrollar el SAM consta de los pasos siguientes:

1. Clasificación de los equipos en grupos (1,2 y 3).
2. Determinación del grado de laboriosidad.
3. Determinación de la carga de trabajo.
4. Determinación del personal capacitado necesario.
5. Confecciones del Plan Anual de Trabajo de Mantenimiento.

## **Mantenimiento Centrado en el Negocio (BCM por sus siglas en inglés)**

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].

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.

### **1.5 Metodologías para la selección del tipo de mantenimiento**

En la literatura especializada se han presentado una variedad amplia de propuestas encaminadas a decidir el tipo de mantenimiento más apropiado a aplicar a cada equipo. Estas propuestas pueden dividirse en dos tendencias fundamentales, la primera está relacionada a la presentación de metodologías que, al considerar varios factores, permiten decidir directamente

la política de mantenimiento a seguir en cada situación específica; la segunda estrategia, de mucho auge en la actualidad, consiste 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.

### **Metodologías para la selección directa del tipo de mantenimiento**

En la literatura se pueden 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 el procedimiento de la filosofía RCM (Reliability Centered Maintenance ), el referido al Análisis Multicriterio [Alsyouf, 2004; De Freitas Cordeiro, 2005; Toskano Hurtado, 2005; Forslund, 2006; Alfonso Llanes et al., 2008d], y el correspondiente al Sistema Alternativo de Mantenimiento (SAM) [Portuondo Pichardo et al., 1989; De la Paz Martínez, 1996; Aguilera Martínez, 2001] utilizado en varias industrias cubanas. Otra de las metodologías empleadas es el análisis del riesgo asociado a los diferentes modos de fallos que se pueden presentar en dichos equipos, todo ello llevado a cabo a través de la llamada “Matriz de Riesgo” [Yañez Medina, Gómez de la Vega, y Valbuena Chourio, 2004; García González-Quijano, 2004; HM Treasury, 2006]. 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; Thompson, 2004 y Alsyouf, 2004].

### **Metodologías para la selección basadas en la clasificación del equipamiento**

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, 2001; Christensen, 2006; Alfonso Llanes et al., 2006d; Alfonso Llanes et al., 2007; Alfonso Llanes et al., 2008d; Alfonso Llanes et al., 2008h]. La clasificación de un componente como crítico supondrá la exigencia de establecer alguna tarea eficiente de mantenimiento preventivo que permita atajar sus posibles causas de fallo. En la tabla 2.1 se muestran las diferentes clasificaciones del equipamiento propuestas en la literatura consultada.

**Tabla 1.1: Clasificación del equipamiento**

<b>Fuente</b>	<b>Clasificación</b>
MINBAS [1986]	Fundamentales para la producción No fundamentales para la producción
Ochoa Crespo [1994]	Máxima categoría Categoría media Categoría regular Categoría mínima
Vinicius Lucatelli y García Ojeda [1995]	De soporte directo a la vida Con sustitución periódica y obligatoria de piezas Que ofrece altos niveles de energía Con intervalo de mantenimiento normalizado
De la Paz Martínez [1996]	Muy importantes o fundamentales Normales o convencionales Auxiliares
González Danger y Hechavarría Pierre [2002] Torres [2003]	Importancia A Importancia B Importancia C
Torres [1997] Huerta Mendoza [2001] García Garrido [2003] Yañez Medina [2004] Cardoso Morais [2004] Borroto Pentón [2005] Christensen [2006]	Alta criticidad (clase A) Mediana criticidad o importantes (clase B) Baja criticidad o prescindibles (clase C)

**Fuente: adaptada de Borroto Pentón [2005]**

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 análisis de Modos de Fallo y Criticalidad (FMECA, Failure Modes, Effects and Criticality Analysis) [Fernández Pérez et al., 2003; García González-Quijano, 2004; Ojeda, 2006]. El método más generalmente utilizado 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. Existe un grupo de estos criterios que son comunes a la mayoría de las propuestas, dígame: seguridad, impacto ambiental, costo de reparación, pérdida de producción y tiempo de reparación.

Estas propuestas adolecen de no considerar la ocurrencia potencial de fallos o interrupciones simultáneas (fallos múltiples), las cuales pudieran ser, en conjunto, de mayor criticidad aunque, por lo general, se trate de equipos de baja criticidad individual, y es necesario realizarle adecuaciones para el caso de operaciones de procesos continuos.

A continuación se definen las variables consideradas en el algoritmo de decisión planteado por Alfonso Llanes [2008h], así como los posibles efectos (niveles) que, ante un fallo del equipamiento, se pueden presentar en cada una de ellas.

**Seguridad:** capacidad del fallo de ocasionar daño a las personas que se encuentran en la zona donde opera el equipo o en general al medio ambiente.

Nivel 1: el fallo del equipo provoca efectos graves sobre los operarios y/o sobre el medio ambiente.

Nivel 2: el fallo del equipo trae consigo riesgos para los operarios y/o para el medio ambiente.

En la tabla 2.2 se muestran las características a considerar en estos dos niveles.

Nivel 3: el fallo del equipo no trae riesgos para los operarios ni afecta al medio ambiente.

**Tabla 1.2 Características de los niveles de la variable Seguridad**

	<b>Medio ambiente</b>	<b>Operarios</b>
<b>Efectos Graves</b>	-El fallo provoca afectaciones al medio ambiente que, además, pueden ocasionar enfermedades a los operarios que laboran en el área.  -El fallo ocasiona una contaminación fuera de las especificaciones permisibles.	-El fallo causa la muerte del operario.  -El fallo inhabilita totalmente al operario para seguir laborando
<b>Riesgos</b>	-Las consecuencias del fallo provocan alguna contaminación medioambiental pero dentro de los límites permisibles.	-Las consecuencias del fallo pueden causar algunos de los riesgos definidos en la empresa sin llegar a causar efectos graves en el operario.

**Fuente: Alfonso Llanes [2008]**

**Calidad:** nivel de afectación a la calidad del producto que conlleva el fallo del equipo.

Nivel 1: el fallo del equipo provoca producciones defectuosas sin posibilidades de reprocesamiento.

Nivel 2: el fallo del equipo afecta la calidad del producto pero el mismo puede ser reprocesado.

Nivel 3: el fallo del equipo afecta ligeramente o no afecta la calidad del producto.

**Régimen de trabajo:** cantidad de tiempo que opera el equipo en la jornada de trabajo.

Para llevar a cabo la clasificación de esta variable se propone emplear el criterio “tasa de utilización (tu)”, el cual puede agravar o reducir la incidencia del fallo sobre la misma.

Nivel 1: el equipo es utilizado intensivamente ( $tu \geq \bar{tu}$ )

Nivel 2: el equipo es utilizado medianamente ( $\bar{tu}/2 \leq tu < \bar{tu}$ )

Nivel 3: el equipo es de uso ocasional o de baja utilización ( $tu < \bar{tu}/2$ )

**Afectaciones:** se asocia al efecto del fallo del equipo en el proceso y su capacidad de interrumpirlo de forma total o parcial.

Nivel 1: el fallo del equipo provoca la interrupción total de la producción/servicio.

Esta situación se puede ocasionar cuando se presenta alguna de las situaciones siguientes:

- El fallo del equipo inhabilita al equipo o a la instalación.
- El fallo se presenta en el equipo limitante de la planta o en un equipo de una línea de producción continua.
- El equipo que falla es redundante y existe la probabilidad de un fallo múltiple. La probabilidad de que se produzca un fallo múltiple durante un período dado está regida por la situación donde falla el equipo de reserva (B) mientras el equipo base (A) aún se encuentra averiado, sea, el Tiempo Medio Para Reparación del equipo base (A) es mayor que el Tiempo Medio Entre Fallos del equipo de reserva (B) [ $TMPR_A > TMEF_B$ ]. En los casos donde exista más de un equipo de reserva se realizaría este análisis a través del tratamiento que se le da a la configuraciones stand by con múltiples máquinas [Baraza Calvo, 2003].

Nivel 2: el fallo del equipo provoca la interrupción de un sistema o unidad importante.

Nivel 3: el fallo del equipo no afecta la producción/servicio.

Esta situación se puede ocasionar cuando ocurre alguna de las situaciones siguientes:

- El fallo se presenta en un equipo auxiliar o en un equipo cuyo nivel de utilización es medio o bajo (posee capacidad suficiente para restablecer el fallo sin afectar el resultado final de la producción/servicio).
- El fallo se presenta en un equipo redundante y su falla no afecta el proceso de producción/servicio. Esta situación se presenta cuando el Tiempo Medio Para Reparación del equipo base (A) es menor que el Tiempo Medio Entre Fallos del equipo de reserva (B) [ $TMPR_A < TMEF_B$ ], o sea, el equipo de reserva asume la producción mientras al equipo base se le restablecen sus condiciones de funcionamiento. En los casos donde exista más de un equipo de reserva se realizaría este análisis a través del tratamiento que se le da a las configuraciones stand by con múltiples máquinas [Baraza Calvo, 2003].

**Frecuencia de fallos:** cantidad de fallos de cualquier componente del sistema por período de utilización (fallos/unidad de tiempo).

Para la evaluación de esta variable se utilizará el indicador “tasa de fallos ( $\lambda$ )”, la cual está dada por el número de fallos que se generan en un determinado período (se recomienda utilizar el período de un año).

Nivel 1: muchas paradas ocasionadas por los fallos ( $\lambda > \bar{\lambda}$ ).

Nivel 2: paradas ocasionales ( $\bar{\lambda}/2 \leq \lambda \leq \bar{\lambda}$ )

Nivel 3: paradas poco frecuentes ( $\lambda < \bar{\lambda}$ )

**Tiempo de reparación:** tiempo necesario para reparar el fallo.

Nivel 1: el tiempo promedio de reparación del equipo ante un fallo es elevado ( $TMPR > \overline{TMPR}$ )

Nivel 2: el tiempo promedio de reparación del equipo ante un fallo es moderado ( $\overline{TMPR}/2 \leq TMPR \leq \overline{TMPR}$ )

Nivel 3: el tiempo promedio de reparación del equipo ante un fallo es pequeño ( $TMPR < \overline{TMPR}/2$ )

**Costo de reparación:** costo asociado a la reposición del estado de funcionamiento del elemento que ha fallado (costo del fallo).

Nivel 1: el costo promedio de reparación del equipo ante un fallo es elevado ( $Cr > \overline{Cr}$ )

Nivel 2: el costo promedio de reparación del equipo ante un fallo es moderado ( $\overline{Cr}/2 \leq Cr \leq \overline{Cr}$ )

Nivel 3: el tiempo promedio de reparación del equipo ante un fallo es pequeño ( $Cr < \overline{Cr}/2$ )

Como se ha podido observar en las variables régimen de trabajo, tiempo de reparación y costo de reparación se ha utilizado la estimación de la media en la caracterización de cada uno de sus niveles, sin embargo, esta medida puede verse afectada por la presencia de valores extremos en el conjunto de datos analizados. Para el tratamiento (detección) de este tipo de valores se propone emplear el Criterio Variacional de Dixon [Dixon y Massey, 1976]. En el caso de que un determinado valor “X” sea catalogado como extremo, entonces no se consideraría en el cálculo de la media aunque sí se tendría en cuenta a la hora de determinar el nivel que en el equipo que se esté analizando alcanzaría dicha variable.

Se tomará un año como período de tiempo para el cálculo de los diferentes parámetros ( $C_r$ ,  $t_u$ ,  $\lambda$ , TMEF, TMPR) que caracterizan a cada variable.

Un elemento importante a considerar cuando se realizan análisis de este tipo, relativos al equipamiento productivo, lo constituye el tipo de producción continua dado que en estos sistemas es necesario analizar la línea de producción como una sola máquina debido a la interdependencia y sincronización que existe entre los diversos equipos que la conforman, pues el fallo de uno de ellos causa la parada total del proceso sin importar la posición que ocupe en la línea, a menos que se disponga de unidades de reserva para cubrir los picos de demanda. Estas características de la producción continua van a surtir efectos en varias de las variables del algoritmo presentado, dígase: régimen de trabajo, afectaciones, calidad y frecuencia.

Además existe un grupo de autores que han desarrollado metodologías para analizar el tipo de mantenimiento a aplicar a cada equipo, desarrollando la toma de decisiones a partir de las variables: criticidad del equipamiento y clasificación de los fallos. A continuación se describe el análisis realizado por algunos de ellos.

