

**DIAGNOSTICO Y DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE  
MANTENIMIENTO APLICABLE EN PLANTAS DEL SECTOR  
CARBONIFERO.**

**ALBERTO LUIS GUTIERREZ ROMERO  
JUAN CARLOS DIAZ CARDALES**



**FACULTAD DE INGENIERÍAS  
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO  
CARTAGENA DE INDIAS  
2011**

**DIAGNOSTICO Y DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE  
MANTENIMIENTO APLICABLE EN PLANTAS DEL SECTOR  
CARBONIFERO.**

**ALBERTO LUIS GUTIERREZ ROMERO  
JUAN CARLOS DIAZ CARDALES**

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

**DIRECTOR TRABAJO FINAL INTEGRADOR  
MSC, ME MIGUEL ÁNGEL ROMERO ROMERO**



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

**2011**

**Nota de Aceptación**

---

---

---

---

**Presidente del Jurado**

---

**Jurado**

---

**Jurado**

**Cartagena de Indias D. T. y C., 07 de octubre de 2011**

## **DEDICATORIAS**

Ofrezco este, en primera instancia a Dios, por ser el creador y proveedor de muchas bendiciones en mi vida, mi madre LAINEHT quien es mi más grande ejemplo de superación y los dos grandes motores de mi vida, mi esposa KAREN y mi hijo ALBERTICO, su paciencia, apoyo y amor incondicional.

ALBERTO LUIS GUTIERREZ ROMERO

A Dios y mi familia por estar siempre a mi lado, brindándome fuerzas y apoyo en todo momento.

JUAN CARLOS DIAZ CARDALES

Cartagena de Indias D. T. y C., 07 de octubre de 2011

**Señores:**

**Comité Evaluador**

**Especialización en Gerencia de Mantenimiento**

**Universidad Tecnológica De Bolívar**

**Ciudad.**

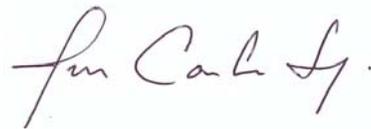
Apreciados señores:

Por medio de la presente nos permitimos someter para su estudio, consideración y aprobación el Trabajo Final Integrador titulado **“DIAGNOSTICO Y DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO APLICABLE EN PLANTAS DEL SECTOR CARBONIFERO”** realizada por los estudiantes **Alberto Luís Gutierrez Romero y Juan Carlos Díaz Cardales**, para optar al título de Especialistas en Gerencia de Mantenimiento.

Cordialmente,



**Alberto Luís Gutierrez Romero**



**Juan Carlos Díaz Cardales**

## **CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES**

Cartagena de Indias D. T. y C., 07 de octubre de 2011

Yo, **Alberto Luís Gutiérrez Romero**, manifiesto en este documento mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica de Bolívar los derechos patrimoniales, consagrados en el artículo 72 de la Ley 23 de 1982 sobre Derechos de Autor, del trabajo final denominado “**DIAGNOSTICO Y DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO APLICABLE EN PLANTAS DEL SECTOR CARBONIFERO**” producto de mi actividad académica para optar el título de **Especialista en Gerencia de Mantenimiento** de la Universidad Tecnológica de Bolívar.

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



**Alberto Luís Gutierrez Romero**

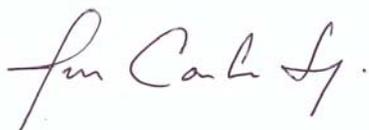
**C.C. 72.255.279 de Barranquilla**

## **CESIÓN DE DERECHOS PATRIMONIALES**

Cartagena de Indias D. T. y C., 07 de octubre de 2011

Yo, **Juan Carlos Díaz Cardales**, manifiesto en este documento mi voluntad de ceder a la Universidad Tecnológica de Bolívar los derechos patrimoniales, consagrados en el artículo 72 de la Ley 23 de 1982 sobre Derechos de Autor, del trabajo final denominado “**DIAGNOSTICO Y DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO APLICABLE EN PLANTAS DEL SECTOR CARBONIFERO**” producto de mi actividad académica para optar el título de **Especialista en Gerencia de Mantenimiento** de la Universidad Tecnológica de Bolívar.

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



---

**Juan Carlos Díaz Cardales**

**C.C. 9.103.020 de Cartagena**

Cartagena de Indias D. T. y C., 07 de octubre de 2011

**Señores:**

**Comité Evaluador**

**Especialización en Gerencia de Mantenimiento**

**Universidad Tecnológica De Bolívar**

**Ciudad.**

Apreciados señores:

Por medio de la presente me permito informarles que el Trabajo Final Integrador titulado **“DIAGNOSTICO Y DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO APLICABLE EN PLANTAS DEL SECTOR CARBONIFERO”** ha sido desarrollado de acuerdo a los objetivos establecidos por la Especialización de Gerencia en Mantenimiento.

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

Atentamente



---

**MSc, ME Miguel Ángel Romero Romero**  
**Director Trabajo Final Integrador**

## RESUMEN EJECUTIVO

El territorio colombiano cuenta con algunos de los yacimientos de carbón mas grandes descubiertos hasta la actualidad, lo que permite el desarrollo de proyectos carboníferos de cielo abierto a grandes escalas, tanto que algunos de ellos se encuentran entre las mas grandes de todo el mundo, la operación de estas minas está dedicada a la exploración, producción, transporte y embarque de carbón térmico de alta calidad. Aunque algunas de estas empresas del sector carbonífero se encuentran ubicadas en el primer cuartil de las empresas carboníferas más grandes del mundo, para los años venideros es necesario que crezca o tendera a quedar rezagada y perder de esta manera clientes, lo que al final redundaría en la pérdida del negocio.

Teniendo en cuenta lo anterior, los socios accionistas, han hecho un esfuerzo económico para conseguir que al 2012 pase de 32 a 40 millones de toneladas exportadas en el año. Lo anterior no será posible si no se optimizan procesos y si no se reducen los tiempos de mantenimientos que se están llevando a cabo en este momento en las plantas de carbón.

Actualmente esta empresa carbonífera cuenta con un sistema de paradas de mantenimiento para las plantas, que consiste en realizar paros programados de 24 horas cada siete días de funcionamiento, empleando todo este tiempo para aplicar los correctivos necesarios. El gran problema que se observa con este método utilizado para el mantenimiento, es que se aplican técnicas muy obsoletas ya que al momento de realizar la parada de la planta es cuando comienza la revisión de equipos que requieren de una intervención. Debido a esta problemática se determino realizar un diagnostico de mantenimiento para observar el estado actual del mantenimiento en la empresa y a partir de aquí diseñar la estrategia adecuada para reducir las paradas actuales y cumplir con las metas establecidas para el 2012.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN.....	
1.1. ANTECEDENTES	
1.2. PROBLEMÁTICA	
1.3. JUSTIFICACIÓN	
1.4. OBJETIVOS	
1.4.1. General	
1.4.2. Específicos	
2. MARCO DE REFERENCIA	
2.1. TEÓRICO	
2.1.1. Estrategias de Mantenimiento	
2.2. CONCEPTUAL	
2.2.1. Tipos de Mantenimiento	
2.2.2. Definiciones	
3. MARCO METODOLÓGICO	
3.1. FUENTES DE INFORMACIÓN	
3.2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	
4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO	

## 5. DIAGNOSTICO DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE MANTENIMIENTO

### 5.1. ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO

#### 5.1.1. Hallazgos

### 5.1 ADMINISTRACIÓN Y ORGANIZACIÓN

#### 5.1.1 Hallazgos

### 5.2 PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN

#### 5.3.1 Hallazgos

### 5.3 TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO

#### 5.3.1 Hallazgos

### 5.4 MEDIDAS DE DESEMPEÑO

#### 5.4.1 Hallazgos

### 5.5 TECNOLOGÍA DE INFORMACIÓN Y SU USO

#### 5.5.1 Hallazgos

### 5.6 INVOLUCRAMIENTO DE LOS EMPLEADOS

#### 5.6.1 Hallazgos

### 5.7 ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD

#### 5.7.1 Hallazgos

### 5.8 ANÁLISIS DE LOS PROCESOS

#### 5.8.1 Hallazgos

### 5.9 INFORMACIÓN SOBRE INFRAESTRUCTURA Y EQUIPOS

#### 5.10.1 Hallazgos

## 6 RESULTADOS DEL DIAGNOSTICO DEL MANTENIMIENTO

### 6.1 ESTRATEGIA DEL MANTENIMIENTO

### 6.2 ADMINISTRACIÓN Y ORGANIZACIÓN

### 6.3 PLANEACIÓN Y ORGANIZACIÓN

### 6.4 TÉCNICAS DEL MANTENIMIENTO

### 6.5 MEDIDAS DE DESEMPEÑO

### 6.6 TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN Y SU USO

### 6.7 INVOLUCRAMIENTO DE LOS EMPLEADOS

### 6.8 ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD

### 6.9 ANÁLISIS DE PROCESOS

### 6.10 INFORMACIÓN SOBRE INFRAESTRUCTURA Y EQUIPOS

## 7 TÁCTICAS DEL MANTENIMIENTO

### 7.1 ESTRATEGIAS USADAS PARA EL DESARROLLO DEL MANTENIMIENTO PLANEADO

#### 7.1.1 Mantenimiento Productivo Total

#### 7.1.2 Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad

#### 7.1.3 Optimización del Mantenimiento Planeado

#### 7.1.4 Mantenimiento Basado en la Condición

### 7.2 JUSTIFICACIÓN DE LA ELECCIÓN DEL “RCM” ANTE LAS DEMÁS FILOSOFÍAS

## 8 LA FILOSOFÍA DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD “RCM”

### 8.1 INTRODUCCIÓN

### 8.2 APLICACIÓN DEL “RCM”

### 8.3 EL PERSONAL IMPLICADO

### 8.4 LOS BENEFICIOS A CONSEGUIR POR “RCM”

### 8.5 BÚSCANDO LA EFECTIVIDAD DE LA TÉCNICA

## BIBLIOGRAFÍA

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz Excelencia del Mantenimiento

Tabla 2. Resultados Evaluación del Mantenimiento

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Grafica 1. Estrategia del Mantenimiento

Grafica 2. Administración y Organización

Grafica 3. Planeación y Programación

Grafica 4. Técnicas de Mantenimiento

Grafica 5. Medidas de Desempeño

Grafica 6. Tecnología de la Información y su Uso

Grafica 7. Equipos de Mejoramiento

Grafica 8. Análisis de Confiabilidad

Grafica 9. Análisis de Procesos

Grafica 10. Información sobre Infraestructura e Instalaciones

Grafica 11. Resultados de evaluación del mantenimiento

Grafica 12. Resultados por área de gestión

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de Planta Trituradora de Carbón

Figura 2. Ejes dentados para trituración fase 1

Figura 3. Ejes dentados para granulometría fase 2

Figura 4. Procedimiento para la disminución de la estadía del equipamiento dentro del árbol de decisión del RCM.

## **I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. ANTECEDENTES**

El sector industrial carbonífero nacional posee plantas que procesan millones de toneladas de carbón al año, dichas plantas utilizan sistemas poco optimizados y con procesos de mantenimiento muy obsoletos que no ayudan a mantener un proceso confiable.

En algunas de estas empresas del sector carbonífero se utilizan plantas de carbón que cumplen con las normativas internacionales y nacionales en cuanto a la correcta explotación y producción del carbón, pero se cuenta con conocimientos obsoletos en el tema del mantenimiento.

A las plantas de carbón se le realizan paradas de mantenimiento que están interviniendo con el correcto funcionamiento de la producción (se utiliza mucho tiempo para las reparaciones de las plantas). Con la realización del diagnóstico y la propuesta de una táctica de mantenimiento se busca una reducción en los tiempos programados de parada alcanzando mayores tiempos de producción.

### **1.2. PROBLEMÁTICA**

Es un hecho que las empresas modernas han optado por la automatización de sus procesos de producción con el fin de disminuir al máximo el tiempo necesario para obtener su producto final esto cumpliendo con la triple restricción<sup>1</sup>. El trabajo

---

<sup>1</sup> Concepto muy utilizado en proyectos que hace referencia al alcance, tiempo, costo y calidad.

del hombre se ha desplazado poco a poco a la operación de las maquinas a su supervisión y mantenimiento, obligándolo de esta manera a diseñar planes que garanticen el desempeño de sus labores, dentro de los estándares de tiempo, costo y calidad.

En una cadena de automatización industrial ningún equipo es menos importante que el otro en el proceso, ya que el más pequeño daño o descuido ocasiona grandes paradas que retrasan la operación desde algunos minutos hasta varios días.

Las plantas de trituración son las encargadas de recibir el material proveniente de las canteras para luego incluirlo en el proceso productivo de trituración, clasificación, lavado, medición y almacenamiento. Esta planta se le puede considerar la columna vertebral del negocio, debido a que una parada no programada de la misma significa cero productos para las ventas. Una parada de las plantas de trituración hasta por 2 horas pueden representar a la compañía un retraso en la producción de **7.000 ton horas**. En la actualidad se cuenta con un plan de mantenimiento (paradas de las plantas cada siete días de la semana durante veinticuatro horas ) muy ambiguo para las plantas, que consiste en disponer de un personal encargado en el día a día que se guía por el criterio de un inspector visual y los trabajos realizados en jornadas de mantenimientos pasados. Esta situación podría representar un problema muy grande si se tiene en cuenta que la compañía se ha fijado como meta un aumento en la producción de 32 a 40 millones de toneladas exportadas en el año.

Si se desea que las plantas estén a la altura de las nuevas condiciones de trabajo que se requerirán se hace necesario reducir el tiempo en que se le hace mantenimiento, pero esto no quiere decir que se descuidaran detalles, por el

contrario se trata de que el mantenimiento se realice en menos tiempo de manera optima.

¿Cuál sería la manera ideal de realizar el mantenimiento de estas plantas de carbón de forma que permita reducir el tiempo de ejecución al mismo tiempo que minimiza costos y mantiene el producto dentro de los más altos estándares de calidad, como se requerirá para el cumplimiento de las metas de trituración trazadas para el 2012?

Una posibilidad de reducir los tiempos empleados en las paradas programadas sería Realizar un diagnostico del estado del mantenimiento en la planta de carbón, con el fin de identificar las oportunidades de mejoramiento que permitan diseñar una estrategia de mantenimiento alineada con las mejores prácticas de clase mundial para dar cumplimiento a sus adjetivos corporativos de producción en el 2012.

### **1.3. JUSTIFICACIÓN**

La empresa carbonífera de capital extranjero ubicada en el centro de la guajira colombiana, es la mina de carbón a cielo abierto más grande del mundo. En el transcurso de sus 30 años de historia ha logrado posicionarse en un lugar de privilegio en el competitivo mercado del carbón, a pesar de la fuerte competencia tanto a nivel nacional como a nivel internacional, manteniéndose a la vanguardia de la minería internacional; actualmente exporta anualmente 32 millones de toneladas de carbón a los mercados de estados unidos de América y Europa principalmente.

El carbón mineral tiene como objetivo primordial la generación de energía eléctrica y en segunda instancia la calefacción, y se utiliza en industrias que gracias a las exigentes normas ambientales del mundo actual, manejan estándares de calidad muy altos, obligando a que las minas del sector carbonífero se esmere por brindar un producto alineado con las exigencias de sus clientes, no solo en calidad sino en tiempo de entrega y empleo de políticas ambientales, de seguridad industrial y de mejoramiento continuo.

