



**UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**Tesis presentada en opción al título académico de Master en  
Ingeniería Agrícola.**

**FUNDAMENTACIÓN Y PROPUESTA DE CAMBIOS A LA GESTIÓN  
DEL MANTENIMIENTO A LA MAQUINARIA AGRÍCOLA EN  
CUBA.**

**Autor: Ing. Manuel Acevedo Darias.**

**Tutor: Dr. Manuel Acevedo Pérez.**

**Santa Clara, Cuba.**

**2018**

# *Pensamiento*

*“Educar es depositar en cada hombre toda la obra humana que le ha antecedido: es hacer a cada hombre resumen del mundo viviente, hasta el día en que vive: es ponerlo a nivel de su tiempo, para que flote sobre él; y no dejarlo debajo de su tiempo, con lo que no podrá salir a flote; es preparar al hombre para la vida.”*

*José Martí*

# *Dedicatoria*

**A:**

*Mis padres por el tiempo y el amor que han merecido y no les he dedicado para poder realizar este trabajo, y a todas aquellas personas que gustan de hacer cosas hermosas sin pensar en recibir nada a cambio.*

# *Agradecimientos*

*Me gustaría dejar constancia de mis agradecimientos a:*

*.... Mi tutor, Dr. C. Elvis López Bravo, por sus valiosos consejos y recomendaciones.*

*.... Mi padre y consultante Dr. C. Manuel Acevedo Pérez.*

*.... Mi madre, Ana Luisa Darías Alfonso, por sus desvelos para ver culminado éste trabajo.*

*....Compañeros de trabajo sin excepción alguna.*

*.... A los diplomantes que han trabajado apoyando esta investigación con gran dedicación y responsabilidad.*

*.... Y a todos, han sido tantos que es imposible mencionar por sus nombres, a los que de una forma u otra han contribuido a la realización de este trabajo.*

*Muchas Gracias...*

*El autor.*

## **RESUMEN.**

En el trabajo se analizaron las principales ventajas e insuficiencias del Sistema Preventivo Planificado de Mantenimiento Técnico y Reparación a la Maquinaria Agrícola (SPPMTRMA), aplicado en el sector agropecuario cubano desde la década de los años 60, con el objetivo de buscar nuevas alternativas que permitan hacer de la gestión del mantenimiento a la maquinaria agrícola un sistema más efectivo con menos gastos de recursos materiales, humanos y de otros tipos. Para la obtención del resultado, se elaboró la base metodológica de la investigación, y se estudiaron la esencia, ventajas y desventajas de otros métodos recomendados por expertos aplicados en países más desarrollados con idénticos fines, lo que permitió proponer, fundamentar y elaborar la guía de implementación de una nueva forma de gestión sobre la base del Mantenimiento Productivo Total.

El trabajo está expuesto en un total de 74 páginas, incluyendo 15 tablas y 8 figuras, cuenta con la Introducción, tres capítulos, conclusiones y recomendaciones. Para su confección se utilizaron 57 fuentes y bibliografías que forman un volumen general del mismo de 81 páginas.

## **ABSTRCKT**

The main advantages and inadequacies of the Planned Preventive System of Technical Maintenance and Repair to Agricultural Machinery (SPPMTRMA), applied in the Cuban agricultural sector since the 1960s, were analyzed in order to find new alternatives that allow make management of maintenance to agricultural machinery a more effective system with less expenditure of material, human and other resources. To obtain the result, the methodological basis of the research was elaborated, and the essence, advantages and disadvantages of other methods recommended by experts applied in more developed countries with identical purposes were studied, which allowed to propose, base and elaborate the guide of implementation of a new form of management based on Total Productive Maintenance. The work is exposed in a total of 76 pages, including 11 tables and 9 figures, has the Introduction, three chapters, conclusions and recommendations. For its preparation, 57 sources and bibliographies were used, which form a general volume of 81 pages.

## TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	2
CAPÍTULO I.....	4
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	4
1.1. Antecedentes.....	4
1.2. Tipos y sistemas de mantenimiento.....	5
1.2.1. Mantenimiento Correctivo (o basado en el fallo).....	7
1.2.2. Mantenimiento Preventivo.....	7
1.2.3. Mantenimiento predictivo. ....	9
1.2.4. Mantenimiento Productivo Total. (TPM). ....	11
1.2.5. Gestión del Mantenimiento Asistido por Ordenador. (GMAO).....	15
1.2.6. Sistema Alternativo de Mantenimiento. (SAM).....	16
1.2.7. Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM) por sus siglas en inglés, o Mantenimiento Basado en la Fiabilidad (MBF) .....	18
1.2.8. Mantenimiento basado en la categorización de las máquinas.....	19
1.2.9. Mantenimiento Basado en Riesgo. (MBR).....	21
1.3. Generalidades sobre el juicio de expertos.....	22
1.3.1. Estadístico Kappa.....	26
1.3.2. Coeficiente de concordancia (W) de Kendall.....	26
CAPITULO II.....	28
PROGRAMA Y METODOLOGÍAS DE LA INVESTIGACIÓN .....	28
2.1. Metodología para investigar la esencia, ventajas y desventajas del (SPPMTRMA). ....	29
2.2. Metodología para evaluar, con el concurso de expertos, las diferentes formas de gestión del mantenimiento técnico que de acuerdo a las condiciones del sector agropecuario cubano, se deben potenciar. ....	29
Paso 2: .....	32
a)- Se construye la tabla estadística a partir de las sumas totales de las magnitudes observadas de acuerdo al siguiente formato. Tabla 2.3.....	32
Paso 3:.....	32
a) Construcción y análisis del diagrama de Pareto.....	32
2.3. Metodología para investigar la esencia, ventajas y desventajas de las formas de gestión del mantenimiento técnico sugeridas por los expertos.....	33

2.4. Metodología para elaborar la guía de implementación del método propuesto.....	33
CAPÍTULO III .....	34
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
3.1 Resultados del estudio para analizar la esencia, principales ventajas e insuficiencias del (SPPMTRMA), aplicado en el sector agropecuario cubano..	34
La carga anual planificada (s) para los tractores y otras máquinas similares se determina a través de la siguiente ecuación como: .....	40
3.2 Resultados del estudio para evaluar, con el concurso de expertos, las diferentes formas de gestión del mantenimiento técnico que de acuerdo a las condiciones existentes en el sector agropecuario cubano, debían potenciarse. .....	42
3.3. Resultados del estudio para determinar la esencia, ventajas y desventajas, de las formas de gestión del mantenimiento sugeridas por los expertos.....	54
3.3.1. Mantenimiento Productivo Total (TPM). .....	54
3.3.2 Mantenimiento Preventivo.....	55
3.3.3. Mantenimiento Predictivo .....	58
3.3.4. Sistema de mantenimiento asistido por ordenador. (GMAO).....	59
3.3.5. Sistema Alternativo de Mantenimiento. (SAM) .....	61
3.4. Resultados del estudio para elaborar la guía de implementación del método propuesto.....	62
CONCLUSIONES.....	74
RECOMENDACIONES .....	75
BIBLIOGRAFÍA .....	76

## **INTRODUCCIÓN**

A inicios del desarrollo de la mecanización en Cuba, no existía un sistema planificado de asistencia técnica a la maquinaria agrícola, debido entre otras cuestiones a que la misma era muy escasa y se encontraba casi toda en manos de particulares y pequeños productores, quienes asumían con sus propios medios y recursos la reparación de las mismas, por lo que estas operaciones se hacían generalmente cuando ocurría la falla y no de manera planificada.

Después del triunfo de la Revolución, con la masiva incorporación de maquinaria al sector agrícola cubano, surgió la necesidad de mantener la capacidad de trabajo de la misma de manera planificada, aun cuando en aquellos tiempos no se había desarrollado a plenitud la teoría de la fiabilidad, y el análisis probabilístico de los fallos no se aplicaba, pues se creía hasta entonces que el plazo de servicio de las piezas era rigurosamente determinado y no se podía influir sobre el mismo.

Posteriormente, con la acumulación de la experiencia en la explotación del parque de máquinas, el mantenimiento como sistema se perfeccionó y se llegó a la conclusión de que para mantener la capacidad de trabajo de la maquinaria se necesitaba ejecutar acciones de mantenimiento técnico y reparación de manera preventiva y planificada, para lo que se requería de personal calificado, de una base técnico-material adecuada, y de una documentación técnico-normativa actualizada en función de las características del parque de máquinas a atender.

Es así como se introduce en Cuba en la década de los años 60 el Sistema Preventivo Planificado de Mantenimiento Técnico y Reparación a la Maquinaria Agrícola (SPPMTRMA) por sus siglas.

Éste es el sistema que aun hoy se aplica en el sector agropecuario cubano, con la particularidad de ser preventivo porque comprende las medidas técnico ingenieriles preventivas que anticipan el surgimiento de averías como consecuencia de los desgastes prematuros o no de las piezas, y planificado porque las diferentes operaciones se planifican de ante mano en correspondencia con una periodicidad determinada.

En general, es un sistema complejo que incluye las operaciones de: asentamiento, servicio técnico diario, mantenimientos técnicos periódicos de diferentes complejidades, chequeos técnicos, reparaciones sencillas y complejas, además de las operaciones de conservación para la maquinaria agrícola en

general, operaciones que se planifican de manera estricta en dependencia del consumo de combustible, hectáreas elaboradas, moto horas de trabajo, kilómetros recorridos, etc.

Sin embargo, desde su propia concepción, el sistema posee una serie de desventajas e insuficiencias que han ido quedando demostradas con el paso del tiempo y fundamentan la necesidad de un cambio, es decir; reformar la estructura actual, y pasar del carácter obligatorio actual una vez alcanzada una norma de elaboración establecida, al carácter necesario en correspondencia con el estado técnico real del equipo Shkiliova, (2011), lo que se traducirá en un sustancial ahorro de recursos humanos, materiales y de otros tipos.

Por ello, el **objeto de estudio** del trabajo lo constituye el (SPPMTRMA) vigente en el sector agropecuario cubano, y el **problema científico** consiste en definir, ¿qué probabilidad existe de hacer de la gestión del mantenimiento técnico a la maquinaria agrícola en Cuba un sistema más eficiente, si para ello se proponen nuevas formas de concebirlo en correspondencia con la experiencia acumulada en países más desarrollados?

El **objetivo general** es fundamentar, proponer y elaborar la guía de implantación de una nueva forma de gestión del mantenimiento técnico a la maquinaria agrícola en Cuba, a través del estudio de otras formas utilizadas en países más desarrollados con vistas a reducir los gastos en recursos materiales, humanos y de otros tipos en los que actualmente se incurre.

Se emplea para ello la siguiente **hipótesis de trabajo**: Si se estudian las ventajas y desventajas de los métodos existentes para gestionar la asistencia técnica en países más desarrollados, se podrá proponer al menos una variante donde queden excluidas las insuficiencias y desventajas del (SPPMTRMA) actualmente aplicado en Cuba.

Para dar cumplimiento al objetivo propuesto, se declaran los siguientes **objetivos específicos**:

- 1- Analizar la esencia, principales ventajas y desventajas del (SPPMTRMA) aplicado actualmente en el sector agropecuario cubano.
- 2- Evaluar con el concurso de expertos, las diferentes formas que se pudieran aplicar para gestionar el mantenimiento técnico a la maquinaria agrícola en Cuba, de acuerdo a las condiciones propias del sector agropecuario cubano

y a los resultados obtenidos al procesar la información a través del diagrama de Pareto.

- 3- Analizar la esencia, ventajas y desventajas de los métodos de gestión del mantenimiento propuestos por los expertos, que representan el 80% del fenómeno investigado.
- 4- Elaborar la guía que permita la implementación de la forma de gestión que se derive del estudio.

### **Justificación:**

La investigación es de gran importancia, ya que con ella se espera obtener como resultado principal una nueva forma para gestionar el mantenimiento técnico a la maquinaria agrícola en Cuba, involucrando de manera efectiva a todo el personal vinculado directa o indirectamente con la explotación de la maquinaria, de manera tal, que las operaciones que se ejecuten respondan al estado técnico real del equipo, y no de acuerdo a una estricta planificación como se hace en la actualidad. La novedad científica consiste en la elaboración de un nuevo modelo de gestión del mantenimiento para la maquinaria agrícola en Cuba, en función de las necesidades reales de la misma.

El impacto social y económico del trabajo, se manifiesta a través del ahorro en recursos humanos, materiales y de otros tipos que la implementación de la nueva forma de gestión originará, pues se asistirá técnicamente en los equipos solo lo que sea necesario asistir en dependencia de su estado técnico real, y se vinculará al proceso a todo el personal que directa o indirectamente esté relacionado con la explotación de la maquinaria.

Desde el punto de vista teórico, el trabajo ofrecerá una herramienta de gestión para el mantenimiento adecuada a las condiciones cubanas de producción agropecuaria, en armonía con los adelantos que en ésta esfera existen a escala global.

# CAPÍTULO I

## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 1.1. Antecedentes.

El desarrollo y evolución de la gestión del mantenimiento, ha transitado por tres generaciones fundamentales desde la década de los años 40. La primera, ubicada precisamente entre los años 40 – 50, se caracterizó porque se reparaba siempre solo después de haberse producido la falla y por tanto, se usaba el mantenimiento correctivo.

La segunda generación se enmarca en la década de los años 60 - 70, e introdujo el mantenimiento preventivo al existir una mayor disponibilidad de máquinas, mientras que la tercera, se inició finalmente en la década de los años 80 y se mantiene hasta la actualidad.

Ésta se caracteriza porque en ella se ejecutan las operaciones de asistencia técnica utilizando diferentes vías, toda vez que los equipos son más duraderos, confiables y seguros, de mejor calidad, ejercen una menor influencia sobre el medio ambiente y sus costos son relativamente más bajos.

Sin embargo, es erróneo considerar que el desarrollo de la gestión del mantenimiento se circunscriba solo a esos períodos de tiempo Álvarez, (2002), pues evidencias arqueológicas encontradas en Egipto, Mesopotamia y Asiria, pertenecientes al período Neolítico, demuestran la existencia de encajes de piedra para ejes de puertas, ruedas de alfareros en madera y piedra, así como cojinetes de ruedas y rodillos lubricados, elementos que demuestran el conocimiento que ya existía sobre el papel que ejercía alguna sustancia lubricante en la mitigación del desgaste, como causa principal por la que es necesario el mantenimiento técnico.

En la Edad de Bronce apareció el uso de betunes y aceites minerales filtrados, en la Edad de Hierro surgieron los primeros cojinetes de bolas y en la Edad Media, específicamente en Grecia y Roma, se usaron piedras antidesgaste insertadas en elementos de madera, aceites vegetales y grasas de origen animal.

Sin embargo, lo cierto es que no fue hasta el período del Renacimiento que se realizaron los primeros estudios científicos sobre el tema, ejecutados fundamentalmente por el eminente científico Leonardo de Vinci al abordar el tema de la fricción, el desgaste y los cojinetes.

Posteriormente, con la Revolución Industrial, se formularon las leyes que hoy se conocen sobre la fricción gracias a las investigaciones realizadas por los científicos

Amontons, Coulomb y Leslie, aparece el metal Babbit, y se reportan los estudios realizados por Petrov, Tower, Reynolds y Kingsbury sobre el tema de la fricción, el desgaste y la lubricación.

## **1.2. Tipos y sistemas de mantenimiento.**

Diferentes autores, entre los que se pueden citar a: (Moubray, 2016; Amándola, 2016; Tavares, 2016 y Knezevic, 2011), utilizan los términos de: “Políticas de Mantenimiento”, “Sistemas de Mantenimiento”, “Tipos de Mantenimiento”, y “Estrategias de Mantenimiento”, para referirse a lo mismo.

Es común incluso que algunos utilicen el término “Tipos de Mantenimiento” para identificar solo el tipo de acción específica que se ejecuta en un momento determinado sobre un objeto, mientras que el término “Sistemas de Mantenimiento” lo refieren al sistema que se aplica a todo el equipamiento o a grupos de objetos similares o diferentes, sobre cuya base se desarrolla la gestión del mantenimiento con su correspondiente planificación, organización, ejecución y control.

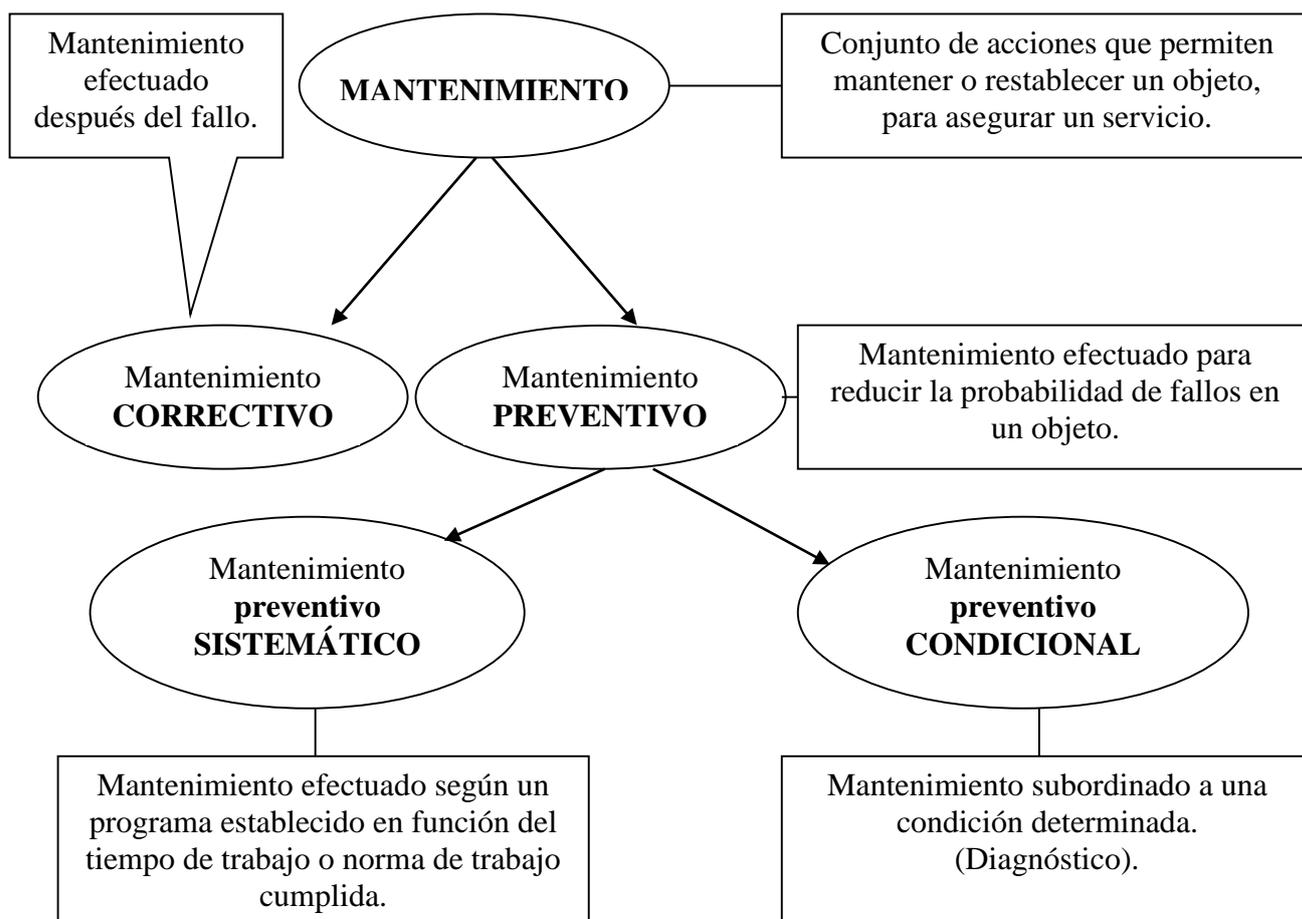
De igual forma, en la literatura especializada (Knezevic, 1996, Sanz, 2011, y Baldin et.al. 1982), se pueden consultar otras clasificaciones para los “Sistemas de Gestión del Mantenimiento”, que dependen fundamentalmente de los criterios seguidos por los autores, y/o por la forma en que se aplica el mismo.

De éste modo aparecen por ejemplo:

1. Sistema de Mantenimiento Correctivo, Preventivo y Condicionado.
2. Sistema de Mantenimiento Correctivo, Preventivo, Predictivo y Mantenimiento Productivo Total.
3. Sistema de Mantenimiento Correctivo, Periódico en función del tiempo, y Preventivo Basado en la Inspección Previa.
4. Sistema de Mantenimiento Basado en el Fallo, basado en la Inspección Previa, basado en la Condición, y basado en el Negocio, etc.

Por su parte, las normas de la Asociación Francesa de Normalización (AFNOR) X60010 y 60011, clasifican los mantenimientos como se muestra en la figura 1.1.