Torres [1997] establece una metodología agrupando el equipamiento en tres clases (A, B y C) con características específicas (ver tabla 2.3), clasificando los equipos según tres niveles (1, 2 y 3) de las variables: Seguridad (S), Calidad (Q), Régimen de Trabajo (RT), Afectaciones o Confiabilidad Operacional (CP), Frecuencia de Fallas (F) y Costo (C) a través de un flujograma (ver anexo 1).

**Tabla 1.3: Clasificación del equipamiento**

<b>Clase de equipamiento</b>	<b>Características de la clase</b>	<b>Concepto</b>
A	Necesidad de operar a plena capacidad, siempre es solicitado	Disponibilidad máxima
B	La falta de este equipo afecta directamente el proceso productivo	Fallo mínimo
C	La falta de este equipo no trae consecuencias relevantes	Costo mínimo

**Fuente: Torres, 1997**

El propio autor propone según las fallas caracterizadas para cada clase de equipo, varias variantes de mantenimiento (ver tabla 1.4):

**Tabla 1.4: Estrategias de mantenimiento por clase según el fallo**

Clase	Características de los fallos			
	PFD ←	PDD	APF ←	AMF
	Políticas de Mantenimiento Aplicables			
A	A ↑ B ↑ E ↑ F ↑	B ↑ F ↑ A ↑ E ↑	A ↑ E ↑ F ↑ - ↑	F ↑ A ↑ E ↑ - ↑
B	A ↑ B ↑ E ↑ F ↑	B ↑ F ↑ E ↑ - ↑	E ↑ F ↑ D ↑ - ↑	F ↑ E ↑ D ↑ - ↑
C	A ↑ C ↑ E ↑ F ↑	C ↑ E ↑ F ↑ - ↑	E ↑ F ↑ - ↑ - ↑	E ↑ F ↑ - ↑ - ↑

**Fuente: Torres, 1997**

Siendo las clasificaciones de los fallos del equipamiento:

- Periódicos de Fácil Detección (PFD)
- Periódicos de Difícil Detección (PDD)
- Aleatorios Muy Frecuentes (AMF)
- Aleatorios Poco Frecuentes (APF)

Las políticas a mantenimiento a aplicar son:

A: Mantenimiento Preventivo con Base a la Condición (Predictivo).

B: Mantenimiento Preventivo a Intervalos Constantes.

C: Mantenimiento Preventivo con Base en la utilización de los recursos Constantes.

D: Mantenimiento Preventivo de Oportunidad.

E: Mantenimiento Correctivo.

F: Mantenimiento de Memoria.

## **1.6 Mantenimiento en Cuba**

En Cuba, antes de 1959 y con la excepción de determinadas industrias, no existía una cultura de mantenimiento, y no fue sino hasta 1961 cuando comenzó a promoverse el respeto hacia esta actividad, a partir de la introducción del Mantenimiento Preventivo Planificado en el otrora Ministerio de Industrias. En 1976, la Ley No. 1323, de Organización de la Administración Central del Estado, estableció entre las atribuciones y funciones principales del Ministerio de la Industria Sidero-Mecánica, "...la elaboración de Normas de Mantenimiento y Explotación para las Máquinas-Herramienta del País", constituyéndose así el Sistema de Mantenimiento Preventivo Planificado (MPP) para las Máquinas-Herramienta de Arranque de Virutas, Conformado de Metales, Elaboración de Madera, Equipos de Fundición, Equipos de Izaje y Transportación, integrado por normas y procedimientos de gran importancia técnica y económica. El sistema fue implantado en todas las empresas del citado Ministerio.

En 1981 se estableció, como un lineamiento para el desarrollo de la industria: "Ejecutar una política sistemática de mantenimiento y reparaciones generales que permitan garantizar o restituir las capacidades potenciales a las unidades..." y, a partir de la política trazada en el país en relación con el mantenimiento, la mayoría de las empresas cubanas asumieron el Sistema de Mantenimiento Preventivo Planificado, conocido por las siglas MPP, adaptándolo a sus características.

La adaptación del MPP de las máquinas-herramienta a equipos de otro tipo se realizó muchas veces a base de conocimientos empíricos y no científicos (estudios de modos de fallo o de fiabilidad) como era menester, pero el progreso científico-técnico ha demostrado que esa adaptación y la adopción de un sistema único de mantenimiento para toda la industria no es una opción justificable técnica ni económicamente pues no obstante a sus múltiples ventajas, el Sistema de MPP, que es el más extendido en Cuba, tiene también grandes desventajas entre las que se destacan:

- 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.

Cabe destacar que, en 1985, el Ministerio de la Industria Básica (MINBAS) aprobó una nueva política de mantenimiento para sus empresas, que cambió la óptica del ya tradicional sistema de MPP a sistemas más adecuados a las características de las mismas, en particular se implementó el Sistema de Mantenimiento por Diagnóstico [MINBAS, 1986].

Hasta 1989, en todas las empresas textiles cubanas se aplicó el Sistema de Mantenimiento Preventivo Planificado (MPP) reglamentado en el Manual General de Procedimientos [MINIL, 1984] en el que se establece tres reparaciones diferentes: las reparaciones reguladas o después de cierto número de horas de operación del equipo, las reparaciones después de efectuadas las inspecciones y las reparaciones preventivas planificadas.

Durante los años 90, la economía cubana pasa por un profundo proceso de reconversión, debido a los cambios necesarios para salir adelante con una producción de calidad y al menor costo posible. Dentro de los ingentes esfuerzos por la producción, muchos no recordaron la importancia que tiene la actividad integral de mantenimiento para el logro de ese objetivo cardinal, surgiendo con frecuencia innumerables contradicciones entre mantenimiento y producción. Y es que también tenía que producirse la reconversión en el mantenimiento, comenzando por entender que el sistema de 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.

### **1.7 Mantenimiento en la Industria Alimenticia Cubana**

El sistema de gestión de mantenimiento se rige por un manual de sistema de mantenimiento (MPP), para el sector de la industria alimenticia reelaborado a finales de la década de los 90 por un equipo de expertos, donde se traza los requerimientos a aplicar en cada una de las actividades dentro del proceso, el mismo por el tiempo que lleva en su aplicación no ha sido rediseñado trayendo consigo deficiencias en la mejor técnica que debe aplicarse en cada uno de los equipos disminuyendo su disponibilidad y aumentando las fallas en los distintos equipos.

## **1.8 Conclusiones parciales**

1. A partir de la realización del presente capítulo se obtiene una base teórica sustancial para la presente investigación, donde para la mayoría de los autores referidos consideran que a nivel empresarial, no se debe optar por un solo mantenimiento, sino que deben aplicarse varios en dependencia de la función operacional que desempeñe cada equipo en la organización.
2. Las metodologías para la selección del tipo de mantenimiento son variadas y consideran diferentes aspectos (variables). Para el desarrollo de esta investigación se decidió aplicar la propuesta por Espinoza-Martínez en el 2010 porque además de recoger variables y criterios de otros autores también considera las variables seguridad del personal y consumo energético.

## Capítulo 2

### Capítulo 2: Caracterización de la entidad objeto de estudio y diagnóstico del mantenimiento en la misma

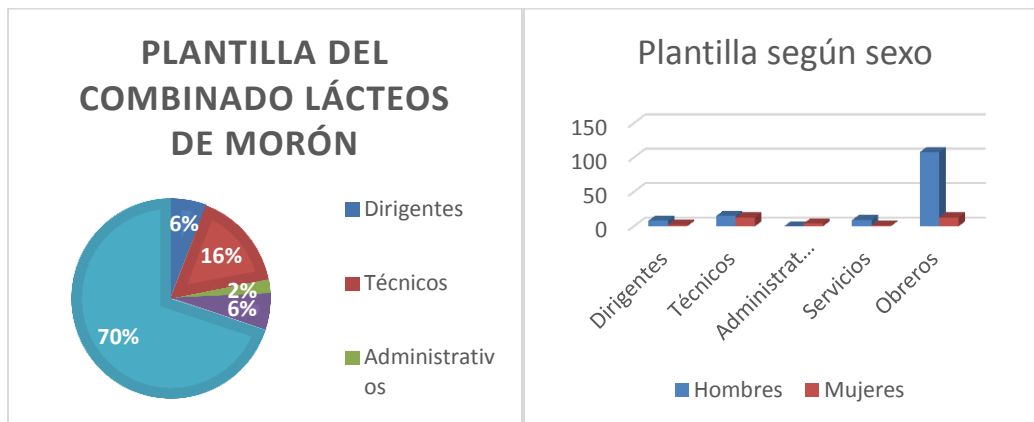
#### 2.1 Introducción

Se construye este capítulo para dar solución al problema científico planteado y como respuesta a las conclusiones parciales arribadas en el Capítulo I, para ello se caracteriza la entidad objeto de estudio y se realiza un diagnóstico de la situación actual del sistema de mantenimiento de los equipos del Combinado Lácteo de Morón.

#### 2.2 Caracterización de la entidad

El Combinado Lácteos Morón perteneciente a la empresa de Productos Lácteos de Ciego de Ávila se encuentra ubicada en el circuito Norte Km 31/2 de la propia ciudad con trabajadores organizados dentro de las categorías ocupacionales que se muestran en los gráficos siguientes:

**Gráfico 2.1: Plantilla según categoría ocupacional y sexo**



**Fuente: Elaboración propia**

Para una mejor comprensión de la estructura de la entidad se muestra en el **anexo 2** el organigrama de dicha empresa

Este centro ostenta la condición de Vanguardia Nacional durante 16 años consecutivos por los resultados obtenidos. Fue creado en 1972 donde existía un molino de arroz, inicialmente solo se acopiaba en pequeños puntos leche en cantinas, no existían departamentos, ni laboratorio se hacían solamente pequeños análisis.

Posteriormente a esta fecha se fueron incorporando distintas áreas, los departamentos de apoyo a la producción y se equipó un laboratorio para realizar toda la microbiología necesaria, cultivos, acidez, pesos, desinfección de utensilios, etc.

El objeto social de la entidad es la prestación de servicios con sus producciones a los principales clientes los cuales se listan a continuación: la canasta básica de la población (niños y embarazadas), Sectores militares, Empresa pesquera Pesca Vila, Politécnicos de salud, Campismos populares, OEE Combinado del yeso "Punta Alegre", INDER, contingentes, Unidades básicas ferroviarias, hospitales, PCC, Empresa porcina, MINAZ, Empresa Mayorista Suministro de Alimento de la Habana, Unidades administrativa de Base Central y Aseguramiento de la Habana, escuelas, universidades, Asociación de combatientes, empresas Mixtas, empresa de establecimiento, Empresa de materiales de la construcción, Empresa de bebidas y refresco, UNEAC, y otras de su tipo como la empresa de productos lácteos Camagüey y el combinado lácteo de Santis Spiritus "Río Zaza".

Los principales proveedores lo constituyen: sector campesino, las CPA, las CCS, granjas, UBPC, Empresa pesquera, Empresa de flora y fauna, MINAZ, Acueducto y alcantarillado, MINAL, beneficio del tabaco, Empresa de cultivos varios, Empresa cárnica y CUPET.

Dentro de las líneas de producción que presenta la entidad se encuentran: yogurt saborizado para el turismo, yogurt natural, yogurt de soya, leche fluida, helado, queso blanco nacional, queso fundido, queso de divisa y la línea de refrigeración que no produce un producto como tal pero está muy vinculada con las demás líneas. En el **anexo 3** se muestra el flujo productivo de algunas de estas líneas, las cuales son explicadas a continuación.

El procesamiento en la línea de leche fluida comienza con el acopio de la leche, luego pasa a la operación de enfriamiento y filtrado, siendo almacenada en tanques, después pasa a la operación de estandarización, luego a la pasteurización y por último a envasado, terminando con el almacenamiento en frío.

En la línea de yogurt de soya se recepciona la leche, se pasteuriza añadiéndole sirope, se refresca uno minutos en reposo, luego pasa a la inoculación donde se encuba y después se agita hasta romper la coagulación, al terminar se enfría, se embolsa y se almacena en la nevera.

El yogurt saborizado para el turismo se recibe al igual que las demás líneas, luego se filtra y enfría, se estandariza, se pasteuriza a una temperatura entre 85 y 90 °C, se refresca hasta 42-

46 °C, posteriormente se inocula al 30 % y se enfría de 2-6 °C, se almacena en frío, se envasa y sella con la retractiladora y finalmente se distribuyen.

En el caso del yogurt natural, al recibir la leche se filtra y enfría como las demás líneas de yogurt para después estandarizarse y pasar a la pasteurización, luego se enfría, se inoculan con el cultivo industrial, se llena, después se incuba sin el cultivo industrial, se vuelve a enfriar, se envasa y finalmente se almacena.