Una de las principales objetivos trazados por la compañía para 2012 es estar en capacidad de triturar y exportar 40 millones de toneladas, lo que implica la expansión de algunos de los procesos como el de transporte de carbón, con la implementación de una nueva flota de locomotoras y al proceso de trituración con la adquisición y puesta en servicio de una nueva trituradora, además de la optimización de otros procesos. “Mejoras del mantenimiento”.

Las plantas de carbón son las encargadas de recibir los materiales provenientes de los yacimientos, triturarlo a la granulometría requerida (2in o 6 in), y agregándole un 14 % de agua para reducir la contaminación por polución a lo largo de su transporte hasta el cliente.

En estos momentos a las plantas se le realizan mantenimientos programados 24 horas semanales que representa 24 horas de parada de la planta, este valor esta ajustado a la estrategia de producción para conseguir las 32 millones de toneladas año, pero al momento de plantear como meta de producción 40 millones de toneladas año, es necesario optimizar los tiempos programados de paradas.

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. Objetivo General**

Realizar un diagnostico del estado actual del mantenimiento efectuado en la planta de carbón, con el fin de identificar las oportunidades de mejoramiento cuya implementación permita recomendar una estrategia de mantenimiento que este alineada con las mejores prácticas de clase mundial y que permita dar cumplimiento a sus adjetivos corporativos de producción para el 2012.

### **1.4.2. Objetivos Específicos:**

- ✓ Realizar un diagnostico del entorno y las condiciones actuales del mantenimiento que es efectuado en la planta de carbón utilizando la matriz de excelencia en el mantenimiento.
- ✓ Estudiar las diferentes estrategias de mantenimiento, para seleccionar y recomendar las que mejor se acomoden a los entornos del mantenimiento programado y correctivo en la planta de carbón.
- ✓ Escoger y recomendar una estrategia de mantenimiento que permita ayudar a las personas a determinar las políticas para mejorar las funciones de los activos físicos y manejar las consecuencias de las fallas.

## 2. MARCO DE REFERENCIA

### 2.1 TEÓRICO

El concepto de mantenimiento está ligado a tiempo, costo, calidad y seguridad, ya que con él se busca que un equipo este el mayor tiempo posible en óptimas y seguras condiciones de operación, lo que garantiza a la organización control sobre sus costos de operación, mantenimiento y rentabilidad, asegurando a la vez que su producto final se encuentre dentro de los estándares de calidad requeridos por el entorno o por el cliente. A través de la historia el mantenimiento ha adquirido más y más importancia constituyéndose en la actualidad algo que no puede estar desligado de ninguna organización obligando así a la creación de tácticas, herramientas y técnicas para esquematizar la forma como se realiza el mantenimiento en la industria. Es así como grandes institutos a nivel mundial se han dado a la tarea de desarrollar métodos como..... Que constituyen un abanico de posibilidades para aplicar dependiendo del entorno y las condiciones de trabajo

**Falla:** Es la terminación de la habilidad de un sistema, equipo, parte, para realizar una función requerida (iso14224).

**Modo de falla:** Es la apariencia, manera o forma como un componente de un sistema se manifiesta por si misma. Es la manera observada de falla (iso14224).

#### 2.1.1 Estrategias de Mantenimiento

Una **estrategia de mantenimiento** define las normas para la secuencia de trabajo de mantenimiento planificado en el componente de aplicación *Mantenimiento*.

Contiene paquetes de mantenimiento en los cuales se determina la información siguiente:

- La frecuencia con la cual debería realizarse el trabajo individual
- Otros datos que influyan la programación.

Las estrategias de mantenimiento son opcionales. También se pueden crear planes de mantenimiento simples sin estrategias de mantenimiento.

Si desea utilizar planes de mantenimiento en función del tiempo o de la actividad, necesitará realizar en su empresa un mantenimiento en función de la estrategia. Cuando planifique en su empresa el mantenimiento preventivo en función de la estrategia, primero deberá especificar

- El lugar que requiere un mantenimiento preventivo planificado.
- Las medidas de mantenimiento que se usarán.
- La frecuencia de dichas medidas de mantenimiento en términos de actividad o tiempo.

Para determinar la frecuencia de mantenimiento planificado, deben tomarse en consideración los requisitos legales, las recomendaciones del fabricante y los costos del mantenimiento preventivo frente a los costos de una parada. Además, debe considerarse la forma de establecer las medidas de mantenimiento en un plan de mantenimiento para que la programación y el trabajo de mantenimiento se realicen de forma más eficaz.

Una vez se haya determinado la frecuencia óptima para el mantenimiento, podrá definirse la estrategia de mantenimiento adecuada. Mediante el componente de la aplicación, pueden crearse estrategias de mantenimiento para representar las normas de programación de todas las medidas de mantenimiento preventivo dentro de su empresa. Ya que dichas estrategias contienen información general sobre la programación, pueden asignarse a tantos planes de mantenimiento

distintos como sea necesario. Utilizando las estrategias de mantenimiento que contienen información general sobre la programación, se puede:

- Reducir el tiempo de creación de los planes de mantenimiento

No es necesario crear la misma información de programación en cada plan de mantenimiento.

- Actualizar con facilidad información de programación

La información de programación solamente debe actualizarse en la propia estrategia de mantenimiento y no en cada plan de mantenimiento.

## **2.2 CONCEPTUAL**

Cuando hablamos de mantenimiento resulta inevitable entrar en el ámbito de los diferentes tipos de mantenimiento, a continuación les mencionaremos algunos tipos de mantenimiento empleados en la industria.

### **2.2.1. Tipos de mantenimiento**

Existen cuatro tipos reconocidos de operaciones de mantenimiento, los cuales están en función del momento en el tiempo en que se realizan, el objetivo particular para el cual son puestos en marcha, y en función a los recursos utilizados, así tenemos:

#### **✓ Mantenimiento Correctivo**

Este mantenimiento también es denominado “mantenimiento reactivo”, tiene lugar luego que ocurre una falla o avería, es decir, solo actuará cuando se presenta un

error en el sistema. En este caso si no se produce ninguna falla, el mantenimiento será nulo, por lo que se tendrá que esperar hasta que se presente el desperfecto para recién tomar medidas de corrección de errores. Este mantenimiento trae consigo las siguientes consecuencias:

- Paradas no previstas en el proceso productivo, disminuyendo las horas operativas.
- Afecta las cadenas productivas, es decir, que los ciclos productivos posteriores se verán parados a la espera de la corrección de la etapa anterior.
- Presenta costos por reparación y repuestos no presupuestados, por lo que se dará el caso que por falta de recursos económicos no se podrán comprar los repuestos en el momento deseado
- La planificación del tiempo que estará el sistema fuera de operación no es predecible.

### ✓ **Mantenimiento Preventivo**

Este mantenimiento también es denominado “mantenimiento planificado”, tiene lugar antes de que ocurra una falla o avería, se efectúa bajo condiciones controladas sin la existencia de algún error en el sistema. Se realiza a razón de la experiencia y pericia del personal a cargo, los cuales son los encargados de determinar el momento necesario para llevar a cabo dicho procedimiento; el fabricante también puede estipular el momento adecuado a través de los manuales técnicos. Presenta las siguientes características:

- Se realiza en un momento en que no se está produciendo, por lo que se aprovecha las horas ociosas de la planta.
- Se lleva a cabo siguiente un programa previamente elaborado donde se detalla el procedimiento a seguir, y las actividades a realizar, a fin de tener las herramientas y repuestos necesarios “a la mano”.
- Cuenta con una fecha programada, además de un tiempo de inicio y de terminación preestablecido y aprobado por la directiva de la empresa.
- Está destinado a un área en particular y a ciertos equipos específicamente. Aunque también se puede llevar a cabo un mantenimiento generalizado de todos los componentes de la planta.
- Permite a la empresa contar con un historial de todos los equipos, además brinda la posibilidad de actualizar la información técnica de los equipos.
- Permite contar con un presupuesto aprobado por la directiva.

#### ✓ **Mantenimiento Predictivo**

Consiste en determinar en todo instante la condición técnica (mecánica y eléctrica) real de la máquina examinada, mientras esta se encuentre en pleno funcionamiento, para ello se hace uso de un programa sistemático de mediciones de los parámetros más importantes del equipo. El sustento tecnológico de este mantenimiento consiste en la aplicaciones de algoritmos matemáticos agregados a las operaciones de diagnóstico, que juntos pueden brindar información referente a las condiciones del equipo. Tiene como objetivo disminuir las paradas por mantenimientos preventivos, y de esta manera minimizar los costos por mantenimiento y por no producción. La implementación de este tipo de métodos

requiere de inversión en equipos, en instrumentos, y en contratación de personal calificado. Técnicas utilizadas para la estimación del mantenimiento predictivo:

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

#### ✓ **Mantenimiento Proactivo**

Este mantenimiento tiene como fundamento los principios de solidaridad, colaboración, iniciativa propia, sensibilización, trabajo en equipo, de modo tal que todos los involucrados directa o indirectamente en la gestión del mantenimiento deben conocer la problemática del mantenimiento, es decir, que tanto técnicos, profesionales, ejecutivos, y directivos deben estar conscientes de las actividades que se llevan a cabo para desarrollar las labores de mantenimiento. Cada individuo desde su cargo o función dentro de la organización, actuará de acuerdo a este cargo, asumiendo un rol en las operaciones de mantenimiento, bajo la premisa de que se debe atender las prioridades del mantenimiento en forma oportuna y eficiente. El mantenimiento proactivo implica contar con una planificación de operaciones, la cual debe estar incluida en el Plan Estratégico de la organización. Este mantenimiento a su vez debe brindar indicadores (informes)

hacia la gerencia, respecto del progreso de las actividades, los logros, aciertos, y también errores.

### **2.2.2. Definiciones**

#### **Carbón:**

El carbón o carbón mineral es una roca sedimentaria de color negro, muy rica en carbono, utilizada como combustible fósil. Suele localizarse bajo una capa de pizarra y sobre una capa de arena y arcilla.

#### **Mantenimiento:**

Asegurar que todo elemento físico continúe desempeñando las funciones deseadas. Se clasifica en mantenimiento planeado o también denominado programado, concibe las actividades a realizar de manera previa y mantenimiento no planeado o también denominado correctivo, actúa siempre cuando la falla ya ha ocurrido.

#### **Mantenibilidad:**

Es la capacidad de lograr que la disponibilidad sea sostenible en el tiempo.

#### **Producción:**

Es un proceso por medio del cual se crean los bienes y servicios económicos.

**Metodología:**

Es el objeto el que ha de determinar el método adecuado para su estudio, y no espurias consideraciones éticas desprovistas de base racional o científicos obsesionados con el prestigio de las ciencias de la naturaleza.

**Plantas industriales:**

Es un lugar donde se transforman los insumos (o entradas) en productos (o salidas), al pasar por un proceso de producción.

**Supervisor:**

Es un verbo que supone ejercer la inspección de un trabajo realizado por otra persona.

**Indicadores:**

Es un elemento que se utiliza para indicar o señalar algo.

**Trituración:**

Es un proceso de reducción de materiales comprendido entre los tamaños de entrada de 1 metro a 1 centímetro (0,01m).

### 3. MARCO METODOLÓGICO

La metodología a seguir se describe a continuación.

- Visita a las instalaciones de las plantas de carbón para recopilar información de campo.
  - Recorrido por las instalaciones en compañía de supervisor dueño del proceso.
  - Desarrollo de autoevaluación por parte de:
    - ✓ Planeador de mantenimiento.
    - ✓ Supervisor dueño del proceso.
    - ✓ Supervisores contratistas y técnicos líderes.
    - ✓ Técnicos operadores.
  - Desarrollo de cuestionario por parte de:
    - ✓ Planeador de mantenimiento.
    - ✓ Supervisor dueño del proceso.
    - ✓ Supervisores contratistas y técnicos líderes.
    - ✓ Técnicos operadores.
  - Consulta de manuales de mantenimiento.

- Consulta y revisión de información estadística disponible.
- Diagnostico y recomendaciones del entorno actual del mantenimiento.
  - Aplicación de la matriz de excelencia en el mantenimiento.
  - Recomendaciones de Diagnósticos
- Plan estratégico de mejoramiento.
  - ✓ Estudiar las tácticas de mantenimiento más usadas, tanto para mantenimiento planeado, como el correctivo para solución de imprevistos. Estableciendo pautas para su aplicación.
  - ✓ Formulación de las estrategias de mantenimiento según las recomendaciones del diagnostico.

### **3.1. FUENTES DE INFORMACIÓN**

La investigación se alimenta tanto de información secundaria, obtenida de libros, revistas e internet, como aporte a la fundamentación teórica y conceptual, así como información primaria obtenida de la visita en campo y las entrevistas realizadas a los encargados de la planta.

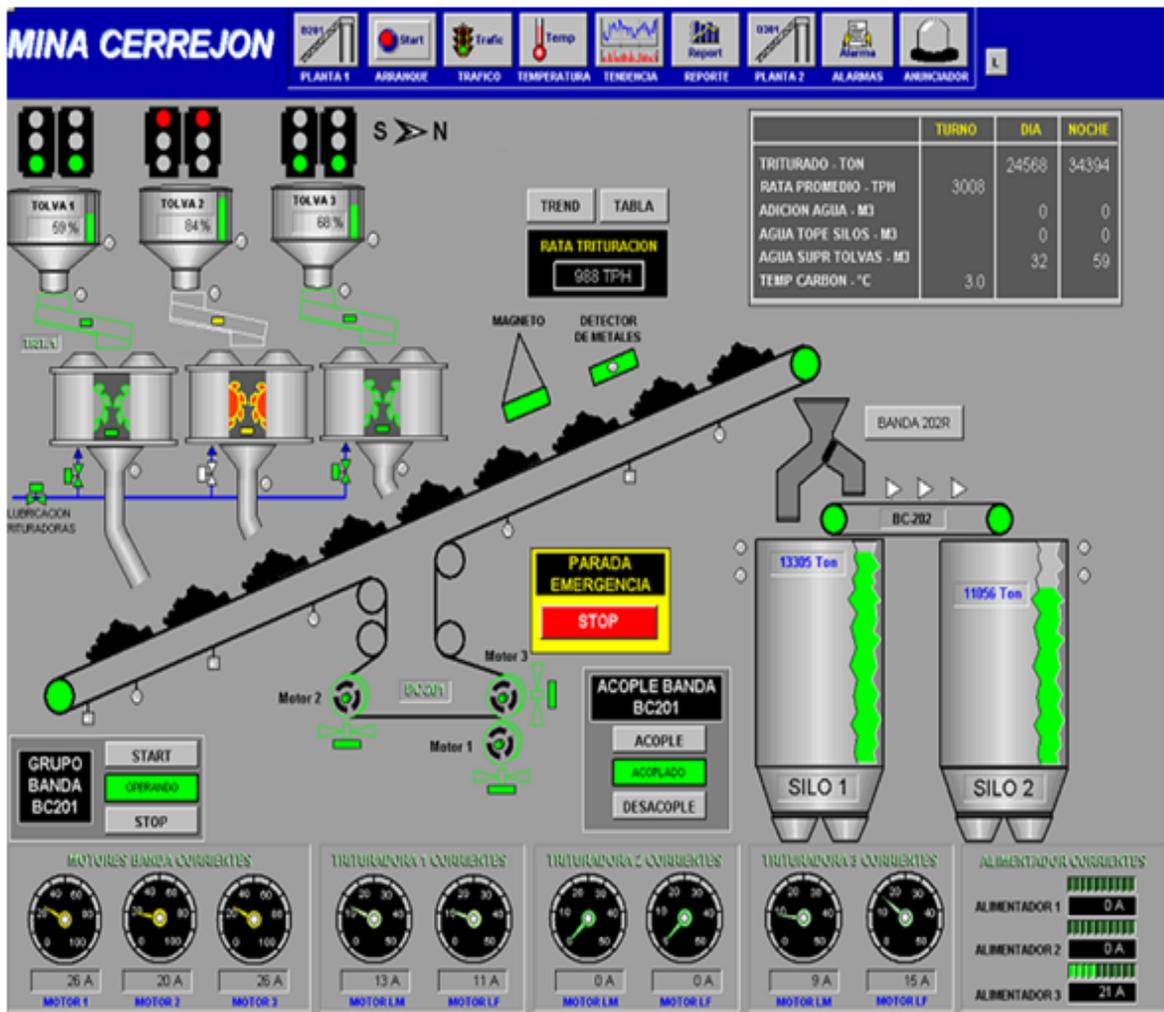
La población de estudio incluyo a dos operarios de la planta, además de dos investigadores que realizaron la visita en campo para tomar datos de los equipos y observar el funcionamiento detallado de cada equipo que hace parte de la planta de carbón.