Según la cual, el mantenimiento puede ser solo correctivo o preventivo, pudiendo ser éste último de dos formas: sistemático, o condicional.



Fuente: Gestión del Mantenimiento. ISBN 978-84-15545-60-6

Figura 1.1. Clasificación de los mantenimientos según las normas AFNOR X 60010 y 60011.

En éste sentido y de acuerdo con (Acevedo, 2000; Torres, 2005; Daquinta, 2008; Shkiliova, 2009 y Shkiliova, 2010), el mantenimiento correctivo es aquel que se realiza una vez aparecida la falla, mientras que el preventivo es sistemático cuando se efectúa según un programa establecido en función del tiempo de trabajo, y condicional si se ejecuta de acuerdo a una condición determinada del objeto.

Se reconocen además como sistemas o políticas de mantenimiento el Reliability Centerd Maintenance (RMC) por sus siglas en inglés, o Mantenimiento Centrado en Confiabilidad según ZWEIG, (1992), identificado en España como un sistema de mantenimiento basado en la fiabilidad (MBF).

Por su parte (Zineb, 2006 y Amándola, 2016), reconocen tres sistemas básicos de mantenimiento, que coinciden en su esencia con los más aceptados de acuerdo a las formas de intervención o acciones que se realizan sobre el objeto. Estos son:

- Mantenimiento Correctivo.
- Mantenimiento Preventivo.

➤ **Mantenimiento Predictivo.**

Finalmente (García, 2012; Ballesteros 2016; Gamarra 2016; Monsalves, 2016; Moubray, 2016 y Tavares, 2016) reconocen además el Sistema de Mantenimiento Productivo Total (TPM), el Sistema de Mantenimiento Asistido por Ordenador (GMAO), el Sistema Alternativo de Mantenimiento (SAM), el Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM), el Mantenimiento Basado en la Categorización de las Máquinas (MBCM) y el Mantenimiento Basado en Riesgo (MBR), sistemas que en la actualidad se consideran “Nuevas filosofías de la gestión del mantenimiento”. La esencia y particularidades de los métodos de gestión anteriormente citados es la siguiente:

**1.2.1. Mantenimiento Correctivo (o basado en el fallo).**

De acuerdo con Zweig, (1992), ésta es la forma más antigua que existe de ejecutar el mantenimiento, y consiste en corregir las fallas cuando éstas se presentan, por ello, usualmente se realiza sobre una base no planificada respondiendo solo a la solicitud del operario. Es decir, se reparan todos aquellos defectos que han ocurrido o que en el momento de la reparación se detecta que han de ocurrir.

Aunque en sentido general éste modo de gestionar el mantenimiento se identifica como un sistema con bajos costos para su aplicación, contradictoriamente se caracteriza por ser el más caro, pues los costos son crecientes en función del tiempo transcurrido como se muestra en la figura 1.2.



Fuente: Texto: Ingeniería del mantenimiento.

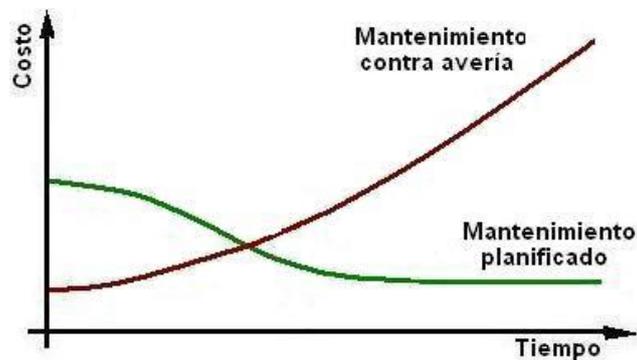
Figura 1.2. Comportamiento del costo del mantenimiento correctivo en el tiempo.

**1.2.2. Mantenimiento Preventivo.**

Esta forma de gestionar el mantenimiento se encuentra entre las más usadas, y consiste en la realización de rondas de supervisión o de sustitución de partes y piezas en periodos fijos de tiempo.

Se puede definir por tanto, como la programación de una serie de inspecciones, ajustes, reparaciones, análisis, limpieza, lubricación, calibración, etc, que deben llevarse a cabo de manera periódica en base a un plan y no a una demanda del operario, por lo que se identifica realmente como “Mantenimiento Preventivo Planificado” (MPP) por sus siglas.

Como se observa en la figura 1.3, las acciones de mantenimiento planificadas demandan inversiones iniciales superiores a las necesarias para el sistema de gestión del mantenimiento correctivo, sin embargo, los costos disminuyen paulatinamente de manera significativa al decursar el tiempo.



Fuente: Texto: Ingeniería del mantenimiento.

Figura 1.3. Comportamiento del costo inicial del mantenimiento planificado, contra el costo inicial del mantenimiento correctivo en función del tiempo.

De acuerdo con Amándola, (2016), la manera de gestionar de manera preventiva el mantenimiento a intervalos de tiempos regulares, es un avance comparado con la gestión del mantenimiento de manera correctiva respecto a la prevención de fallas, y se desarrolla en dos formas fundamentales:

- Gestión del Mantenimiento Preventivo por Tiempo;
- gestión del Mantenimiento Preventivo por Estado.

**1.2.2.1. La gestión del Mantenimiento Preventivo por Tiempo**, se aplica cuando los servicios preventivos son preestablecidos y se desarrollan a través de una programación preventiva sistemática, (lubricación, inspección, etc.), definidos en unidades calendario, (día, semana, mes, etc.), o en unidades no calendariadas, (horas de funcionamiento, toneladas de productos, cantidad de artículos, kilómetros recorridos, hectáreas laboradas, consumo de combustible, etc.).

**1.2.2.2. La gestión del Mantenimiento Preventivo por Estado**, se aplica cuando los servicios preventivos son ejecutados en función de la condición operativa del equipo, (reparación de defectos, predictivo, reforma o revisión general, etc.).

Se incluyen además los mantenimientos correctivos no previstos, identificados por (Acevedo, 2000; Shkiliova, 2010 y Daquinta, 2008), como una Reparación Corriente o de Explotación, las que al ser fortuitas y no previstas no se programan, pero sí se tiene en cuenta su incidencia para determinar por ejemplo, la cantidad de trabajadores de mantenimiento al determinar los fondos de tiempo necesario para las ejecuciones, el consumo de repuestos, los presupuestos para gastos, etc.

Este tipo de atención técnica correctiva, se ejecuta debido a las fallas o roturas no previstas que ocurren durante la explotación del objeto, causadas generalmente por deficiencias de explotación, baja calidad de los mantenimientos, o por defectos en el diseño o fabricación de las piezas, etc.

La mayor o menor ocurrencia de estas, en gran medida depende de cuan objetiva sea la planificación de las atenciones técnicas programadas, del comportamiento estadístico y la distribución de las inspecciones y revisiones técnicas predictivas aplicadas, la posibilidad de disponer de operarios experimentados para prevenirlas, etc.

### **1.2.3. Mantenimiento predictivo.**

Según Mosquera, (2001), es el tipo de gestión del mantenimiento que mejor asegura un correcto estado de funcionamiento de los equipos, ya que es un mantenimiento que aplica técnicas predictivas a las máquinas y equipos. Por ello, es considerado por muchos más que un método una filosofía de trabajo.

Se basa fundamentalmente en el análisis de parámetros de funcionamiento, cuya evolución permite detectar un fallo antes de que suceda dando tiempo por tanto a corregirlo. Sin embargo, para ello es imprescindible el uso de instrumentos sofisticados de diagnóstico y la aplicación sistemática de pruebas no destructivas.

En general, consiste en estudiar la evolución temporal de ciertos parámetros y asociarlos a la evolución de fallos, de esta manera se puede determinar en qué periodo de tiempo ese fallo va a tomar relevancia, pudiéndose planificar las intervenciones con tiempo suficiente para que esa falla nunca tenga consecuencias graves.

Una de las características de este tipo de gestión del mantenimiento, es que no debe alterar el funcionamiento normal del equipo mientras se está aplicando. Por ello, el principio del mantenimiento predictivo es que la intervención se realiza solo cuando las mediciones indican que es necesario.

La tendencia actual que más interés suscita en el mantenimiento predictivo, apunta hacia el uso de equipos de vigilancia permanente o de monitorización, en los que el análisis de los datos se puede efectuar por medio de sistemas autónomos que mejoran el nivel de supervisión de la máquina y disminuyen los costes del personal que debería tomarlos.

Esto tiene dos implicaciones importantes:

- Exige un mayor conocimiento de la máquina, de los fallos y sus causas;
- aporta un notable grado de automatización al diagnóstico y control subsiguiente del equipo.

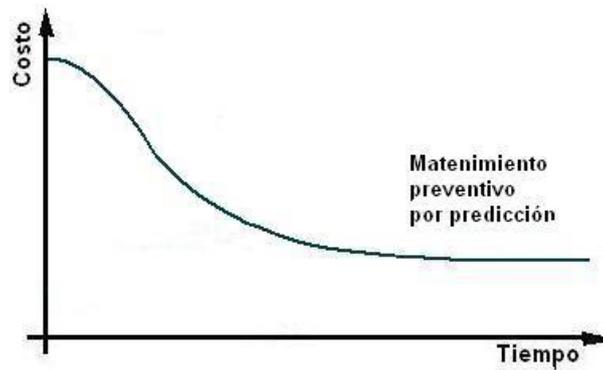
A diferencia de la gestión del Mantenimiento Preventivo que debe aplicarse en conjunto, el Mantenimiento Predictivo puede aplicarse por pasos. Sin embargo, es necesario tener presente que este tipo de gestión del mantenimiento constituye en sí una forma racionalizada del mantenimiento preventivo, pues la actividad predictiva no constituye un mantenimiento completo en sí, sino un complemento de las formas de mantenimiento preventivo u otras.

La inspección de los parámetros puede aplicarse de forma periódica o de forma continua, dependiendo de factores tales como: el tipo de equipo, los tipos de fallos a diagnosticar y la inversión que se quiera realizar.

En este tipo de mantenimiento, las mediciones a intervalos fijos se sustituyen por mediciones de ciertos síntomas o parámetros a intervalos fijos, a lo que se denomina control y seguimiento de la condición, o "*Monitoreo de la condición*" (*Condition monitoring*), cuyos objetivos son: vigilancia de las máquinas y protección de las máquinas.

La hipótesis base del mantenimiento predictivo asume que hay características medibles u observables, las cuales definen exactamente la condición de la máquina.

En la figura 1.4 se representa el comportamiento del costo del mantenimiento preventivo por predicción.



Fuente: Texto: Ingeniería del mantenimiento.

Figura 1.4. Comportamiento del costo del mantenimiento preventivo por predicción.

Como se observa en la figura, aunque inicialmente se necesita de una inversión costosa, con el decursar del tiempo la misma se justifica debido a que los costos de mantenimiento se reducen casi de manera exponencial.

#### 1.2.4. Mantenimiento Productivo Total. (TPM).

El Mantenimiento Productivo Total, ó "Total Productive Maintenance", (TPM) por sus siglas en inglés, es una técnica de gestión desarrollada y concretada en Japón en 1971, específicamente por el Instituto Japonés de Ingeniería de Plantas (JIPM) por sus siglas, que se dedica como organización a la investigación, consultoría y formación de ingenieros para la producción Nakajima, (1988).

Su concepción básica es, "la reformulación y mejora a partir de la reestructuración y mejora de las personas y de los equipos", con el compromiso de todos los niveles jerárquicos y el cambio de la postura organizacional.

Considera que no existe nadie mejor que el operario para conocer el funcionamiento del equipo que le fuera confiado, y que el técnico de mantenimiento puede conocer muy bien las especificaciones del equipo y haber estudiado sus partes constitutivas, pero que el operario trabaja y convive diariamente con la maquinaria y llega a conocerla como nadie.

Según (Cabral de Carvalho, 1998 y Vanderlei de Oliveira 1993), constituye una estrategia valiosa para quien quiere hacer competitivo su negocio, pues es una forma de gestión que involucra a todos los trabajadores directamente interesados y a la dirección de la empresa, en un esfuerzo conjunto para obtener la máxima efectividad del equipo por medio del establecimiento de un sistema de mantenimiento programado que cubra el total de su vida útil.

Los objetivos que persigue esta filosofía de mantenimiento son:

Maximizar la eficiencia de los equipos; establecer un sistema de gestión de mantenimiento preventivo / predictivo, que asegure una larga vida y disponibilidad del equipo; involucrar en este proceso desde el director hasta el último trabajador, y promover una acción directa de dirección a través de la creación de pequeños grupos destinados a pequeñas actividades e ideas.

Como objetivo inmediato de su actividad, se encuentra la eliminación total de las pérdidas de producción que implica, "cero" fallas y defectos, mejorando la efectividad del equipo, reduciendo costos, y aumentando la productividad.

La mejora de la efectividad se obtiene eliminando las "Seis Grandes Pérdidas" que interfieren con la operación, éstas son:

1. Fallas del equipo que producen pérdidas de tiempo inesperadas.
2. Puesta a punto y ajustes de las máquinas que producen pérdidas de tiempo al iniciar una nueva operación.
3. Marchas en vacío, esperas y detenciones menores durante la operación normal, que producen pérdidas de tiempo.
4. Velocidad de operación reducida, que produce pérdidas de tiempo al no obtenerse la velocidad requerida en las operaciones.
5. Defectos en el proceso, que producen pérdidas de tiempo al tener que reparar piezas defectuosas, o completar actividades no terminadas.
6. Pérdidas de tiempo propias de la puesta en marcha, período de prueba.

El TPM presupone un nuevo concepto de gestión del mantenimiento, que debe ser llevado por todos los empleados y a todos los niveles. Es la continuidad de la evolución de metodologías tecnológicas de mantenimiento, según tres etapas precursoras conocidas como:

- Escuela Latina (Francia - mitad de la década de 1 960),
- Investigaciones exURSS al término de la década de 1 960,
- Terotecnología (Inglaterra - inicio de la década de 1 970).

En éste sentido, la escuela latina presupone que el aumento de la productividad se obtiene a través del mantenimiento que, por medio de un Sistema informatizado e integrado, moviliza los recursos y trabajo en equipos de varios segmentos y diferentes niveles de jerarquía, motivados y coordinados bajo una misma dirección, o sea, el mantenimiento coordina grupos de trabajo en diversos niveles de supervisión buscando mayor eficiencia y disponibilidad de los equipos.

En una concepción más amplia, son objetivos del TPM constituir una estructura empresarial que busque la máxima eficiencia del sistema de producción o servicio, y la implantación, desde el propio local de trabajo, de un sistema de gestión que facilite durante el ciclo de vida del equipo la eliminación de las pérdidas antes que se produzcan, (Cero defectos, Cero averías, Cero accidentes).

Tiene como objetivo además, la aplicación de los sistemas de gestión a todos los aspectos de la producción, comprometiendo a todos los departamentos y formando una cultura corporativa orientada a la obtención de la máxima eficacia en el sistema de producción y gestión de equipos: (Producción + Gestión de Equipos).

Para ello, se debe contar con la participación de todo el personal, desde la cúspide de la estructura administrativa hasta los operarios en la base, e implantar el mantenimiento preventivo basado en el tiempo y las condiciones.

Para alcanzar el objetivo de cero pérdidas mediante actividades integradas en pequeños grupos de trabajo y apoyadas en el Mantenimiento Autónomo, es necesario mejorar la calidad del personal (operadores, mantenedores e ingenieros), mejorar la calidad de los equipos a través de la maximización de su eficiencia y de su ciclo de vida útil, y mejorar los resultados alcanzados por la institución.

De esta forma, se puede considerar que el TPM promueve un mejoramiento continuo del personal a través del cambio de mentalidad de todos, el mejoramiento de las máquinas a través de la mejora de la eficiencia global, de la eficiencia técnica y del factor de utilización; y el mejoramiento de la cultura general a través de la eliminación de los tiempos de espera, así como la creación de un trabajo seguro y agradable que al final, redundará en buenos resultados económicos.

De acuerdo con informes divulgadas por el (JIPM), con la aplicación del TPM se pueden obtener los siguientes efectos tangibles: Mejora de la productividad por valor agregado de 1,5 a 2 veces; reducción de la proporción de defectos en proceso de 10/1; reducción en la proporción de reclamos de los clientes de 4/1; reducción de los costos de producción en un 30%; reducción del almacenamiento de productos en un 50% y obtención de cero accidentes en el lugar de trabajo y cero contaminación.

Además, se obtienen los siguientes efectos intangibles, principalmente en el factor humano:

- Control totalmente autónomo de los equipos ("Jishu Hozen"). Culto de la mentalidad "*a mi equipo lo cuido yo*";

- estímulo de la confianza en si mismo, obtenida por la aplicación de la política de *"ejecutando se consigue"*, alcanzando el mínimo de falla y el mínimo de defectos;
- desarrollo del *"sentido de responsabilidad"*, a través de la aplicación de las "5S";
- construcción de un ambiente de trabajo sano, pues el mismo se torna limpio, sin residuos de lubricantes o suciedades, (sentido de limpieza y sentido de aseo de las "5S").

El TPM en su filosofía, busca eliminar los seis tipos de perdidas fundamentales que disminuyen la eficiencia de las máquinas, y tiene como uno de sus pilares fundamentales la implantación y desarrollo el Mantenimiento Autónomo, además de disponer de uno de los más fuertes aliados en la aplicación de esta forma de mantenimiento y en los sistemas de gestión de la producción actual, la filosofía de las "5S".

La filosofía básica del Mantenimiento Autónomo radica en que la persona que opera un equipo se ocupe de su mantenimiento.

Este concepto ha ido evolucionando a lo largo del tiempo, pues si bien es cierto que a comienzos de la gestión del mantenimiento la sencillez de las máquinas asociadas a un nivel de productividad y calidad no tan exigente permitía al propio operario llevar a cabo el mantenimiento de su equipo, con el incremento en el tiempo de los niveles de producción, las exigencias de calidad de los productos, y la tecnología de las máquinas cada vez más complejas, hicieron que las tareas del operario se fueran encaminando única y exclusivamente a obtener mayor producción.

De esta forma, se llegó al momento en que era necesaria la intervención de un personal de mantenimiento entrenado y de más calificación, que liberara al operario incluso de las tareas más básicas del mantenimiento como pueden ser la limpieza y la lubricación.

En tales circunstancias, el descuido del equipo por parte del personal productivo provoca fallas y averías que precisan de su reparación por parte de operarios especializados con una muy baja eficacia, pues el tiempo necesario para atender esos problemas trae como consecuencia el doble descuido de la maquinaria.

Con la adopción del Mantenimiento Autónomo, el operario asume tareas de mantenimiento productivo incluidas la limpieza, así como algunas tareas propias del mantenimiento preventivo.

Como consecuencia de la inspección del estado de su propio equipo, podrá advertir sobre las necesidades de mantenimiento preventivo a cargo del departamento correspondiente.

Normalmente, las tareas de mantenimiento autónomo se llevarán a cabo por grupos de operarios que tendrán a su cargo una o varias máquinas.

Con esta nueva forma de gestión se mejoran simultáneamente los tres componentes de la competitividad: Calidad mejorada, Coste reducido, Tiempo reducido.

La mejora de la eficacia y competitividad que puede lograrse con el Mantenimiento Autónomo, se deriva de la combinación del trabajo y el mantenimiento que permite ahorrar tiempos (de vacío) y esfuerzos, dando lugar a una actuación más rápida.

El operador conoce mejor que nadie su equipo, sabe lo que necesita y cuándo lo necesita, por lo que puede darle un mantenimiento rápido y eficiente al mismo, además de conocer cuándo el equipo está próximo a una avería o próximo a la necesidad de cambio de algún componente, detectado a través de (un ruido, una holgura, un incremento de la temperatura, alteraciones de algún indicador, etc.)

Para implantar el TPM con la máxima eficacia posible, es imprescindible pasar primero por la previa implantación de un Mantenimiento Autónomo en aras de rentabilizar al máximo al operario, al tiempo que se incidirá en su formación, entrenamiento y motivación, permitiéndole entender el proceso productivo en el que está involucrado y sentirse parte de él.

#### **1.2.5. Gestión del Mantenimiento Asistido por Ordenador. (GMAO)**

En la práctica, según Cruz, (2002), se trata de un programa informático (Software), que permite la gestión del mantenimiento de los equipos tanto para el mantenimiento correctivo, preventivo, como predictivo, etc.

Los programas GMAO suelen estar compuestos de varias secciones o módulos interconectados, que permiten ejecutar y llevar un control exhaustivo de las tareas habituales en los departamentos de mantenimiento como son: Control de incidencias, averías, etc.; (historial de máquinas o equipos); programación de revisiones y de mantenimiento preventivo: limpieza, lubricación, etc.; control de stocks de repuestos y recambios, (control de almacén); generación y seguimiento de las "Órdenes de Trabajo" para los técnicos de mantenimiento.