En la línea del queso de divisa se recibe la leche al igual que las anteriores líneas de producción, se filtra y enfría y se pasteuriza de 71-72 °C, se le introduce un cultivo del 0.1% y cloruro de calcio de 0.35%, después se recibe a temperatura de 36 °C, se le añade el cuajo, se coagula, se corta, se desmenuza, seguidamente se realiza la cocción del grano a 39 °C, sesedimenta, se desuera totalmente, se extrae la masa y esta se desuera, luego se le agrega salmuera manteniéndolo salado a 22 °B, se le añade ajo, ají y pimienta negra, se le extrae la salmuera, se moldea, se prensa, se desmolda y se envasa al vacío, y finalmente se almacena.

En la elaboración del queso blanco nacional primeramente se inspecciona la leche durante el enfriamiento, se pasteuriza, se almacena en reposo y se inspecciona, luego se le adiciona el coagulo, se desuera, se moldea y se prensa, luego se desmolda y se almacena.

El queso fundido no recibe la leche como los demás líneas. En este caso se obtiene el coágulo de las líneas anteriores y se desmenuza en trozos más pequeños, hasta conseguir una pasta, estas pasan por el tacho, se desuera, finalmente es embolsada y almacenada.

La línea del helado, como está apartada de las demás líneas y no tiene modo de alimentarse de los tanque de recepción de leche, se le transporta la leche, al recibirla se estandariza, se mezcla y pasteuriza a 85 °C, se homogeniza, se enfría, luego pasa por un proceso de cuatro horas donde es inspeccionada, posteriormente se mezcla con el aire para ser envasado y luego congelado a -25 °C para finalmente ser almacenado.

La entidad tiene como **Visión**: La declaración de la VISION 2013 de la Empresa de Productos Lácteos de Ciego de Ávila se realizó a partir del supuesto básico de que si se cumplen los objetivos estratégicos y las políticas la posición de la empresa en el 2013 será:

- Se ha alcanzado la condición de Empresa Consolidada según el Modelo del SDGE.
- La innovación es un proceso permanente que ha llevado a la empresa a ser considerada destacada en el FORUM de Ciencia y Técnica a nivel nacional
- Existe una integración vertical con clientes y proveedores.

- Se dispone con personal de alto desempeño en la Oficina Central y todas las UEB.
- Hay una alta efectividad en el valor agregado.
- Los resultados se logran haciendo las cosas correctamente (eficacia empresarial).
- Hay una alta efectividad en el procesamiento y transmisión de datos en apoyo a la toma de decisiones.
- Se cuenta con un Banco de Software de alto desempeño.
- Se ha alcanzado el Premio Provincial de Calidad.
- Se reconoce el compromiso de la empresa con el cuidado del medio ambiente, el que anualmente se cuantifica por las toneladas de CO2 que no se arrojan a la atmósfera como resultado del control efectivo de la combustión de las calderas, y del parque de equipos automotores con que cuenta la empresa, a partir del uso y empleo de tecnologías de punta para disminuir las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera (tales como el magnetismo, quemadores rotatorios, etc.).

Proyectándose como **misión:** La Empresa de Productos Lácteos de Ciego de Ávila, produce una amplia gama de productos lácteos, destinados a satisfacer de forma competitiva las exigencias de los clientes en cuanto a calidad. Para ello cuenta con un Capital Humano autopotenciable, caracterizado por su seriedad, profesionalidad y compromiso con el medio ambiente.

### **2.2.1. Caracterización del departamento de mantenimiento de la empresa objeto de estudio**

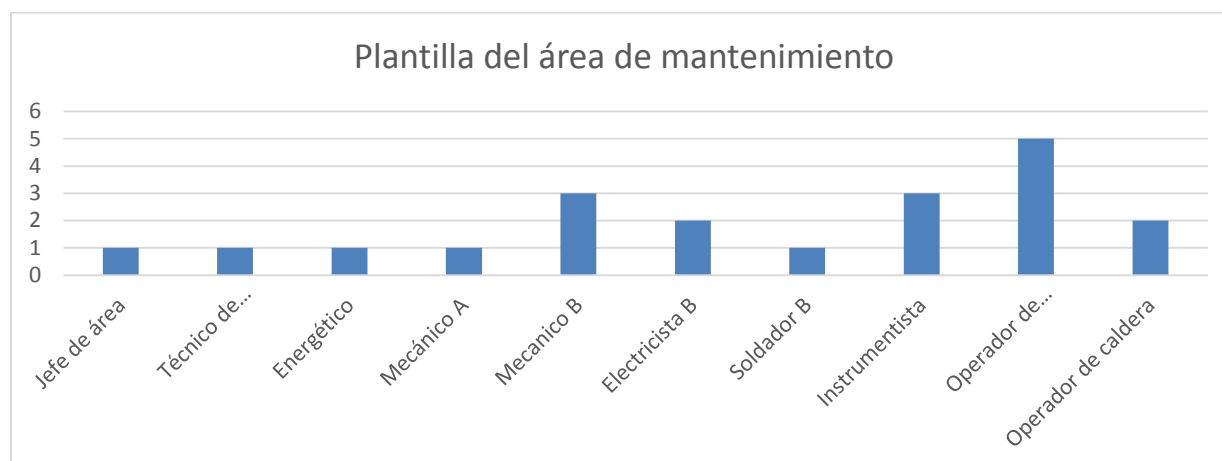
El taller de mantenimiento tiene como misión agrupar a todo el personal encargado de realizar las reparaciones tanto a equipamiento tecnológico, auxiliares, máquinas y herramientas, edificios aledaños, fabricación y recuperación de piezas de repuesto, así como la conservación y cuidado de todas las áreas del centro. El objetivo fundamental del área no es más que asegurar que en la empresa de Productos Lácteos los equipos estén en estado óptimo, con una disposición de más del 90% de su funcionamiento.

La estructura organizativa del departamento está conformada por las áreas siguientes:

- Área de soldadura
- Área de refrigeración
- Área eléctrico
- Área de instrumentación
- Área de mecánicos industriales

El área cuenta con una plantilla aprobada de 20 trabajadores y en estos momentos se encuentra ocupada totalmente como se muestra en el gráfico 2.2.

**Gráfico 2.2: Plantilla del área de mantenimiento según categoría ocupacional**



**Fuente: Elaboración propia**

En el **anexo 4** se muestra el organigrama del área de mantenimiento para una mejor comprensión de esta.

La planificación del mantenimiento en el área comienza con la elaboración del Plan anual, el cual va siendo desglosado gradualmente hasta llegar a la planificación diaria. La mayoría de las acciones de planificación se desarrollan basadas en la experiencia de los trabajadores de más tiempo en la entidad. De igual manera se planifican las piezas de repuesto, definiéndose las cantidades necesarias para la planificación anual y las fechas en que serán entregadas. La solicitud general de la entidad es entregada a la Dirección provincial donde se van a suplir aquellas piezas que se posean en los almacenes a dicho nivel, el resto de la demanda será programada su compra a terceros.

Los tipos de mantenimiento que se utilizan en la entidad son el preventivo, en menor cuantía, y el correctivo. Aunque los planes se desarrollan basados principalmente en acciones preventivas, en muchos casos estas se desarrollan de manera correctiva debido a la falta de los recursos necesarios para realizar las operaciones de reparación oportunamente. Luego de realizadas tanto las operaciones de mantenimiento planificado como las imprevistas, se realiza la revisión y seguimiento del desempeño del equipamiento.

Para garantizar la aplicación eficaz de la metodología de selección propuesta, en primer lugar, se definió el grupo de expertos **ver anexo 5**. En la tabla 2.1 se muestran algunos datos de los especialistas que conforman este grupo de trabajo en la empresa objeto de estudio. El proceso de selección se desarrolló teniendo en cuenta que los mismos tuvieran suficientes conocimientos sobre el tema a tratar y experiencia en la tarea, de manera que garantizaran resultados consecuentes con el objetivo perseguido

**Tabla 2.1 Datos de los expertos seleccionados**

Ocupación	Experiencia
Jefe de área de mantenimiento	41
Electricista B	29
Técnico de mantenimiento	32
Soldador B	12
Operador en refrigeración	6
Mecánico A en refrigeración	42
Energético	18
Instrumentista	13

**Fuente: elaboración propia.**

### **2.3 Análisis del mantenimiento en el centro**

En el centro actualmente el mantenimiento que se le aplica es el Mantenimiento planificado establecido por la RESOLUCION de agosto del 94.

.Se realiza un análisis en los siguientes aspectos:

- Historial de equipos y documentación técnica
- Órdenes de trabajo
- Nivel de informatización.
- Programación del plan de mantenimiento

#### **Historial de equipos y documentación técnica**

Documentación técnica: La documentación técnica existe para todos los equipos y en ella se reflejan los diferentes datos sobre cada equipo en específico. Se tienen datos como: nombre del equipo, marca, modelo, capacidad, país, ciclos de mantenimiento, etc. En esta consta además de tarjeta de record de reparaciones efectuadas, la tarjeta de control de piezas de repuestos y la guía de lubricación. Aparecen también las herramientas a utilizar, así como las piezas más importantes del equipo y su costo. **(Ver anexo 6).**

Historial de equipos: El área de mantenimiento no se lleva un control estricto sobre los equipos. En dicho historial debe aparecer el tiempo de funcionamiento del equipo, tiempo medio entre fallas, la frecuencia y duración de las averías, sus causas y otros datos que son importantes a la hora de actuar sobre los mismos, pero la mayoría del tiempo esto no se hace pues como es

un trabajo que se debe realizar de forma manual, resulta un poco trabajoso para la técnico de mantenimiento que es quien debe llevar dicha actividad.

### **Órdenes de trabajo**

Órdenes de trabajo: Las órdenes de trabajo pueden ser planificadas o imprevistas. La elaboración de una orden de trabajo correctiva o imprevista se realiza posterior al surgimiento de una solicitud de trabajo la cual se recepciona en la mayoría de los casos de forma escrita.

Las órdenes de trabajo correctivas del área de mantenimiento contienen datos como: número de orden, fecha, nombre, calificación y firma de la persona que solicita la orden, especialidad, hora, descripción del trabajo a realizar, nombre y firma del operario que realiza la actividad así como del que se responsabiliza y el tiempo trabajado. **(Ver anexo 7).**

Las órdenes de trabajo planificadas son elaboradas por el técnico de mantenimiento y este se encarga de entregarlas a la persona que sea designada para la ejecución de la actividad. La diferencia de las órdenes existentes está en que una se planifica y la otra se solicita. El contenido de las mismas se registra en un documento que contiene: fecha, número de orden, departamento, descripción del trabajo, área o especialidad y operario que realiza la actividad.

Todas las actividades anteriores relacionadas con las órdenes de trabajo se realizan en la recepción del área de mantenimiento. Una vez que la orden sea cumplida, se guarda en la carpeta que corresponde a esta actividad.

Las órdenes planificadas se realizan de acuerdo al plan de MP elaborado por el técnico de mantenimiento y distribuido para cada trabajador en específico.

Existe en esta área el documento donde se registran los datos relacionados con las órdenes de trabajo, que recoge toda la información sobre el trabajo con el equipamiento.