### **3.2 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN**

El método aplicado en esta investigación es de campo, basada en encuestas a los involucrados, toma de datos del equipo en operación y estadísticos del software de mantenimiento ELIPSE, manuales de operación del fabricante y estudios preliminares.

#### 4. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

El presente trabajo se realizó en una de las minas de carbón a cielo abierto más grande del mundo, su producto (el carbón mineral) es utilizado para la generación de energía eléctrica entre otras. Esta empresa del sector carbonífero cuenta con una planta de carbón la cual tiene como objeto recibir el carbón que llega de la mina y triturarlo a 2 pulgadas, adicionándole agua para controlar las emisiones de partículas para ser cargado en los vagones del tren y darle destino final.



## Figura 1. Esquema de la Planta Trituradora de Carbón

La planta de carbón posee los siguientes equipos:

✓ Tolva de recibo:

En ella es depositado el carbón que llega de la mina en camiones con capacidad de 320 toneladas, la tolva de recibo posee forma de tronco de pirámide invertida, con capacidad para 1000 toneladas, cuenta con dos lados de descarga y semáforos en cada lado, además de sensores de nivel.

En la parte superior tiene una red de tuberías con boquillas aspersores para suprimir la emisión de partículas a la hora del descargue.

✓ Alimentador de bandeja articulada MMD 712 serie D7F:

Es una bandeja articulada cuenta con una inclinación de 60° la cual toma el carbón depositado en la tolva y lo deposita en la trituradora.

Este es accionado por un sistema motriz conformado por un motor eléctrico y un reductor los cuales se encuentran acoplados en el eje delantero.

✓ Trituradora. MMD 625:

Se encarga de una primera fase de trituración, consta de dos ejes dentados con picas rompedoras. Cada eje tiene un sistema motriz formado por un motor eléctrico, un acople hidráulico y un reductor de velocidades.



Figura 2. Ejes dentados para trituración fase 1.

Segunda fase de trituración es la encargada de llevar el carbón a su estado aceptable de granulometría, por la forma de diseño de sus rodillos trituradores. En la segunda fase de trituración se encuentran dos ejes dentados cada uno es accionado con un sistema motriz independiente con el fin de garantizar su correcto funcionamiento.



Figura 3. Ejes dentados para granulometría fase 2.

✓ Banda transportadora Goodyear:

Recibe el carbón de las trituradoras y lo transporta hasta el silo de almacenamiento, la banda tiene un largo de 400 metros, y un ancho de 1.8 metros.

Sobre la banda se encuentra el muestreador de carbón, este es el encargado de tomar una muestra representativa de carbón y analizarlo, arrojando datos de calidad y granulometría.

La banda es accionada por un sistema motriz que consta de motores eléctricos con una potencia de 900 HP cada motor posee un acople hidráulico y un reductor.

Sobre la banda hay otra red de tuberías con boquillas aspersores con el fin de humedecer el carbón para reducir los niveles de contaminación ambiental.

✓ Silo:

Esta fabricado en concreto reforzado, cuentan con una altura aproximada de 126 metros, además poseen una capacidad de almacenamiento de 14000 toneladas

✓ Sistema de cargue:

Está en la parte inferior del silo, es accionado hidráulicamente y la función en dosificar el carbón hacia los vagones del tren.

✓ Sistema de control:

Consta de un PLC a través del cual se controlan y comunican todos los equipos.

## **5. DIAGNOSTICO DE LAS CONDICIONES ACTUALES DE MANTENIMIENTO.**

La matriz de excelencia del mantenimiento es una de las herramientas más utilizada a nivel mundial, con la cual se puede mostrar de manera cualitativa y cuantitativa el estado y organización del mantenimiento, teniendo en cuenta 10 aspectos evaluados que son:

1. Estrategia de mantenimiento.
2. Administración y organización.
3. Planeación y programación.
4. Tácticas de mantenimiento.
5. Medidas de desempeño.
6. Tecnologías de información y su uso.
7. Involucramiento de los empleados.
8. Análisis de confiabilidad.
9. Análisis de procesos.
10. Información sobre infraestructura y equipos.

CLASE	ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO	ADMINISTRACIÓN Y ORGANIZACIÓN	PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN	TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO	MEDIDAS DE DESEMPEÑO	TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN Y SU USO	INVOLUCRAMIENTO DE LOS EMPLEADOS	ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD	ANÁLISIS DE PROCESOS	INFORMACIÓN SOBRE INFRAESTRUCTURA E INSTALACIONES
CLASE MUNDIAL	Estrategia Corporativa de Mantenimiento	Organización de Alto Desempeño	Ingeniería de Mantenimiento y Planeación de Largo Plazo (mín. 3 años a la vista)	Todas las técnicas derivadas de un análisis estructurado	Efectividad de Equipos, benchmarking y excelente base de datos de costos	Bases de datos totalmente integradas	Equipos de trabajo autónomos	Programa total de confiabilidad. Predicción y ajuste de estrategias con base en estudios de confiabilidad	Revisión regular de los procesos de costo, tiempo y calidad. Certificación ISO 9000 de los procesos de mantenimiento	Fuente única de información de infraestructura de equipos, componentes y las diferentes jerarquías
DE LO MEJOR EN SU CLASE	Plan de mejoramiento a largo plazo	Organización de mantenimiento integrada con proveedores de bienes y servicios	Buena planeación y programación del trabajo. Soporte de Ingeniería de Mantenimiento	CBM formal y dando resultados. PPMs con base en FCM. Inspecciones basadas en riesgo	MTEF #MTTR, Disponibilidad, costos de mantenimiento muy estructurados y gestionados	CMMS Convencional ligado a financiero y materiales	Equipos de mejoramiento continuo formalmente creados y funcionando	Modelamiento de Confiabilidad	Algunas revisiones de procesos administrativos de mantenimiento (estratégicos, tácticos y operativos)	Infraestructura de equipos y componentes estandarizada en las diferentes bases de datos
CONCIENTE	Plan estratégico de mantenimiento a un año	Mantenimiento integrado con las demás áreas de la compañía	Grupos de Planeación e Ingeniería de Mantenimiento establecidos	Algo de CBM. Algo de NDT	Tempos de parada con modo, causa y elemento de falla. Costos de mantenimiento disponibles	CMMS convencional no ligado a otros sistemas	Comité de mejoramiento ad-hoc	Buena base de datos de falla en uso. RCFA y FMEA	Revisiones periódicas de procesos o procedimientos técnicos por disciplinar	Infraestructura de equipos jerarquizada y clasificada
INSATISFACTORIO	Plan de mejoramiento de mantenimientos preventivos	Mantenimiento integrado a Operaciones	Soporte para detección de fallas y programación	Inspecciones basadas en tiempo	Algunos registros de falla y costos de mantenimiento no segregados	Algunos programas y registros de repuestos	Algunas reuniones de mejoramiento en seguridad	Registro de fallas poco usado	Procesos técnicos de mantenimiento revisados por lo menos una vez	Infraestructura de equipos y componentes estructurada en algún medio magnético
INOCENTE	Mantenimiento reactivo	Organización y administración funcional	No planeación. Programación elemental. No existe Ingeniería de mantenimiento	Paradas anuales de inspección únicamente	Ninguna aproximación sistemática a costos de mantenimiento y fallas de equipos	Manual y registro ad-hoc	Solo reuniones con el personal para tomar temas sindicales o sociales	No existe registro estructurado de fallas	Procesos técnicos y administrativos de mantenimiento no documentados y nunca revisados	No existe ningún registro de la infraestructura de equipos y componentes

Tabla 1. Matriz de Excelencia del Mantenimiento

Esta matriz permita clasificar a las compañías de mantenimiento en diferentes categorías, dependiendo de su nivel de desarrollo en cada una de las áreas evaluadas, las clasificaciones más comunes son:

- Mantenimiento inocente (0-10).
- Mantenimiento insatisfactorio (10-20).
- Mantenimiento consiente (20-60).
- Mantenimiento de lo mejor de su clase (60-80).
- Mantenimiento de clase mundial (80-100).

Mediante la utilización de un desarrollo cuantitativo de esta herramienta se facilita la identificación y cuantificación de los aspectos débiles y fuertes de una organización de mantenimiento. De esta manera resulta fácil la definición de planes de mejoramiento a corto, mediano y largo plazo con el fin de alcanzar un

mejor escalafonamiento, buscando posicionarse como una organización “De lo Mejor en su Clase” o “Clase Mundial”, según sean los objetivos corporativos trazados.

El hecho de estar clasificado en una de estas dos categorías implica que se han alcanzado altos niveles de desempeño, mediante la implementación de procesos y tecnologías de punta, que van acompañados necesariamente de:

- ✓ Reducción de Costos de mantenimiento ajustados a las necesidades de la operación y competitivo en el mercado.
- ✓ Estándares mundiales de HSE (Salud, Seguridad y Medio Ambiente).
- ✓ Aseguramiento de la integridad de las facilidades.
- ✓ Aumento de la confiabilidad y disponibilidad de los sistemas y equipos.

Durante la ejecución de una evaluación de mantenimiento es necesario sustentar con evidencia las valoraciones dadas en cada uno de los aspectos evaluados. Esto garantizará una mayor precisión en el diagnóstico de la evaluación y por ende, la definición adecuada de los planes de mejoramiento. Estos planes de mejoramiento consisten en acciones y actividades estructuradas, definidas en el tiempo, con el fin de mejorar los niveles actuales de desempeño en cada una de las áreas evaluadas.

Los planes de mejoramiento deberán ser concebidos dependiendo de los objetivos corporativos de la compañía. El alcance del plan y el marco de tiempo definido para su implementación deberán ir acompañados de un análisis costo-beneficio para justificar cada una de las tareas seleccionadas.

*A continuación se presentan los resultados obtenidos en cada una de las áreas evaluadas según la Matriz de Excelencia del Mantenimiento.*

## 5.1. ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO.



Grafica 1. Estrategia del mantenimiento.

El resultado obtenido en la evaluación de Mantenimiento para el área “*Estrategia de Mantenimiento*” fue de **3.03** / 10.00 lo cual lo cataloga como *Proactivo*. Aunque ya ha cruzado la Franja del nivel *Planeado*, la Estrategia de Mantenimiento aun es intuitiva y carece de formalidad Ante la organización.

### 5.1.1. Hallazgos.

El departamento no tiene evidencias de contar con una política, misión, visión definidos por escrito y divulgados al interior del departamento así como de sus contratistas para que estos sean medidos y auditados con frecuencia periódica para identificar las oportunidades de mejoramiento de forma oportuna y corregir las desviaciones a los planes de mejoramiento.

No se realizan de forma periódica y estructurada Análisis del Costo Ciclo de Vida LCC de los equipos identificados como malos actores, para comparar los costos de mantenimiento actuales con los costos de reemplazo y verificar que los proyectos de reemplazo por estrategias de mantenimiento tengan retornos de inversión altos para la organización.

En cuanto a la revisión y optimización de los planes de mantenimiento de los equipos se evidencia que hay algunos estudios puntuales y un proceso de optimización de planes de mantenimiento para equipos críticos mediante metodologías tipo RCM o PMO. Pero su efectividad y aplicabilidad aun están en el ciclo de inicio y revisión.

No existe un plan estructurado de entrenamiento donde haya transferencia de conocimiento entre los técnicos más experimentados y los que se encuentran en proceso de aprendizaje, así mismo entre diferentes especialidades, a fin de flexibilizar la atención de tareas básicas entre ellas que sean consideradas de baja criticidad.

El plan maestro de mantenimiento existe aunque no completo para las áreas de CBM, Integridad y Electricidad; sin embargo para el área Mecánica y de Instrumentación no se evidencia.

## 5.2. ADMINISTRACIÓN Y ORGANIZACIÓN.



Grafica 2. Administración y Organización.

El resultado obtenido en la evaluación de Mantenimiento para el área “*Administración y Organización*” fue de **3.00** / 10.00 lo cual lo cataloga como *Consciente*, esto debido básicamente a que se cuenta con los recursos tecnológicos necesarios para soportar la integración de los diferentes áreas.; sin embargo en la práctica se evidencian oportunidades de mejoramiento en la interacción específica con el departamento de Compras, Proyectos y con el área de Administración de Inventarios.

### 5.2.1. Hallazgos.

El Sistema de Administración de Mantenimiento Computarizado (CMMS) “ELIPSE” tiene comunicación directa con el modulo de Compras, Proyectos e Inventarios, esto permite solicitar y reservar repuestos de bodega a través de las Ordenes de Trabajo lo cual es fundamental para realizar una adecuada Planeación y

Programación de los trabajos de mantenimiento y para tener un control de costos de mantenimiento de cada uno de los equipos.

Sin embargo, se evidencia que la gestión de pedidos e inventarios para mantenimiento, su seguimiento y control no se lleva por personal de Planeación y Programación lo que va en contra del fundamento de su labor.

El mantenimiento de inventarios y la elaboración de requisiciones de compra son labores del área de materiales, pero este debe apoyarse en mantenimiento, ya que este es el que tiene conocimiento directo de las rotaciones de estos, lo que permitirá a los planeadores realizar el trabajo de estructuración de labores técnicas, definición de su alcance, recursos y oportunidades de realización.

Se cuenta con un proceso de evaluación de proveedores de bienes y servicios, el cual es utilizado para seleccionar los proveedores más adecuados, sin embargo se debe integrar con estudios de efectividad mantenimiento y estabilidad de lo realizado.

No siempre se involucra al departamento de mantenimiento en la concepción y desarrollo de los proyectos de ingeniería para que se tenga en cuenta la experiencia, estandarización y aplicación de mejores prácticas ya definidas por en algunos procesos.

Para los equipos nuevos que están entrando en operación se evidencia que el recibo y aceptación por parte de Mantenimiento no se está dando de forma estructurada al igual que la definición de las estrategias de mantenimiento para los mismos.

**5.3. PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN.**



Grafica 3. Planeación y Programación.

El resultado obtenido en la evaluación de Mantenimiento para el área “*Planeación & Programación*” fue de **5.38** / 10.00 lo cual lo cataloga como *Proactivo*. Esta se debe básicamente a que existe un proceso de Planeación, programación & Operación alineado en principio con las mejores prácticas de la industria.