Estos sistemas se deben implementar donde las condiciones sean favorables y donde esté creada una infraestructura que posibilite tal aplicación.

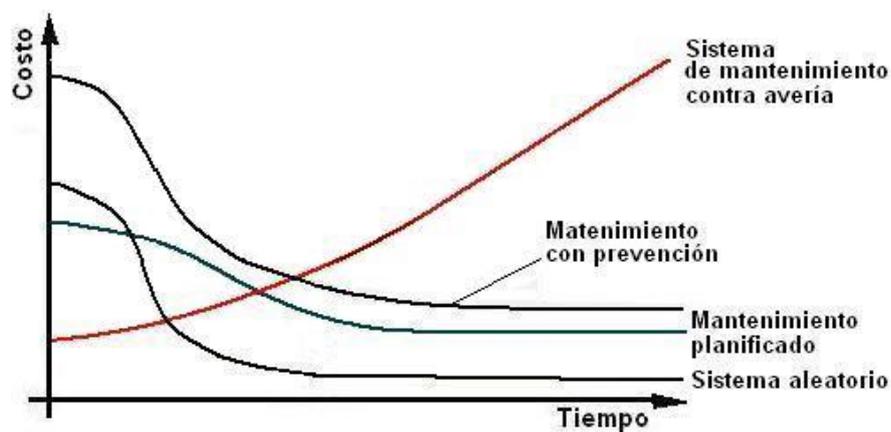
### 1.2.6. Sistema Alternativo de Mantenimiento. (SAM).

El SAM es un sistema de gestión del mantenimiento complejo, en el que se integran como sub-sistemas el Sistema de Mantenimiento Correctivo o contra averías, el Mantenimiento Preventivo Planificado (MPP) y el Mantenimiento por Diagnóstico (García, 1987, De la Paz, 2016 y Peter, 2016).

Estos tres sistemas integrados forman un sistema único de gestión llamado SAM, que aunque con diferentes denominaciones desde hace más de tres décadas se ha venido estudiando y aplicando en algunos países.

Sus características fundamentales son: Aplica el sistema de mantenimiento más adecuado a las condiciones y características de cada objeto y a las posibilidades reales, permite una alta disponibilidad de los equipos, pues se ajusta a las características específicas de cada uno y a sus condiciones de explotación, tiende a la reducción de los costes de mantenimiento por efectuarse solamente los trabajos necesarios, y disminuye los desgastes, desajustes y desperfectos en los equipos producto de desarmes y armes innecesarios.

Como se muestra en la figura 1.5, los costos en el SAM están dados por el comportamiento aleatorio de los costos de los diferentes sistemas de mantenimiento que se apliquen.



Fuente: Texto: Ingeniería del mantenimiento.

Figura 1.5. Costo de los mantenimientos respecto al tiempo.

En la gráfica se refleja el comportamiento de los costos de mantenimiento para los distintos tipos con relación al tiempo.

El mantenimiento correctivo se presenta a lo largo del tiempo como una curva ascendente, debido a la reducción de la vida útil de los equipos y la consecuente

depreciación del activo acompañada de pérdidas de producción o calidad de los servicios, lo que hace que aumente la demanda de repuestos, aumente el “stock” de materia prima improductiva, el pago de horas extras del personal que ejecuta el mantenimiento, ociosidad de mano de obra operativa, pérdida de mercado y aumento de riesgos de accidentes.

Sin embargo, con la planificación y el control que permite la prevención o predicción de la falla, se presenta una configuración de costos invertida, con tasa negativa anual del orden de 20 % y tendencia a valores estables, que pueden representar en el cómputo total un ahorro de 300 a 500 %, más de la mitad del cual es considerado por el costo total de una parada del equipo, como la suma del costo del mantenimiento, que incluye los costos de mano de obra, repuestos, materiales, combustibles y lubricantes, y el costo de indisponibilidad que incluye el costo de pérdida de producción (horas no trabajadas), debido a: mala calidad del trabajo; falta de equipos; costo por emergencias; costos extras para reorganizar la producción; costo por repuestos de emergencia; etc.

Las propiedades de este sistema de gestión son:

1. Flexibilidad: Radica en la capacidad de asimilar de manera rápida los cambios provenientes de la producción.
2. Racionalidad: Radica en la capacidad de desarrollar sus funciones y cumplir sus objetivos con los recursos necesarios al costo razonable, disminuyendo sustancialmente el trabajo burocrático en relación con el sistema de (MPP).
3. Apertura: Capacidad de relacionarse con otros sistemas de producción, calidad, contabilidad, recursos humanos y aprovisionamiento.
4. Sinergia: Capacidad para involucrar a todos en el cumplimiento de sus objetivos y metas.
5. Simplicidad: Diseño sencillo y estructurado que, con la participación de todos, permite la comprensión de su funcionamiento, aun cuando en el mantenimiento se manejan generalmente muchas variables a la vez.
6. Fiabilidad: Capacidad de funcionar continuamente sin obstaculizar el proceso de toma de decisiones.
7. Mejora continua: Capacidad de ser susceptible de mejoras basadas en la retroalimentación de sus resultados en cada período que se evalúe.
8. Posibilidad de ser automatizado: Todo sistema es susceptible de ser automatizado y de hecho, ya existen algunas experiencias en este sentido.

### **1.2.7. Mantenimiento Centrado en la Fiabilidad (RCM) por sus siglas en inglés, o Mantenimiento Basado en la Fiabilidad (MBF)**

Según (Knezevic, 2011 y Portuondo 2008), constituye una estrategia de gestión del mantenimiento, cuyo objetivo principal es preservar las funciones de un determinado sistema, contrario a las políticas convencionales de mantenimiento que tienen como enfoque fundamental la preservación del equipamiento.

Es una metodología utilizada para determinar sistemáticamente, qué debe hacerse para asegurar que los objetos físicos continúen haciendo lo requerido por el usuario en el contexto operacional, y permite identificar las políticas de mantenimiento óptimas para garantizar el cumplimiento de los estándares requeridos por los procesos de producción, ya que reconoce como un aspecto clave, que el mantenimiento asegura el cumplimiento de las funciones de trabajo de un objeto de forma eficiente.

Amándola, (2016), destaca la definición de Anthony Smith de RCM como: *“Una filosofía de gestión del mantenimiento, en la cual un equipo multidisciplinario de trabajo se encarga de optimizar la confiabilidad operacional de un sistema o equipo que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades más efectivas de mantenimiento en función de la criticidad de los activos pertenecientes a dicho sistema”*

El RCM es por tanto, un sistema de gestión que aborda la descripción de los sistemas productivos, sus interfaces, insumos, equipamientos, funciones, modos, causas y efectos de las diversas fallas funcionales.

El resultado del RCM definirá cuáles tareas de mantenimiento son más adecuadas en la prevención de fallas funcionales del sistema, enfatizando en aspectos de seguridad para el hombre y el medio ambiente e importancia para la producción, obedeciendo a un criterio de costo - eficiencia.

Se considera que, desde el punto de vista técnico, existen dos aspectos que influyen en la selección de las tareas:

- La relación entre el tiempo acumulado de operación, (edad) del artículo y su probabilidad de fallo;
- lo que sucede cuando la falla comienza a ocurrir.

Una característica importante del RCM, es el hecho de considerar en cada tarea preventiva, (basada en el tiempo, en la condición o en una prueba), el

comportamiento temporal de las tasas de fallas, con lo que se requiere un enfoque desde el punto de vista de la Fiabilidad.

Según Moubray, (2016), una definición completa de RCM es la siguiente:

Es un proceso utilizado para determinar lo que precisa ser hecho, para asegurar que cualquier activo físico continúe cumpliendo sus funciones en su contexto operacional.

Significa que el énfasis no se debe centrar en las tareas preventivas que tiendan a conservar el equipamiento en una condición ideal, sino por el contrario, en aquellas tareas necesarias para mantener el equipo funcionando.

Una importante peculiaridad del RCM, es reconocer que la consecuencia de un fallo es mucho más importante que sus características técnicas, y por tanto, solamente merecen esfuerzos de planificación, predicción, financieros y de recursos materiales o de mano de obra, aquellos fallos que puedan y que realmente valgan la pena ser prevenidos.

El procedimiento de implantación del RCM en los equipos requiere que sean respondidas siete cuestiones básicas:

1. ¿Cuáles son las funciones y los respectivos patrones de desempeño de los activos que integran un determinado contexto operacional?
2. ¿De qué modo fallan al ejecutar plenamente sus funciones?
3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
4. ¿Cómo se manifiesta cada una de esas fallas?
5. ¿Qué consecuencias (seguridad, producción) trae cada modo de falla?
6. ¿Qué puede ser hecho para prevenir cada falla?
7. En caso de que no se encuentre una tarea preventiva adecuada, ¿qué debe hacerse?

Finalmente, existen otros tipos de mantenimiento según criterio de otros investigadores, entre los que se incluyen:

#### **1.2.8. Mantenimiento basado en la categorización de las máquinas.**

En muchos países según Willmott, (1989), se ha utilizado la diferenciación y categorización de las máquinas para poder definir la atención de mantenimiento necesaria de acuerdo a sus características, habiéndose establecido para ello los siguientes parámetros:

Intercambiabilidad; régimen de operación; nivel de utilización; parámetro principal; mantenibilidad; conservabilidad; grado de automatización; valor de la máquina; factibilidad de aprovisionamiento; seguridad operacional; condiciones de explotación; protección del medio ambiente; comportamiento operacional precedente; calificación del operario; caracterización y exigencias del cliente al que se le presta servicio; valor de la hora de trabajo de la máquina; etc.

Cada parámetro es evaluado con una categoría A, B ó C: (la categoría A se refiere a la de mayor importancia).

La categoría que predomine entre todos los parámetros analizados se le asigna a la máquina en cuestión.

La política de mantenimiento que se aplica a cada categoría, viene definida previamente.

Sin lugar a dudas, el objetivo que persigue cualquier sistema de mantenimiento es hacer su negocio más competitivo, más eficiente desde el punto de vista económico, y asegurar una mayor disponibilidad de los equipos, sin embargo, para que esto ocurra es indispensable que se siga siempre la política de la “Mejora Continua”.

Mejorar, significa la creación organizada de un cambio ventajoso para el logro de niveles de comportamiento sin precedentes. Un sinónimo es avance, donde mejorar un proceso significa cambiarlo para hacerlo más efectivo, eficiente y adaptable, donde qué cambiar y cómo cambiarlo, depende del enfoque específico que se le da y del proceso en sí.

Es una conversión en un mecanismo viable y accesible, en el que las empresas de los países en vías de desarrollo cierran la brecha tecnológica que mantienen con respecto al mundo desarrollado.

Otros definen la mejora como una mera extensión histórica de uno de los principios de la gerencia científica establecida por Frederick Taylor, quien afirma, que todo método de trabajo es susceptible de ser mejorado.

La administración de la calidad total requiere de un proceso constante que será llamado “Mejoramiento Continuo”, donde la perfección nunca se logra pero siempre se busca.

Los siguientes conceptos forman parte del modelo para la mejora continua:

- El ciclo de Deming: planear, hacer, chequear y actuar (PHCA);
- estructuración detallada del problema y análisis de los hechos;

- estandarización de la mejora.

El centrarse en el mejoramiento usando algunas de las herramientas para la solución de los problemas es de utilidad, ya que permite centrarse en el cliente; predecir y controlar el cambio; aumentar la capacidad de competir velando por los recursos disponibles; suministrar los medios para realizar en forma rápida, cambios importantes hacia actividades muy complejas; apoyar a la organización para manejar con efectividad sus interacciones; mantener a la organización centrada en el proceso; prevenir posibles errores; ayudar a comprender cómo se convierten los insumos en productos; suministrar una medida de sus costos de mala calidad (desperdicios); dar una visión de cómo ocurren los errores y la manera de corregirlos; desarrollar un sistema completo de evaluación de áreas de la empresa; ofrecer una visión del mejor modelo a utilizar para lograr su objetivo; y suministrar un método de prepararse para cumplir sus desafíos internos.

#### **1.2.9. Mantenimiento Basado en Riesgo. (MBR).**

Según Sherif, (1981), la gestión del mantenimiento Basado en Riesgo, (MBR) por sus siglas en inglés, es una filosofía de mantenimiento aplicable sobre todo a plantas o equipos con procesos peligrosos, que ya están cercanos o que han llegado al límite de su ciclo de vida siendo su sustitución altamente costosa, o en aquellas donde se aprecia aun alguna posibilidad de aprovechamiento de determinada vida residual, siguiendo determinadas acciones bajo el riesgo de la ocurrencia de fallas mayores o catastróficas.

Este sistema de gestión se fundamenta en los resultados de inspecciones rigurosas con técnicas avanzadas de inspección y diagnóstico, y la complementación de medios computacionales y software, a partir de las cuales se establecen y programan las diferentes acciones o atenciones de mantenimiento.

El sistema es capaz de evaluar, cuantificar y controlar los riesgos de ingeniería y proponer acciones correctivas capaces de minimizarlos.

Considerando que aproximadamente un 20 % de los equipos pueden tener asociado un 80 % del riesgo, se emplea una evaluación de criticidad para priorizar las acciones y optimizar el empleo de los recursos para inspección aplicándolos prioritariamente a aquellos equipos de alto riesgo.

Por ello se ha difundido su empleo por ejemplo en el mantenimiento de las plantas nucleares y no se ha extendido a otras esferas.

### **1.3. Generalidades sobre el juicio de expertos.**

El juicio de expertos se define, como una opinión informada de personas con trayectoria en un tema, que son reconocidas por otros como expertos cualificados en éste, ya que pueden brindar información, evidencias, juicios y valoraciones precisas sobre el mismo.

Como estrategia de evaluación posee una serie de ventajas entre las que se pueden citar: la calidad de las respuestas que se obtienen, el nivel de profundización de la valoración que se ofrece, la no exigencia de muchos requisitos técnicos y humanos para su ejecución, y el poder utilizar diferentes estrategias para recoger la información, lo cual es de gran utilidad sobre todo al tratar contenidos y temáticas difíciles, complejas y novedosas o poco estudiadas. Además, permite obtener información pormenorizada sobre el tema sometido a estudio según (Cabero, 2001; Lanoy y Procaccia, 2001; Barroso y Cabero, 2010).

Sin embargo, la identificación de las personas que formarán parte del juicio de expertos es una parte crítica en el proceso, por lo que (Skjong y Wentworht, 2000) proponen los siguientes criterios de selección:

- (a) Experiencia en la realización de juicios y toma de decisiones basadas en evidencias o experticias (grados, investigaciones, publicaciones, posición, experiencia y premios entre otras),
- (b) reputación en la comunidad,
- (c) disponibilidad y motivación para participar,
- (d) imparcialidad y cualidades inherentes como confianza en si mismo y adaptabilidad.

Otros autores, (McGartland, Berg, Tebb, Lee y Rauch 2003), proponen como criterio básico de selección únicamente el número de publicaciones o la experiencia.

Cualquiera sea el caso, la selección dependerá de una serie de aspectos que van desde la rapidez con la que el evaluador desee llevar a cabo su estudio, la profundización y eficacia de los resultados que desee alcanzar, y el esfuerzo que

el evaluador o investigador desee invertir en el proceso teniendo en cuenta los recursos de que disponga.

Frecuentemente, para evaluar a los expertos se usan las técnicas del biograma o del coeficiente de competencia experta.

**El Biograma:** consiste en elaborar una biografía del experto incorporándose en la misma aspectos tales como: lugar donde trabaja, años de experiencia, actividades desarrolladas, acciones formativas desarrolladas, experiencia en investigación, experiencia en la producción, años de trabajo, lugares dónde ha trabajado, entre otros, que permitan al evaluador justificar los motivos que le han llevado a seleccionar a esa persona concreta como experto en su estudio.

Luego, en función de las respuestas que el experto haga llegar, se tratará de inferir su adecuación y pertinencia para la actividad solicitada.

**El Coeficiente de competencia experta:** permite la identificación a partir de la autovaloración que la persona realiza en diferentes aspectos e indicadores, a través de los cuales se establece un valor que es utilizado por el evaluador para seleccionar las personas que pueden ser las más adecuadas para intervenir en la evaluación.

Entre estos procedimientos, uno que está adquiriendo cierta significación en los últimos tiempos es el denominado “coeficiente de competencia experta” o “coeficiente K”, propuesto por (García y Fernández, 2008), y Mengual, (2011).

Para la obtención del coeficiente de competencia experto se aplica la fórmula siguiente:

$$K = \frac{1}{2} (Kc + Ka) \quad (1.1)$$

donde:

Kc= Es el “Coeficiente de conocimiento” o información que tiene el experto acerca del tema o problema planteado.

Es calculado a partir de la valoración que realiza el propio experto en la escala del 0 al 10, multiplicado por 0,1.

Ka= Es el denominado “Coeficiente de argumentación” o fundamentación de los criterios de los expertos.

Este coeficiente se obtiene a partir de la asignación de una serie de puntuaciones a diferentes fuentes de argumentación que ha podido esgrimir el experto.

Otro aspecto importante a tener en cuenta, es determinar el número de expertos que se debe emplear, acerca de lo cual las opiniones divergen.

Por ejemplo, (Gable y Wolf, 1993, Grant y Davis, 1997), así como Lynn, (1986), citados en (McGartland et al. 2003), sugieren un rango de dos a 20 expertos, mientras que (Hyrkas et al. 2003) consideran que diez brindarían una estimación confiable de la validez de contenido de un instrumento.

Otros autores como (Malla y Zabala, 1978), sugieren que el número debe oscilar entre 15 y 20; Gordon, (1994) los sitúa entre 15 y 35; Landeta, (2002) entre 7 y 30; (García y Fernández, 2008) entre 15 y 25; y Witkin y Altschuld (1995), aunque no indican un número concreto, refieren que deben ser menos de 50 aun cuando reconocen que en algunos casos pueden ser más, lo que depende de los objetivos que se persigan.

Las formas de poner en acción la estrategia del juicio de experto son diversas, y pueden ir desde propuestas muy poco estructuradas, hasta otras que impliquen un alto nivel de estructuración.

Algunas de estas propuestas son:

- a) Agregación individual de los expertos, que consiste en obtener la información de manera individual de cada uno de ellos, sin que estos se encuentren en contacto.
- b) Método Delphi, en el cual se recoge la opinión de los expertos de forma individual y anónima, devolviéndoles la propuesta de conjunto para su revisión y acuerdo. Una leve dispersión llevará a afirmar que se ha llegado a un acuerdo.
- c) Técnica grupal nominal, los expertos aportan la información de manera individual, y después de forma grupal presencial se llega a un acuerdo.
- d) Método de consenso, donde de forma grupal y conjuntamente, los expertos seleccionados llegan a conseguir un acuerdo.

Por lo general, su aplicación se desarrolla a través de las siguientes etapas:

1ª etapa. Determinación del proceso de selección de los expertos.

2ª etapa. Selección definitiva de los expertos.

3ª etapa. Realización de la sección evaluativa del fenómeno u objeto.

4ª etapa. Obtención de conclusiones.

Para evaluar el fenómeno que se investiga las posibilidades son bastante amplias, y van desde instrumentos que permiten recoger la información de una manera cuantitativa (cuestionarios, matrices de evaluación, listas de auto chequeo, listas de valoración de determinadas características referidas al objeto o fenómenos a evaluar, etc.), hasta los que lo se hacen de manera cualitativa: (entrevistas individuales, grupos de discusión, etc.

La selección de uno u otro depende tanto del objeto a evaluar, como de los objetivos que persiga el evaluador teniendo en cuenta la facilidad de acceso a los expertos. Para estimar la confiabilidad de un juicio de expertos, es necesario conocer el grado de acuerdo entre ellos, ya que un juicio incluye elementos subjetivos según Aiken, (2003).

Cuando la medida de acuerdo obtenida es alta, indica que hay consenso en el proceso de clasificación o asignación de puntajes entre los evaluadores, y que existe intercambiabilidad de los instrumentos de medición y reproducibilidad de la medida. (Ato, Benavente, López, 2006).

Para determinar el grado de acuerdo entre los jueces se han utilizado diferentes procedimientos.

Una aproximación inicial fue calcular el porcentaje de acuerdo, sin embargo, éste resultó ser insuficiente ya que no incluía el acuerdo esperado por el azar según (Jakobsson y Westergren, 2005).

Posteriormente se incluyeron medidas de correlación que eran interpretadas como índices de acuerdo; sin embargo, un alto índice de correlación no necesariamente implicaba que el acuerdo fuera también alto, situación que demostraron (Artstein y Poesio, 2005) al adaptar el ejemplo siguiente desarrollado por (Barko y Carpenter, 1976), (citados en Artstein y Poesio, 2005).