### **Nivel de informatización**

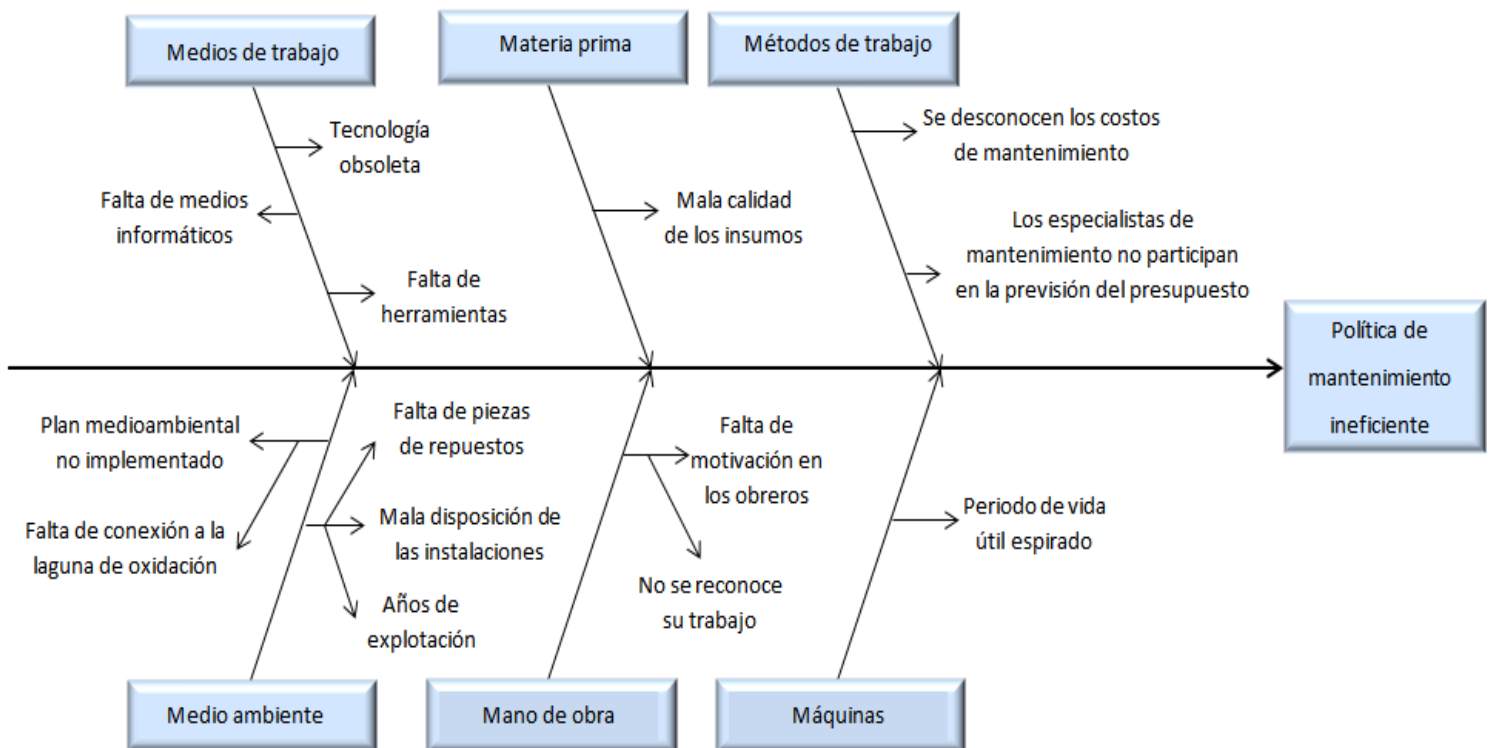
El área de mantenimiento del centro no cuenta con sistema alguno de informatización para la realización de sus actividades. Según el resultado de la entrevistas aplicada, los trabajadores reconocen la importancia y necesidad de un sistema automatizado para el área de mantenimiento, pero el centro no dispone de presupuesto destinado a la adquisición de un sistema informatizado para tal área y no están creadas las condiciones en cuanto a la información con el fin de programar sus mantenimientos y llevar la historia de cada uno de ellos.

## Programación del plan de mantenimiento

El plan de mantenimiento no existe ya que como el que se aplica es MCC, lo que existe es una guía de mantenimiento. Al verificarse la documentación que se consultó, esta releva una inexistencia de un sistema de mantenimiento adecuado para los equipos de la empresa, pues no cuenta con un sistema de mantenimiento documentado, si no que se basa en el empleado por el Manual de Organización, Mantenimiento y Reparaciones, por lo que no se tiene en cuenta las características específicas de los equipos especializados, ni la frecuencia de los fallos de los mismos y el tipo de trabajo en los cuales están siendo usados.

El equipo de expertos también detectó algunos de los principales problemas que existen en la empresa con relación a la actividad de mantenimiento, dichos problemas se muestran en la figura 2.1.

**Figura 2.1: Diagrama causa-efecto**



**Fuente: Elaboración propia**

Teniendo en cuenta los problemas detectados por los expertos, referentes a cada elemento mencionado con anterioridad (materias primas, medio ambiente, máquinas, mano de obra,

métodos y medios de trabajo), y suponiendo que todos los problemas de dirección, calidad, logísticos etc. estuvieran resueltos el sistema de mantenimiento que se posee actualmente no resuelve los problemas ya que, en principio, no es justificable pensar que una organización en su totalidad se rija por un único tipo de mantenimiento; puesto que cada equipo ocupa una posición y una función desigual en el proceso industrial, siendo así es posible definir a cada medio de trabajo características propias que por ende las que lo hacen diferente del resto, incluso de otros similares. Es por ello que siguiendo estas cuestiones, la autora del estudio está de acuerdo con los planteamientos realizados por los diferentes autores analizados en el capítulo anterior, pues considera que es errático concebir a todos los equipos de una organización con un mismo tipo de mantenimiento sin analizar la función que cumplen de manera independiente y con ello, los años de utilización de cada uno, los cuales también influyen en la forma de planificación del mantenimiento, entre otros aspectos de vital importancia que constituyen la razón por la cual es primordial la ejecución de la presente investigación.

#### **2.4 Conclusiones parciales**

- El sistema de mantenimiento empleado no es el más adecuado, pues no permite garantizar en su totalidad los objetivos que se le exigen dentro de la entidad objeto de estudio, por lo que se hace necesario implementar estrategias de mejora en su planificación.

## **Capítulo 3**

### **Capítulo 3: Aplicación del procedimiento seleccionado**

#### **3.1 Introducción**

En este capítulo se propone un procedimiento de selección del tipo de mantenimiento a aplicar al equipamiento productivo del Combinado Lácteos Morón. . El objetivo principal del procedimiento que se propone es garantizar la máxima disponibilidad del equipamiento con un óptimo empleo de recursos.

Existen múltiples tendencias para establecer los sistemas de mantenimiento y generalmente se seleccionan atendiendo a la política de la empresa y los requerimientos de calidad, seguridad y mercado, además de las características del proceso productivo.

En principio 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.

#### **3.2 Metodología para la selección del tipo de mantenimiento a aplicar**

De acuerdo en el criterio de los autores consultados al respecto en la literatura especializada, existen distintos procedimientos para la selección de alternativas de sistema de mantenimiento a equipos entre los que se encuentran [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; Torres Daniel, 2005]; sin embargo, cada uno presenta sus ventajas y desventajas desde el punto de vista de su aplicación práctica, según fue analizado en el Capítulo I de esta Tesis. En este sentido, el autor se inclina por adoptar la metodología propuesta por Espinosa-Martínez (2010), ya que en ella se tienen en cuenta aspectos como seguridad, medio ambiente, energía eléctrica, producción y calidad.

A continuación se ofrece una explicación detallada del procedimiento antes señalado.

Este procedimiento se divide en tres etapas (ver figura 3.1) las cuales se explican a continuación:

**Figura 3.1: Procedimiento de selección de alternativas de mantenimiento para los equipos**



**Fuente: Espinosa Martínez, 2010**

### **Etapa 1. Estado actual del equipo**

A la mayoría de las empresas que carecen de un sistema de manteniendo, les resulta normal ver a los equipos siendo usados por encima de su capacidad, lo que provoca daños como, deterioro más rápido, pérdida de calidad en el producto y fallas constantes en el tiempo.

Si el equipo no se somete a un mantenimiento periódico, tal como lo establece el proveedor de la maquinaria, entonces la empresa deberá estar consciente de las posibles pérdidas por consecuencia del estado del equipo.

Cuando se establecen órdenes de trabajo previamente planeadas según las especificaciones del proveedor, y se llevan a cabo, se asegura una disminución considerable de los daños previamente comentados.

Por lo tanto, el mantenimiento Preventivo, también dependerá del estado actual de la maquinaria y equipo, porque sobre esta base, se conocerá su tiempo de vida actual, la carga a la que puede ser sometido y la calidad con que puede responder a las especificaciones establecidas. Se podrá, en algunos casos, alargar el tiempo de vida, y mejorar la calidad obtenida de cada equipo.

### **Antigüedad del equipo**

Otro factor importante de los equipos es su antigüedad, porque al igual que en el punto anterior, conociéndolo se podrán identificar las exigencias que se les puedan pedir en calidad y capacidad.

Muchas empresas trabajan con equipos que sobrepasan el tiempo de vida establecido previamente por los proveedores, esto se debe a los altos costos que representa el adquirir un nuevo equipo, la capacitación del personal que lo usará, y los cambios que habrá por la diferencia de capacidad de este. Si no se hace la inversión necesaria para adquirir nuevos elementos de producción, entonces el departamento de mantenimiento se debe acoplar a los recursos actuales, haciéndolos funcionar de la mejor manera posible.

### **Utilización**

Si los equipos son utilizados a su máxima capacidad para obtener los niveles de eficiencia y utilización que les demandan al área de producción, entonces el tiempo que estos equipos quedan “libres” para trabajar en ellos, dándoles el mantenimiento necesario, se ve disminuido o en ocasiones eliminado.

Por esto es necesario establecer ciertas normas, mediante las que se intente disminuir un poco la carga de trabajo de los equipos, para poder darles un mantenimiento periódico. Este punto va relacionado con la demanda y el volumen de producción.

También debe tomarse en consideración, cuando la empresa cuenta con una clasificación de equipos dependiendo de su importancia en el proceso de fabricación, por ejemplo según Dounce (2000) los equipos se pueden clasificar como vitales, normales o triviales. Otra clasificación es la propuesta por Torres (1997) que las clasifica como Periodo de fácil

detención, Periodo de difícil detención, Aleatorio poco frecuente y Aleatorio muy frecuente. En cualquiera de los casos, algunos equipos destacan por su importancia, y estos deben ser atendidos con mayor cuidado y diligencia.

## **Etapas 2. Clasificación de equipos**

Existen diversos criterios para esta clasificación, algunos de ellos son:

1. Por orden de importancia en A, B, C o D (según la suma de puntos como resultado de la evaluación de factores tales como: cantidad de producción, calidad, costo, seguridad, etcétera).
2. En grupos: I, II y III si son muy importantes o fundamentales, normales o convencionales y auxiliares, respectivamente.
3. En equipos fundamentales o no fundamentales en la producción.
4. En equipos de máxima categoría (categoría A) hasta ir descendiendo a la categoría "D" en función de la incidencia que tenga la consecución de un índice de productividad alto.
5. En equipos de prioridad 1, 2, 3, 4, 5 (teniendo en cuenta el nivel de riesgo al que se somete un paciente en una instalación hospitalaria, donde 1 representa un riesgo máximo)
6. Equipamiento de soporte directo a la vida, equipamiento con sustitución periódica y obligatoria de piezas, equipamiento que ofrece altos niveles de energía, equipamiento con intervalo de mantenimiento normalizado.

Después de realizar un estudio acerca de la idoneidad de estos criterios, para el caso de los equipos de la entidad, se decidió asumir la clasificación en tres grupos denominados como Clase "A", Clase "B" y Clase "C".

A modo de resumen, cada una de las variables tiene solo tres comportamientos posibles que corresponden a sus valores máximos, medios y mínimos. Como conceptos finales de clasificación del equipamiento se recomiendan los mostrados en la tabla 3.1, donde se observa que en el caso de aquellos equipos clasificados como clase "A" se debe llevar a cabo una política de mantenimiento que garantice una disponibilidad "impecable", en el caso de los catalogados como clase "B" se debe garantizar que la tasa de fallos sea mínima, o sea, un nivel de disponibilidad "decoroso", y para los equipos clase "C" no se debe tener preocupación por su nivel de disponibilidad pero si por su costo de reparación, buscando que se garanticen los estándares de calidad del mantenimiento que requiera que el mismo sea el más bajo posible.

**Tabla 3.1. Conceptos de clasificación de los equipos**

<b>Clase de equipo</b>	<b>Concepto</b>
<b>A</b>	Máxima disponibilidad
<b>B</b>	Fallo mínimo
<b>C</b>	Costo mínimo

**Fuente: Torres, 1997; Danger y Echevarria Pierre, 2002; Borroto Pentón, 2005; Christensen, 2006.**

Como se ha podido observar en las variables régimen de trabajo, tiempo de reparación y costo de reparación se ha utilizado la estimación de la media en la caracterización de cada uno de sus niveles, sin embargo, esta medida puede verse afectada por la presencia de valores extremos en el conjunto de datos analizados. Para el tratamiento (detección) de este tipo de valores se propone emplear el Criterio Variacional de Dixon [Dixon y Massey, 1976]. En el caso de que un determinado valor "X" sea catalogado como extremo, entonces no se consideraría en el cálculo de la media aunque sí se tendría en cuenta a la hora de determinar el nivel que en el equipo que se esté analizando alcanzaría dicha variable.