**5.3.1. Hallazgos.**

El proceso de Planeación y Programación se encuentra alineado con las mejores prácticas de la industria, sin embargo presenta oportunidades de mejoramiento para optimizar la productividad de los recursos.

Se cuenta con un Sistema de Administración de Mantenimiento Computarizado (CMMS) que le permite llevar a cabo una adecuada planeación y Programación de Mantenimiento.

Las rutinas de mantenimiento preventivo de los equipos que se encuentran en el CMMS (ELIPSE), cuentan con los recursos de mano de obra y materiales requeridos en un buen porcentaje de cubrimiento lo que ayuda en la adecuada planeación en lo relacionado con la nivelación de recursos, sin embargo existe un porcentaje considerable de rutinas por desarrollar para la parte mecánica para los equipos; de igual forma para la instrumentación asociada a equipos críticos.

Gran parte de de la labor de Planeación, Priorización y Programación de trabajos de mantenimiento se realizan por parte del personal ejecutor, lo que evidencia la falta de personal para liberar al personal de campo.

Se está realizando de manera adecuada la nivelación de recursos y la programación de trabajos de mantenimiento, sin embargo la estimación de las horas-hombre de duración de los trabajos requeridas de cada especialidad, se puede mejorar usando los históricos de mantenimiento y la retroalimentación dada por los supervisores y técnicos de mantenimiento.

La consecución y alistamiento de repuestos está consumiendo un buen porcentaje del tiempo del personal de Planeación y Supervisión, lo que está reduciendo el % de tiempo disponible para ejercer labores propias de “planeación” supervisión y aseguramiento en la calidad del los trabajos.

No hay un adecuado análisis de la información relacionada con los trabajos de mantenimiento, buscando optimizar la efectividad del proceso de Planeación y Programación; en gran parte debido a que la calidad de la documentación no es suficiente pata ello.

Se encontraron un gran número de órdenes con más de seis meses de existencia sobre las cuales no se justifico su no realización, o se desconoce si efectivamente si se llevaron a cabo.

La documentación y aseguramiento de la calidad de información de los trabajos de mantenimiento ejecutados en los equipos no está siendo recopilada de la mejor forma, ya que se evidencian OTs documentadas donde no se detalla la relación de tareas realmente ejecutadas, los hallazgos realizados, los registros de mediciones tomadas y comparación con tolerancias y ajustes estándar, las recomendaciones a tener en cuenta en el próximo mantenimiento y las actividades que no fue posible culminar al 100% por restricciones de tiempo, repuestos, herramientas ó condiciones operacionales.

Por otra parte, no se está realizando una gestión adecuada al proceso de Planeación y Programación de trabajos de mantenimiento.

La gestión analítica de indicadores no se realiza de manera óptima, no existe un proceso o rol grupo de Ingeniería de Mantenimiento encargado de realizar estudios de mejoramiento de los procesos de mantenimiento.

## 5.4. TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO.



Gráfica 4. Técnicas de Mantenimiento.

El resultado obtenido en la evaluación de Mantenimiento para el área “*Técnicas de Mantenimiento*” fue de **5.59** / 10.00, esto lo cataloga como *Consciente*.

A pesar de se cuenta con una estrategia de mantenimiento basada en (CBM) aun falta soportarla en el CMMS; y utilizar la información histórica ya almacenada para iniciar programas de mejoramiento.

### 5.4.1 Hallazgos.

Los esfuerzos realizados en la utilización del Mantenimiento Predictivo (PdM) están enfocados adecuadamente hacia la optimización del Mantenimiento Preventivo y a la eliminación del mantenimiento correctivo.

No se está asegurando una adecuada retroalimentación de la ejecución de las recomendaciones del PdM que permitan medir la asertividad del diagnóstico y de

igual forma para medir la evolución / reducción del patrón de falla analizado en los monitoreo anteriores.

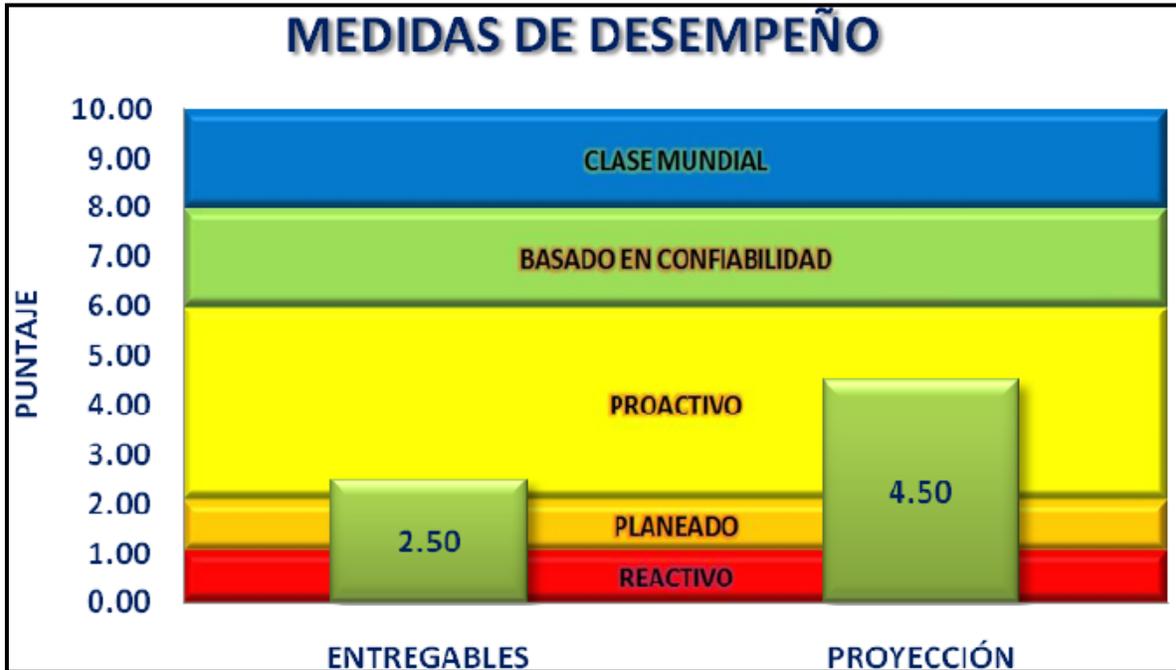
Algunos equipos de diagnóstico del PdM no hacen parte del programa metrológico, por lo que no todos cuentan con sus certificados de calibración vigentes.

Se cuenta con un sistema para soportar los requerimientos del proceso PdM en el CMMS (rutas de monitoreo, generación de OTs, manejo de indicadores de gestión del proceso a través del cumplimiento del programa).

Se cuenta con un programa de Lubricación, el cual ha iniciado su ejecución optimizada en la planta con personal de mantenimiento.

En la actualidad no se tiene claridad del beneficio dado a la compañía por la implementación de tecnologías de mantenimiento predictivo, lo cual se debe principalmente a la falta de Estudios de Costo / Beneficio.

## 5.5. MEDIDAS DE DESEMPEÑO.



Gráfica 5. Medidas de Desempeño.

El resultado obtenido en la evaluación de Mantenimiento para el área “*Medidas de Desempeño*” fue de **2,5** / 10.00 lo cual lo cataloga como *Proactivo*.

Se conoce de manera general los diferentes indicadores de mantenimiento, pero aun falla en usarlos como herramienta de soporte a su gestión.

### 5.5.1. Hallazgos.

Se dispone de una herramienta que permite el registro codificado de eventos de mantenimiento correctivo (fallas de equipos), esto ayuda en gestión adecuada de eventos de mantenimiento que permita el cálculo y análisis de indicadores de desempeño, de confiabilidad y Disponibilidad.

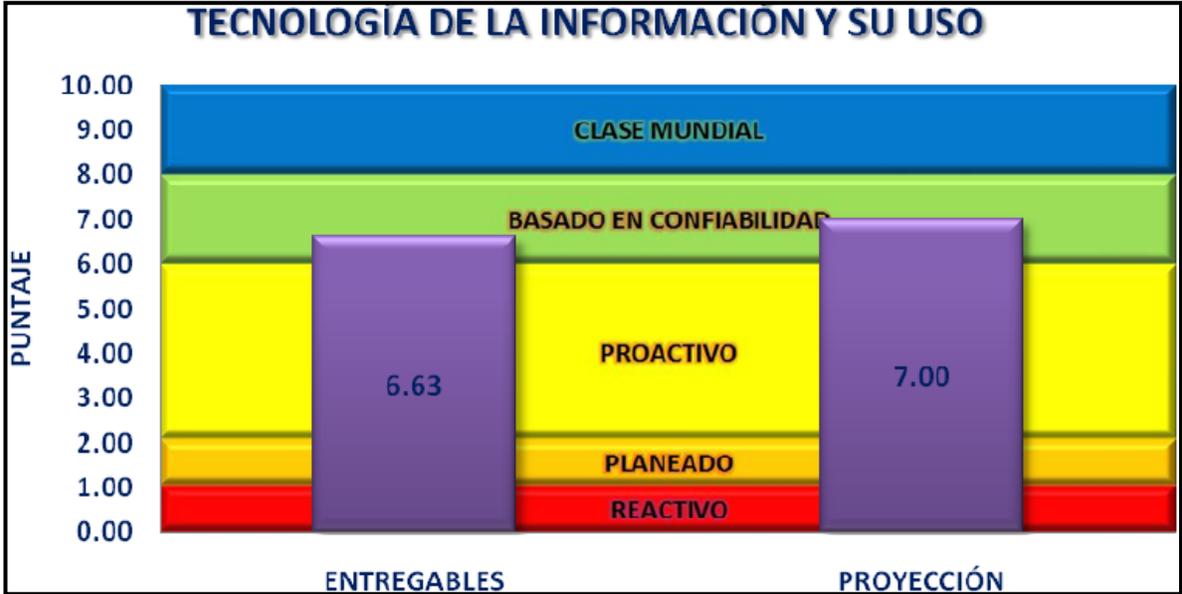
Aunque no existe un procedimiento formal que documente y estandarice la implementación de este proceso.

Aunque el sistema cuenta con la capacidad de almacenar la información básica para el cálculo de indicadores, solo se miden los más básicos y su seguimiento se hace fuera del sistema y no pueden soportar estudios de Confiabilidad.

La divulgación de indicadores se realiza solo a nivel administrativo, no existe evidencia de su divulgación a todas las áreas y niveles de la compañía de manera adecuada.

Existen oportunidades de mejoramiento en el análisis de la información recolectada para soportar los procesos de toma de decisiones, además del adecuado seguimiento de las recomendaciones efectuadas.

**5.6. TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN Y SU USO.**



Grafica 6. Tecnología de la Información y su Uso.

El resultado obtenido en la evaluación de Mantenimiento para el área “*Tecnología de la información*” fue de **6.63** / 10.00 lo cual lo cataloga como *Proactivo*.

Se debe esencialmente a la existencia de un Sistema de Administración de Mantenimiento que permite interactuar directamente con producción, almacén, compras etc. y además soportar adecuadamente el proceso de Planeación, Programación & Operación.

### **5.6.1. Hallazgos.**

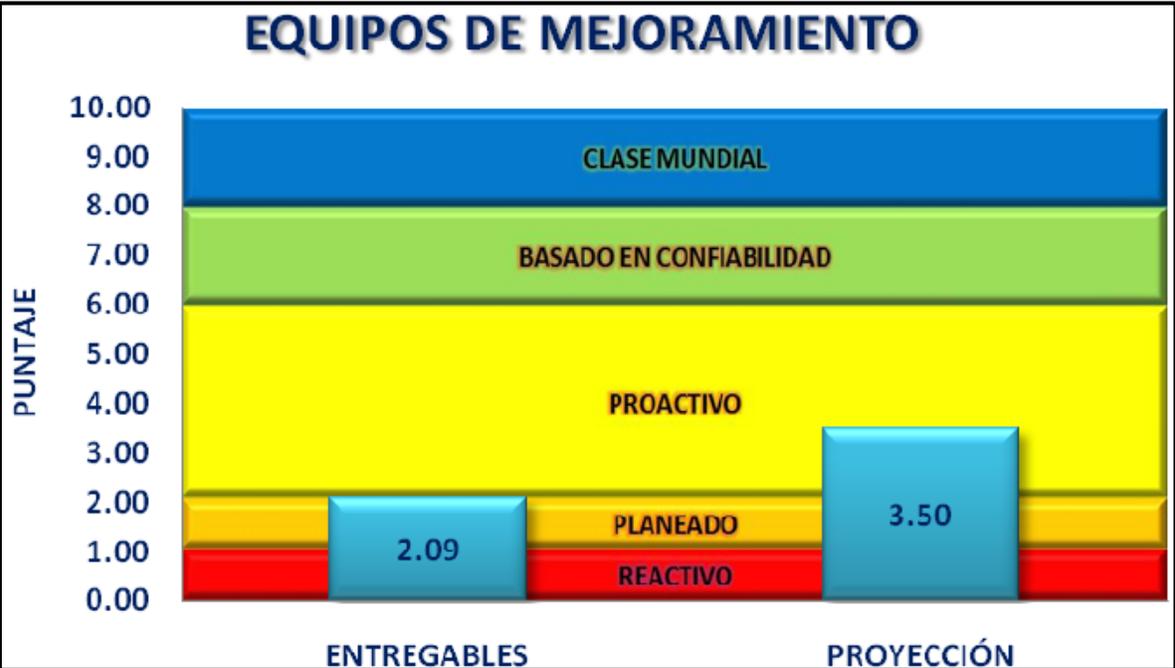
Se cuenta con el Sistema de Administración de Mantenimiento ELIPSE para soportar la administración de los trabajos de mantenimiento, el cual permite la integración con las áreas de producción, almacén y compras.

El Sistema de Administración de Mantenimiento ELIPSE soporta adecuadamente la implementación de los procesos de Planeación y Programación, Mantenimiento Predictivo y Medición de Indicadores de Mantenimiento del proceso de Planeación, así como el almacenamiento de información que permite el cálculo de indicadores de desempeño de equipos como confiabilidad, disponibilidad, MTBF, MTTR, MTBR.

A pesar de que el Sistema de Administración de Mantenimiento ELIPSE tiene la capacidad de almacenar toda la información de fallas, no se está realizando un adecuado almacenamiento y gestión de la información histórica de los trabajos de mantenimiento.

No todo el personal que interactúa en el proceso cuenta con el nivel de competencias requerido de acuerdo al rol en el manejo de la herramienta ELIPSE.

**5.7. INVOLUCRAMIENTO DE LOS EMPLEADOS.**



Grafica 7. Equipos de Mejoramiento

El resultado obtenido en la evaluación de Mantenimiento para el área “*Involucramiento de los empleados*” fue de **2,09** / 10.00 lo cual lo cataloga como *Proactivo*.

Esencialmente esto indica que el personal de la organización de mantenimiento es consciente del compromiso que tienen para optimizar todos sus procesos; se requiere contar con un plan estratégico que involucre a todo el personal de las diferentes áreas y niveles de la compañía.