En dos evaluaciones, dos codificadores asignaban a cada ítem una puntuación entre uno y diez, en la primera evaluación los codificadores A y B están completamente de acuerdo; en la segunda los codificadores C y D están en desacuerdo en todos los ítems, pero les asignan valores linealmente correlacionados.

En los dos casos se obtiene el mismo índice, con lo que queda claramente demostrado la inconveniencia de medidas únicamente de correlación para la estimación del acuerdo y por ello se propuso el coeficiente Kappa, que se convirtió rápidamente en el índice de acuerdo más utilizado.

Inicialmente, el mismo se utilizaba solo en datos nominales, pero poco tiempo después se hizo una generalización del mismo para incluir datos ordinales y a éste nuevo coeficiente se le denominó *weighted k-coefficient*.

Kendall también propuso un coeficiente de acuerdo para datos ordinales basado en el grado de varianza de la suma de los rangos obtenidos de los diferentes jueces.

Actualmente se vienen investigando otros procedimientos para estimar el acuerdo, y se están comenzando a aplicar los modelos log-lineales y los mixtos, (mezcla de distribuciones).

En el primero se analizan tanto la estructura del acuerdo como la del desacuerdo que se presentan en los datos, ya que con éste enfoque se puede conocer el ajuste del modelo y además, se puede aplicar a datos ordinales; en el segundo se incluyen variables latentes (Ato et al., 2006).

### **1.3.1. Estadístico Kappa.**

Este estadístico genera una medida de acuerdo entre evaluadores, y se utiliza cuando las variables están dadas en una escala nominal, es decir, únicamente clasifican.

El estadístico tiene un rango entre -1 y 1, pero generalmente se ubica entre 0 y 1. Si el coeficiente es 1 indica acuerdo perfecto entre los evaluadores, si es 0 indica que el acuerdo no es mayor que el esperado por el azar, y si el valor es negativo, el nivel de acuerdo es inferior al esperado por el azar según (Sim y Wright, 2005).

No obstante, obtener estos valores extremos es improbable, lo común es obtener un amplio espectro de valores intermedios que se interpretan de acuerdo a la complejidad de la evaluación y al número de categorías a evaluar, es decir, la interpretación es relativa al fenómeno medido.

El coeficiente de Kappa tiene como ventaja que corrige el porcentaje de acuerdo debido al azar y es muy sencillo de calcular. Sin embargo, se han realizado varias críticas principalmente relacionadas con que el índice de acuerdo se ve afectado por el número de categorías, y por la forma en la que están distribuidas las observaciones.

### **1.3.2. Coeficiente de concordancia (W) de Kendall.**

Este coeficiente se utiliza cuando se quiere conocer el grado de asociación entre  $k$  conjuntos de rangos según (Siegel y Castellan, 1995), por lo que es particularmente útil cuando se les solicita a los expertos asignarle rangos a los ítems, por ejemplo, de (1 a 4).

El mínimo valor asumido por el coeficiente es 0 y el máximo 1, y su interpretación es la misma que para el coeficiente de Kappa.

Sin embargo, es necesario resaltar que en éste caso es necesario revisar la calificación dada a cada ítem, pues puede existir una alta concordancia en los aspectos porque el ítem no sea adecuado.

Obviamente, en este caso se debe eliminar o modificar el ítem completamente, hasta que ajuste a los objetivos de la medición de forma acertada.

Según (Siegel y Castellan, 1995), un valor alto de la  $w$  puede interpretarse como un reflejo de que los  $k$  observadores o jueces están aplicando los mismos estándares al asignar rangos a los ítems, y esto no garantiza que los ordenamientos observados sean correctos, ya que todos los jueces pueden concordar si todos están utilizando un criterio incorrecto para clasificar.

Es debido a esto último que el criterio de selección de jueces cobra especial relevancia al igual que la independencia entre los mismos.

Para estimar en SPSS el coeficiente de Kappa se siguen los siguientes pasos:

- a) Haga clic en Analizar y seleccione Estadísticos descriptivos,
- b) Haga clic en Tablas de contingencia, allí encontrará un cuadro de dialogo
- c) Haga clic en Estadísticos y seleccione Kappa.

Para estimar en SPSS el coeficiente de Kendall siga estos pasos:

- a) Haga clic en Analizar y seleccione Pruebas no paramétricas,
- b) Haga clic en  $k$  muestras relacionadas y seleccione W de Kendal
- c) seleccione Kendal.

### **Conclusiones parciales.**

La diversidad de formas de gestión del mantenimiento técnico, hace que resulte complejo elegir el tipo de mantenimiento a usar en cada caso, por ello, no sin fundamento se dice, que la gestión del mantenimiento no puede ser una camisa de fuerza y que debe adecuarse a las condiciones concretas de cada lugar sin perder de vista en cada caso su costo económico.

El juicio de expertos es un método adecuado para definir las posibles formas de gestión del mantenimiento a aplicar en Cuba, ya que estos pueden brindar información, evidencias, juicios y valoraciones precisas sobre un tema en el que no se ha incursionado, aunque se sabe que es necesario un cambio.

## **CAPITULO II PROGRAMA Y METODOLOGÍAS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **Programa general de la investigación.**

El programa de la investigación, prevé el estudio de las ventajas y desventajas del (SPPMTRMA) aplicado en el sector agropecuario cubano desde la década de los años 60, y el estudio de las ventajas y desventajas de otras formas de gestionar el mantenimiento, con la finalidad de proponer, con el concurso de expertos, un método que permita hacer de la gestión del mantenimiento en el sector agropecuario cubano un sistema más eficiente.

El período de la investigación se enmarca en los años 2016-2018.

En la tabla 2.1 se exponen las etapas principales de la investigación, los objetos estudiados y los problemas que se analizan en cada caso.

**Tabla 2.1 Programa y objetos de la investigación experimental.**

<b>ETAPAS PRINCIPALES DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>OBJETOS ESTUDIADOS</b>	<b>ASPECTOS A ANALIZAR</b>
---	-------------------------------	----------------------------

1- Estudio de la esencia, ventajas y desventajas del (SPPMTRMA)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SPPMTRMA</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esencia del (SPPMTRMA)</li> <li>• Ventajas;</li> <li>• Desventajas.</li> </ul>
2- Evaluación, con el concurso de expertos, de las diferentes formas que se pudieran aplicar en el sector agropecuario cubano para gestionar el mantenimiento técnico a la maquinaria agrícola.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Otras formas de gestión del mantenimiento técnico.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Opinión de los expertos sobre las posibles formas de gestión del mantenimiento técnico, con vistas a sustituir al actualmente aplicado.</li> <li>• Orden de prioridad dado por los expertos a las nuevas formas de gestionar el mantenimiento técnico.</li> <li>• Formas de gestión que representan el 80% del problema investigado.</li> </ul>
3- Estudio de la esencia, ventajas y desventajas de las formas de gestión del mantenimiento sugeridas por los expertos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formas de gestión del mantenimiento, sugeridas por los expertos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esencia;</li> <li>• Ventajas;</li> <li>• Desventajas;</li> <li>• Posibilidades de aplicación.</li> </ul>
4- Elaboración de la guía para implementar la nueva forma de gestión.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Método propuesto</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pasos a seguir para implementar el método.</li> </ul>

### **2.1. Metodología para investigar la esencia, ventajas y desventajas del (SPPMTRMA).**

Se selecciona al (SPPMTRMA) utilizado en el sector agropecuario cubano para planificar y ejecutar las operaciones de asistencia técnica a la maquinaria agrícola, analizándose del mismo su esencia, ventajas y desventajas, a través del análisis de la experiencia acumulada desde su implementación y del estudio teórico del mismo.

### **2.2. Metodología para evaluar, con el concurso de expertos, las diferentes formas de gestión del mantenimiento técnico que de acuerdo a las condiciones del sector agropecuario cubano, se deben potenciar.**

La metodología incluye el desarrollo de varias etapas, y está destinada a identificar, con el concurso de expertos, las diferentes formas de gestión del mantenimiento técnico que se pudieran aplicar al sector agropecuario cubano, específicamente a su maquinaria agrícola.

En la **primera etapa** se precisa el objetivo por el cual se hace necesario consultar a expertos sobre el tema que se investiga, y se delimitan las características o

requerimientos que deben poseer los mismos atendiendo a sus biogramas donde se analizan: Experiencia en la realización de juicios y toma de decisiones basadas en evidencias o experticias (grados, investigaciones, publicaciones, posición, experiencia y premios entre otras), reputación en la comunidad, disponibilidad y motivación para participar, e imparcialidad y cualidades inherentes como confianza en si mismo y adaptabilidad.

En la **segunda etapa** se determina la cantidad de expertos que deben participar con sus criterios de la investigación de acuerdo con: (Gable y Wolf, 1993, Grant y Davis, 1997), (McGartland et al. 2003), (Hyrkas et al. 2003), (Malla y Zabala, 1978), Gordon, (1994), Landeta, (2002), (García y Fernández, 2008) y (Witkin y Altschuld, 1995).

En la **tercera etapa** se selecciona la técnica e instrumento a aplicar para la recolección de los criterios, y se establece la estrategia a seguir.

En éste caso, se consultan de manera directa o vía correo electrónico a un grupo de expertos sobre el tema, a quienes se les solicita llenar la tabla 2.2 en la cual, cada uno debe evaluar en una escala de 1 a 10 puntos a cada forma existente para gestionar el mantenimiento, dando la mayor puntuación al método o métodos que a su juicio podrían ser implementados para subsanar las deficiencias y limitaciones que el sistema actualmente aplicado posee.

Al resto se le evalúa en orden decreciente según (GOST 23554-1-79, Ibarra, 2001 y Rojo, 1987).

Esto permite determinar la prioridad con que evalúan los expertos a las diferentes formas de gestión del mantenimiento y por tanto, brinda la posibilidad de centrarse en el estudio del método o métodos que pudieran ser implementados en el sector agropecuario cubano, subsanando las desventajas que la aplicación del (SPPMTRMA) trae como consecuencia.

**Tabla 2.2. Orden de prioridad que los expertos confieren a las diferentes formas de gestionar el mantenimiento técnico.**

Forma de Gestión del Mantenimiento	Puntuación otorgada
Correctivo	
Preventivo	
Predictivo	
TPM	
GMAO	
SAM	
RCM	

Una vez aplicado el instrumento, en la **cuarta etapa** se determina el grado de acuerdo entre los juicios emitidos por los expertos a través del estadístico Kappa o coeficiente de concordancia (W) de Kendall.

En la **quinta etapa** se procesa la información obtenida y se presentan los resultados obtenidos de la consulta a los expertos.

Sin embargo, como demuestra la práctica, con el concurso de los expertos se obtendrán diferentes posibles soluciones al fenómeno que se investiga, lo que obliga entonces a aplicar otras técnicas para reducir aun más las posibles soluciones al problema planteado.

Para ello, se recurre a la construcción del diagrama de Pareto en la **sexta etapa**, y se procede del siguiente modo según Isaías, (2003).

Los datos derivados de las opiniones brindadas por los expertos se incorporan a la tabla estadística de trabajo, se promedian, y a partir de la información obtenida se construye el diagrama de Pareto que en esencia, se confecciona para identificar aquellas formas de gestión del mantenimiento que se pudieran aplicar al sector agropecuario cubano, eliminando las desventajas que presenta el (SPPMTRMA) utilizado hoy.

El diagrama se construye en el siguiente orden:

Paso 1:

- a) Se determinan los rubros que se incluirán en el diagrama y el título del mismo;
- b) Se determinan las unidades en que serán expresadas las magnitudes;
- c) Se analiza el origen de los datos.

Paso 2:

a)- Se construye la tabla estadística a partir de las sumas totales de las magnitudes observadas de acuerdo al siguiente formato. Tabla 2.3.

**Tabla 2.3. Datos estadísticos para la construcción del diagrama de Pareto, a partir de las sumas totales de las magnitudes registradas.**

Rubros en análisis	Magnitudes i sumadas por cada rubro	% acumulado por rubro	Suma acumulada de las magnitudes i	Suma acumulada del % por rubro.	Clasificación por clase
1	2	3	4	5	6

1. Se construye la tabla resumen por clase. Tabla 2.4.

**Tabla 2.4 Resumen por clase de los parámetros analizados.**

Clase	% de rubros dentro de cada clase	% acumulado que representa cada clase	Establecer relación	Razón de importancia por clase
A				
B				
C				

Paso 3:

a) Construcción y análisis del diagrama de Pareto.

El diagrama permite determinar el impacto, influencia o efecto que tienen determinados factores sobre el aspecto o fenómeno que se investiga.

En este caso, a través de un gráfico de barras similar al histograma, se representa en forma decreciente el grado de importancia o peso que tienen los diferentes factores sobre el objeto de estudio.

Para trabajar con el diagrama es necesario tener en cuenta que:

1. Los diagramas se deben construir con características y períodos iguales para poder notar las mejoras que introducen las estrategias y medidas tomadas;
2. Los planes deben dirigirse al 20 % de los rubros en análisis;

3. Debe notarse que después de un plan de medidas o en éste caso, después de la aplicación de una nueva forma de gestión del mantenimiento, puede alterarse el orden de las barras, esto significa que se ha disminuido el efecto del rubro;

4. En caso de que después de aplicada una nueva forma de gestión se altere el orden de la barras, buscar entonces si ha disminuido la longitud, esto significa que ha ocurrido una mejora equivalente a la magnitud de la disminución.

### **2.3. Metodología para investigar la esencia, ventajas y desventajas de las formas de gestión del mantenimiento técnico sugeridas por los expertos.**

Sobre la base de los resultados obtenidos al procesar la información emitida por los expertos mediante la técnica de Pareto, se hacen consultas a Internet y a la bibliografía especializada, investigando la esencia, ventajas y desventajas de las formas de gestión que representen el 80% del problema.

La finalidad del estudio es seleccionar una manera de gestión, ya sea simple o combinada, que permita eliminar las desventajas que el uso y la implementación del (SPPMTRMA) trae como consecuencia.

### **2.4. Metodología para elaborar la guía de implementación del método propuesto.**

Sobre la base de las opiniones brindadas por los expertos y el análisis de las desventajas manifiestas del (SPPMTRMA) después de tantos años de aplicado en el sector agropecuario cubano, se hace la propuesta de la nueva forma de gestión para la asistencia técnica a la maquinaria agrícola, y se elabora la guía necesaria para viabilizar su implementación.

## **CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**

### **3.1 Resultados del estudio para analizar la esencia, principales ventajas e insuficiencias del (SPPMTRMA), aplicado en el sector agropecuario cubano.**

En correspondencia con lo planteado en la metodología 2.1, la investigación sobre la esencia, ventajas y desventajas del (SPPMTRMA) permitió conocer lo siguiente. Esta forma de gestión del mantenimiento técnico se introdujo en Cuba en los primeros años de la década de los años 60 como se mencionó anteriormente, ante la necesidad de tener que planificar las operaciones de asistencia técnica debido a la cantidad y complejidad creciente de la maquinaria agrícola que adquiría el país. Se considera preventivo porque aplica las medidas técnico ingenieriles preventivas correctamente fundamentadas capaces de anticipar el surgimiento de averías como consecuencia de los desgastes prematuros de las piezas, y planificado porque las diferentes operaciones se planifican de ante mano en correspondencia con una periodicidad determinada, lo que constituyó una gran ventaja y un gran paso de avance en la manera de gestionar la asistencia técnica en su momento de acuerdo con (Colectivo de autores, 2011 y Golman, 2000).

Como se explicó, el sistema incluye las operaciones de asentamiento, mantenimiento técnico, chequeo técnico, reparación y conservación.

En este caso, el asentamiento se realiza con el objetivo de asegurar el ajuste adecuado entre las superficies de trabajo, y se desarrolla observando un régimen previsto con aumento paulatino de cargas antes que la máquina sea sometida a explotación.

El mantenimiento técnico puede ser: diario, periódico 1, 2 y 3 para tractores, 1 y 2 para los automóviles, y simplemente periódico para las máquinas combinadas.

En este caso, en el mantenimiento técnico diario se prevé el control del estado técnico de la máquina una vez finalizado el turno de trabajo o antes de comenzar el próximo turno, y se realiza a través de un chequeo visual con verificación auditiva. Durante el mismo se controlan la seguridad de las sujeciones, los niveles de agua, aceite, combustible, y electrolito de las baterías de acumuladores, así como el funcionamiento de los aparatos de control, eliminándose las deficiencias detectadas.

El mantenimiento técnico periódico se desarrolla después que la máquina ha realizado un determinado volumen de trabajo, y su finalidad es la de chequear y

restablecer las regulaciones de los mecanismos, uniones, conjuntos y órganos de trabajo, prevenir el desgaste prematuro de las diferentes piezas y conjugaciones, así como asegurar la economía y estabilidad de su funcionamiento.

El mantenimiento técnico temporal se realiza durante el paso a la explotación de la máquina entre una temporada y otra, y es propio de aquellos países donde existen cambios climatológicos significativos, por tanto no ajustado a la realidad cubana.

El mantenimiento técnico después de la temporada se realiza al finalizar la temporada de explotación de la máquina, e incluye el chequeo del estado técnico de la misma sin proceder a su desmontaje, lo que permite determinar las posibilidades de su preparación para la conservación y explotación ulterior.

El chequeo técnico según el sistema, se desarrolla para controlar el cumplimiento de las reglas de explotación y revisar la correspondencia del estado técnico real de la máquina con los requerimientos estipulados en la documentación técnica, además de permitir poder determinar el grado de preparación de las mismas para realizar su trabajo.

Entre otras cuestiones, permite prevenir las reparaciones prematuras y no planificadas, aumentando así el período de servicio de las máquinas y equipos.

La reparación como tal, es un sistema de medidas encaminado a restablecer la capacidad de trabajo de un objeto que la haya perdido o empeorado como resultado del desgaste normal, desgaste de avería, rotura, o deformación de determinados elementos, y presupone la ejecución de trabajos de sustitución de una gran cantidad de piezas o elementos constructivos, así como el desmontaje total o parcial de la máquina.

La misma puede ser: corriente o de explotación, media, y general o capital.

La reparación corriente o de explotación, se realiza durante el uso de la máquina, y su magnitud dependerá de la gravedad de la falla o rotura sufrida. Se puede ejecutar tanto en el taller como en condiciones de campo a través de los medios móviles existentes, y puede incluir la reparación de cualquier agregado incluyendo el motor.

Lo más conveniente en este caso es intercambiar el agregado defectuoso por uno nuevo o reparado, y la revisión y reparación de las partes necesarias para lograr el objetivo propuesto.

Durante la reparación media se ejecuta un desmontaje parcial de la máquina, y se realiza la reparación total de por lo menos uno de sus agregados fundamentales,

así como el chequeo y la regulación de los restantes, con la correspondiente sustitución de piezas si es necesario.

La reparación general o capital por su parte, prevé el desarme completo de la máquina y la clasificación de sus elementos constructivos y componentes a ser sustituidos o reparados, según sea el caso.