### **Clasificación de los fallos**

Para la clasificación de los fallos se propone utilizar la propuesta realizada por Torres [1997] y Borroto Pentón [2005] basada en la periodicidad y facilidad de detección del fallo. Esta clasificación queda definida como sigue:

1. Periódicos de Fácil Detección (PFD)
2. Periódicos de Díficil Detección (PDD)
3. Aleatorios Poco Frecuentes (APF)
4. Aleatorios Muy Frecuentes (AMF)

### **Etapas 3. Identificación y análisis de las fallas**

Es necesario la identificación de las fallas para poder enfrentar su análisis y sobre esta base solucionar los problemas siempre es fácil realizar esta tarea por lo que se han desarrollado numerosas técnicas para identificar y analizar las fallas. Estas técnicas no solo se aplican en mantenimiento, son también de utilidad para los diversos aspectos donde se implementa el mejoramiento continuo de procesos, diseño y desarrollo de productos, control de inventarios,

etc. Por la facilidad de uso y funcionamiento, las técnicas gráficas son más definidas. Normalmente el estudio de las fallas requiere de la identificación y análisis del problema. A continuación se desarrolla el método (Torres Daniel, 2005) a ser utilizado para tal fin.

#### 1- Análisis de la prioridad de reparación

Para establecer la importancia entre los diferentes equipos y poder determinar la prioridad que será requerida, es conveniente estudiar cada equipo por cada área con respecto al conjunto de áreas con que cuenta la empresa.

Este análisis conviene realizarlo según los siguientes factores:

- Producción
- Calidad
- Mantenimiento
- Medio ambiente
- Consumo de energía eléctrica
- Seguridad.

#### Influencia sobre Producción

- Porcentaje de tiempo de utilización del equipo
- Equipo duplicado o posibilidad de recuperar la producción con otro equipo
- Influencia sobre los otros elementos productivos

Para ponderar la importancia se presentan las tablas que serán realizadas a cada área en particular.

#### Porcentaje de uso

<b>Pond.</b>	<b>% uso</b>
<b>5</b>	<b>&gt;80%</b>
<b>3</b>	<b>Entre 50 y 80%</b>
<b>1</b>	<b>&gt;50%</b>

### Instalación alternativa

<b>Pond.</b>	<b>Alternatividad</b>
4	Equipos duplicados
2	Recurso externo
1	Sin posibilidad

### Influencia con el resto de la planta

<b>Pond.</b>	<b>Influencia</b>
5	Sobre toda la planta
4	Importante
2	Relativa
1	Solo el equipo

### Importancia sobre la calidad

- Perdidas por no cumplir requisitos de calidad.
- Influencia del equipo en la calidad final del producto.

Para ponderar la importancia sobre la calidad se muestra una tabla para cada área.

### Importancia de la calidad sobre el producto final.

<b>Pond.</b>	<b>Importancia</b>
4	Decisiva
2	Relativa dentro de la tolerancia
1	Nula

### Influencia sobre el mantenimiento

- Frecuencia o costo de las averías.
- Número de horas paradas por mes.
- Grado de especialización del equipo y personal para atenderlo.

### Importancia sobre el costo de mantenimiento.

Esos valores dependerán del tipo de equipo del área.

Número de horas de parada por avería

<b>Pond.</b>	<b>Horas paradas</b>
5	>3 horas
2	1-3 horas
1	< 1 hora

Especialización del equipo

<b>Pond.</b>	<b>Especialización</b>
5	< 2
3	2-3
1	>3

Según medio ambiente

- Influencia importante.
- Influencia relativa.

Importancia sobre el medio ambiente

<b>Pond</b>	<b>Importancia</b>
5	Grave
2	Relativa
1	Nula

Según el consumo de energía eléctrica

- Conservar en buen estado las instalaciones auxiliares.
- Elimina paros y puestas en marcha continuos.
- Controla el rendimiento de los equipos.

Importancia sobre el consumo de energía eléctrica

Pond	Importancia
5	Altos
3	Medio
1	Bajo

Según la seguridad:

- Riesgo de las personas.
- Riesgo de los equipos.

Importancia sobre la seguridad

Pond	Importancia
5	Riesgo del operario
2	Riesgo del equipo
1	Relativo

Con la suma de las puntuaciones se establecen grupos de equipos, por ejemplo, los que superan los 25 puntos, entre 10 y 25 y los que tienen menos de 10 puntos. En el anexo 8 se podrá observar el resultado de esta ponderación.

Esta ponderación será importante para diseñar el sistema de mantenimiento y la planificación, las prioridades en los mantenimientos preventivos y los stocks de repuesto.

### **3.2 Variantes de selección de mantenimiento**

El objetivo principal de la propuesta es obtener una adecuada relación entre productividad y costo, lo cual trae consigo el mantenimiento a nivel de máquina, que se adecua a los requerimientos de cada una de ellas. Para definir la selección de los mismos se establecen tres categorías de equipos, que poseen similitud con las propuestas por otros autores analizados (A, B, C). Dichos se establecen por orden de prioridad como se expone en la tabla 3.2:

**Tabla 3.2 Variantes de mantenimiento**

Clase	Periodo de Fácil Detección	Periodo de Difícil Detección	Aleatorio Poco Frecuente	Aleatorio muy Frecuente
A	1,2	2,1	1	1
B	1,2,3	2,3	3	3
C	2,3	3	3	3

En estos casos, no se puede olvidar que en ninguna circunstancia se debe proponer una política de mantenimiento contra averías para un equipo de clase “A”, debido al alto nivel de importancia que requieren dichos equipos, y por ende conllevan a solicitar una elevada disponibilidad ya que si son mal programados, el mantenimiento de estos provocarían grandes desventajas para la entidad en la que se efectúe, puesto que en su mayoría constituyen los cuellos de botellas que perturbarían gravemente a la producción de la organización, y con ello a su calidad.

Por esta razón, se considera necesario analizar otros aspectos que no fueron tratados anteriormente en el capítulo 1, y que son de vital importancia sobre cada clase de equipos que se tomará en cuenta dentro de la aplicación del procedimiento propuesto, los mismos se definen según cada categoría que aparece reflejado a continuación:

➤ **Categoría A**

Objetivo: Lograr la máxima productividad del equipo.

Se recomienda:

1. Máxima utilización del mantenimiento predictivo siempre que se cuente con equipos y personal para ello.
2. Amplia utilización del mantenimiento Preventivo con periodicidad frecuente para reducir posibilidad de fallo.
3. Uso del mantenimiento Correctivo como vía para reducir el tiempo medio de rotura.

Se emplea el mantenimiento preventivo sistemático, en el caso en que se responsabiliza del primer nivel de mantenimiento a los propios operarios de máquinas. Es por ello que el

departamento de mantenimiento debe delimitar hasta donde es necesario formar y orientar al personal, para que las intervenciones efectuadas por ellos sean eficaces.

➤ **Categoría B**

Objetivo: Reducir los costos de mantenimiento sin que esto implique una catástrofe.

Se recomienda:

1. Poca utilización del mantenimiento Predictivo.
2. Empleo de cálculos técnicos estadísticos para el mantenimiento Preventivo.
3. Empleo del mantenimiento Correctivo sólo en la ocurrencia aleatoria de fallos.

Para este tipo de categoría el mantenimiento preventivo sistemático posee la misma función que el tratado anteriormente, es decir de este tipo de mantenimiento se responsabiliza a los propios operarios de máquinas, y es trabajo del departamento de mantenimiento delimitar hasta donde se debe formar y orientar al personal, para que las intervenciones efectuadas por ellos sean eficaces.

➤ **Categoría C**

Objetivo: Reducir al mínimo los costos de mantenimiento.

Se recomienda:

1. Mantenimiento Predictivo anulado.
2. Mantenimiento Preventivo sólo el que indique el fabricante.
3. Mantenimiento Correctivo a la ocurrencia de fallos.

Dentro de este tipo de mantenimiento podríamos contemplar dos tipos de enfoques:

- Mantenimiento paliativo o de campo (de arreglo). Este se encarga de la reposición del funcionamiento, aunque no quede eliminada la fuente que provoco la falla.
- Mantenimiento curativo (de reparación). Este se encarga de la reparación propiamente pero eliminando las causas que han producido la falla

Se debe considerar además, que cada fallo puede generar un grupo de consecuencias, en cada variable medida del algoritmo de decisión y el orden de prioridad de las tareas de mantenimiento propuestas, puesto que está dado por la capacidad que posee de disminuir el riesgo asociado a cada consecuencia de fallo, a niveles tolerables o aceptables. Por lo tanto se considera como otro elemento importante a influir a la hora de tomar la decisión la prioridad en el factor “costo” con el que se lleva a cabo dicha tarea de mantenimiento.

### 3.3 Propuesta de variante de mantenimiento en los equipos del Combinado Lácteos

Para efectuar la validación del procedimiento de selección, de Espinoza Martínez fue tomado un conjunto de equipos (muestra) por el grupo de expertos, los cuales consideraron en conjunto con el grupo de trabajo la selección de los equipos pertenecientes a diferentes áreas del proceso productivo, que a su vez constituyen unos de los equipos principales de la producción, en los cuales se están estableciendo continuamente mejoras sustanciales para su continua labor, definidos de esta manera en la tabla siguiente:

**Tabla 3.1: Situación actual del equipamiento**

Equipo instalado	Cant.	Modelo	País	Año de fabricación	Año de instalación
Tanque de guarda	5	PMY-10T	URSS	1969	1971
Flujómetro	1	chino	China	2008	2009
Bombas sanitarias	11	chino	China	2008	2008
Homogenizador	1	1.2	URSS	1984	1985
Pasteurizador	1	chino	China	2008	2008
Máquina de embolsar	2	100	México	2001	2004
Esterilizador	3	criollo	Cuba	2004	2004
Equipo de climatización	1	UL71-62	USA	-	-
Equipo de climatización	1	LG	-	1996	2001
Tanque fermentador	2	Proudal	Cuba	2002	2008
Tanque reductor	3	-	Yugoslavia	2002	2002
Esterilizador	1	Italia	Italia	2008	2008
Retractiladora	1	Italia	Italia	2008	2008
Cuba de queso	1	-	URSS	1987	1989
Máquina al vacío	1	MINPAK	Italia	2001	2001
Tacho de fundición	2	-	Cuba	1999	1999
Pasteurizador	2	PF-300	Argentina	2008	2009
Homogenizador	1	Argentino	Argentina	2008	2009
Bomba de cortina de frío	1	Argentino	Argentina	2008	2009
Tanque de maduración	3	Argentino	Argentina	2008	2009
Rizadora	1	CFW-08	Argentina	2008	2009
Banco de agua helada	1	Argentino	Argentina	2008	2009
Difusor	1	criollo	Cuba	2003	2003
Contenedor de yogurt de turismo	1	OGdr24	Brasil	2009	2009
Contenedor de queso divisa	1	Rivacold	Brasil	1999	1999
Caldera	1	-	Cuba	1991	1992
Quemador	1	-	Cuba	1991	1992
Bomba del condensador	2	YK9020	URSS	1975	1980
Condensador	2	KTB-75	URSS	1975	1980

Compresor MYCOM	2	LWAY	Japón	2000	2004
Banco de hielo	1	criollo	Cuba	1971	1971
Cortina de frío	1	004-MT	URSS	1971	1971
Embudo ilusitor de leche	1	criollo	Cuba	1973	1973
Tanque ilusitor de leche	1	criollo	Cuba	1988	1988
Bomba del pasteurizador	1	Polaca	Polonia	1971	1971

Los elementos anteriores permiten apreciar el estado en que se encuentran los equipos, su antigüedad y por ende los años que se han utilizado en la organización para el logro de sus producciones, constituyendo aspectos primordiales que no se pueden obviar, puesto que influyen en el proceso de selección del mantenimiento a aplicar en cada uno de los equipos de la entidad (etapa #1 del procedimiento).