**5.7.1. Hallazgos.**

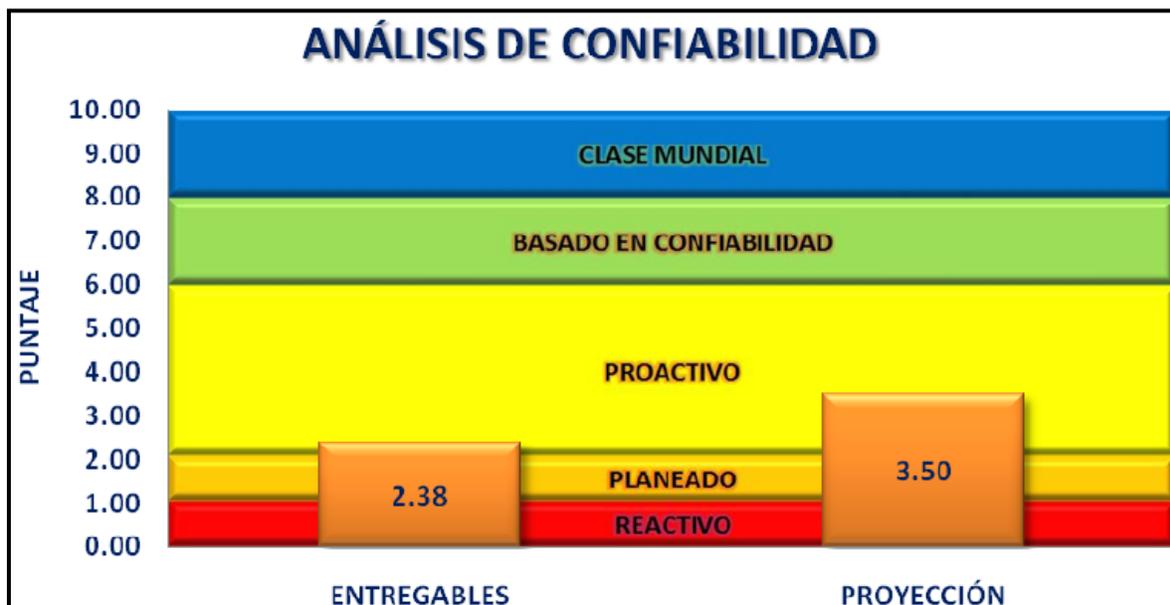
El personal de la organización de mantenimiento es consciente del compromiso que tienen para optimizar todos sus procesos y con base en esto han desarrollado estudios para mejorar el desempeño de algunos procesos.

Se han realizado algunos esfuerzos para capacitar al personal en temas de gestión de Activos y Confiabilidad pero no se cuenta con un proceso formal de desarrollo de competencias en la utilización de técnicas modernas de Mantenimiento.

La organización debe enfocar sus esfuerzos en la creación de los Equipos de Mejoramiento a manera de un proceso estructurado, el cual debe contar con una metodología estructurada para soportar los análisis que desarrollen y premiar a estos equipos para motivar su participación en la identificación y solución adecuada de problemas.

Por otra parte, se debe asegurar que dentro del desarrollo del contrato de Mantenimiento se implemente de un programa de Desarrollo de Competencias del contratista, para lo cual se requiere desarrollar un programa estructurado de desarrollo competencias y se definir sus respectivos indicadores de gestión para evaluar los resultados de este programa.

## 5.8. ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD.



Grafica 8. Análisis de Confiabilidad.

El resultado obtenido en la evaluación de Mantenimiento para el área “*Análisis de Confiabilidad*” fue de **2,38** / 10.00 lo cual lo cataloga como *Proactivo*.

Lo cual se debe esencialmente que se requiere más conocimiento en forma general de las diferentes técnicas de análisis de confiabilidad, para poder usarlas como herramienta de soporte recurrente a su gestión.

### 5.8.1. Hallazgos.

Se cuenta con una herramienta en SIGCOR para recolectar adecuadamente la información de los eventos de falla de los equipos de las plantas.

No existe un mecanismo para pronosticar oportunamente las desviaciones en el comportamiento de los equipos (incremento de ratas de falla).

Se cuenta con personal entrenado en Análisis de Causa Raíz y de hecho se han realizado estudios de RCA. Sin embargo, se requiere mejorar la participación del personal en los análisis propuestos y en la implementación de las recomendaciones derivadas de estos estudios, así como medir el cumplimiento y la efectividad de las mismas.

No existe un Grupo de Ingeniería de Mantenimiento debidamente concebido que soporte adecuadamente la toma de decisiones, y dirija el mejoramiento del desempeño de los equipos, así como la adecuada integración con el grupo operativo de mantenimiento día-día.

Las metodologías de Análisis de Confiabilidad han sido implementadas a nivel de pilotos más no como procesos, es decir, con entradas, salidas y recursos que permitan maximizar la efectividad de los esfuerzos realizados. La implementación de las metodologías de confiabilidad como proceso es fundamental para lograr que estas hagan parte del conocimiento de la compañía y no exclusivamente de la experiencia de algunas personas de la empresa.

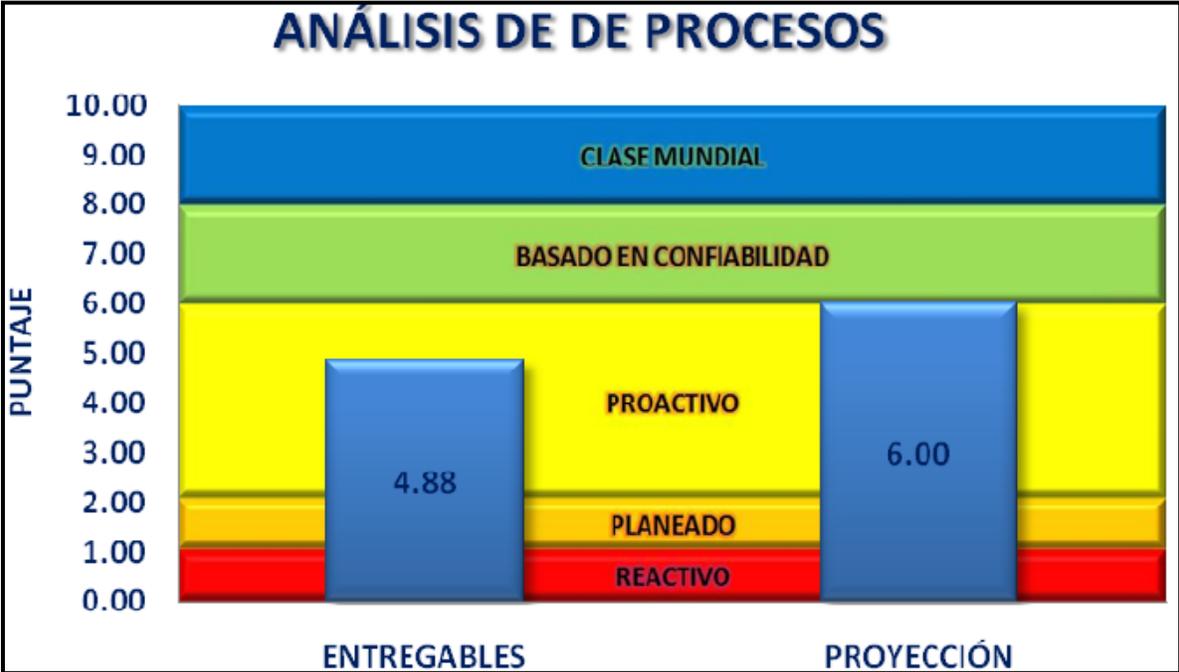
No se están identificando mediante el proceso de manejo de información de confiabilidad los equipos de las plantas con altas tasas de falla y problemas de mantenibilidad que están ocasionando grandes pérdidas de producción y altos costos de mantenimiento.

No se han realizado estudios de rigor sobre Confiabilidad, mantenibilidad y Disponibilidad (CMD) con el propósito de optimizar la estrategia de mantenimiento, definir objetivos de desempeño y soportar la toma efectiva de decisiones.

En términos generales, se cuenta con el desarrollo de un programa de mejoramiento de programas de mantenimiento a través de la metodología RCM, pero no se realiza la predicción y el ajuste de estrategias de operación y mantenimiento a partir de estudios Confiabilidad; Análisis de Fallas estructurado y

la documentación y análisis de los históricos de mantenimiento para cerrar el ciclo de la forma más adecuada.

**5.9. ANÁLISIS DE LOS PROCESOS.**



Grafica 9. Análisis de los Procesos.

El resultado obtenido en la evaluación de Mantenimiento para el área “Análisis de Procesos” fue de **4.88** / 10.00 lo cual lo cataloga como de *Conciente*.

Esto se debe esencialmente a que se cuenta con un Sistema de Gestión de Calidad implementado en todos sus procesos en un grado de madurez; sin embargo se requiere integrar al personal de mantenimiento en el cumplimiento de los procesos y procedimientos y el desarrollo de los procedimientos técnicos y administrativos faltantes requerido para una adecuada gestión documental.

### **5.9.1. Hallazgos.**

A pesar de que se cuenta con un Sistema de Gestión de Calidad muy bien estructurado en todos sus procesos, no se cuenta en su totalidad con los instructivos que se necesitan para realizar una óptima gestión de mantenimiento.

El Sistema de Gestión de Calidad cuenta con una herramienta informática de fácil acceso y de conocimiento de todo el personal involucrado lo cual asegura que la información esté disponible en todo momento y en todas las áreas; sin embargo no todo el personal propio así como del contratista consulta la herramienta con regularidad y está al día de los procedimientos consignados allí.

No todos los instructivos están siendo entregados al personal de ejecución de mantenimiento y no existe un mecanismo para evaluar la comprensión y cumplimiento en la aplicación de los mismos.

Los Procedimientos de HSE son seguidos para la ejecución de los trabajos y se cumple con la valoración del riesgo, permisos de trabajo y certificados para trabajos en condiciones especiales; sin embargo de acuerdo se detectó que no siempre estas valoraciones y documentación son de adecuada calidad y se está diligenciando apropiadamente y con la anticipación previa.

## 5.10. INFORMACIÓN SOBRE INFRAESTRUCTURA Y EQUIPOS.



Grafica 10. Información sobre Infraestructura y Equipos.

El resultado obtenido en la evaluación de Mantenimiento para el área “*Información de equipos*” fue de **4.66** / 10.00 lo cual lo cataloga como *Proactivo*.

Lo cual se debe esencialmente a que se cuenta con información estructurada y jerarquizada de plantas y equipos, sin embargo esta no está al 100% y se requiere incluir información técnica detallada (nameplates), procedimientos, entre otros. Se deben actualizar los códigos de falla de acuerdo a la ISO14224, los puntos de monitoreo para Inspección están siendo usados de manera parcial en el Sistema de Administración de Mantenimiento.

### 5.10.1. Hallazgos.

Existe una jerarquización efectiva de los equipos de las plantas dentro del Sistema de Administración de Mantenimiento ELIPSE; sin embargo aun hay plantas que se encuentran sin su totalidad de equipos creados.

No se cuentan con códigos de falla de mantenimiento para estandarizar la recolección de información de eventos de los equipos de las plantas, asociados

por clase y categoría de equipo que permita soportar el proceso RIM en el Sistema de Información de Mantenimiento.

No todos los equipos cuentan con placas de identificación en sitio de tal forma que se asegure una adecuada identificación de los equipos en campo para todo el personal ejecutor de mantenimiento.

Estructurado dentro del CMMS; se requiere tener la actualización de los cambios en la planta reflejada en el CMMS, así como una adecuada documentación de las órdenes de trabajo.

## 6. RESULTADOS DEL DIAGNOSTICO DE MANTENIMIENTO.

La evaluación del mantenimiento que se le aplica a la planta de carbón, mediante la aplicación de la matriz de excelencia en el mantenimiento, arrojó como resultado cualitativo una calificación de 40.13/100, los cuales lo ubican cuantitativamente en la categoría de mantenimiento consiente. Para este rango de puntaje lo más característico es que si bien la organización dispone de un gran margen de mejoramiento, es conocedora y tiene identificados los principales aspectos sobre los cuales debe hacerse el mayor énfasis.



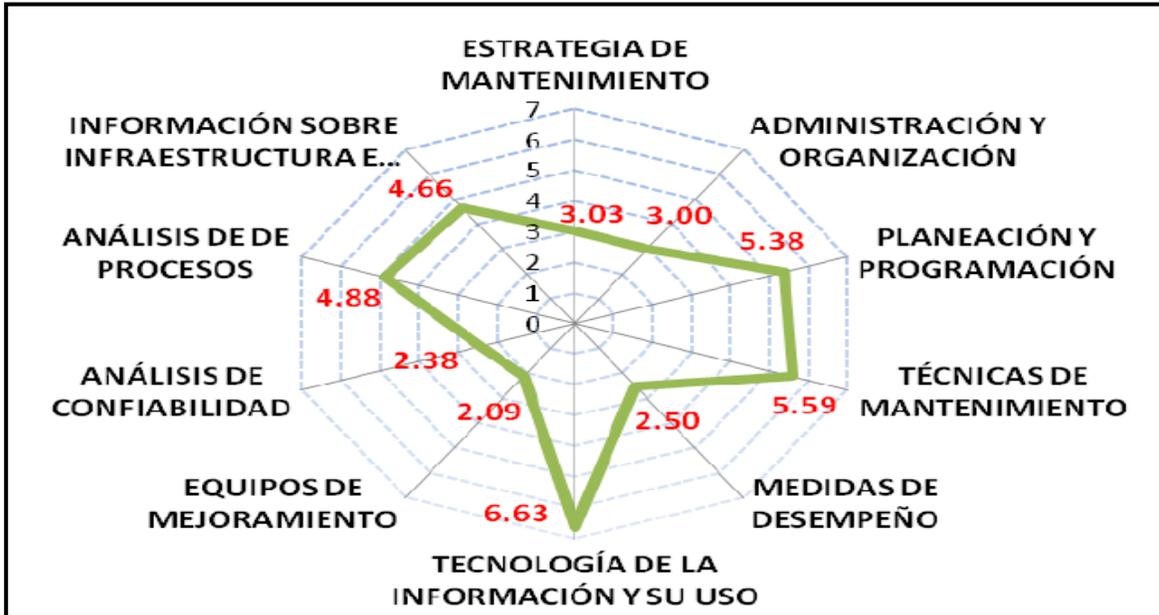
Gráfica 11. Resultados Evaluación del Mantenimiento

AREA DE GESTIÓN	AUTOEVALUACIÓN	ENTREGABLES
ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO	4,50	3,03
ADMINISTRACIÓN Y ORGANIZACIÓN	3,50	3,00
PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN	6,50	5,38
TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO	6,00	5,59
MEDIDAS DE DESEMPEÑO	3,75	2,50
TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN Y SU USO	9,25	6,63
EQUIPOS DE MEJORAMIENTO	4,00	2,09
ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD	2,50	2,38
ANÁLISIS DE DE PROCESOS	8,00	4,88
INFORMACIÓN SOBRE INFRAESTRUCTURA E INSTALACIONES	6,00	4,66
<b>DIAGNÓSTICO</b>	<b>54,00</b>	<b>40,13</b>

Tabla 2. Resultados Evaluación del Mantenimiento

Haciendo un análisis global de los resultados obtenidos en cada uno de los 10 aspectos considerados en la Matriz de Excelencia del Mantenimiento, se encontró que las áreas con mejor desempeño son: Tecnología de la Información y su Uso, Técnicas de Mantenimiento, Planeación y Programación. Esto se debe esencialmente al desarrollo corporativo que se ha tenido de su sistema de información y la continuidad en el desarrollo de su programa de mantenimiento.

Las áreas que presentan mayores oportunidades de mejoramiento son Equipos de Mejoramiento, Análisis de Confiabilidad, Medidas de Desempeño, Administración y organización (Integración con Proyectos y Administración de Inventarios).



Grafica 12. Resultados por Área de Gestión

A continuación se presentan las recomendaciones para cada una de las áreas de gestión.