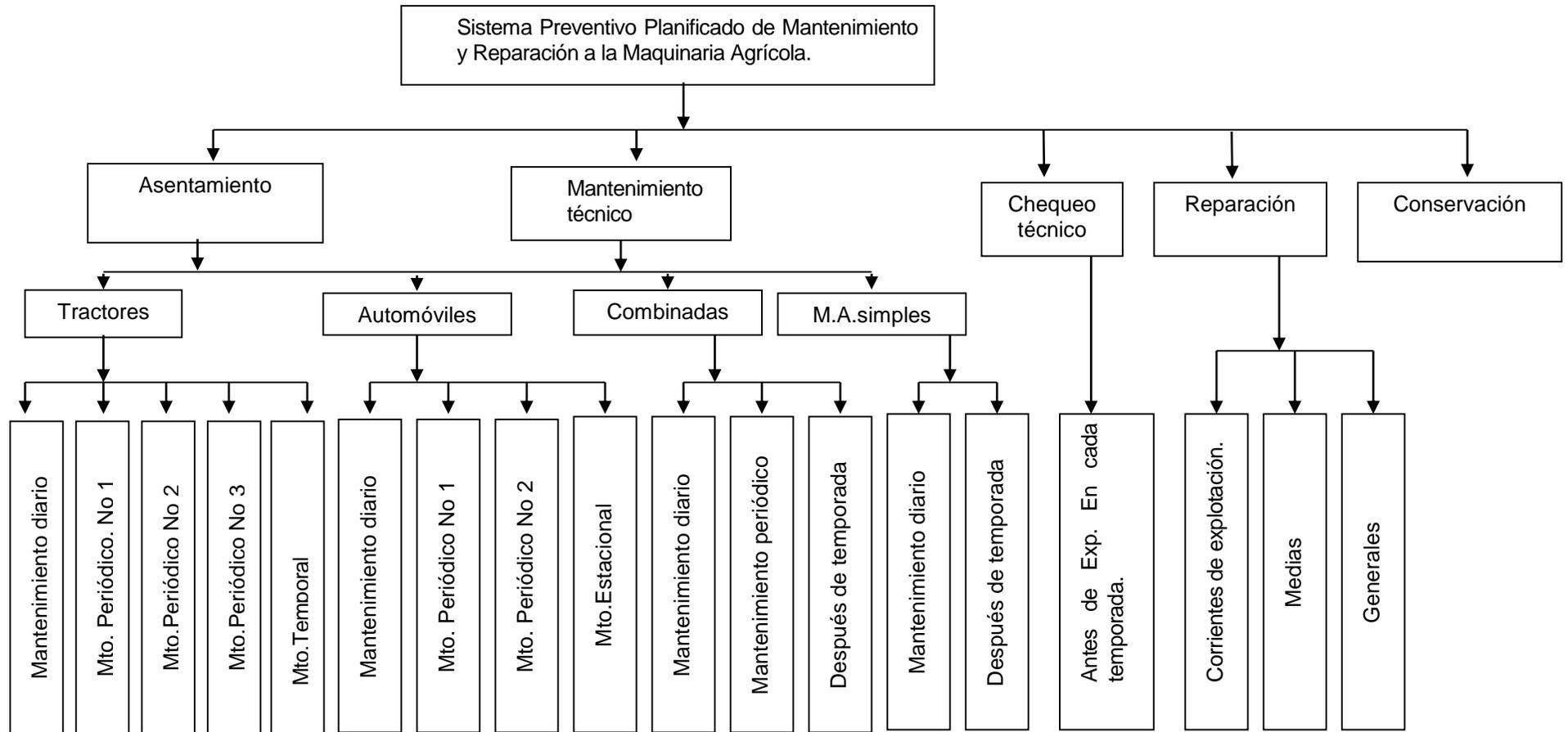
Por regla, este tipo de reparaciones se ejecutan en talleres especializados de reparación o en talleres de uso general, siempre que existan el personal y equipamiento necesarios para ello.

Finalmente, la conservación de las máquinas constituye una de las operaciones fundamentales del (SPPMTRMA), y comprende un conjunto de medidas encaminadas a prevenir el empeoramiento o pérdida de la capacidad de trabajo de las mismas como consecuencia de su no puesta en explotación durante períodos prolongados de tiempo.

Esta operación presupone la protección de las diferentes piezas, de manera tal que las condiciones ambientales tales como: humedad, temperatura, etc., no ejerzan influencias negativas sobre la capacidad de trabajo de la máquina en conjunto.

Antes de proceder a la conservación, la máquina debe ser correctamente lavada y posteriormente desmontada de todos los elementos constructivos que deban permanecer en locales especiales.

En la figura 3.1 se representa de manera esquemática la estructura del (SPPMTRMA) y las operaciones que en el mismo se realizan.



Fuente: Materiales auxiliares de la asignatura Mantenimiento y Reparación. UCLV

Figura 3.1. Estructura del (SPPMTRMA), y operaciones que en él se realizan.

Como se observa, es un sistema donde se encuentran implícitas todas las operaciones de asistencia técnica a ejecutar en los tractores, automóviles, combinadas y máquinas agrícolas simples o complejas una vez alcanzada determinada norma de trabajo entre reparaciones preestablecidas por el fabricante. En general, como norma de trabajo entre reparaciones o atenciones técnicas se pueden utilizar las moto-horas de trabajo del motor, las hectáreas laboradas, los kilómetros recorridos y el consumo de combustible del equipo, siendo éste el parámetro que mayor aceptación ha obtenido debido fundamentalmente a las siguientes cuestiones:

- No todos los equipos vienen dotados de odómetros para registrar las horas de trabajo del motor, e incluso, en aquellos que los poseen, por ser generalmente dispositivos mecánicos sujetos a desgaste, al final las lecturas registradas difieren de las horas de trabajo realmente trabajadas por el motor.
- No siempre la maquinaria se utiliza en labores donde se puedan medir las hectáreas elaboradas, y ello constituye una gran limitación para usar éste parámetro como indicador de norma de trabajo entre operaciones de asistencia técnica.
- Los kilómetros recorridos son el indicador que generalmente se acepta como norma de trabajo para los automóviles, no siendo así para la maquinaria agrícola: (tractores y combinadas).

Por ello, lo más cercano posible a la realidad de las condiciones agropecuarias, ha sido adoptar el consumo de combustible como norma de trabajo para planificar las actividades de asistencia técnica.

Sin embargo, éste es el primer inconveniente del (SPPMTRMA), pues; ***¿cómo asegurar que el combustible consumido por un equipo se haya revertido realmente en trabajo útil realizado?***

En la figura 3.2, se representa a modo de ejemplo una sección de las tablas que se utilizan en condiciones de producción para planificar las operaciones de asistencia técnica de acuerdo al consumo de combustible del equipo.

Los valores son preestablecidos por el fabricante de acuerdo a la marca y modelo del equipo en cuestión.

Consumo horario		8,0	4,4	4,0	3,5	6,2	3,5	2,5	2,3	2,1
Tipo de atención técnica	Consumo de comb. Gls	Komatsu D80 A12	C/T 100	DT 75M	DT 75	K 700	ZT 300	MTZ 80	YUMZ 6 M/R	MT7
1	60	480	264	240	210	372	210			
1	120	960	528	480	420	744	420			
1	180	1440	792	720	630	1116				
2	240	1920	1056	960	840					
1	300	2400	1320	1200						
1	360	2880	1584							
1	420	3360	1848							
2	480	3840								
1	540									

Fuente: Materiales auxiliares de la asignatura Mantenimiento y Reparación. UCLV  
 Figura 3.2. Límite de consumo de combustible para planificar las operaciones de asistencia técnica según el (SPPMTRMA).

Como se observa, subrayado en amarillo y a modo de ejemplo, al tractor DT-75 se le realiza un primer mantenimiento 1 cuando ha consumido 240 gls de combustible, un segundo mantenimiento 1 al llegar a los 480 gls y un tercer mantenimiento 1 al arribar a los 720 gls de combustible consumido.

Después, a los 960 gls le corresponde un mantenimiento técnico número 2 y así comienza de nuevo un ciclo de mantenimientos 1 y 2 hasta arribar a los mantenimientos 3, reparaciones medias y reparaciones generales según lo previsto por el fabricante.

Es de destacar que los fabricantes establecen de manera rígida qué operaciones ejecutar a sus equipos de acuerdo al tipo de mantenimiento planificado que le corresponda, y constituye una violación no cumplir las mismas.

Este se puede considerar un segundo inconveniente del sistema, pues: ***¿el estado técnico de un grupo de equipos similares, pero explotados en condiciones diferentes, será el mismo al arribar a una misma cantidad de combustible consumido?***

En la actualidad, la creciente complejidad en la construcción de la maquinaria agrícola a la vez que se incrementa su potencia, las diferentes condiciones ambientales y de explotación, así como las limitaciones de recursos, hacen que resulte difícil aplicar la periodicidad de los mantenimientos técnicos realizando obligatoriamente todas las operaciones implícitas en ellos de acuerdo a su tipo.

Se ha demostrado por (Acevedo, 2000; Shkiliova, 2010; Daquinta, 2008), que la estricta periodicidad y el carácter obligatorio de ejecución de todas las operaciones durante el mantenimiento técnico y la reparación, ***conducen al desmontaje prematuro e innecesario de muchos mecanismos y agregados, por lo que en***

**alguna medida se reduce el recurso de trabajo y aumentan los gastos en materiales de explotación.** Este pudiera considerarse un tercer inconveniente del (SPPMTRMA).

Un cuarto inconveniente del mismo, **es la limitación que ofrece a un posible incremento del tiempo entre mantenimientos o reparaciones, pues ello sería contraproducente y violatorio al no estar en correspondencia con lo preescrito por el fabricante.**

El programa anual de mantenimiento y reparación según el (SPPMTRMA), se determina resolviendo las siguientes ecuaciones:

El número de reparaciones generales se calcula como:

$$N_g \equiv \frac{n * s}{W_g} \quad (1)$$

El número de reparaciones medias:

$$N_m \equiv \frac{n * s}{W_m} - N_g \quad (2)$$

El número de mantenimientos 3:

$$N_3 \equiv \frac{n * s}{W_3} - (N_g + N_m) \quad (3)$$

El número de mantenimientos 2:

$$N_2 \equiv \frac{n * s}{W_2} - (N_g + N_m + N_3) \quad (4)$$

El número de mantenimientos 1:

$$N_1 \equiv \frac{n * s}{W_1} - (N_g + N_m + N_3 + N_2) \quad (5)$$

donde:

$N_g, N_m, N_3, N_2, N_1$  – Número de reparaciones generales, medias y mantenimientos 1, 2, y 3 respectivamente.

S- Carga anual planificada para la máquina expresada en (kg de combustible, gls de combustible, lts de combustible, m- h, ha elaboradas, etc.)

$W_g, W_m, W_3, W_2, W_1$  – Normas de trabajo entre atenciones técnicas expresadas en las mismas unidades que la carga anual planificada.

La carga anual planificada (s) para los tractores y otras máquinas similares se determina a través de la siguiente ecuación como:

$$s \equiv (D_l * h_j * k * c_h) \quad (6)$$

donde:

$D_l$  – Dias laborables planificados en el año.

$h_j$  - Número de horas de la jornada de trabajo diaria.

$c_h$ - consumo horario promedio de combustible de la máquina. (Tabulado o dato de la empresa).

$k$ - Coeficiente que tiene en cuenta los tiempos perdidos por la máquina producto de tener que ejecutarse en ellas operaciones de mantenimiento y reparación, o solucionar roturas imprevistas.

En este caso  $K$  se determina por la ecuación (7) como:

$$K = K_i \text{ y } K_t. \quad (7)$$

donde:

$K_i$ - Es el coeficientes de incorporación que depende del tipo de equipo y de su aseguramiento en piezas de repuestos.

$K_t$ - Es el coeficiente de seguridad técnica y depende de la edad del equipo en cuestión.

Ambos coeficientes se obtienen como resultado de los controles estadísticos y otros estudios realizados sobre los tiempos de trabajo perdidos por los equipos durante el mantenimiento y la reparación, ya sea por falta de piezas, roturas, falta de fluido eléctrico, etc.

Sin embargo, éste sería un quinto inconveniente del sistema en estudio, pues **en las condiciones de explotación de la maquinaria agrícola en Cuba, así como en los talleres de asistencia técnica del sector agropecuario cubano, lamentablemente no se cuenta con los estudios estadísticos y las bases de datos necesarias para asignar valores reales a estos coeficientes** según (Acevedo, 2000; Daquinta, 2008 y Shkiliova, 2010).

Es un hecho que la planificación adecuada de la cantidad y tipos de mantenimientos técnicos y reparación a la maquinaria agrícola según el (SPPMTRMA), debe ser lo más objetiva posible y adaptarse a las condiciones reales de explotación de las mismas para que cumplan los objetivos propuestos, sin embargo, para ello es necesario considerar todos los factores que afectan el trabajo real de éstas, y en ello desempeña un importante papel la estadística acumulada referida a las horas de trabajo, parque activo, características climatológicas, consumo de materiales de explotación, etc., **cuestiones estas que en las condiciones reales de explotación de la maquinaria agrícola en Cuba no se controlan.** Sexto inconveniente.

A modo de resumen, en la tabla 3.1 se señalan las ventajas e insuficiencias del (SPPMTRMA), derivadas del estudio teórico realizado.

**Tabla 3.1. Ventajas e insuficiencias del SPPMTRM.**

<b>Ventajas</b>	<b>Insuficiencias</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es preventivo</li> <li>• Es planificado</li> <li>• Como sistema incluye todas las operaciones que aseguran la durabilidad de las máquinas.</li> </ul>	<p>Imposible asegurar que el combustible consumido por un equipo se haya revertido en trabajo útil.</p> <p>El estado técnico de un grupo de equipos similares, pero explotados en condiciones diferentes, será diferente al arribar a una misma cantidad de combustible consumido.</p> <p>La construcción cada vez más compleja de la maquinaria agrícola y las limitaciones de recursos, hacen que resulte difícil aplicar la periodicidad de los mantenimientos técnicos, cumpliendo al pie de la letra todas las operaciones que los mismos demandan.</p> <p>Se ejecutan operaciones innecesarias que reducen el recurso de trabajo y aumentan los gastos en materiales de explotación. El sistema no permite incrementar el tiempo entre mantenimientos o reparaciones</p> <p>No existen los estudios estadísticos para asignar valores reales a los coeficientes (Ki) y (Kt).</p>
	<p>No se controlan las horas de trabajo del parque activo, las características climatológicas, etc.</p>

**3.2 Resultados del estudio para evaluar, con el concurso de expertos, las diferentes formas de gestión del mantenimiento técnico que de acuerdo a las condiciones existentes en el sector agropecuario cubano, debían potenciarse.**

En correspondencia con lo planteado en la metodología 2.2, el estudio para evaluar con el concurso de expertos las diferentes formas de gestión del mantenimiento técnico que, de acuerdo a las condiciones existentes en el sector agropecuario cubano debían potenciarse, permitió obtener los siguientes resultados.

Una vez definido que el objetivo por el cual se hace necesario consultar a los expertos, es la necesidad de modificar la forma en que en la actualidad se gestiona

el mantenimiento técnico a la maquinaria agrícola en Cuba teniendo en cuenta las desventajas manifiestas del (SPPMTRMA) vigente ya enumeradas, las diversas formas aplicadas para idénticos fines en países con mayores niveles de desarrollo, y los criterios emitidos por diferentes especialistas entre los que se pueden citar a Acevedo, (2000), Daquinta (2008) y Shkiliova (2009), quienes abogan por la necesidad de asistir solo lo que debe ser asistido, los expertos se seleccionaron atendiendo a sus biogramas.

La determinación de la cantidad de ellos para participar del estudio se hizo considerando las recomendaciones dadas por Landeta, (2002), quien asegura que con una cantidad mínima de siete expertos se pueden obtener excelentes resultados en un análisis de éste tipo.

Los expertos finalmente seleccionados fueron:

- Dra. C.T. Luidmila Shkiliova. Profesora Titular. Durante muchos años profesora principal de la asignatura Mantenimiento y Reparación en la Universidad Agraria de La Habana (UNAH), y autora de varios textos y publicaciones sobre el tema.
- Dr. C. T. Ciro Iglesias Coronel. Profesor Titular. Durante muchos años presidente del tribunal de grado científico en Ingeniería Agrícola con sede en la UNAH, y actualmente miembro de honor del mismo.
- MSc Fabienne Torres Méndez. Profesora Auxiliar y profesora titular actual de la asignatura Mantenimiento y Reparación en la UNAH.
- Dr. C. T. Antonio Daquinta Gradaille. Profesor Titular. Profesor titular de la asignatura Mantenimiento y Reparación en la Universidad de Ciego de Ávila (UNICA), y autor del libro de texto de la especialidad.
- MSc Eloy García Aragón. Profesor Auxiliar y profesor titular compartido con el Dr. Daquinta de la asignatura Mantenimiento y Reparación. UNICA
- Dr. C. Víctor Ferrer Suárez. Profesor Titular y coordinador de la carrera de Ingeniería Agrícola en la Universidad de Granma (UDG).
- Dr. C Manuel Acevedo Pérez. Profesor Titular y profesor titular de la asignatura Mantenimiento y Reparación en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas (UCLV). Autor de varios textos y folletos de uso docente sobre el tema.

Como se observa, todos poseen grados científicos adecuados, gozan de amplia reputación en la comunidad científica que en Cuba se dedica a los estudios del Mantenimiento y la Reparación del parque de máquinas agrícolas, cuentan con basta experiencia en la realización de juicios y toma de decisiones basadas en evidencias o experticias, son autores de múltiples publicaciones y textos sobre el tema, se encuentran todos vinculados al sector académico donde se aborda el tema de la asistencia técnica, son acreedores de múltiples premios y al ser previamente consultados, demostraron disponibilidad y motivación para participar en el trabajo. Sin embargo, teniendo en cuenta la imposibilidad de reunirlos por diferentes causas, la estrategia utilizada fue la de la agregación individual, que como se explicó en el capítulo I, consiste en obtener la información de manera individual de cada uno de ellos sin que estos necesariamente se encuentren en contacto. Por ello, vía correo electrónico se les hizo llegar a los mismos el instrumento elaborado, tabla 2.2, metodología 2.2, obteniéndose los resultados que aparecen en la tabla 3.10.

**Tabla 3.10. Resultados de la consulta a expertos, sobre el método o métodos a aplicar en Cuba para eliminar las desventajas del (SPPMTRMA).**

<b>Experto</b>	<b>Método</b>	<b>Puntuación</b>
Dra. C.T. Liudmila Shkiliova. UNAH	Mantenimiento Correctivo	3
	Mantenimiento Preventivo	10
	Mantenimiento Predictivo	8
	Mantenimiento (TPM)	10
	Mantenimiento (GMAO)	5
	Mantenimiento (SAM)	7
	Mantenimiento (RCM)	8
	Mantenimiento Basado en la Categorización de las Maquinas	2
	Mantenimiento (MBR)	1
	Mantenimiento Correctivo	3
Dr. C. T. Ciro Iglesias Coronel. UNAH	Mantenimiento Preventivo	10
	Mantenimiento Predictivo	8
	Mantenimiento (TPM)	10
	Mantenimiento (GMAO)	5
	Mantenimiento (SAM)	7
	Mantenimiento (RCM)	8
	Mantenimiento Basado en la Categorización de las Maquinas	2
	Mantenimiento (MBR)	1
	Mantenimiento Correctivo	8
	Mantenimiento Preventivo	9
MSc. Fabienne Torres Méndez. UNAH	Mantenimiento Predictivo	10
	Mantenimiento (TPM)	10
	Mantenimiento (GMAO)	10
	Mantenimiento (SAM)	10

	Mantenimiento (RCM)	10
	Mantenimiento Basado en la Categorización de las Maquinas	8
	Mantenimiento (MBR)	9
	Mantenimiento Correctivo	2
	Mantenimiento Preventivo	10
	Mantenimiento Predictivo	8
	Mantenimiento (TPM)	10
Dr. C Antonio Daquinta Gradaille.	Mantenimiento (GMAO)	8
UNICA	Mantenimiento (SAM)	6
	Mantenimiento (RCM)	8
	Mantenimiento Basado en la Categorización de las Maquinas	4
	Mantenimiento (MBR)	3
	Mantenimiento Correctivo	1
	Mantenimiento Preventivo	10
	Mantenimiento Predictivo	7
	Mantenimiento (TPM)	10
MSc Eloy García Aragón.	Mantenimiento (GMAO)	8
UNICA	Mantenimiento (SAM)	6
	Mantenimiento (RCM)	8
	Mantenimiento Basado en la Categorización de las Maquinas	3
	Mantenimiento (MBR)	2
	Mantenimiento Correctivo	2
Víctor Ferrer Suárez.	Mantenimiento Preventivo	9
UDG	Mantenimiento Predictivo	9
	Mantenimiento (TPM)	10

	Mantenimiento (GMAO)	8
	Mantenimiento (SAM)	7
	Mantenimiento (RCM)	4
	Mantenimiento Basado en la Categorización de las Maquinas	4
	Mantenimiento (MBR)	2
	Mantenimiento Correctivo	1
	Mantenimiento Preventivo	8
	Mantenimiento Predictivo	9
	Mantenimiento (TPM)	10
Dr. C Manuel Acevedo Pérez.	Mantenimiento (GMAO)	9
UCLV	Mantenimiento (SAM)	8
	Mantenimiento (RCM)	8
	Mantenimiento Basado en la Categorización de las Maquinas	8
	Mantenimiento (MBR)	6

Como se observa en la tabla, cada experto evaluó en una escala de (1 a 10 puntos) las posibilidades de aplicación de cada uno de los métodos de gestión existentes según sus criterios, dando las mayores puntuaciones a aquellas que según sus juicios, debían potenciarse para ser implementados.

Para evaluar el grado de acuerdo entre expertos se utilizó el coeficiente de concordancia (W) de Kendall, debiéndose destacar que para ello se hicieron las siguientes consideraciones:

**Primera:** en una escala de (1 a 5) según las votaciones de los expertos, el método evaluado no se considera aplicable. .

**Segunda:** en una escala de (5 a 10) según las votaciones de los expertos, el método evaluado se considera aplicable y como ocurre en el caso anterior, permite evaluar el coeficiente de concordancia en las respuestas dadas.