Luego de analizado los aspectos expuestos, fue considerado calificar a cada equipo de la entidad mediante las ponderaciones asociadas, (producción, calidad, mantenimiento, seguridad, medio ambiente y consumo de energía eléctrica) para luego enfatizar mediante cada una de ellas los tipos de mantenimientos a aplicar en cada equipo en dependencia de la categoría seleccionada (A, B, C). Los resultados alcanzados se muestran en la tabla que aparece a continuación:

**Tabla 3.2: Clasificación del equipamiento**

Equipos	Tiempo de uso	Instal. Alternat. Duplicado	Influencia en el resto de la planta	Calidad import. Rotativo	Influencia sobre el mtto	Persona	Import. Sobre el medio amb.	Consumo energético	Importancia sobre seguridad	Total	Clase
Tanque de guarda	5	4	5	4	2	3	1	1	1	26	A
Flujómetro	5	1	5	4	1	5	1	5	1	28	A
Bombas sanitarias	5	4	1	2	2	3	1	3	1	22	B
Homogenizador	5	1	5	4	2	2	1	3	1	24	B
Pasteurizador	5	1	5	4	2	3	1	1	1	23	B
Máquina de embolsar	5	4	5	4	2	1	1	1	1	24	B
Estera limber	5	1	5	4	1	1	1	3	1	22	B
Equipo de climatización	5	1	5	4	2	3	1	5	1	27	A
Equipo de climatización	5	1	5	4	2	3	1	5	1	27	A
Tanque fermentador	5	4	5	4	5	3	1	5	1	33	A
Tanque reductor	5	4	5	4	2	1	1	5	1	28	A
Estera limber	5	1	5	4	1	1	1	3	1	22	B
Retractiladora	1	1	1	1	2	1	1	3	1	12	B
Cuba de queso	5	1	5	4	1	5	1	5	1	28	B
Máquina al vacío	3	1	2	2	2	5	1	1	1	18	B
Tacho de fundición	3	1	2	2	2	3	1	5	1	20	B
Pasteurizador	5	4	4	4	2	3	1	5	1	29	A
Homogenizador	5	1	4	4	2	1	1	3	1	22	B
Bomba de cortina de frío	5	1	4	4	1	1	1	5	1	23	B
Tanque de maduración	5	1	4	4	1	1	1	5	1	23	B
Rizadora	1	1	1	1	1	5	1	1	1	13	B
Banco de agua helada	5	1	2	4	1	3	1	5	1	23	B
Difusor	5	1	2	2	5	1	1	3	1	21	B
Contenedor de yogurt de turismo	5	1	5	4	5	5	1	5	1	32	A
Contenedor de queso divisa	5	1	5	4	5	5	1	5	1	32	A
Caldera	5	1	5	4	5	5	2	5	1	33	A
Quemador	5	1	5	4	5	3	1	3	1	28	A
Bomba del condensador	5	4	5	4	2	3	1	3	1	28	A
Condensador	5	4	4	4	2	1	1	3	1	25	A
Compresor MYCOM	5	4	4	4	2	5	1	5	1	31	A
Banco de hielo	5	1	2	4	2	5	1	5	1	26	A
Cortina de frío	5	1	2	4	1	5	1	5	1	25	A
Embudo ilusitor de leche	3	1	1	4	1	3	1	1	1	16	B
Tanque ilusitor de leche	3	1	2	4	1	3	1	1	1	17	B
Bomba del pasteurizador	3	1	2	4	1	3	1	1	1	17	B

**Fuente: Elaboración propia**

En la tabla se puede observar las ponderaciones establecidas por cada aspecto analizado en epígrafes anteriores, donde en el caso de la influencia de mantenimiento se estableció la puntuación en función de las paradas de cada máquina para ejecutar dicha actividad y la especialización que posee cada uno de los equipos tomados como muestra del estudio.

También se aprecia las clases establecidas correspondiente a cada equipo luego de realizar la sumatoria de sus ponderaciones, ello permite seleccionar el tipo de mantenimiento para cada clase, siempre y cuando cumpla las condiciones, funciones y recursos con que se cuenten dentro de la organización, permitiendo de este modo mejorar las capacidades de las mismas y por ende la disponibilidad que se posea para trabajar con ellos, dando así solución a la problemática planteada en la investigación. Los mantenimientos para cada equipo se proponen en la tabla que se expone a continuación:

**Tabla 3.3: Variantes de mantenimiento propuestas**

Variante de mantenimiento		
Categoría	Equipo	Selección propuesta
A	Tanque de guarda	Mantenimiento preventivo basado en el tiempo
A	Flujómetro	Mantenimiento preventivo basado en el tiempo
B	Bombas sanitarias	Mantenimiento preventivo basado en la condición
B	Homogenizador	Mantenimiento preventivo basado en la condición
B	Pasteurizador	Mantenimiento preventivo basado en la condición
B	Máquina de embolsar	Mantenimiento preventivo basado en la condición
B	Estera limber	Mantenimiento preventivo basado en la condición
A	Equipo de climatización	Mantenimiento preventivo basado en el tiempo
A	Equipo de climatización	Mantenimiento preventivo basado en el tiempo
A	Tanque fermentador	Mantenimiento preventivo basado en el tiempo
A	Tanque reductor	Mantenimiento preventivo basado en el tiempo
B	Estera limber	Mantenimiento preventivo basado en la condición
B	Retractiladora	Mantenimiento preventivo basado en la condición
B	Cuba de queso	Mantenimiento preventivo basado en la condición
B	Máquina al vacío	Mantenimiento preventivo basado en la condición
B	Tacho de fundición	Mantenimiento preventivo basado en la condición
A	Pasteurizador	Mantenimiento preventivo basado en el tiempo
B	Homogenizador	Mantenimiento preventivo basado en la condición
B	Bomba de cortina de frío	Mantenimiento preventivo basado en la condición
B	Tanque de maduración	Mantenimiento preventivo basado en la condición
B	Rizadora	Mantenimiento preventivo basado en la condición
B	Banco de agua helada	Mantenimiento preventivo basado en la condición
B	Difusor	Mantenimiento preventivo basado en la condición
A	Contenedor de yogurt de turismo	Mantenimiento preventivo basado en el tiempo
A	Contenedor de queso divisa	Mantenimiento preventivo basado en el tiempo
A	Caldera	Mantenimiento preventivo basado en el tiempo
A	Quemador	Mantenimiento preventivo basado en el tiempo
A	Bomba del condensador	Mantenimiento preventivo basado en el tiempo
A	Condensador	Mantenimiento preventivo basado en el tiempo
A	Compresor MYCOM	Mantenimiento preventivo basado en el tiempo

A	Banco de hielo	Mantenimiento preventivo basado en el tiempo
A	Cortina de frío	Mantenimiento preventivo basado en el tiempo
B	Embudo ilusitor de leche	Mantenimiento preventivo basado en la condición
B	Tanque ilusitor de leche	Mantenimiento preventivo basado en la condición
B	Bomba del pasteurizador	Mantenimiento preventivo basado en la condición

**Fuente: Elaboración propia**

Para el caso de los equipos clase A, se consideró el mantenimiento basado en el tiempo, debido a que en la organización no se cuentan con las condiciones necesarias, ni con los recursos, para efectuar el mantenimiento predictivo en la entidad. Mientras que en el caso de los equipos de clase B no fue tomado en cuenta el tipo de mantenimiento correctivo debido a que todos los equipos analizados influyen directamente en la producción, razón por la cual se debe evitar establecer mantenimientos que provoquen paradas dentro del proceso productivo y afecten la calidad de la producción, y no se obtuvieron equipos de clase C debido a que ninguno de los analizados obtuvo una puntuación inferior o igual a 10.

### 3.4 Conclusiones parciales

1. La clasificación de los fallos posibilita determinar la variante de mantenimiento más adecuada, determinada por las variables que caracterizan el entorno donde se desempeñan los mismos.
2. El procedimiento propuesto, aborda “todas” las variables que caracterizan el entorno operacional de la empresa objeto de estudio.

## ***Conclusiones***

1. En la bibliografía estudiada la mayoría de los autores referidos consideran evidente que, a nivel empresarial, no se debe decidir por un solo sistema de mantenimiento, sino que deben aplicarse varios de ellos, utilizando para esto criterios de clasificación generalmente a nivel de máquina.
2. El análisis de la situación problemática que fundamenta la presente investigación motivó la necesidad de desarrollar un procedimiento general para la toma de decisiones respecto a la política de mantenimiento más adecuada para cada equipo en función del entorno productivo en que se desenvuelve.
3. El procedimiento seleccionado permite la determinación de las diferentes variantes de la política de mantenimiento para cada equipo, basada en el ordenamiento por grupos críticos de éstos y la clasificación de sus fallos.
4. Al aplicarse el procedimiento se pudo evidenciar que en el Combinado Lácteos de Morón la mayoría de los equipos se clasifican como clase B y no existe ningún equipo de clase C.

## ***Recomendaciones***

1. Presentar la propuesta, resultado de esta investigación, a la Dirección de Mantenimiento del Combinado Lácteos de Morón con el objetivo de lograr su aprobación.
2. Aplicar, por parte de la dirección de la empresa, el procedimiento para todos los equipos de dicha entidad.
3. Realizar la capacitación para el personal de mantenimiento, con vistas a su entrenamiento en el nuevo sistema, para contribuir a la obtención de mejores resultados en su desempeño profesional.

## ***Bibliografía***

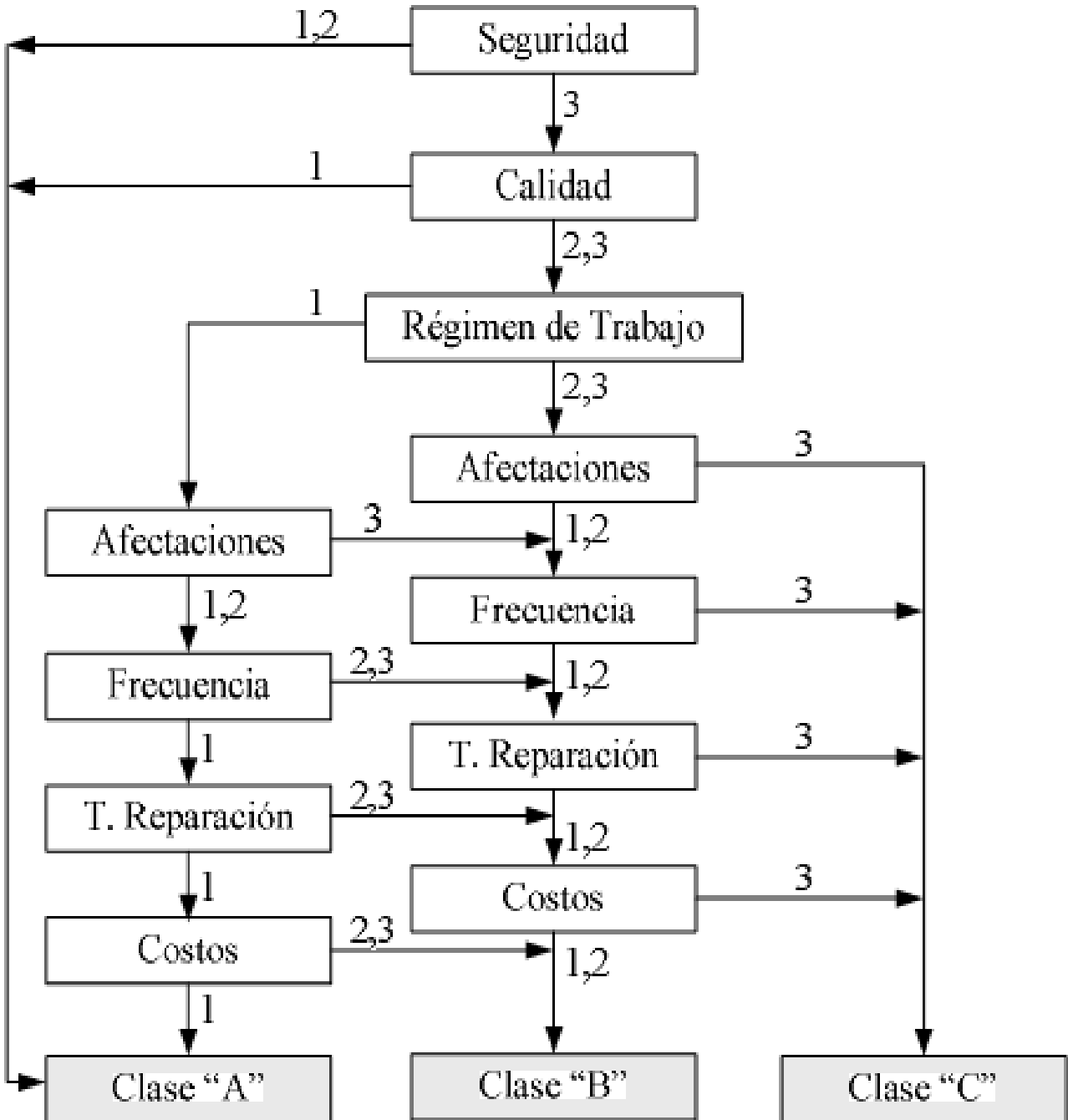
1. A.E.M. (1995). El mantenimiento en España. Asociación española de mantenimiento. Barcelona.
2. Abreu Ledón, R. (2004). Modelo y procedimiento para la toma de decisiones de inversión sobre el equipamiento productivo en empresas manufactureras cubanas. Ingeniería Industrial. Santa Clara, Cuba, UCLV. Tesis Doctoral.
3. Aduvire, O., López, C. & Aduvire, H. (1992). Mantenimiento de equipos pesados e implantación del mantenimiento predictivo en minería a cielo abierto. Revista Mantenimiento, España. 60: 33-45.
4. Aduvire, O., López, C. & Mazadiego, L. (1994). Relación entre mantenimiento y vida útil de maquinaria en minería. Revista Mantenimiento, España. 72: 23-31.
5. 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. Ingeniería Industrial. Santa Clara, Cuba, UCLV. Tesis Doctoral.
6. Aladon. (2000). Reliability Centered Maintenance. An Introduction. Revisado el 9 de octubre del 2004: <http://www.aladon.co.uk/10intro.html>.
7. Alomá Menéndez, J. L. y. Borroto Pentón, Yodaira. (1999). Diagnóstico de mantenimiento en el Hospital Universitario "Arnaldo Milián Castro". Diplomado de Mantenimiento y Conservación de la Técnica. UCLV, Cuba
8. Améndola, L. (2002). Modelos Mixtos de Confiabilidad. Revisado el 3 de diciembre de 2004: <http://datastream.net/latinamérica/libroaméndola/default.asp?lang=esp>.
9. Araya Schulz, R. (1991). Mantenimiento según condición: una herramienta de productividad (parte 1). Revisado el 6 de mayo de 2004: <http://www.mantencion.com/articulos/rev5art2.php3>.
10. Araya Schulz, R. (1993). Predictivo es como una UTI de diagnóstico médico. Revisado el 6 de mayo de 2004: <http://www.mantencion.com/articulos/rev12.html/art3.r.12.html>.
11. Alfonso Llanes, A. et al. [2006] "Elementos de una metodología para la selección del tipo de mantenimiento a aplicar al equipamiento productivo de la empresa". Cuarto Congreso Cubano de Ingeniería de Mantenimiento, CCIM 2006. La Habana, Cuba.