### 6.1 ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO.

Es necesario diseñar e implementar un Plan Estratégico de Mantenimiento con cobertura en todas las áreas de gestión de Mantenimiento. La estrategia debe apuntar a fortalecer las áreas de la Matriz de Excelencia del Mantenimiento enfocando los mayores esfuerzos en las áreas que presentan más oportunidades de mejora como:

- Optimización del proceso de Planeación, Programación & Operación de trabajos de mantenimiento ampliando el compas de tiempo.
- Medidas de Desempeño: Mejoramiento de la cobertura y seguimiento a Indicadores de Gestión y Desempeño
- Tecnología de la Información: Es necesario mejorar realimentación del sistema con información de campo, Estándares y ordenes de trabajo. cruzar

y reportar información y datos de las actividades de mantenimiento tanto preventivo como correctivo y optimizar la gestión de los activos durante todo su ciclo de vida.

- Involucramiento de los Empleados: Encaminar la estrategia para que estimule la creación de una nueva cultura de mantenimiento proactivo y en la medida de lo posible autónomo
- Análisis de Confiabilidad: Diseñar e implementar procesos de Ingeniería de Mantenimiento & Confiabilidad (RCA, RCM (PMO), RBI, IPF, RAM, LCC ), que sustenten la gestión integral y autónoma (por especialidades o responsabilidades) de las nuevas estrategias de mantenimiento.

Cada una de las actividades generales incluidas en el plan deberá tener un responsable asignado, un entregable bien definido y una fecha de cumplimiento de la implementación. En lo posible se deberá oficializar la asignación de cada actividad a los responsables de su implementación, a través del diligenciamiento de un formato firmado donde se incluyan los requisitos mencionados anteriormente.

Es necesario ejecutar reuniones periódicas de seguimiento del Plan Estratégico, documentando su alcance, asistentes, metodología y duración, con el fin de asegurar el cumplimiento efectivo de cada una de las actividades incluidas en el plan.

## **6.2 ADMINISTRACIÓN Y ORGANIZACIÓN.**

Es primordial consolidar en la organización el involucramiento del departamento de mantenimiento como soporte en la concepción de los proyectos y asegurar una adecuada entrega a producción para soportar todas las modificaciones que se presenten en procedimientos, procesos, equipos, sistemas, organización, etc; y

que las estrategias de mantenimiento sean definidas de forma adecuada antes de la entrada en operación de los equipos nuevos.

En lo relacionado con los contratistas, debe implementar completamente un sistema de evaluación de cada uno de los trabajos desempeñados por ellos, donde no solo se evalúe su desempeño administrativo, sino que además de haga un seguimiento de los resultados por ellos dados a nivel de mantenimiento.

### **6.3 PLANEACIÓN Y PROGRAMACIÓN.**

Es necesario ajustar el proceso de Planeación, Programación & Operación de Trabajos de Mantenimiento, donde se detallen claramente los roles de cada una de las posiciones involucrada en el proceso y se describa la manera como se debe realizar cada una de las actividades del proceso, incluyendo:

- Diagnóstico y definición de los trabajos
- Priorización
- Planeación
- Nivelación de recursos
- Programación
- Ejecución de reuniones con Producción, Materiales e Ingeniería
- Alistamiento de herramientas y repuestos
- Elaboración de permisos de trabajo
- Elaboración de Análisis de Riesgos
- Elaboración de paquetes de trabajo
- Divulgación de trabajos a ejecutores
- Ejecución y Notificación
- Aseguramiento de la calidad de la información
- Cálculo y análisis de indicadores de planeación
- Creación de Standard Jobs.

Es necesario desarrollar e implementar una herramienta para la priorización de los trabajos de mantenimiento, que considere la criticidad de los equipos, las consecuencias de las fallas y el efecto de los trabajos de mantenimiento. Esta herramienta permitirá soportar el proceso de programación de una manera más efectiva.

Es fundamental operativizar adecuadamente los roles del Planeador de Mantenimiento. Debe tener la capacitación necesaria para hacer un completo manejo del Sistema de Administración de Mantenimiento, procesos de planeación, tipos de planeación, técnicas de nivelación de recursos, manejo de programas de manejo de proyectos y en general todos los conceptos relacionados con su función.

Es necesario documentar oportunamente las Órdenes de Trabajo, incluyendo las horas-hombre planeadas y reportadas, con el fin de optimizar la utilización de los recursos de mantenimiento, mediante la implementación y el seguimiento de indicadores de gestión de planeación.

Actualmente se documentan las órdenes de trabajo en el Sistema de Administración de Mantenimiento pero no se hace una adecuada retroalimentación de la información consignada en las Órdenes de trabajo después de su ejecución.

#### **6.4 TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO.**

Los planes de mantenimiento predictivo y monitoreo de condiciones deberán ser optimizados en el futuro mediante la ejecución de estudios de RCM o RAM y actualizarlos en el CMMS.

Mediante estudios de Inspección Basada en Riesgo (RBI) se deben optimizar los planes de inspección de los equipos estáticos de la planta.

Se recomienda realizar el análisis de tendencias de las variables de proceso, lo que permite realizar el seguimiento de tendencias e identificar fallas potenciales cuando se presenten desviaciones respecto a los límites de control definidos.

Como mejor práctica se recomienda unificar en una matriz de mantenimiento por condición, las diferentes técnicas aplicadas, incluyendo su correspondiente Síntoma y Causa de fallas, donde se pueda visualizar el mantenimiento aplicado a cada equipo, su cumplimiento y resultados globales. Lo anterior permite los análisis de mejoramiento futuros basados en confiabilidad y técnicas estadísticas.

## **6.5 MEDIDAS DE DESEMPEÑO.**

Deben centrarse los esfuerzos en el desarrollo e implementación de un proceso para la recolección y análisis de códigos de falla de eventos de mantenimiento, de acuerdo a los lineamientos descritos en la norma ISO 14224, el cual sea soportado por una herramienta especialmente concebida para este propósito (codificación de ordenes de trabajo).

Los análisis de los indicadores de desempeño, que deben ser realizados por el personal del Grupo de Ingeniería de Mantenimiento, deben apuntar a la evaluación periódica del progreso de los indicadores y el reajuste de los programas de mantenimiento.

Es necesario definir indicadores de gestión y desempeño de confiabilidad y mantenimiento que permitan medir el desempeño a nivel de sistemas, equipos y componentes. El departamento de mantenimiento puede evaluar el desempeño particular y compararlo contra estándares de mantenimiento y valores de otras plantas de las mismas características. Este proceso es útil para ayudar en la identificación de "mejores prácticas" y proveen una base para establecer proyecciones de desempeño a ser tenidas en cuenta durante la elaboración del plan de mejoramiento de la organización de mantenimiento.

Los indicadores deben divulgarse hasta los niveles bajos de la organización, con el fin de que los objetivos corporativos sean consistentes y todas las actividades estén enfocadas en el cumplimiento de estas metas. Los indicadores deben conectar los objetivos corporativos y demostrar su contribución a la efectividad de los procesos.

## **6.6 TECNOLOGÍA DE LA INFORMACIÓN Y SU USO.**

Es necesario realizar esfuerzos para dar un uso más completo a los diferentes módulos del Sistema de Administración de Mantenimiento ELIPSE que les permita llevar a cabo de una manera más eficaz y estructurada la gerencia de todos sus activos.

Se debe buscar que el uso del sistema ELIPSE permita procesar, reportar información y datos de las actividades de mantenimiento y asociadas de la organización a los diferentes niveles de decisión de manera oportuna, cierta y suficiente.

## **6.7 INVOLUCRAMIENTO DE LOS EMPLEADOS.**

Es necesario consolidar la implementación del proceso de equipos de mejoramiento para que con una base periódica se reúnan y lleven a cabo análisis de problemas encontrados en los procesos y equipos de las plantas, sobre los que ellos puedan aportar soluciones. Estos equipos también pueden reunirse para realizar mejoras a procesos técnicos y administrativos de mantenimiento.

Los equipos de mejoramiento deben tener claramente identificada su área de resultado (problema a solucionar), al igual que su mecanismo de operación, incluyendo flujo del proceso, entradas y salidas, roles y responsabilidades de sus integrantes, método de análisis de problemas y mecanismo de seguimiento de

acciones. Se debe entrenar al personal en Métodos de Solución de Problemas y técnicas de Análisis de Causa Raíz de Falla RCA).

Estructuración, capacitación y transferencia de conocimiento técnico al personal operación para soportar adecuadamente la implementación del programa de Cuidado Básico de Equipos.

Definir planes de mejoramiento de maquinaria, consistentes en la identificación de los modos de falla y componentes “malos actores” de mantenimiento, los cuales son los mayores generadores de costos de mantenimiento y pérdidas de producción. Una vez identificados son analizados utilizando técnicas de RCA y las soluciones son implementadas en los equipos a través de la estrecha interacción con proveedores de equipos y partes.

Por otra parte, es necesario realizar la asignación de recursos tendientes a implementar el Programa de Evaluación de Competencias y Capacitación del Personal del personal participante en el contrato de servicios de mantenimiento.

## **6.8 ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD.**

La recomendación fundamental consolidación del Grupo de Confiabilidad, para lo cual se deben definir claramente los siguientes aspectos:

- Objetivos, Misión y Visión particular
- Integrantes con Roles y Responsabilidades
- Procesos de trabajo estructurados (técnicas de confiabilidad a utilizar)
- Plan de trabajo validado por la Gerencia y con seguimiento periódico
- Indicadores de gestión para evaluar su desempeño.

## **6.9 ANÁLISIS DE PROCESOS.**

Es necesario enfocar esfuerzos en la preparación de los procedimientos técnicos para la ejecución de trabajos de mantenimiento preventivo y correctivo de los, así como de los equipos nuevos. Las copias duras de estos procedimientos actualizados deberán estar disponibles en cada área, aunque es preferible que se encuentren documentados en el Sistema de Administración de Mantenimiento ELIPSE para asegurar su actualización y revisión periódica.

Fortalecer el área de evaluación adecuada del riesgo con el personal ejecutor y el diligenciamiento adecuado de los documentos de HSE requeridos para la ejecución de los trabajos, así como mejorar la logística y preparación oportuna de los mismos de tal forma que se optimicen los tiempos ociosos del personal ejecutor.

## **6.10 INFORMACIÓN SOBRE INFRAESTRUCTURA Y EQUIPOS.**

Se debe incluir en los nuevos equipos el estudio de criticidad correspondiente, de tal manera que esta información sirva adecuadamente como base para la priorización de trabajos de mantenimiento y la ejecución de análisis de confiabilidad.

Garantizar la estandarización de los códigos de falla y conceptos a través de las herramientas con las que se realiza la gestión del mantenimiento.

Se debe implementar el proceso de trazabilidad de componentes de alta rotación con el fin de facilitar la ejecución de estudios de confiabilidad y mantenibilidad.

Se debe estructurar un programa de digitalización y alimentación de sistema de información de mantenimiento de la información técnica de equipos e información básica de placa.

## **7 ESTRATEGIAS DEL MANTENIMIENTO**

La estrategia es la forma en que la compañía organiza, ejecuta y administra el mantenimiento, de forma coherente, lógica y sistémica. La implementación de una estrategia implica la existencia de normas y leyes, ajustar la forma de proceder y estar sujeta a estas, entendiendo que este razonamiento gobierna la diferencia entre el éxito y el fracaso en la obtención de las metas del mantenimiento.

Las diferentes estrategias no son por sí mismo ni buenas ni malas, serán exitosas para una compañía en partículas, dependiendo de si logran alcanzar las metas trazadas según la misión y visión, con rangos atractivos de CMD, con bajos costos y un buen grado de desarrollo tecnológico, claro está que esto depende directamente de las políticas internas y el grado de compromiso que tenga la compañía en su implementación.

### **7.1. ESTRATEGIAS USADAS PARA EL DESARROLLO DEL MANTENIMIENTO PLANEADO**

En la actualidad, gracias a años de experiencia de grandes compañías existen a nivel mundial diferentes alternativas de estrategias, entre las cuales sobresalen: TPM, RCM, PMO, CBM.

#### **7.1. 1. Mantenimiento Productivo Total (TPM)**

Fue desarrollado por la industria japonesa en la década de 1970, como respuesta a la necesidad de mejorar la calidad de sus productos y servicios para poder competir con los mercados occidentales, liderados por estados unidos, Alemania e Inglaterra.

TPM son las siglas en inglés de *"Mantenimiento Productivo Total"*, también se puede considerar como *"Mantenimiento de Participación Total"* o *"Mantenimiento Total de la Productividad"*.

TPM es un concepto de mejoramiento continuo que ha probado ser efectivo. Primero en Japón y en América. Se trata de participación e involucramiento de todos y cada uno de los miembros de la organización hacia la optimización de cada máquina.

El propósito es comprometer a todos los miembros de la comunidad industrial. Para que asuma su responsabilidad en función de la conservación del equipo, el cual se vuelve más productivo, seguro y fácil de operar.

El mantenimiento total productivo se ha constituido en un moderno sistema gerencial de soporte al desarrollo de la industria, que permite tener equipos de producción siempre listos. Su metodología establece como estrategia básica para mejorar la productividad empresarial, pasar de hacer énfasis en la inspección y selección a hacer énfasis en la prevención, lo que se traduce en tratar de prevenir y predecir el momento exacto del fallo de manera que se puedan disponer de los recursos, herramientas y repuestos necesarios para impactar lo menos posible la productividad del equipo.

El TPM persigue 5 metas principales que son:

- Mejorar la eficacia de los equipos.
- Mantenimiento autónomo, por operadores.
- Planeación y programación óptima de un sistema preventivo – predictivo.
- Mejoramiento de la habilidad operativa.
- Gestión temprana de equipos, para evitar problemas futuros.

El indicador de gestión clave en el TPM es la eficacia global del equipo (OEE), cuyo valor está definido como el producto de tres factores: disponibilidad, el rendimiento del ciclo y la tasa de calidad.

OEE = es la capacidad de hacer el trabajo en la cantidad requerida y con la calidad esperada.

### **7.1.2. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)**

RCM (mantenimiento centrado en la confiabilidad), es un proceso desarrollado por la industria de la aviación civil en estados unidos, su fin primordial es ayudar al personal de mantenimiento, a determinar las mejores prácticas para determinar la confiabilidad de las funciones de los activos físicos, y para mejorar las consecuencias de sus fallas.

El mantenimiento centrado en la confiabilidad es una filosofía de gestión de mantenimiento que sirve de guía para identificar las actividades de mantenimiento con sus respectivas frecuencias a los activos más importantes dentro del contexto operacional realizado por un equipo de trabajo multidisciplinario flexible que se adapta a las necesidades reales del mantenimiento y de la organización, tomando en cuenta la seguridad del personal y la razón de costo/beneficio.

El objetivo primario de RCM es conservar la función del sistema, antes que la del equipo en particular. La metodología lógica del RCM, se puede resumir en los siguientes seis pasos:

- Identificar los principales sistemas de la planta y definir sus funciones.
- Identificar los métodos de falla que puedan producir falla funcional.
- Jerarquizar las necesidades funcionales de los equipos, utilizando análisis de criticidad.
- Determinar la criticidad de los efectos de las fallas funcionales.

- Emplear el diagrama de árbol lógico para establecer la estrategia de mantenimiento.
- Seleccionar las actividades o acciones preventivas para conservar la función del sistema.