Los resultados obtenidos aparecen en la tabla 3.11 de donde se infiere lo siguiente:

Al evaluar el método de Mantenimiento Correctivo por ejemplo, seis expertos lo evalúan por debajo de cinco puntos y uno lo evalúa con ocho puntos, significa que seis expertos concuerdan en que el método no es aplicable y uno de ellos sí, por lo que al sumar las respuestas que se enmarcan en una misma escala y dividirlo entre el número de expertos, el coeficiente de concordancia entre expertos fue 0.85, demostrando muy buena concordancia en las respuestas dadas.

Al evaluar los métodos de mantenimiento Preventivo, Predictivo, TPM y SAM, todas las respuestas se ubican en la escala de (5 a 10), por ello el coeficiente de concordancia entre expertos es excelente, igual a uno.

Al evaluar el método GMAO dos respuestas se encuentran en la frontera entre intervalos y por ello, en el estudio se consideraron como indicador de aplicabilidad. El coeficiente de concordancia en éste caso fue de 0.71 tal y como ocurrió al evaluar el método basado en la Categorización de las Máquinas, solo que en éste caso seis expertos consideraron que el método no se debe aplicar en Cuba y dos de ellos si. En ambos casos existe buena concordancia entre el juicio de expertos.

Finalmente, al evaluar el criterio de concordancia entre expertos cuando se analizó el método (MBR), se obtuvo un adecuado valor del coeficiente de concordancia, 0.7, debido a que cinco de los expertos lo consideraron no aplicable.

**Tabla 3.11. Coeficiente de concordancia W de Kendall.**

	<b>Mto. Correctivo</b>	<b>Mto. Preventivo</b>	<b>Mto. Predictivo</b>	<b>Mto. (TPM)</b>	<b>Mto. (GMAO)</b>	<b>Mto. (SAM)</b>	<b>Mto. (RCM)</b>	<b>Mto Basado en la Categorización de las Maquinas</b>	<b>Mto. (MBR)</b>
Shkiliova, L UNAH	3	10	8	10	5	7	8	2	1
Ciro I. UNAH	3	10	8	10	5	7	8	2	1
Fabienne, T UNAH	8	9	10	10	10	10	10	8	9
Daquinta, A UNICA	2	10	8	10	8	6	8	4	3
Eloy, G UNICA	1	10	7	10	8	6	8	3	2
Víctor, F UDG	2	9	9	10	8	7	4	4	2
Acevedo, M UCLV	1	8	9	10	9	8	8	8	6
<b>Coef de Concordancia</b>	<b>0.85</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>1.00</b>	<b>0.71</b>	<b>1.00</b>	<b>0.85</b>	<b>0.71</b>	<b>0.71</b>

A modo de resumen, se puede asegurar que en todos los casos existió un adecuado nivel de concordancia entre las respuestas dadas por los expertos, demostrando un buen criterio de selección de los jueces sobre todo, si se tiene en cuenta que todos hicieron su trabajo de manera independiente.

No obstante, como demuestra la práctica, los expertos pueden coincidir en sus respuestas y sin embargo, las posibles soluciones al fenómeno que se investiga pueden ser diferentes, por ello, para reducir aun más las posibles soluciones al problema planteado se recurrió a la construcción del diagrama de Pareto, en correspondencia con lo planteado en la sexta etapa de la metodología 2.2.

Para ello, los datos derivados de las opiniones brindadas por los expertos se incorporaron a la tabla 3.12 y se promediaron.

A modo de ejemplo, en la tabla se representan los valores de aplicabilidad dados a cada método por los expertos, de donde se deduce que cuando se evalúa el método del mantenimiento Correctivo la suma de las puntuaciones dadas es de 20 puntos. Al dividir entre la cantidad de expertos esa suma, el valor que se obtiene promedio es de aproximadamente tres puntos, y en la escala de (1 a 10) el método no se considera aplicable.

Así sucesivamente se procede para cada método y experto, información que permite construir el diagrama de Pareto como se explica en la metodología correspondiente, que en esencia, se confecciona para identificar aquellas formas de gestión del mantenimiento que se pudieran aplicar al sector agropecuario cubano, eliminando las desventajas que presenta el (SPPMTRMA) que en la actualidad se aplica.

**Tabla 3.12. Resultados de la consulta a expertos, sobre la prioridad del método o métodos a aplicar en Cuba, para eliminar las desventajas del (SPPMTRMA).**

Método	Experto							Puntuación	Promedio
	Liudmila UNAH	Ciro, I. UNAH	Fabienne T. UNAH	Daquinta UNICA	Eloy G. UNICA	Víctor F. UDG	Acevedo P. UCLV		
Mantenimiento Correctivo	3	3	8	2	1	2	1	20	≅ 3
Mantenimiento Preventivo	10	10	9	10	10	9	8	66	≅ 9
Mantenimiento Predictivo	8	8	10	8	7	9	9	59	≅ 8
Mantenimiento (TPM)	10	10	10	10	10	10	10	70	≅ 10
Mantenimiento (GMAO)	8	8	10	8	8	4	8	54	≅ 8
Mantenimiento (SAM)	7	7	10	6	6	7	8	51	≅ 7
Mantenimiento (RCM)	5	5	10	8	8	8	9	53	≅ 6
Mantenimiento Basado en la Categorización de las Maquinas	2	2	8	4	3	4	8	31	≅ 4
Mantenimiento (MBR)	1	1	9	3	2	2	6	24	≅ 3

Para ello, se construyó la tabla estadística 3.13 a partir de las sumas totales de las magnitudes observadas.

**Tabla 3.13. Datos estadísticos para la construcción del diagrama de Pareto, a partir de las sumas totales de las magnitudes registradas.**

<b>Rubros en análisis</b>	<b>Magnitudes i sumadas para cada rubro</b>	<b>% acumulado por rubro</b>	<b>Suma acumulada de las magnitudes i</b>	<b>Suma acumulada del % por rubro</b>	<b>Clasificación por clase.</b>
Mantenimiento (TPM)	10	17,24	10	17,24	A
Mantenimiento Preventivo	9	15,51	19	32,75	A
Mantenimiento Predictivo	8	13,79	27	46,54	A
Mantenimiento (GMAO)	8	13,79	35	60,33	A
Mantenimiento (SAM)	7	12,06	42	72,39	B
Mantenimiento (RCM)	6	10,34	48	82,73	B
Mantenimiento Basado en la Categorización de lãs Maquinas	4	6,89	52	89,62	C
Mantenimiento (MBR)	3	5,17	55	94,79	C
Mantenimiento Correctivo	3	5,17	58	99,99	C
<b>Total</b>	<b>58</b>			<b>100</b>	

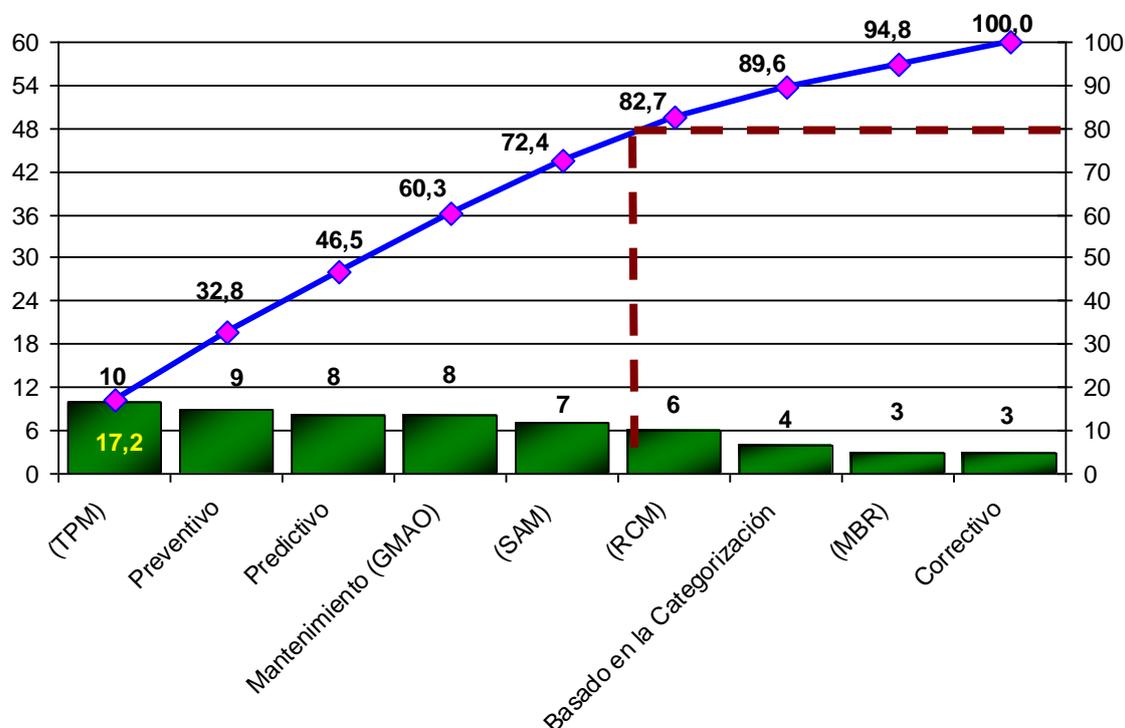
De la misma se infiere que serían los métodos (TPM, Preventivo, Predictivo, GMAO, SAM y RCM) los que representan el 80% de la solución al problema planteado.

Finalmente, la tabla resumen por clases quedó estructurada como se muestra en la Tabla 3.14.

**Tabla 3.14 Construcción de la tabla resumen por clase.**

Clase	% de rubros dentro de cada clase	% acumulado que representa cada clase	Establecer relación	Razón de importancia por clase
A	44,44	60,33	60,33/44,44	1,35
B	22,22	22,4	22,24/22,22	1,00
C	33,33	17,23	17,29/33,33	0,51

Con ayuda de estos datos se construyó el diagrama de Pareto representado en la figura 3.3.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 3.3. Diagrama de Peretto al evaluar, con el concurso de los expertos, el método o métodos a proponer para solucionar las insuficiencias del (SPPMTRMA), de acuerdo a las condiciones existentes en el sector agropecuario cubano.

De donde se deduce la necesidad de trabajar el (TPM), Mantenimiento Preventivo, Mantenimiento Predictivo, (GMAO) y (SAM), como propuestas para gestionar el mantenimiento técnico según expertos, ya que son las que representan aproximadamente el 80% del problema analizado.

Obsérvese en la Figura que el 80% cae prácticamente en la frontera entre el método (SAM) y (RCM), por ello éste último no se considera.

### **3.3. Resultados del estudio para determinar la esencia, ventajas y desventajas, de las formas de gestión del mantenimiento sugeridas por los expertos.**

En correspondencia con lo planteado en la metodología 2.3, el estudio para determinar la esencia, ventajas y desventajas de las formas de gestión del mantenimiento sugeridas por los expertos permitió obtener los siguientes resultados.

#### **3.3.1. Mantenimiento Productivo Total (TPM).**

Como se explicó en el capítulo I, su objetivo fundamental es realizar el mantenimiento a los equipos con la participación del personal de producción, todos involucrados en un proceso de mejora continua y una gestión de calidad total, pues considera no sin razón, que no existe nadie mejor que el operario para conocer el funcionamiento del equipo, y que el técnico de mantenimiento puede conocer muy bien las especificaciones del mismo y haber estudiado sus partes constitutivas a profundidad, pero que sin embargo, es el operario quien trabaja y convive diariamente con la maquinaria y por ello llega a conocerla como nadie.

Las ventajas y desventajas del Sistema de Mantenimiento Productivo Total se relacionan en la tabla 3.5.

**Tabla 3.5. Ventajas y desventajas del Sistema de Mantenimiento Productivo Total. (TPM).**

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Involucra al personal de mantenimiento y producción en un mismo equipo.	Demanda un control riguroso de los tiempos de paros, cantidad de producción realizada, defectos y tiempo de trabajo útil.
Promueve la participación libre, autónoma y sincera de las personas para analizar, tomar decisiones, y solucionar problemas del mantenimiento.	Demanda un control riguroso de los tipos de paros clasificados en: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Por averías;</li> <li>• Por ajustes y preparación;</li> <li>• Por inactividad y paradas menores;</li> </ul>

- 
- Por problemas de calidad y trabajos rehechos;
  - Por ajustes de las velocidades de trabajo.

Logra una mejora continua y capacidad para detectar fallas, gracias a los datos que se recopilan.

Los trabajadores de mantenimiento deben ser adecuadamente preparados y adiestrados en las habilidades especializadas requeridas para mantener la capacidad de trabajos de las máquinas, pues cada vez las mismas son más sofisticadas.

Promueve el desarrollo integral de todo el personal de la entidad productiva.

---

Mejora la calidad y estimula la productividad, así como la rentabilidad y competitividad de la entidad integrando voluntades y destrezas.

---

### **3.3.2 Mantenimiento Preventivo.**

Aunque resulta ser un escalón superior en la gestión del mantenimiento comparado con el correctivo según (Acevedo, 2000 y Shkiliova, 2010) ya que el mismo permite prever la falla, no se puede asegurar que sea el más idóneo para obtener una máxima seguridad y confiabilidad de los equipos, pues como demuestra la práctica, las fallas no se producen a intervalos regulares de tiempo, sino que se producen a intervalos de tiempo de acuerdo a una distribución determinada según Daquinta, (2008).

De ahí que resulte ser muy importante elegir correctamente ese intervalo de tiempo entre intervenciones.

Si se elige un intervalo corto de tiempo, se incurrirá entonces en el (sobremantenimiento), que resulta seguro pero muy costoso y por lo contrario, si se elige un intervalo largo de tiempo, entonces se incurrirá en un (sub-mantenimiento), que es barato, pero existe el riesgo de que ocurran muchas fallas frecuentes y peligrosas en dicho intervalo, de los cuales algunos pueden ser catastróficos.

En la tabla 3.3 se relacionan las ventajas y desventajas del método preventivo como vía de gestión del mantenimiento técnico.

**Tabla 3.3. Ventajas y desventajas del método preventivo para la gestión de las operaciones de asistencia técnica.**

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
<p>Con una buena organización, se alcanzan experiencias muy buenas en la determinación de las causas que provocan las fallas, o del tiempo de operación seguro de un objeto. Se llegan a conocer puntos débiles de los mismos.</p>	<p>De todas formas ocurrirán fallas entre los intervalos establecidos para las atenciones técnicas previstas, y ello puede ser inesperado e inconveniente.</p>
<p>Los equipos operan en mejores condiciones de seguridad, ya que se conoce su estado técnico y condiciones de funcionamiento.</p>	<p>Durante la intervención, muchos componentes en buen estado serán desmontados, inspeccionados y hasta cambiados innecesariamente. Pero además, se corre el riesgo de que algunos elementos constructivos aun en buen estado resulten dañados durante el desarme, haciéndose necesaria entonces su sustitución. Si se comete algún error en el arme, la condición final de la máquina puede ser peor que la que tenía antes de realizarse la intervención.</p>
<p>Disminución del tiempo muerto. Reduce el tiempo en que los equipos se encuentran fuera de servicio.</p>	<p>Como en una reparación corriente o general se requiere examinar gran número de elementos, estas pueden demorar un tiempo considerable y derivar en una gran pérdida de producción.</p>

---

Se estimula la durabilidad de los equipos y piezas.	Son necesarios modelos de optimización para mejorar la programación.
Evita grandes reparaciones por concepto de grandes averías, lo que hace que disminuyan los costos.	Se necesitan como mínimo de 2 a 3 años de operación y registro confiable de datos, para aplicar y determinar indicadores de fiabilidad elaborando distribuciones empíricas.
Menores costes totales de reparación.	Con el sub-mantenimiento tiene lugar al mantenimiento correctivo en vez del preventivo.
Aumenta la disponibilidad y seguridad de funcionamiento del objeto y con ello la frecuencia de paradas por mantenimiento.	Con el sobre-mantenimiento se interrumpe la vida útil y de operación normal de un equipo sin conocimiento de causa, lo que trae como consecuencia el desaprovechamiento de la vida residual de sus elementos fundamentales, así como la acumulación innecesaria de actividades preventivas que aumentan los gastos.
Permite preparar con tiempo las condiciones para la reparación. Con una correcta organización y coordinación, se facilita el completamiento de piezas, herramientas y personal necesitado.	
Disminuya las existencias de piezas en almacén, pues solo se precisan los repuestos de mayor y menor consumo.	

---

---

Permite una carga de trabajo estable para el personal de Mantenimiento, debido a una programación más acertada de sus actividades.

---

Permite incrementar la vida de los equipos, generalmente hasta el límite de su amortización o mayor.

---

### 3.3.3. Mantenimiento Predictivo

Como se explicó en el capítulo I, es el tipo de mantenimiento que asegura un mejor estado de funcionamiento de los equipos, ya que aplica técnicas predictivas para analizar los parámetros de funcionamiento y así detectar un fallo antes que ocurra. Sin embargo, cuando se trata de objetos móviles como es el caso de las máquinas agrícolas, la mayoría de las veces es necesario detenerlas para inspeccionar parámetros que tienen que ver con su estado técnico, pues pocos son sus parámetros que pueden ser monitoreados de forma continua en condiciones de trabajo.

En la tabla 3.4 se relacionan las ventajas y desventajas fundamentales del sistema de mantenimiento predictivo, para la gestión de la asistencia técnica.

**Tabla 3.4. Ventajas y desventajas fundamentales del sistema de mantenimiento predictivo, para la gestión de la asistencia técnica.**

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Reduce o elimina significativamente el tiempo de parada por fallas no previstas, además, al ocurrir las mismas, se puede conocerse con exactitud que órgano falló, lo que se traduce en un incremento considerable de la confiabilidad y la productividad.	Necesidad de elevadas inversiones en la compra de equipos e instrumentos de diagnóstico con un alto costo inicial, aunque a largo plazo los costos se minimizan.
Permite seguir la evolución de un defecto en el tiempo.	Requiere de una elevada preparación del personal encargado de tomar medidas de rutina, así como para los

---

---

ingenieros encargados de evaluar la situación.

Optimiza la gestión del personal de mantenimiento y demanda una plantilla más reducida.

La verificación del estado del objeto, tanto de forma periódica como de forma accidental, permite confeccionar un archivo histórico del comportamiento mecánico y operacional del mismo de inestimable valor.

Posibilita conocer con exactitud el tiempo límite de actuación, que no implique el desarrollo de una falla imprevista.

Permite tomar decisiones sobre la parada de una serie de máquinas en momentos críticos.

Permite planificar las compras de nuevos equipos.

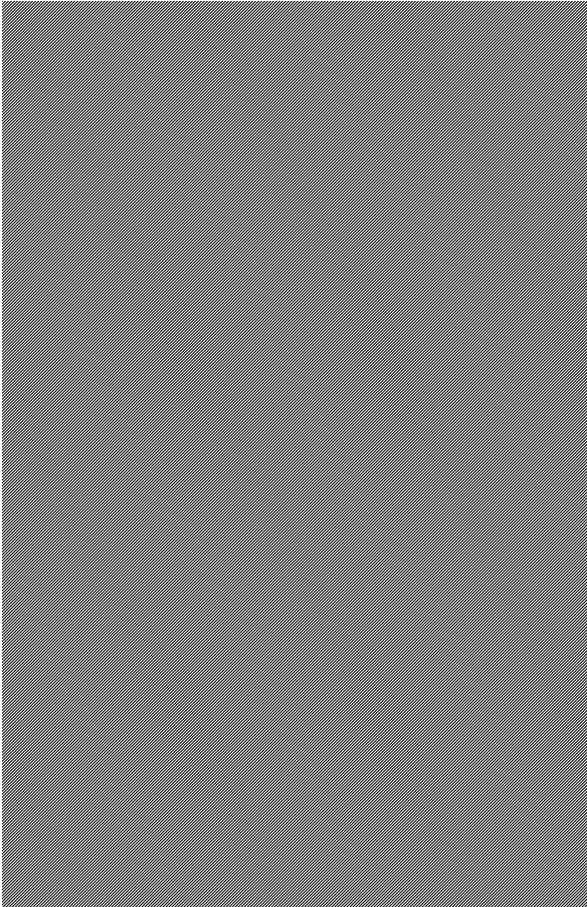
Reduce el almacenamiento de partes y piezas, y facilita el análisis de las averías.

#### **3.3.4. Sistema de mantenimiento asistido por ordenador. (GMAO).**

Como ya se explicó, se trata de un programa informático (Software), que permite la gestión del mantenimiento de los equipos tanto para el mantenimiento correctivo como preventivo, predictivo, etc, por lo que se puede considerar un sistema muy novedoso que aplica los últimos adelantos de la tecnología a la gestión y administración de los sistemas de mantenimiento.

En la tabla 3.6 se relacionan las ventajas y desventajas del mismo.