12. Alfonso Llanes, A. et al. [2007] "Metodología para la selección del tipo de mantenimiento. Especificaciones para empresas de producción continua". 10ma Convención de las Industrias Metalúrgica, Mecánica y del Reciclaje (METANICA 2007). Cuba.
13. Alfonso Llanes, A. et al. [2008a] "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.
14. Alfonso Llanes, A. et al. [2008b] "Propuesta de procedimiento para la selección de proveedores de actividades de mantenimiento del equipamiento productivo de los centrales azucareros." Revista Centro Azúcar No. 1, Año 35, Enero-Marzo 2008, pp 51- 56.
15. Alfonso Llanes, A. et al. [2008c] "Propuesta de procedimiento para determinar la política de mantenimiento a partir de análisis de criticidad del equipamiento productivo de los centrales azucareros." Revista Centro Azúcar No. 1, Año 35, Enero-Marzo 2008, pp 91- 96.
16. Borroto Pentón, Y. [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.
17. Christensen, C. [2006] "Criticidad de equipos". Disponible en: [www.clubdemantenimiento.com.ar](http://www.clubdemantenimiento.com.ar)
18. De la Paz Martínez, E. Perfeccionamiento del sistema de mantenimiento en la Industria Textil Cubana. Aplicación en la Empresa Textil "Desembarco del Granma". /Tesis para optar por el grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas./ Dr. Ing. Fernando. M. Portuondo Pichardo, tutor. Universidad Central de Las Villas. Santa Clara.1996
19. 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. Disponible en:<http://www.datastream.net/latinamerica/mm/articulos/club.asp>
20. 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.confiableidad.net/art\\_05/RCM/rcm\\_8.pdf](http://www.confiableidad.net/art_05/RCM/rcm_8.pdf)

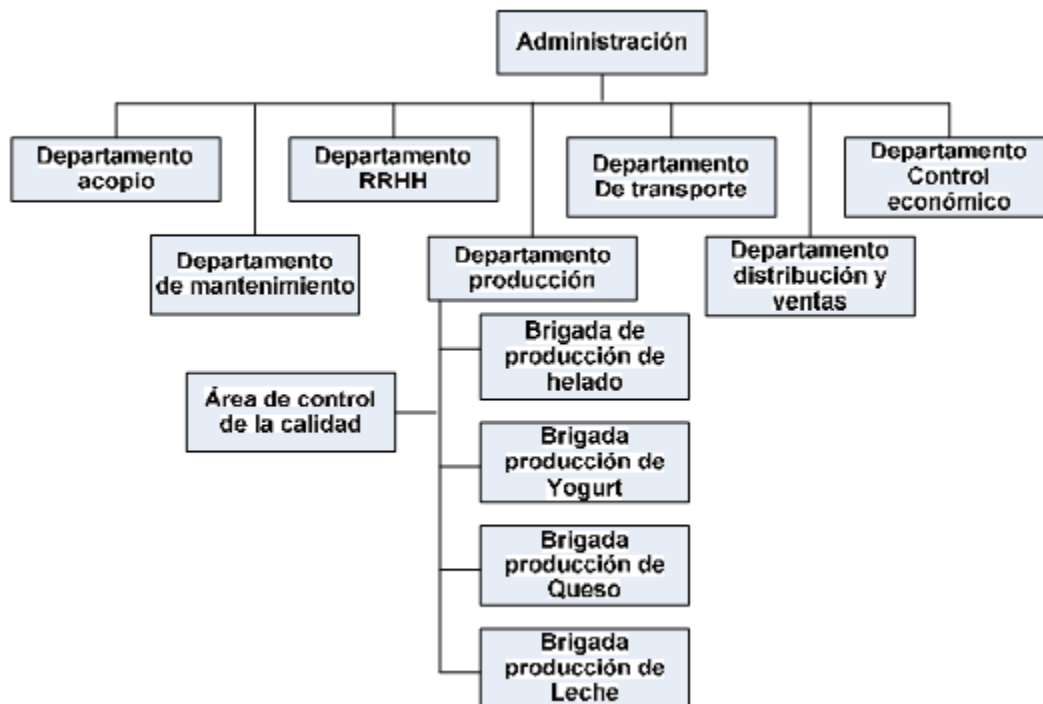
21. Huerta Mendoza, R. [2001] "El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la Confiabilidad Operacional". Revista Club de Mantenimiento, No. 6. Disponible en: [http://www.confiabilidad.net/art\\_05/RCM/rcm\\_8.pdf](http://www.confiabilidad.net/art_05/RCM/rcm_8.pdf)
22. Huerta Mendoza, R. [2001] "El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la confiabilidad operacional". Revista de Mantenimiento. Disponible en: <http://www.mantenimientomundial.com/textos/art-6analisis.htm>
23. .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>
24. Portuondo Pichardo, F & Pérez Tejeda, A (1994). Selección y diseño de un sistema de mantenimiento. Ciudad de La Habana, ISPJAE
25. Portuondo Pichardo, F., et al. [1989] "Sistema alterno de mantenimiento". Revista Ingeniería Industrial, Vol. 10, pp. 113-120. Cuba
26. .Torres, J. [1997]. El mantenimiento centrado en la confiabilidad y el capítulo cuatro del manual directriz: una propuesta para la realización de tareas y reducción de costos de mantenimiento. /Segundo seminario de mantenimiento CEMAN
27. .Torres, L. D. [2005] "Mantenimiento. Su implementación y gestión". Editorial UNIVERSITAS. 2da Edición. Argentina. 347 p. 76.
28. .Torres, L. D. [2005]"Mantenimiento. Su Implementación y Gestión". Segunda Edición. Datastream Systems, Inc. Disponible en:[http:// www.datastream.net.htm](http://www.datastream.net.htm)
29. .Yañez Medina, M.; Gómez de la Vega, H. y Valbuena Chourio, G. [2004] "Ingeniería de Confiabilidad y Análisis Probabilístico deRiesgo". Reliability and Risk Management, S. A. México. pp 332

## Anexos

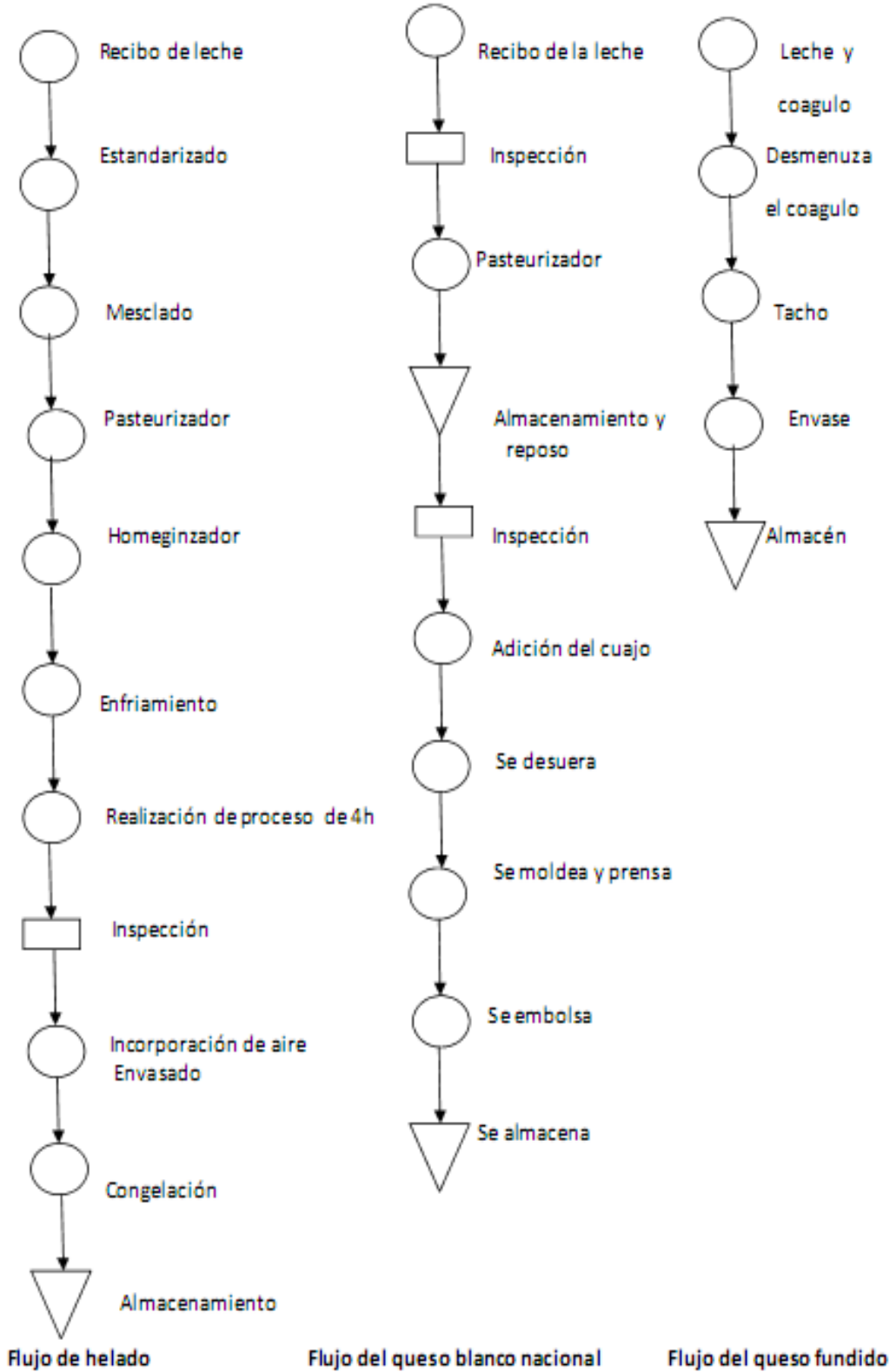
Anexo 1: Algoritmo para la definición del nivel de criticidad del equipamiento. Fuente: Alfonso Llanes, 2009.