Las premisas básicas de cualquier proyecto que pretenda una implementación exitosa de RCM, debe estar apoyada en la norma SAEJA1011, editada en agosto de 1999 y debe asegurar que las siete preguntas básicas sean contestadas satisfactoriamente en la secuencia mostrada.

- Cuáles son las funciones asociadas al activo en su actual contexto operacional (funciones).
- De qué manera puede no satisfacer sus funciones (fallas funcionales).
- Cuál es la causa de cada falla funcional (modos de falla).
- Que sucede cuando ocurren las diferentes fallas (efectos de las fallas).
- De qué manera afecta cada tipo de fallas (consecuencias de las fallas).
- Que puede hacerse para prevenir / predecir cada falla (tareas probables e intervalos de las tareas).
- Que puede hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada (acciones preestablecidas).

El RCM es una filosofía de mantenimiento que busca garantizar a todo tiempo la funcionalidad de la cadena de producción y mantener productiva a la fabrica, se pretende llegar a este objetivo a través de identificar cuáles son los equipos críticos, una vez identificados estos equipos es necesario conocer al mínimo detalle cómo funcionan, para conocer cómo pueden fallar, además que puede causar estas fallas y las consecuencias de estas fallas, esto debe ser registrado en una base de datos o historia clínica del equipo para que cualquier persona (con las competencias requeridas, sin depender del grado de experiencia) este en capacidad de reparar en el menor tiempo posible el equipo en falla.

### **7.1.3. Optimización del Mantenimiento Planeado (PMO)**

El PMO “optimización del mantenimiento planeado”, es un método diseñado para revisar los requerimientos de mantenimiento, el historial de fallas y la información técnica de los activos en operación. El proceso de optimización del mantenimiento planeado, facilita el diseño de un marco de trabajo racional y rentable, cuando el sistema de mantenimiento planeado está consolidado, esto implica que bajo las condiciones actuales contamos con buena experiencia en hacer mantenimiento planeado. A partir de ahí las mejoras se pueden alcanzar fácilmente con la adecuada asignación de recursos; y el personal de mantenimiento se puede enfocar en resolver los defectos de diseño de la planta o en las limitaciones operativas.

### **7.1.4. Mantenimiento Basado en la Condición (CBM).**

CBM “Mantenimiento basado en la condición”, El mantenimiento basado en la condición (CBM), o monitorización del estado, es una táctica de mantenimiento que promueve una filosofía clara fácil de aplicar siempre y cuando se cuente con los instrumentos apropiados, esta consiste en medir una variedad de parámetros de las máquinas con carácter periódico, tales como vibración, temperatura, presión, caudal, etc., para determinar su condición. El objetivo es realizar un análisis de tendencia de los datos con el fin de identificar a tiempo las condiciones problemáticas y tomar las acciones necesarias para evitar averías que puedan provocar un tiempo de parada imprevisto y las correspondientes consecuencias.

Esta clasifica los equipos en dos grandes grupos y plantea una forma proactiva de intervenirlos:

✓ **Equipos críticos:**

Estos son los equipos fundamentales dentro de la cadena de producción, aquellos cuyas averías impactan demasiado el estado productivo de la planta, aquellos cuya mantenibilidad es muy baja. A estos equipos críticos se les aplica un mantenimiento cíclico programado sin importar la condición en el momento de la intervención.

✓ **Equipos no críticos:**

Se les realiza mantenimiento después de verificar en qué condiciones esta y solo si dicha condición indica que la reparación es necesaria.

En ambos casos, buscamos restaurar o mantener el equipo ante un modo de falla conocido antes de que se produzca un fallo funcional.

## **7.2. JUSTIFICACIÓN DE LA ELECCIÓN DEL RCM ANTE LAS DEMÁS FILOSOFÍAS**

Es conocido por muchos ingenieros que existen una gran gama de herramientas que pueden ser, y en la mayoría de los casos lo son, de mucha ayuda a la hora de buscar mejorar la confiabilidad operacional de las maquinas, equipos y herramientas de las empresas y también es sabido que todas ellas requieren del trabajo en equipo y plazos considerables para el logro efectivo de los resultados deseados. Entre tantas herramientas se encuentran el RCM (reliability centered maintenance, mantenimiento centrado en confiabilidad), TPM (total productive maintenance, mantenimiento productivo total), CBM, RCFA, PMO, etc.

Pero como es necesario e importante la escogencia o selección de alguna o mejor de la más efectiva y que produzca los mejores resultados según las condiciones de la empresa en cuestión, se llega al siguiente punto: entre las herramientas

mencionadas anteriormente y las que no fueron mencionadas, se encuentra que entre las de mayor profundidad, requerimientos de esfuerzo y apoyo de la mayoría de las áreas, por no decir que todas, de la empresa en cuanto a enfoques de optimización del sistema de mantenimiento se encuentran el TPM y el RCM.

El TPM es una filosofía de mantenimiento que exige calidad total en el trabajo de mantenimiento, lo cual no es difícil de obtener, pero en consecuencia exige que en los sistemas en que se aplica esta filosofía se deba llegar al nivel de “cero fallas”.

Comprendiendo la realidad de las Empresas en los países en desarrollo y sus líneas de operación, las cuales comúnmente se componen de equipos remanufacturados que ya han excedido los límites de su vida útil, resulta muy probable que las fallas estén por fuera de los límites de control, lo cual dificulta en gran medida llegar al nivel de cero fallas, como lo exige la filosofía TPM.

Por otro lado el RCM es un sistema que se basa en la confiabilidad del proceso, es decir, que el sistema en el que se aplique RCM debe continuar su trabajo normal a pesar del surgimiento de alguna falla en cualquiera de los componentes que conformen el sistema. La atención de esta falla corresponderá a un reemplazo o reparación previamente determinado, el punto es que el sistema mantenga su ritmo normal de producción y no altere en ningún momento su capacidad productiva.

## **8. LA FILOSOFÍA DEL MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD “RCM”**

### **8.1 INTRODUCCIÓN**

A principios de los años 80, comenzaron a focalizarse las aplicaciones industriales del RCM, bajo la guía de F. Stanley Nowlan quien en compañía de Howard Heap escribieron el primer reporte de filosofía en materia de Mantenimiento para la United Airlines a mediados de 1970, documento que fue tenido en cuenta para escribir el siguiente documento acerca del mismo tema y también fue utilizado como la base de lo que hoy se conoce como RCM.

Al final de 1950, la aviación comercial mundial estaba sufriendo más de 60 accidentes por millón de despegues. Si actualmente se estuviera presentando la misma tasa de accidentes, se estaría oyendo sobre dos accidentes aéreos diariamente en algún sitio del mundo (involucrando aviones de 100 pasajeros o más). Dos tercios de los accidentes ocurridos al final de los 50`s eran causados por fallas en los equipos.

El hecho de que una tasa tan alta de accidentes fuera causada por fallas en los equipos implicaba que, al menos inicialmente, el principal enfoque tenía que hacerse en la seguridad de los equipos. Todos esperaban que los motores y otras partes importantes se gastaran después de cierto tiempo. Esto los condujo a creer que las reparaciones periódicas retendrían las piezas antes de que se gastaran y así poder prevenir las fallas. En esos días, mantenimiento significaba una cosa: reparaciones periódicas.

Cuando la idea parecía no estar funcionando, cada uno asumía que ellos estaban realizando muy tardíamente las reparaciones; después de que el desgaste se

había iniciado. Naturalmente, el esfuerzo inicial era para acortar el tiempo entre reparaciones. Cuando hacían las reparaciones, los gerentes de mantenimiento de las aerolíneas hallaban que en la mayoría de los casos, los porcentajes de falla no se reducían y por el contrario se incrementaban.

De esta manera RCM tiene sus inicios a principios de 1960. El trabajo del desarrollo inicial fue hecho por la Industria de la Aviación Civil Norteamericana.

Y se hizo realidad cuando las aerolíneas comprendieron que muchas de sus filosofías de mantenimiento eran no sólo costosas sino también altamente peligrosas. Ello inspiró a la industria a incorporar una serie de “Grupos de Dirección de Mantenimiento” (Maintenance Steering Groups - MSG) para reexaminar todo lo que ellos estaban haciendo para mantener sus aeronaves operando. Estos grupos estaban formados por representantes de los fabricantes de aeronaves, las aerolíneas y la FAA (Fuerza Área Americana).

La historia de la transformación del mantenimiento en la aviación comercial ha pasado por un cúmulo de supuestos y tradiciones hasta llegar a un proceso analítico y sistemático que hizo de la aviación comercial “La forma más segura para viajar”, es la historia del RCM.

Actualmente es ampliamente aceptado que la aviación comercial es la forma más segura para viajar: Las aerolíneas comerciales sufren menos de dos accidentes por millón de despegues. Esto corresponde a un accidente cada 3 ó 4 semanas en el mundo. De éstos, cerca de 1/6 son causados por fallas en los equipos.

Gracias a esa gran preocupación que surgió al tratar de evitar tan abrumadoras estadísticas a causa del mal mantenimiento de los aviones, que de alguna manera o más bien con esfuerzo, pruebas y mucho trabajo fue superada, hoy en día todas las empresas, no solo de aerolíneas, sino también de cualquier actividad productiva, industrial, comercial, etc., que requieran de mantenimiento para sus herramientas, maquinaria y equipo, cuentan con una filosofía muy práctica y efectiva para lograr que la no disponibilidad de sus elementos de trabajo hagan que pierdan su productividad y por ende su competitividad ante cualquier mercado, a causa de grandes tiempos muertos o improductivos.

## **8.2. APLICACIÓN DEL “RCM”**

La aplicación de RCM resuelve los problemas con una estructura estratégica que le permite llevar a cabo la evaluación y selección de procesos que se pueden implementar en forma rápida y segura. Esta técnica es única en su género y conduce a obtener resultados extraordinarios en cuanto a mejoras y rendimiento del equipo de mantenimiento donde quiera que sea aplicado.

El RCM pone tanto énfasis en las consecuencias de las fallas como en las características técnicas de las mismas y lo hace de esta manera: Integra una revisión de las fallas operacionales con la evaluación de aspectos de seguridad y amenazas al medio ambiente, esto hace que la seguridad y el medio ambiente sean tenidos en cuenta a la hora de tomar decisiones en materia de mantenimiento.

Mantiene la atención en las actividades de mantenimiento que más incidencia tienen en el desempeño o funcionamiento de las instalaciones.

Esto garantiza que cada peso gastado en mantenimiento se gasta donde más beneficio va a generar. El RCM reconoce que todo tipo de mantenimiento es válido

y da pautas para decidir cuál es el más adecuado en cada situación. Al hacer esto, ayuda a asegurarse de que el tipo de mantenimiento escogido para cada equipo sea el más adecuado y evita los problemas que siguen a la adopción de una política general de mantenimiento para toda una empresa.

Si RCM se aplica a un sistema de mantenimiento existente, reduce la cantidad de mantenimiento rutinario que se ha desarrollado generalmente de un 40% a un 70%. De otro lado, si RCM se aplica para desarrollar un nuevo sistema de mantenimiento, el resultado será que la carga de trabajo programada sea mucho menor que si el sistema se hubiera desarrollado por métodos convencionales.

El RCM fue elaborado con el fin de ayudar a las líneas aéreas a establecer un sistema de mantenimiento para nuevos tipos de aviones, antes de que estos entraran en funcionamiento. Como resultado, el RCM es una forma ideal para desarrollar planes de mantenimiento en equipos complejos y para los que no existe mucha documentación al respecto, Lo anterior ahorra errores y pruebas, costosos y dispendiosos tan comunes al desarrollar planes de mantenimiento.

Otra de las fortalezas del RCM es que su lenguaje técnico es sencillo y fácil de entender a todos los que tengan que ver con él, esto le permite al personal involucrado saber qué pueden y qué no pueden esperar de ésta aplicación y qué deben hacer para conseguirlo. Además, le brinda confianza al trabajador y mejora su efectividad y su moral.

El RCM por sus siglas en ingles o MCC por sus siglas en español, se centra en la relación entre la organización y los elementos físicos que la componen. Antes de que se pueda explorar esta relación detalladamente, es necesario saber qué tipo de elementos físicos existen en la empresa, y decidir cuáles son los que deben estar sujetos al proceso de revisión del RCM o MCC. En la mayoría de los casos, esto significa que debe realizarse un registro de equipos completo si no existe ya uno.

RCM hace una serie de preguntas para evaluar los requisitos del mantenimiento dentro del contexto operacional de la empresa:

- ¿Cuáles son las funciones?
- ¿De qué forma puede fallar?
- ¿Qué causa que falle?
- ¿Qué sucede cuando falla?
- ¿Qué ocurre si falla?
- ¿Qué se puede hacer para prevenir las fallas?
- ¿Qué sucede si no pueden prevenirse las fallas?

La primera fase, (correspondientes a las cuatro primeras preguntas), corresponden al registro de la información, donde se realiza un análisis de las funciones, los fallos funcionales, el modo de fallo y los efectos de los fallos.

La segunda fase (correspondiente a la toma de decisiones) abarca las restantes tres preguntas, comprendiendo la decisión sobre las tareas preventivas que deben desarrollarse siguiendo el camino de las funciones - fallos funcionales - modo de fallo.

Además, se analiza la frecuencia de las mismas y quién debe realizarlas, lo cual queda plasmado en **la Hoja de Decisión** del MCC. Para el desarrollo de esta hoja de trabajo se sigue el procedimiento del **Árbol de Decisión**, que constituye la herramienta básica para la toma de decisiones en las tareas de mantenimiento, es decir, se analizan las consecuencias que pueden traer estas fallas y luego se dividen:

- Consecuencia de fallas no evidentes.
- Consecuencia en la seguridad y el medio ambiente.
- Consecuencias operacionales.

Al analizar las consecuencias operacionales de los fallos, o sea, cuando un fallo tiene un efecto adverso y directo sobre la capacidad operacional, se puede constatar que los fallos afectan a las operaciones de tres maneras:

- Al rendimiento total.
- A la calidad del producto.
- Al servicio al cliente.

En todos los casos anteriores estas consecuencias no son económicas, es decir, cuestan dinero a la empresa.

Es precisamente en esta etapa donde se materializa la integración de los elementos correspondientes a la Administración de Operaciones con la metodología del RCM, al detectar los diferentes factores que van a influir en la ocurrencia de las consecuencias operacionales y actuar sobre ellos, con vistas a convertir dichas consecuencias en no operacionales.