**Tabla 3.6 Ventajas y desventajas del sistema GMAO como método para planificar las operaciones de asistencia técnica.**

Ventajas	Desventajas
<p>Permite disponer de una gran cantidad de información inmediata, actualizada y fácil de operar.</p>	<p>Un fallo de los sistemas de cómputo podría conducir a un verdadero colapso de la actividad.</p>
<p>Permite disponer de un historial del equipo, tanto de sus características técnicas como de sus averías, revisiones, sustituciones, fechas de las últimas incidencias, personal implicado, horas y materiales utilizados, etc, en la solución de los problemas.</p>	<p>Cuanto mayor es la cantidad de información a manejar y más rápida es la afluencia de datos, tanto más necesario se hace el uso de equipos informáticos de mayores prestaciones.</p>
<p>En función de los parámetros que se decidan, es posible programar las revisiones e inspecciones generando los listados correspondientes para la tarea de los técnicos según los plazos programados.</p>	<p>Se requiere de personal capacitado para manipular las bases de datos.</p>
<p>Permite optimizar los recursos:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Laborales: Mejora de la planificación, seguimiento y aplicación.</li> <li>• Materiales: Mayor disponibilidad, disminución de existencias ociosas, fácil localización.</li> <li>• Mejoras en la calidad y productividad de la organización.</li> <li>• Permite disminuir los tiempos de paros, asegurando mayor fiabilidad y disponibilidad.</li> <li>• Posibilita realizar estudios y anticipar cargas de trabajo o consumo de piezas.</li> </ul>	

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite conocer de inmediato los gastos originados por cualquiera de los elementos controlados.</li> <li>• Permite ajustar los planes de mantenimiento a las características reales.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permitir la participación en un TPM.</li> </ul>	

### 3.3.5. Sistema Alternativo de Mantenimiento. (SAM)

El SAM, como se explicó en la Revisión Bibliográfica, es un sistema de gestión del mantenimiento compleja, en el que se integran como sub-sistemas otros que pueden ser: el Sistema de Mantenimiento Correctivo o contra averías, el (MPP) y el Mantenimiento por Diagnóstico.

Sin embargo, posee una serie de ventajas que lo hacen acreedor de un interés particular.

En la tabla 3.7 se relacionan las ventajas y desventajas del Sistema Alternativo de Mantenimiento (SAM), como vía para la gestión de las operaciones de asistencia técnica.

**Tabla 3.7 Ventajas y desventajas del Sistema Alternativo de Mantenimiento, (SAM), como vía para planificar las operaciones de asistencia técnica.**

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Es un sistema flexible, que puede asimilar cambios en la producción permitiendo pasar un equipo de un sistema de mantenimiento a otro de acuerdo a sus cualidades, y nueva función en un proceso de producción.	Se torna compleja e imprecisa la clasificación de los equipos según los criterios utilizados.
Permite su perfeccionamiento progresivo a partir de la acumulación de datos e información.	Requiere de cierta inversión inicial en recursos, medios, e instrumentos para la aplicación del diagnóstico a los equipos seleccionados.

---

Permite el incremento de la producción y disminución de sus costos, debido a la reducción de la estadía de los equipos en mantenimiento, y de la laboriosidad de las operaciones a realizar a los mismos.

Requiere de personal altamente calificado para las tareas de inspección y diagnóstico.

Permite mejorar la organización de la actividad del mantenimiento.

Permite mejorar el estado técnico de los equipos, ya que a cada uno se le somete al tipo de mantenimiento más adecuado a sus características, complejidad técnica, importancia en el proceso de producción y condiciones de explotación.

---

En relación con el (MPP), permite reducir la plantilla de trabajadores directos e indirectos a la actividad del mantenimiento, reducir los ciclos de mantenimiento, y los gastos de piezas e insumos.

---

### **3.4. Resultados del estudio para elaborar la guía de implementación del método propuesto.**

Como quedó demostrado, los expertos consideran posibles métodos de gestión del mantenimiento a aplicar para sustituir al actual (SPPMTRMA) en Cuba los siguientes:

- Mantenimiento Productivo Total (TPM) por sus siglas en inglés;
- mantenimiento Preventivo;
- mantenimiento Predictivo;
- mantenimiento Asistido por Ordenador (GMAO) por sus siglas en inglés;
- Sistema Alternativo de Mantenimiento.

Sin embargo, no es necesario investigar la forma de gestión del mantenimiento preventivo, pues de hecho el (SPPMTRMA) lo es.

El mantenimiento Predictivo como forma de gestión sin lugar a dudas posee grandes ventajas, sin embargo, demanda una gran cantidad de equipamiento para el diagnóstico que sería imposible adquirir y generalizar en la red de talleres agropecuarios del país. Téngase en cuenta que en el sector existen más de 400 talleres de base, 488 talleres centrales, 177 talleres provinciales y tres plantas nacionales de reparación, para un total de más de 1068 talleres de diferentes denominaciones.

Para el sistema GMAO, evidentemente no existen en las empresas agropecuarias cubanas, y mucho menos en sus talleres, ni los softwares ni la infraestructura necesaria para poder ser implementado.

Finalmente con el sistema (SAM) ocurre algo similar a lo que sucede con el sistema Predictivo, no existen tampoco las condiciones materiales necesarias para implementarlo.

Por tanto, el análisis se centra en el estudio del Mantenimiento Productivo Total, (TPM), toda vez que en su esencia parte de la reformulación, reestructuración y mejora de las personas y equipos, sin necesidad de adquirir equipamiento especializado obligatoriamente.

Para ello ante todo es necesario que:

- Todo el personal del taller, (desde el director hasta el auxiliar de limpieza), se involucren en las operaciones de asistencia técnica y la hagan suya con sentido de responsabilidad y pertinencia.

Una vía para lograrlo puede ser vincular el salario de los obreros del taller a los resultados de la producción bajo el principio de: Más producción, más salario, menos producción, menos salario.

- Se cree una cultura corporativa orientada a la obtención de la máxima eficacia en el sistema de producción y gestión de equipos: (*Producción + Gestión de Equipos*).

Para ello es necesario el trabajo en equipos mediante grupos multidisciplinarios, donde se involucre al personal de la producción.

- Se implante un sistema de gestión que facilite la eliminación de las fallas durante el ciclo de vida del equipo antes que se produzcan. (*Cero Defectos, Cero Averías, Cero Accidentes*).

Para ello, ciertamente los talleres agropecuarios deben ser equipados con los medios de diagnóstico necesarios, sin embargo como se ha dicho, es imposible que

el país pueda adquirirlos hoy en el mercado internacional para abastecer a toda la red de talleres con que cuenta el sector.

Un reflejo de la realidad de ésta situación quedó demostrada en el estudio realizado en el año 2017 por el ingeniero Manuel Alejandro Pentón Yero en su trabajo de diploma: EVALUACIÓN DE LAS POTENCIALIDADES EXISTENTES EN LOS TALLERES AGROPECUARIOS DE LA PROVINCIA SANCTI SPÍRITUS, PARA EJECUTAR CON CALIDAD LAS OPERACIONES DE ASISTENCIA TÉCNICA.

En el mismo se demostró que en 22 talleres evaluados no existe una distribución equitativa de equipamiento tecnológico, por lo general existen pocos medios de medición y mucho menos de diagnóstico.

Sin embargo, se pueden buscar soluciones alternativas internas si para ello se tienen en cuenta resultados como los obtenidos a modo de ejemplo para el sistema de alimentación Diesel en el trabajo de diploma titulado: PROPUESTA DE MEDIOS ALTERNATIVOS PARA EL DIAGNÓSTICO TÉCNICO AL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DIESEL, del autor, Pedro Enrique Sánchez Pérez, 2018, donde se hace referencia a varios dispositivos sencillos que son factibles de construcción en nuestros talleres con los recursos existentes.

El Dr. C Manuel Acevedo Pérez en su trabajo de tesis para optar por el grado científico correspondiente demostró, que el mayor desgaste en los elementos de precisión del sistema de alimentación Diesel ocurre cuando el combustible se encuentra contaminado con partículas abrasivas y agua como se muestra en la Figura 3.4.

Sin embargo, para evitar esa contaminación no se requiere adquirir equipamiento alguno, solo hace falta cumplir a cabalidad con las reglas de arranque y manejo del equipo.

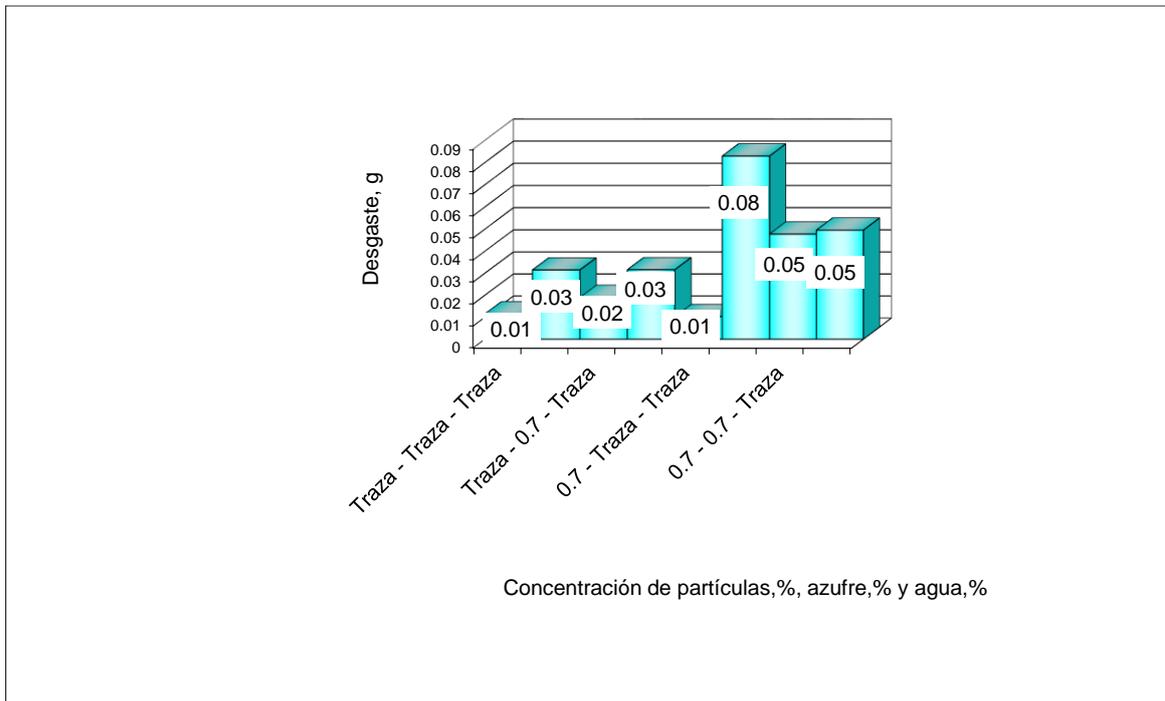


Figura 3.4. Influencia que ejercen la presencia de partículas abrasivas, azufre y agua en el combustible, sobre el desgaste de los elementos de precisión del sistema de alimentación Diesel.

En el mismo trabajo, el Dr Acevedo demostró la dependencia lineal que existe entre el tiempo de trabajo ( $T_{tr}$ ), la holgura (H), y la hermeticidad hidráulica (h) en los elementos de precisión del sistema de alimentación Diesel, Figura 3.5.

Utilizando la misma, en los talleres se puede sustituir una gran cantidad de equipos y medios de diagnóstico si se conoce al menos uno de los parámetros antes mencionados.

De acuerdo con la figura, a partir del valor conocido de cualquiera de los parámetros, se trazan rectas hasta la línea que representa la dependencia lineal entre ellos, y de ese modo se pueden determinar los restantes parámetros de los elementos sin necesidad de equipamiento especializado.

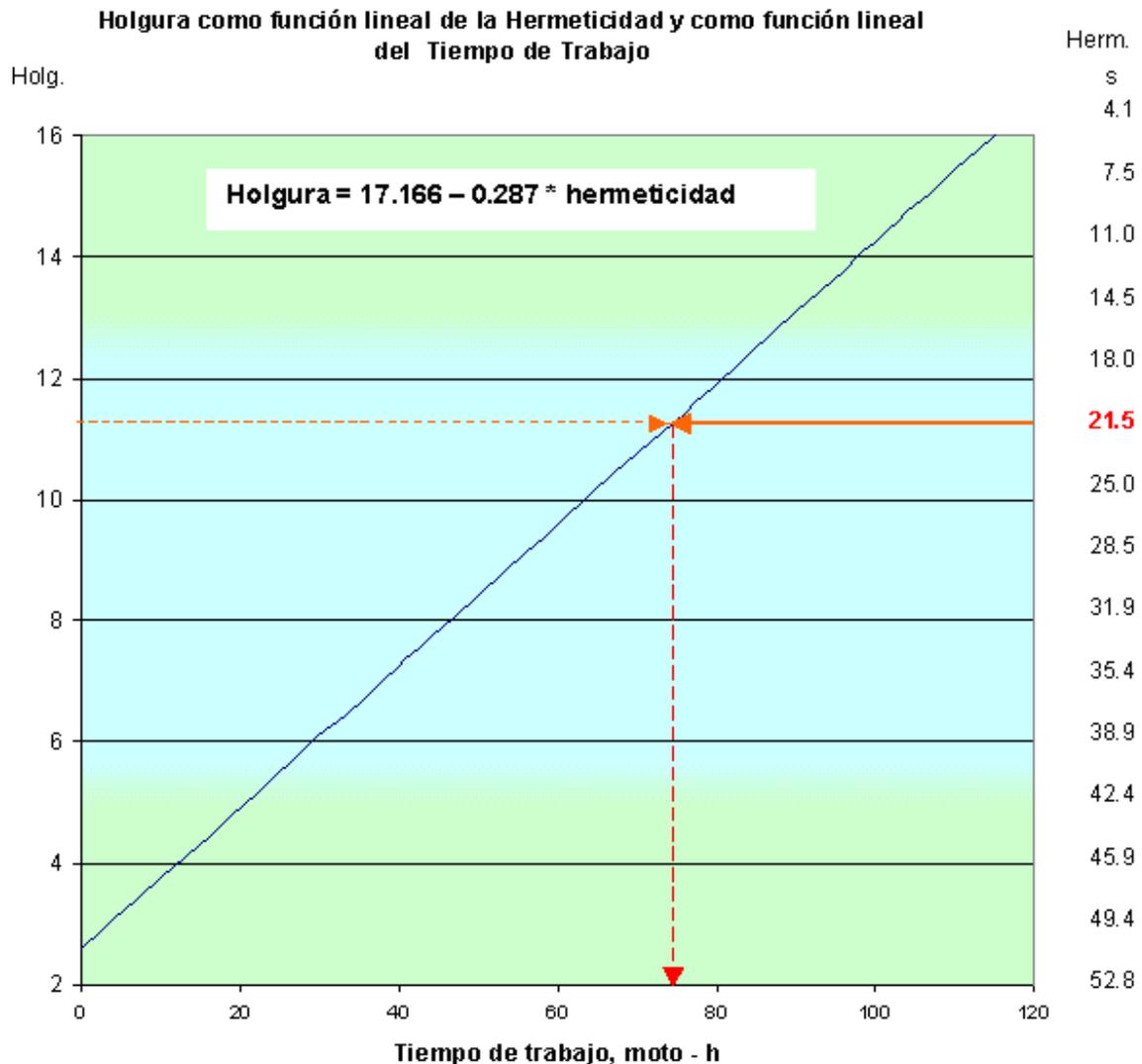


Figura 3.5. Modo de utilización gráfica para determinar tiempo de trabajo (Ttr), holgura (H) y/o hermeticidad (h) en los elementos de precisión.

Por tanto, lo que se requiere de momento y hasta tanto la situación del país cambie y se pueda adquirir el equipamiento necesario, es capacitar e involucrar a todo el personal del taller en la gestión del mantenimiento como se ha venido explicando, para lograr que se aprovechen además técnicas tan comunes como las que se relacionan a continuación, que no demandan tampoco la necesidad de adquirir equipamiento especializado y se obvian:

- **Los sentidos humanos:**

Tocar, ver, oler y oír, son actividades generalmente olvidadas cuando se escribe la lista de métodos para monitorear condiciones de operación. “No se ve muy bien”, es entonces muy importante.

- **Técnicas ópticas:**

Existe una amplia gama de técnicas que amplían la potencia del ojo humano. Se puede obtener amplificación extra por ejemplo con el uso de lupas o de otros instrumentos ópticos. El uso de equipamiento especializado se justifica solo si el objeto que se quiere inspeccionar no se encuentra accesible.

Si el objeto que se va a inspeccionar se encuentra dentro de la máquina, se puede recurrir entonces a:

- Sondas, que son fuentes de luz flexibles y que pueden usarse en conjunto con espejos y varillas.
- Baroscopios, que son objetos especialmente diseñados para el trabajo de inspección. Consisten en un líquido o una fibra óptica con los que se ilumina y visualiza el objeto a inspeccionar. Pueden ser rígidos o flexibles, y tener diferentes opciones de cabezales de inspección. Además, pueden tener amplificación incorporada.

- **Técnicas térmicas:**

La técnica de monitoreo por calor se puede emplear para medir fluidos en un sistema, o para superficies de elementos mecánicos, por ejemplo, las cajas de velocidades, rodamientos, etc.

Para estas mediciones se utilizan dos tipos de sensores:

**a) Sensores de contacto**, que son aquellos que toman la temperatura del cuerpo con el cual están en contacto y luego la transmiten como si fuera la suya propia.

**b) Sensores sin contacto**, que funcionan de acuerdo con la ley de Boltzmann según la cual, la energía radiante desde un cuerpo varía con la temperatura absoluta del mismo y la emisión de la superficie de radiación. Para ello se usan dos tipos de instrumentos:

- Pirómetros de radiación, los cuales se pueden seleccionar en una amplia gama de temperaturas; por ejemplo, 0 °C y 2.500 °C.
- Cámaras infrarrojas de rastreo, que despliegan la temperatura del cuerpo en forma directa.

- **Técnicas de vibraciones:**

La técnica más simple utiliza la medición global de vibraciones con aceleración, velocidad y desplazamiento. Este método cuantifica la cantidad de vibración y la compara con normas preestablecidas y aceptadas.

Las medidas de aceleración son particularmente sensitivas a las altas frecuencias, por lo que son muy útiles para detectar fallas en rodamientos o en piñones de cajas de reducción de velocidad.

Las medidas de velocidad son muy útiles para la detección de fallas, tales como desbalance, desalineamientos y apoyos flojos.

El desplazamiento se utiliza para vibraciones de baja frecuencia y se utiliza en equipos de baja velocidad.

Algunas de las fallas comúnmente detectables por esta técnica son:

- Desbalance: Produce un pico a la velocidad del eje;
- desalineamiento: Se produce típicamente a 1x, 2x y 3x de la velocidad del eje.
- Bases flojas: A menudo, a 1x ó 2x de la velocidad del eje;
- daños en rodamientos: Picos de frecuencia entre 2 kHz y 5 kHz, dependiendo de la velocidad del eje y de la resonancia del transductor;
- problemas eléctricos: Frecuencia sincrónica y bandas adyacentes;
- daño en piñones: La gama de frecuencias depende del número de dientes y de la velocidad del eje;
- daños en aspas: El número de aspas multiplicado por la velocidad del eje;
- eje fracturado: Típicamente, 2x y 3x de la velocidad del eje.

- **Monitoreo de corriente:**

La corriente de los motores eléctricos puede medirse utilizando muchos métodos muy conocidos. Entre estos se encuentran los siguientes:

- Graficación de la variación continua de la corriente con el tiempo.
- Graficación de picos de corriente.

- **Monitoreo de lubricantes:**

Se puede monitorear la composición de los lubricantes para detectar la presencia de contaminantes o partículas abrasivas que puedan producir daños.

- **Monitoreo de la corrosión:**

Los procedimientos convencionales de monitoreo de la corrosión se basan en el análisis visual, la detección de la pérdida de peso, la medición de resistencia eléctrica y la polinización lineal.

Para detectar la corrosión, se siguen numerosos métodos, entre ellos, inspección visual, ultrasonido, radiografía, inducción magnética y medición de corrientes parásitas.

- Se mantenga el mantenimiento preventivo como vía fundamental para alcanzar el objetivo de cero pérdidas, pero con operaciones de mantenimiento basadas en el tiempo y en la condición, integradas en pequeños grupos de trabajo dentro del cual un papel fundamental lo desempeñe el operador, que es quien en verdad conoce el equipo. (Mantenimiento Autónomo).

El mantenimiento autónomo al que se hace referencia y para el cual tampoco se requiere invertir en equipamiento, está basado en las nombradas “5S” por derivarse sus nombres de palabras que en japonés empiezan con esa letra y significan:

- **Seiri - Organización (utilización, selección)**

Separar las cosas necesarias de aquellas que son innecesarias, dando un destino adecuado a aquellas que dejaron de ser útiles. (Stocks innecesarios, artículos obsoletos, herramienta y útiles que no se usan, etc).