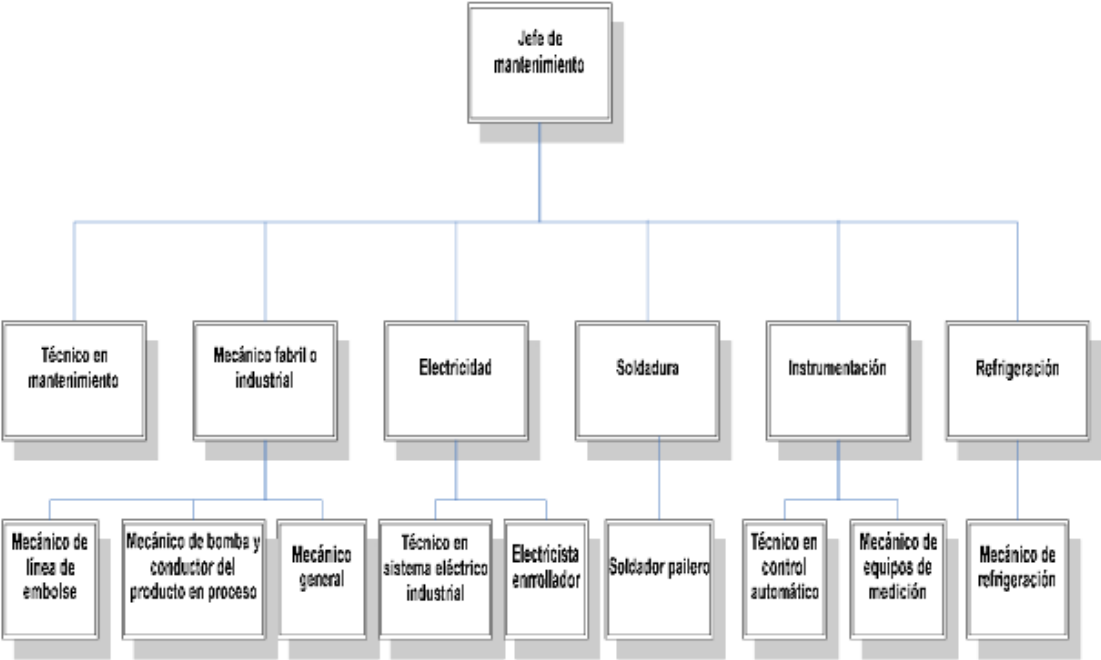
## Anexo 2: Estructura organizativa del Combinado Lácteos de Morón



### Anexo 3: Flujo de operaciones de varias líneas de la entidad



**Anexo 4: Organigrama del área de mantenimiento**



**Anexo 5: Procedimiento para la selección del número de expertos [fuente: Hurtado de Mendoza, 2003]**

El procedimiento consta de las siguientes etapas que se describen a continuación:

**1. Elaboración de una lista de candidatos a expertos que cumplan con los requisitos necesarios para el estudio.**

Siguiendo los requisitos se reúnen un conjunto de candidatos que se ubican en una tabla como la que se muestra a continuación:

Nº	Nombre	Ocupación	Años de experiencia	Especialidad
...	...	...	...	...

**1. Determinación del coeficiente de competencia de cada candidato.**

Es un método de autoevaluación totalmente anónimo. Es un instrumento mediante el cual el candidato expresa el grado de conocimiento sobre el tema y las fuentes de dicho conocimiento, como se muestra a continuación.

**Encuesta**

1-Marque con una (x), en una escala creciente del 1 al 10, el valor que se corresponde con el grado de conocimiento o información que tiene sobre el tema.

Nombre del experto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

2- Marque con una (x), en nivel que Usted cree que corresponde a cada uno de los aspectos reflejados en la tabla siguiente:

Nº	Fuentes de argumentación	Escala por niveles		
		Alto	Medio	Bajo
1	Análisis teóricos realizados por usted			
2	Experiencia práctica			
3	Estudio de investigaciones de autores nacionales			
4	Estudio de investigaciones de autores extranjeros			
5	Conocimiento del estado del problema en el extranjero			
6	Intuición			

Resultado del paso anterior se tiene la tabla

A partir de la primera pregunta de la encuesta se determina  $K_a$  y con la segunda  $K_c$ , ya con el valor de estos coeficientes se pasa a calcular  $K_{comp}$ . En el procesamiento se

calcula el coeficiente de competencia:

$$K_{comp} = \frac{1}{2} \times (K_c + K_a)$$

$K_{comp}$ : Coeficiente de competencia.

$K_c$ : Coeficiente de conocimiento: resulta del promedio de los valores que cada candidato le otorga a cada una de las preguntas.

$K_a$ : Coeficiente argumentación: es el resultado de la suma de los valores del grado de influencia de cada una de las fuentes de argumentación. [ $K_a = \Sigma n$ ]

La determinación de los valores de  $K_a$  se obtiene de la tabla que utiliza Hurtado Mendoza, que se presenta a continuación:

N°	Fuentes de argumentación	Escala por niveles		
		Alto	Medio	Bajo
1	Análisis teóricos realizados por usted	0.3	0.2	0.1
2	Experiencia práctica	0.5	0.4	0.2
3	Estudio de investigaciones de autores nacionales	0.05	0.05	0.05
4	Estudio de investigaciones de autores extranjeros	0.05	0.05	0.05
5	Conocimiento del estado del problema en el extranjero	0.05	0.05	0.05
6	Intuición	0.05	0.05	0.05

### Selección de los expertos

Para seleccionar los expertos se toman los siguientes criterios:

Competencia del experto Alta (A): si  $K_{comp} > 0.8$

Competencia del experto Media (M): si  $0.5 < K_{comp} \leq 0.8$

Competencia del experto Baja (B): si  $K_{comp} \leq 0.5$

Lo anterior se combina con el cálculo del número de expertos necesarios para el análisis, a través de la expresión siguiente:

$$M = \frac{p * (1 - p) * K}{i^2}$$

De este modo cada elemento tiene el significado siguiente:

M: número de expertos

K: parámetro que depende del nivel de significación

99% -- K= 6.6564

95% -- K= 3.8416

90% -- K= 2.6896

P: proporción del error que como máximo se tolerará en el juicio de los expertos.

i: nivel de precisión que expresa la discrepancia o variabilidad que muestra en general el grupo, varía 0.05 - 0.1.

De acuerdo con el número de expertos resultante del cálculo, se seleccionan aquellos de mayor competencia según el  $K_{comp}$  determinado en el paso 2, con la encuesta.

**Anexo 5: Continuación.**

**1. Elaboración de una lista de candidatos a expertos que cumplan con los requisitos necesarios para el estudio.**

No.	Nombre	Cargo	Experiencia
1	Yudier Velázquez Suárez	Mecanico B	1
2	Maydiel Prado Espinoza	Instrumentista	10
3	Francisco Suárez Quintana	Jefe de área de mantenimiento	41
4	Freddy Rodríguez Chaviano	Electricista B	29
5	Arquelio Morales Fontos	Operador de caldera	20
6	Roger Rivalta Cedeño	Instrumentista	11
7	Rosalba Villa Marin Carballido	Técnico de matenimiento	32
8	Orlando Chávez Peláez	Soldador B	12
9	Carlos Manuel Abreu	Operador de refrigeración	6
10	Reinaldo Roque Pérez	Mecánico A en refrigeración	42
11	José Molina Rangel	Energético	18
12	Juan Alberto Martin Diaz	Instrumentista	13
13	Ramón Monaga Gino	Operador refrigeración	2

**2. Determinación del coeficiente de competencia de cada candidato.**

Para la determinación de este coeficiente se emplea un método de autoevaluación totalmente anónimo. Se aplica una encuesta a cada uno de los candidatos, en la que expresa el grado de conocimiento sobre el tema y las fuentes de dicho conocimiento, los resultados obtenidos se detallan a continuación.

**Encuestas**

**1-Marque con una (x), en una escala creciente del 1 al 10, el valor que se corresponde con el grado de conocimiento o información que tiene sobre el tema.**

No.	Nombre	1	2	3	4	5	6	7	8	8	10
1	Yudier Velázquez Suárez							x			
2	Maydiel Prado Espinoza						x				
3	Francisco Suárez Quintana								x		
4	Freddy Rodríguez Chaviano										x
5	Arquelio Morales Fontos					x					
6	Roger Rivalta Cedeño						x				
7	Rosalba Villa Marin Carballido										x
8	Orlando Chávez Peláez									x	
9	Carlos Manuel Abreu								x		
10	Reinaldo Roque Pérez										x
11	José Molina Rangel								x		
12	Juan Alberto Martin Diaz									x	
13	Ramón Monaga Gino							x			

2- Marque con una (x), en nivel que Usted cree que corresponde a cada uno de los aspectos reflejados en la tabla siguiente:

Fuentes de argumentación	E1		E2		E3		E4		E5		E6		E7		E8		E9		E10		E11		E12		E13			
	A	M	B	A	M	B	A	M	B	A	M	B	A	M	B	A	M	B	A	M	B	A	M	B	A	M	B	
Análisis teóricos realizados por usted	x			x			x			x		x	x		x		x		x		x		x		x		x	
Su experiencia obtenida	x		x			x			x		x	x		x		x		x		x		x		x		x		x
Trabajos de autores nacionales	x			x			x			x		x	x		x		x		x		x		x		x		x	
Trabajos de autores extranjeros	x			x			x			x		x	x		x		x		x		x		x		x		x	
Su conocimiento del estado del problema en el extranjero	x			x			x			x		x	x		x		x		x		x		x		x		x	
Su intuición	x			x			x			x		x	x		x		x		x		x		x		x		x	

### Resumen de los coeficientes de competencia para la selección de los expertos

No.	Coefficiente de conocimiento	Coefficiente de argumentación	Coefficiente de competencia	Nivel de competencia
1	0.7	0.8	0.75	Medio
2	0.6	0.9	0.75	Medio
3	0.8	1	0.9	Alto
4	1	1	1	Alto
5	0.4	0.7	0.55	Medio
6	0.4	0.5	0.45	Bajo
7	1	1	1	Alto
8	0.9	0.9	0.9	Alto
9	0.8	0.9	0.85	Alto
10	1	1	1	alto
11	0.8	0.8	0.8	Medio
12	0.8	0.9	0.85	Alto
13	0.7	0.8	0.75	medio

### 3- Selección de los expertos

Para esto se efectúa el cálculo correspondiente a través de la fórmula siguiente:

K – Constante cuyo valor está asociado al nivel de confianza elegido, los valores se ofrecen a continuación:

Nivel de confianza (%) Valor de K

99 6.6564

95 3.8416

$K = 3.8416$  para  $\infty = 0.05\%$  (Nivel de significación)

$i$  – nivel de precisión deseado, varía de (0.005 – 0.1)

$i = 0.1$

$P = 0.02$  (proporción estimada de errores de los expertos)

$$M = \frac{P * (1 - P) * K}{i^2}$$

$$M = \frac{0.02 * (1 - 0.02) * 3.8416}{0.1^2}$$

$$M = 7.529 \approx 8 \text{ expertos}$$

Para el equipo de trabajo se debe contar con ocho expertos. Tomando en consideración estos requisitos y las personas que tienen mayor coeficiente de competencia, se seleccionan los candidatos que se muestran en la tabla siguiente:

Ocupación	Experiencia
Jefe de área de mantenimiento	41
Electricista B	29
Técnico de mantenimiento	32
Soldador B	12
Operador en refrigeración	6
Mecánico A en refrigeración	42
Energético	18
Instrumentista	13

## Anexo 6: Ficha técnica de los equipos

Nombre del equipo			Codificación		Núm Invent.	Núm car.	Nombre del equipo			Codificación	Núm.Invent.	Núm. Car
Marca:		Modelo Tipo:		País de Origen		Año de Fab.		Capacidad de Carga:		Potencia:	Presión	Temperatura:
Dimensiones CM L                      A                      H			Tipo de Accionamiento:				Línea y Tipo de Producción:		Turnos de Trabajo	Horas Efectivas Diarias	Días de Trabajo/Año	
RELACION DE ELECTROMOTORES						OTROS EQUIPOS Y/O ACCESORIOS						
No. Ord.	Pot.	Fases	RPM	No. Tarj. Motor	No. Invent.	PARTE QUE ACCIONA		No. Invent.	DESCRIPCION			
Ciclo de Reparaciones		ESTRUCTURA:				OPERACIONES		Cantidad	Horas	Año	Meses	Días
						Revisiones (R)						
						Rep. Parcial (P)						
						Rep. General (G)						
RELACION DE CATALOGOS				OSERVACIONES GENERALES								
Núm. m.	Titulo		Idioma	Localización								

### Anexo 7: Modelo de una orden de trabajo

Orden de Trabajo																																			
Fabrica		Tipo de Trabajo		P	G		D	M	A	Objetivos de Mantenimiento																									
		Planificado									Equipo:																								
Empresa		Correctivo								N° Carpeta																									
		Predictivo								Línea o Dpto.																									
<b>DESCRIPCION DEL TRABAJO A REALIZAR</b>																																			
<b>HORAS DE TRABAJO POR DIA</b>																																			
Trabajador	Calif.	Estim	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	Real	
<b>DESCRIPCION DEL TRABAJO REALIZADO Y VALORACION DE SU CALIDAD</b>																																			
Fecha de Solicitud D    M    A		Ordenado por:			Realizado por:			Revisado: J'Brigada: J'Mtto:			Evaluación de la Reparación					Orden N°																			