- **Seiton - Orden (sistematización, arreglo)**

Guardar las cosas necesarias de acuerdo con la facilidad de uso, considerando la frecuencia de utilización, el tipo y el peso del objeto, de acuerdo con una secuencia lógica ya practicada, o de fácil asimilación. La organización y el orden facilitarán mucho el control visual que será importante en el Mantenimiento Autónomo.

- **Seiso - Limpieza (inspección, celo)**

Eliminar la suciedad inspeccionando para descubrir y atacar las fuentes de problemas. Para esto, es fundamental que la limpieza la realice el propio usuario o el propio operador de la máquina.

- **Seiketsu - Aseo (estandarización, salud, perfeccionamiento)**

Conservar la higiene teniendo en cuenta que las etapas de organización, orden y limpieza ya alcanzadas no retrocedan. Esto es ejecutado a través de la estandarización de hábitos, normas y procedimientos.

- **Shitsuke - Disciplina (control de sí mismo, educación)**

Cumplir rigurosamente las normas y todo lo que se haya establecido por el grupo. Como se puede apreciar, las “5S” de una manera u otra se aplicó en su momento en el movimiento de talleres modelos, sin embargo, el período especial, el desabastecimiento, la indisciplina tecnológica y todos los fenómenos adversos que éste trajo para el país, hicieron que el movimiento desapareciera casi en su

totalidad. Por ello, hoy se hace necesario retomar el camino y rescatar todo lo que en ese sentido se había avanzado.

Se hace necesario preparar a los recursos humanos a través de la capacitación continua y permanente, sobre todo, si se tiene en cuenta la diversidad de equipos que hoy el país importa desde diferentes partes del mundo y con diferentes tecnologías. **Se impone un cambio de mentalidad de todos.**

En general, el (TPM) se sustenta sobre los siguientes pilares:

1. Mantenimiento Preventivo.
2. Mejoras individuales de los equipos.
3. Educación y Capacitación.
4. Mantenimiento de calidad.
5. Control administrativo.
6. Medio ambiente, seguridad e higiene del trabajo.
7. Mantenimiento autónomo.

Sin obviar que existen principios básicos para lograr cero defectos y revelar defectos ocultos que pueden ser consecuencia de una inspección y análisis defectuosos; ensamblajes defectuosos que dificultan la inspección; polvo y contaminación, etc.

Además, los defectos pueden estar psicológicamente ocultos si se ignoran conscientemente, aunque estén visibles; si el problema se subestima; y si el problema se pasa por alto, aunque haya síntomas concretos visibles.

***Las averías no se podrán eliminar hasta que no cambien los supuestos y creencias***, particularmente los que se refieren a la división tradicional del trabajo entre los departamentos de producción (explotación) y mantenimiento (taller).

Los operadores y el personal de mantenimiento deben llegar además a un entendimiento mutuo, y compartir la responsabilidad de los equipos. De hecho, todo el personal relacionado con el equipo debe colaborar con el resto y comprender la misión de cada cual.

Para administrar de manera eficiente la gestión del mantenimiento según la propuesta, a continuación se sugieren indicaciones tomadas del sistema de Gestión del Mantenimiento Asistido por Ordenador (GMAO), que permiten lograr una mayor organización y control del proceso si para ello se controlan en carpetas independientes las siguientes secciones:



- Instalaciones: en esta sección se definen las instalaciones que componen el taller o equipo a mantener. Se les da un código, un nombre, una zona de ubicación, así como algunas características que la definan. También se les puede asignar desde esta sección el conjunto de trabajos de mantenimiento (llamados Gamas de trabajo), que se deben realizar periódicamente (preventivos planificados).



- Mano de obra: esta sección ayuda a controlar la mano de obra tanto propia como externa (contratas), teniendo el listado de todos aquellos operarios o entidades que colaboran. Se crea aquí un número de operario (o de contrata), con su nombre y datos personales, así como un currículo resumido. Cuando queramos cargar determinada mano de obra a un trabajo en una instalación, usaremos una OT (orden de trabajo) y los datos de esta sección para que figure esa mano de obra empleada.



- Gamas: definen los trabajos a realizar en el mantenimiento preventivo. En cada gama aparece definido y organizado un conjunto de tareas a realizar, especificadas por técnicos que conocen bien la instalación o los equipos y saben dónde hay que actuar para prevenir los defectos y averías.



- OT: las OTs (órdenes de trabajo) son el documento propio de cada instalación a la que se cargan los trabajos, los conceptos y los gastos que se producen en cada intervención de mantenimiento en dicha instalación.

En la OT que se genera en cada intervención debe constar la mano de obra empleada operario por operario, el trabajo realizado, observaciones durante el trabajo y todos aquellos datos que deseemos formen el histórico de dicha instalación, para usar ese histórico en el análisis de cómo va la rentabilidad de los procesos.



- Planificación: se necesita planificar los trabajos preventivos en base a una frecuencia, (cada cierto número de días, de ciclos de trabajo, o de horas de funcionamiento), de modo que automáticamente se lancen al taller todas las OTs de mantenimiento preventivo que se deban hacer.

Esta sección se encarga de ordenamos, planificar y calcular, cuales son las instalaciones y las gamas que han cumplido el plazo marcado por la frecuencia asignada, y las lanza en papel para entregar a los técnicos que deben realizarlas.

Una vez realizadas, vuelven rellenas con información que habrá que volcarse en la sección de OTs, y cerrar cada OT como finalizada, para que forme parte del histórico.



- Almacenes de repuestos: base de datos de todas las referencias de materiales que componen el conjunto de repuestos, con sus precios, proveedores, cantidades, control de stock mínimo, creación de pedido, salidas y entradas de repuestos del almacén o almacenes, etc.



- Utilidades: base de datos que permite acceder a informes muy útiles para conocer la efectividad de las acciones de asistencia técnica.

Definitivamente, para implementar el método propuesto se recomienda vencer las siguientes etapas:

1. Etapa - Compromiso de la alta gerencia.
2. Etapa - Campaña de difusión del método.
3. Etapa - Definición del Comité de Coordinación y nombramiento de los responsables para la gestión del programa y formación de los grupos de trabajo.
4. Etapa - Política básica y metas.
5. Etapa - Plan piloto.
6. Etapa - Inicio de la implantación.
7. Etapa - "Kobetsu-Kaizen" para la obtención de la eficiencia en los equipos e instalaciones.
8. Etapa - Establecimiento del "Jishu-Hozen" (Mantenimiento Autónomo).
9. Etapa - Eficacia de los equipos por la ingeniería de producción (operación + mantenimiento).
10. Etapa - Establecimiento del sistema para la obtención de la eficiencia global en las áreas de administración.
11. Etapa - Establecimiento del sistema, buscando la promoción de condiciones ideales de seguridad, higiene y ambiente agradable de trabajo.
12. Etapa - Aplicación plena del TPM.

Para ejemplificar qué representaría desde el punto de vista económico la implementación del TPM, se hace referencia a algunas de las operaciones implícitas en el manual de explotación de los tractores Belarus.

En el mismo, el fabricante plantea que en los mantenimientos diarios se deben chequear en pistas de nivel los niveles de líquidos en: carter del motor, sistema hidráulico y radiador. ¿Es necesario adquirir equipamiento especializado para ello? Durante el mantenimiento técnico No 1 se plantea la necesidad de desmontar y limpiar el filtro centrífugo de aceite, durante el mantenimiento técnico No 1A, cambiar el filtro principal del sistema hidráulico, durante el mantenimiento técnico No 2 cambiar los filtros de combustible y durante el mantenimiento técnico No 3 cambiar los elementos de precisión del sistema de alimentación Diesel.

No ejecutar estas operaciones es una violación y sin embargo como se observa, no se hace referencia a las condiciones de explotación, por tanto, esto no debe seguir siendo una camisa de fuerza, y se hace necesario un cambio de mentalidad para reparar solo lo que deba ser reparado pues por ejemplo, un kit de elementos de precisión plunger-camisas cuesta 31,04 USD, un kit de puntas de inyectores 6.70 US, un kit de bomba de agua 9.24 USD y un kit de bomba de cebado 17.34 USD. Si se multiplican esos precios por la cantidad de tractores marca Belarus activos en el país, se obtendrá un sustancial ahorro de recursos materiales, financieros, humanos y de otros tipos que en la actualidad se malgastan y no por causa de la inexistencia de equipamiento especializado.

### **Conclusiones parciales:**

Las insuficiencias del (SPPMTRMA), indican la necesidad de un cambio y la implementación de un sistema de gestión diferente.

Se impone un ***cambio de mentalidad***. Es necesario adecuarse a los tiempos modernos y dejar de hacer las cosas como rígidamente indican los fabricantes, para ello, es necesario pasar cuanto antes a asistir técnicamente lo que deba ser asistido a través de un diagnóstico rápido y certero del verdadero estado técnico del equipo al arribar al taller, y trabajar sobre la base del (TPM).

La actual carencia de equipamiento especializado en los talleres agropecuarios para lograr un diagnóstico certero, se puede sustituir por equipos más sencillos fáciles de construir y generalizar.

La reformulación, reestructuración y mejora de las personas y equipos, son las vías para eliminar las deficiencias manifiestas del (SPPMTRMA) utilizado en el sector agropecuario cubano.

## **CONCLUSIONES.**

El desarrollo del trabajo permitió arribar a las siguientes conclusiones:

1. Las insuficiencias del (SPPMTRMA), conducen a la ejecución de operaciones que ocasionan gastos innecesarios de recursos humanos, materiales y de otros tipos.
2. A juicio de los expertos, los sistemas de mantenimiento aplicados en países desarrollados, sobre los que se debe fundamentar cualquier propuesta de cambios a la gestión del mantenimiento utilizada en Cuba son: el Mantenimiento Productivo Total (TPM), Mantenimiento Preventivo, Mantenimiento Predictivo, Mantenimiento Asistido por Ordenador (GMAO) y Sistema de Mantenimiento Alternativo (SAM).
3. El estudio de la esencia, ventajas y desventajas de los métodos propuestos por los expertos para planificar la gestión del mantenimiento, permitió evaluar la efectividad del TPM para adecuarlo a las condiciones del sector agropecuario cubano.
4. La guía elaborada para aplicar el Sistema de Mantenimiento Productivo Total (TPM), permitirá su fácil implementación eliminando las insuficiencias del (SPPMTRMA) actualmente utilizado.

## **RECOMENDACIONES**

1. Discutir con los organismos decisores la propuesta de modificación al (SPPMTRMA) vigente en Cuba, y trabajar de manera conjunta para implementar el Sistema de Mantenimiento Productivo Total (TPM) a escala piloto.

## BIBLIOGRAFÍA

- AIKEN, L.: Test psicológicos y evaluación. Mexico: Pearson Education, 2003.
- ACEVEDO, M.: Mantenimiento y Reparación a la Maquinaria Agrícola. Folleto de uso docente, UCLV, 2000.
- AFNOR, Normas de la Asociación francesa de Normalización X60010 y 60011.
- ÁLVAREZ, E.: Tribología. Editorial ENPES. Habana. Cuba. 2002 AMÁNDOLA: [en línea] Disponible en: <http://www.mantenimientomundial.com> [Consulta: diciembre 18 2016].
- AMÁNDOLA, L.: El Mantenimiento Técnico. Editorial Gustavo Gili, S.A. España 2016, 224p.
- ARTSTEIN, R. Y POESIO, M.: *Kappa3 = Alpha (or Beta)*. (Technical Report CSM-437). Department of Computer Science: University of Essex. 2005.
- ATO, M., BENAVENTE, A., Y LOPEZ, J.: Análisis comparativo de tres enfoques para evaluar el acuerdo entre observadores. *Psicothema*, 18(3), 638 – 645. 2006.
- BALDIN, L., FURLANETO, A., ROVERSI, F., y TURCO, M.: “Manual de mantenimiento de instalaciones industriales”, Editorial Gustavo Gili, S.A. 1982.
- BALLESTEROS F.: Gestión del CBM en el ámbito de la nueva norma sobre Asset Management (ISO 55000)". 2016.
- BARROSO, J. Y CABERO, J.: La investigación educativa en TIC. Madrid: Síntesis. (2010).
- CABERO, J.: Tecnología educativa. Diseño y utilización de medios en la enseñanza. Barcelona: Paidós. 2001.
- CABRAL DE CARVALHO, N.: Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Engenharia de Manutenção - Universidade Federal do Rio de Janeiro/Comitê UPADI de Engenharia de Manutenção Módulo 7 - Qualidade e Manutenção - Revisão 1998
- COLECTIVO DE AUTORES.: Gestión del Mantenimiento. SEAS. Estudios superiores abiertos. ISBN 978-84-15545-60-6. 250p. 2011.

- CRUZ, M.: Aplicación de técnicas de inteligencia artificial en el mantenimiento predictivo de aerogeneradores. Instituto de Investigación Tecnológica. Universidad Pontificia Comillas, Madrid. 2002
- DAQUINTA, G.: Mantenimiento y Reparación de la Maquinaria Agrícola, Editorial Félix Varela, La Habana, Cuba, 2008.
- DE LA PAZ, M.: Sistema Alternativo de Mantenimiento. pdf [en línea] Disponible en: <http://www.mantenimientoplanificado.com> [Consulta: septiembre 2016].
- GARCÍA, S.: Ingeniería del mantenimiento. Manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento. RENOVETEC. 2012
- GARCÍA, L.: Mantenimiento, una estrategia dinámica. I parte. Revista metalurgia y electricidad, Barcelona, volumen Abril, (588): 132-139. 1987.
- GAMARRA, J.: Introducción a la gestión del mantenimiento by gestión de riesgo. pdf [en línea] Disponible en: <http://www.mantenimientomundial.com> [Consulta: noviembre 2016].
- GARCÍA, I. Y FERNÁNDEZ, S.: Procedimiento de aplicación del trabajo creativo en grupo de expertos, *Energética*, vol. XXIX, 2, 46-50. 2008.
- GOLMAN, G.: El Mantenimiento Técnico. Editorial ELMUSA. Argentina. 2000.
- GOST 23554-1-79.: Método de expertos para la evaluación de la producción industrial, Organización y realización de la evaluación experta de la calidad de la producción.
- GORDON, J.: The Delphi method, Disponible en: <http://www.futurovenezuela.org/curso/5-delphi.pdf>. Consultado 23 agosto 2018. 1994.
- HYRKAS, K., APPELQVIST-SCHMIDLECHNER, K., Y OKSA, L.: Validating an instrument for clinical supervision using an expert panel. *International Journal of nursing studies*, 40 (6), 619 -625. (2003).
- IBARRA, F. y COL.: Metodología de la investigación Social, Editorial Félix Varela, La Habana, 2001.
- ISAIAS, M.: Pareto Diagram and Cause Effect diagram. Bis BUREAU OF INDIAN STANDARTS. New Delhi. 2003

- JAKOBSSON, U., Y WESTERGREN, A.: Statistical methods for assessing agreement for ordinal data. *Scandinavian Journal of SCaring Science*, 19(4), 427- 431. 2005.
- KNEZEVIC, J.: *Mantenimiento*. Editorial Closas Orcoyen S.L. España, págs. 55-132, 1996. ISBN: 84-89338-09-4.
- KNEZEVIC, J.: *Mantenimiento*. Escuela de Ingeniería MIRCE (Management of Industrial Reliability and Cost Effectiveness), Universidad de Exeter. 2011
- LANDETA, J.: *El método Delphi: una técnica de previsión del futuro*. Barcelona: Ariel. 2002.
- LANNOY, A., Y PROCACCIA, M.: *L'utilisation du jugement d'experts en sûreté de fonctionnement*. Paris: Editions TEC & DOC. 2001.
- MALLA, F. Y ZABALA, I.: *La previsión del futuro en la empresa (III): el método Delphi*. *Estudios Empresariales*, 39, 13-24. 1978.
- MENGUAL, S.: *La importancia percibida por el profesorado y el alumnado sobre la inclusión de la competencia digital en Educación Superior*, Alicante: Departamento de Didáctica General y Didácticas específicas de la Facultad de Alicante. 2011.
- MOUBRAY, J.: *RCM 2: Estrategias del mantenimiento, un nuevo paradigma* [en línea] Disponible en: <http://www.mantenimientomundial.com/notas/RcmIntro.asp> [Consulta: diciembre 02 2016].
- MONSALVES, P.: *Mantenimiento centralizado en la confiabilidad*, pdf [en línea] Disponible en: <http://www.mantenimientoplanificado.com> [Consulta: septiembre 2016].
- MOSQUERA G.: *Las vibraciones mecánicas y su aplicación al mantenimiento predictivo*. Centro de altos estudios gerenciales ISID. Caracas, Venezuela, 2001.
- MCGARTLAND, D., BERG, M., TEBB, S., LEE, S., Y RAUCH, S.: *Objectifying content validity: Conducting a content validity study in social work research*. *Social Work Research*, 27 (2), 94-104. 2003.

- NAKAJIMA, S.: Introduction to TPM./ Productivity Press. Cambridge, Massachusetts. 1988.
- PETER, A.: The Maintenance Engineering. Disponible en: <http://www.mantenimientomundial.com> [Consulta: diciembre 2016].
- PORTUONDO, M.: Disponible en: <http://www.mantenimientomundial.com> [Consulta: Noviembre 2016]. 2008
- ROJO, M.: Metodología de la investigación, Editorial ENPES, Habana, 1987.
- SANZ, B.: Metodología de Mantenimiento Predictivo Basada en Análisis Espectral y Temporal de la Historia de Equipos Industriales y Enfoque de su Aplicación a un Sistema Experto, Tesis Doctoral E.T.S. de Ingenieros Industriales, Universidad Politécnica de Madrid. 2011.
- SIEGEL, S., Y CASTELLAN, J.: Estadística no paramétrica aplicada a las ciencias de la conducta. Mexico: Trillas. 1995.
- SIM, J., Y WRIGHT, C.: The Kappa statistic in reliability studies: Use, interpretation, and sample size requirements. *Physical Therapy*, 85 (3), 257-268. 2005.
- SHKILIOVA. L.: Gestión de Mantenimiento, Apuntes para un curso de postgrado, Universidad Agraria de La Habana (UNAH), Facultad de Mecanización Agropecuaria, La Habana, Cuba, 2010.
- SHERIF, Y. S.: Optimal Maintenance Models for Systems Subject to Failure - a Review, *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol. 28, págs. 47-74, 1981.
- SHKILIOVA, L.: Sistemas de Mantenimiento Técnico y Reparaciones y su aplicación en la Agricultura. *Rev Cie Téc Agr v.20 n.1 San José de las Lajas ene.-mar. 2011. versión On-line ISSN 2071-0054*
- SHKILIOVA, L.: Análisis de las principales estrategias (sistemas) de mantenimiento técnico y reparaciones y su aplicación en la agricultura. Convención Internacional "Ingeniería Agrícola 2009", en marco del IV Congreso Internacional de Mecanización (2 al 5 de junio del 2009, Bayamo) ISBN 978-959-282-088-3.

- SKJONG, R., Y WENTWORTH, B.: Expert Judgement and risk perception.  
Disponibile en: <http://research.dnv.com/skj/Papers/SkjWen.pdf> . Consultado.  
12 agosto 2018. 2000.
- TAVARES, L.: Administración Moderna de Mantenimiento. Pdf [en línea] Disponible  
en: <http://www.mantenimientomundial.com> [Consulta: diciembre 2016].
- TORRES, L. D.: Mantenimiento, su implementación y gestión, ISBN: 987-9406-81-  
8. © 2005, Segunda Edición, UNIVERSITAS, Argentina, 2005.
- VANDERLEI DE OLIVEIRA, M.: TPM - Manutenção produtiva total - aplicação  
prática na refinaria da ALUMAR Qualidade e Manutenção - TPM8º  
Congresso Brasileiro de Manutenção ABRAMAN - São Paulo - Out/93.
- WILLMOTT, P.: Maintenance Engineering in Europe-the Scope for Collaborative  
Technology Transfer and Joint Venture, Maintenance Journal, Vol. 4, No.4,  
págs. 10-13, diciembre 1989.
- WITKIN, R., Y ALTSCHULD, W.: Planning and conducting needs assessment: A  
practical guide. Thousand Oaks: Sage. 1995.
- ZINEB SIMEU-ABAZI.: Monitoring and predictive maintenance: Modeling and  
analyze of fault latency. Published by Elsevier B.V.  
doi:10.1016/j.compind.2006.02.017, Amsterdam, Nederland, 2006.
- ZWEIG, M.: "Gestión Integrada de Mantenimiento (II)" Revista de Mantenimiento,  
no. 56, 17-20. 1992.