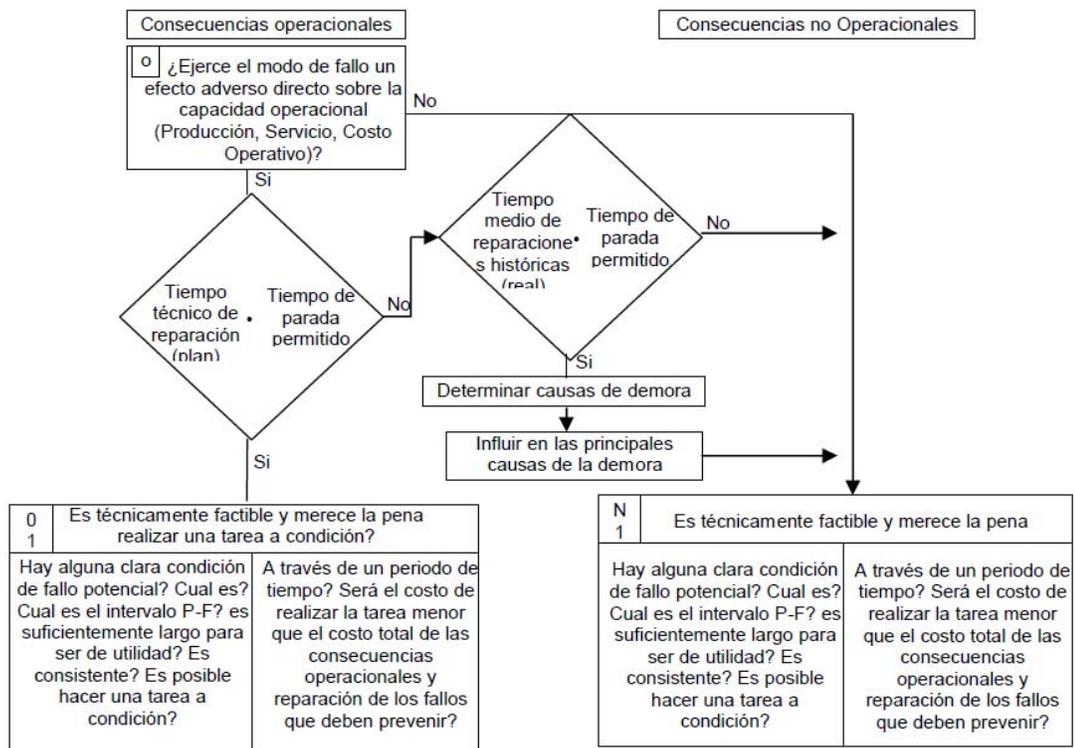
Al realizar un análisis de los factores claves que pueden conducir a que la parada del equipamiento productivo sea superior al tiempo que el mismo puede detenerse sin afectar el logro de los planes de la organización, o sea, los factores que pueden conducir a que un fallo provoque consecuencias operacionales, se pueden destacar los siguientes:

- Disponibilidad y oportunidad de las piezas de recambio.
- Tamaño y composición de la plantilla del personal del área de mantenimiento.
- Complejidad de la tarea de mantenimiento a ejecutar.

Las consecuencias de estos factores pueden ser atenuadas mediante la aplicación de determinadas técnicas componentes de la Administración de Operaciones, con

vistas a disminuir considerablemente el tiempo de parada del equipamiento y convertir, así, éstas consecuencias en no operacionales.

La inserción de estas técnicas en la metodología del árbol de decisión se muestra en la figura adjunta.



**Figura 4.** Procedimiento para la disminución de la estadía del equipamiento dentro del árbol de decisión del RCM.

**Fuente:** Integración Mantenimiento (RCM), Gestión de la Producción y su influencia en el mejoramiento de la Confiabilidad Operacional de la empresa, por los profesores del departamento de Ingeniería Industrial. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.

El funcionamiento del anterior grafico se explica a continuación:

En el árbol de decisión, luego que se comprueba que el fallo no provoca afectaciones al medio ambiente, se pasa a las consecuencias operacionales, entonces, una vez que se detecta que el modo de fallo afecta la capacidad

operacional es que se inserta el procedimiento propuesto. En el procedimiento inicialmente se realiza una comparación entre el tiempo técnico de reparación establecido (plan) y el tiempo que la máquina puede estar parada sin afectar la producción, si el primero es mayor o igual que el segundo se hace un análisis de las tareas preventivas que se pueden aplicar según el procedimiento del árbol de decisión, de no ocurrir así, se realiza una comparación entre el tiempo medio de reparaciones históricas (real histórico) y el tiempo de parada permitido, si el primero es menor que el segundo entonces pasa a ser una consecuencia no operacional y se realiza el análisis de las tareas preventivas que se pueden aplicar según el procedimiento, de lo contrario, se determinan las causas de esta demora para luego concentrar los esfuerzos sobre ellas y atenuar la demora.

Es de destacar que al influir sobre los distintos factores (causas de la demora) que provocan que las consecuencias sean operacionales se realiza una mejora de método que permitirá obtener considerables beneficios durante el desempeño futuro de la organización, además de repercutir en otras áreas afines (Gestión de Almacenes, Gestión de Compras, Recursos Humanos, entre otros).

Este procedimiento es de fácil aplicación ya que hace uso de información que ha sido utilizada con anterioridad en el desarrollo del árbol de decisiones. Se debe destacar que en aquel caso donde el tiempo de reparación del elemento analizado afecta la continuidad del proceso productivo al provocar atrasos en la entrega a la próxima operación, se recomienda utilizar *el método de Pareto* o, en los casos donde se precise mayor profundidad en los resultados, *los métodos de Análisis Multicriterio*, para determinar las causas que provocan esta situación.

Dentro de las tareas que se pueden acometer desde el punto de vista de la Administración de Operaciones para atenuar las posibles causas que convierten a las consecuencias de los fallos en operacionales se destacan las siguientes:

1. Propuesta e implementación de un adecuado sistema de previsión de la demanda de las piezas de recambio, así como el diseño de un adecuado sistema de gestión de inventarios de las mismas.
2. Determinación del tamaño y composición adecuada de la plantilla del personal componente del área de mantenimiento.
3. Estudios de método de trabajo que permitan reducir la complejidad de las tareas de mantenimiento con vista a disminuir su duración y aumentar, así, su eficiencia.

### **i. Funciones y estándares de funcionamiento**

Cada elemento de los equipos se adquirieron para unos propósitos determinados. En otras palabras, deberán tener unas funciones específicas. La pérdida total o parcial de estas funciones afecta a la organización en cierta manera. La influencia total sobre la organización depende de:

- La función de los equipos en su contexto operacional.
- El comportamiento funcional de los equipos en ese contexto.

Como resultado de esto el proceso de RCM comienza definiendo las funciones y los estándares de comportamiento funcional asociados a cada elemento de los equipos en su contexto operacional.

Cuando se establece el funcionamiento deseado de cada elemento, el RCM pone un gran énfasis en la necesidad de cuantificar los estándares de funcionamiento siempre que sea posible. Estos estándares se extienden a la operación, calidad del producto, servicio al cliente, problemas del medio ambiente, costo operacional y seguridad.

### **ii. Fallas Funcionales**

Una vez que las funciones y los estándares de funcionamiento de cada equipo hayan sido definidos, el paso siguiente es identificar cómo puede fallar cada elemento en la realización de sus funciones. Esto lleva al concepto de una **falla funcional**, que se define como la incapacidad de un elemento o componente de un equipo para satisfacer un estándar de funcionamiento deseado.

### iii. Modos de Falla (Causas de Falla)

El paso siguiente es tratar de identificar los **modos de falla** que tienen más posibilidad de causar la pérdida de una función. Esto permite comprender exactamente qué es lo que puede que se esté tratando de prevenir. En la realización de este paso, es importante identificar cuál es la causa origen de cada falla. Esto asegura no malgastar el tiempo y el esfuerzo tratando los síntomas en lugar de las causas. Al mismo tiempo, cada modo de falla debe ser considerado en el nivel más apropiado, evitando malgastar demasiado tiempo en el análisis de falla en sí mismo.

### iv. Efectos de las Fallas

Cuando se identifica cada modo de falla, los **efectos de las fallas** también deben registrarse (en otras palabras, lo que pasaría si ocurriera). Este paso permite decidir la importancia de cada falla, y por lo tanto qué nivel de mantenimiento (si lo hubiera) sería necesario.

El proceso de contestar sólo a las cuatro primeras preguntas produce oportunidades sorprendentes y a menudo muy importantes de mejorar el funcionamiento y la seguridad, y también de eliminar errores. También mejora enormemente los niveles generales de comprensión acerca del funcionamiento de los equipos.

## v. Consecuencias de las Fallas

Una vez sean determinadas las funciones, las fallas funcionales, los modos de falla y los efectos de los mismos en cada elemento significativo, el próximo paso en el proceso del RCM es preguntar cómo y (cuánto) importa cada falla.

La razón de esto es porque las consecuencias de cada falla dicen si se necesita tratar de prevenirlos. Si la respuesta es positiva, también sugieren con qué esfuerzo se debe tratar de encontrar las fallas.

RCM clasifica las consecuencias de las fallas en cuatro grupos:

- **Consecuencias de las fallas no evidentes:** Las fallas que no son evidentes no tienen impacto directo, pero exponen a la organización a otras fallas con consecuencias serias, a menudo catastróficas. Un punto fuerte del RCM es la forma en que trata las fallas que no son evidentes, primero reconociéndolas como tales, en segundo lugar otorgándoles una prioridad muy alta y finalmente adoptando un acceso simple, práctico y coherente con relación a su mantenimiento.
- **Consecuencias en la seguridad y el medio ambiente:** Una falla tiene consecuencias sobre la seguridad si puede afectar físicamente a alguien. Tiene consecuencias sobre el medio ambiente si infringe las normas gubernamentales relacionadas con el medio ambiente. RCM considera las repercusiones que cada falla tiene sobre la seguridad y el medio ambiente, y lo hace antes de considerar la cuestión del funcionamiento. Pone a las personas por encima de la problemática de la producción.
- **Consecuencias Operacionales:** Una falla tiene consecuencias operacionales si afecta la producción (capacidad, calidad del producto,

servicio al cliente o costos industriales en adición al costo directo de la reparación). Estas consecuencias cuestan dinero, y lo que cuesten sugiere cuanto se necesita gastar en tratar de prevenirlas.

- **Consecuencias que no son operacionales:** Las fallas evidentes que caen dentro de esta categoría no afectan ni a la seguridad ni a la producción, por lo que el único gasto directo es el de la reparación.

Si una falla tiene consecuencias significativas en los términos de cualquiera de estas categorías, es importante tratar de prevenirlas. Por otro lado, si las consecuencias no son significativas, entonces no merece la pena hacer cualquier tipo de mantenimiento sistemático que no sea el de las rutinas básicas de lubricación y servicio.

Por eso en este punto del proceso del RCM, es necesario preguntar si cada falla tiene consecuencias significativas. Si no es así, la decisión normal a falta de ellas es un mantenimiento que no sea sistemático. Si por el contrario fuera así, el paso siguiente sería preguntar qué tareas sistemáticas (si las hubiera) se deben realizar. Sin embargo, el proceso de selección de la tarea no puede ser revisado significativamente sin considerar primero el modo de falla y su efecto sobre la selección de los diferentes métodos de prevención.

## **vi. Tareas de Mantenimiento**

La mayoría de la gente cree que el mejor modo de mejorar al máximo la disponibilidad de la planta es hacer algún tipo de mantenimiento de forma rutinaria. El conocimiento de la Segunda Generación sugiere que esta acción preventiva debe consistir en una reparación del equipo o cambio de componentes a intervalos fijos.

Supone que la mayoría de los elementos funcionan con precisión para un período y luego se deterioran rápidamente. El pensamiento tradicional sugiere que un histórico extenso acerca de las fallas anteriores permitirá determinar la duración

de los elementos, de forma que se podrían hacer planes para llevar a cabo una acción preventiva un poco antes de que fueran a fallar.

Esto es verdad todavía para cierto tipo de equipos sencillos, y para algunos elementos complejos con modos de falla dominantes. En particular, las características de desgaste se encuentran a menudo donde los equipos entran en contacto directo con el producto.

El reconocimiento de estos hechos ha persuadido a algunas organizaciones a abandonar por completo la idea del mantenimiento sistemático. De hecho, esto puede ser lo mejor que hay que hacer para fallas que tengan consecuencias sin importancia. Pero cuando las consecuencias son significativas, se debe hacer algo para prevenir las fallas, o por lo menos reducir las consecuencias.

RCM reconoce cada una de las tres categorías más importantes de tareas preventivas, como siguen:

- **Tareas “A Condición”:** La necesidad continua de prevenir ciertos tipos de falla, y la incapacidad creciente de las técnicas tradicionales para hacerlo, han creado los nuevos tipos de prevención de fallas. La mayoría de estas técnicas nuevas se basan en el hecho de que la mayor parte de las fallas dan alguna advertencia de que están a punto de ocurrir. Estas advertencias se conocen como **fallas potenciales**, y se definen como las condiciones físicas identificables que indican que va a ocurrir una falla funcional o que está en el proceso de ocurrir.

Las nuevas técnicas son usadas para determinar cuando ocurren las fallas potenciales de forma que pueda hacerse algo antes de que se conviertan en verdaderas fallas funcionales. Estas técnicas se conocen como tareas a

condición, porque logra que los elementos sigan funcionando a condición de que continúen satisfaciendo los estándares de funcionamiento deseado.

- **Tareas de Reacondicionamiento Cíclico y de Sustitución Cíclica:** Los equipos son revisados o sus componentes reparados a frecuencias determinadas, independientemente de su estado en ese momento. Una gran ventaja del RCM es el modo en que provee criterios simples, precisos y fáciles de comprender para decidir (si hiciera falta) qué tarea sistemática es técnicamente posible en cualquier contexto, y si fuera así para decidir la frecuencia en que se hace y quien debe hacerlo. Estos criterios forman la mayor parte de los programas de entrenamiento del RCM. El RCM también ordena las tareas en un orden descendiente de prioridad. Si las tareas no son técnicamente factibles, entonces debe tomarse una acción apropiada, como se describen a continuación.

#### **vii. Acciones a “Falta De”**

Además de preguntar si las tareas sistemáticas son técnicamente factibles, el RCM pregunta si vale la pena hacerlas. La respuesta depende de cómo reaccione a las consecuencias de las fallas que pretende prevenir.

Al hacer esta pregunta, el RCM combina la evaluación de la consecuencia con la selección de la tarea en un proceso único de decisión, basado en los principios siguientes:

- Una acción que signifique prevenir la falla de una función no evidente sólo valdrá la pena hacerla si reduce el riesgo de una falla múltiple asociado con esa función a un nivel bajo aceptable. Si no se puede encontrar una acción sistemática apropiada, se debe llevar a cabo la **tarea de búsqueda de fallas**. Las tareas de búsqueda de fallas consisten en comprobar las

funciones no evidentes de forma periódica para determinar si ya han fallado. Si no puede encontrarse una tarea de búsqueda de fallas que reduzca el riesgo de falla a un nivel bajo aceptable, entonces la acción “a falta de” secundaria sería que la pieza **debe rediseñarse**.

- Una acción que signifique el prevenir una falla que tiene consecuencias en la seguridad o el medio ambiente merecerá la pena hacerla si reduce el riesgo de esa falla en sí mismo a un nivel realmente bajo, o si lo suprime por completo. Si no puede encontrarse una tarea que reduzca el riesgo de falla a un nivel bajo aceptable, **el componente debe rediseñarse**.
- Si la falla tiene consecuencias operacionales, sólo vale la pena realizar una tarea sistemática si el costo total de hacerla durante cierto tiempo es menor que el costo de las consecuencias operacionales y el costo de la reparación durante el mismo período de tiempo. Si no es justificable, la decisión “a falta de” será el **no mantenimiento sistemático**. (Si esto ocurre y las consecuencias operacionales no son aceptables todavía, entonces la decisión “a falta de” secundaria sería **rediseñar de nuevo**).
- De forma similar, si una falla no tiene consecuencias operacionales, sólo vale la pena realizar la tarea sistemática si el costo de la misma durante un período de tiempo es menor que el de la reparación durante el mismo período. Si no son justificables, la decisión inicial “a falta de” sería de nuevo el **no mantenimiento sistemático**, y si el costo de reparación es demasiado alto, la decisión “a falta de” secundaria sería **volver a diseñar nuevamente**.

Este enfoque gradual de “arriba-abajo” significa que las tareas sistemáticas sólo se especifican para elementos que las necesitan realmente. Esta característica del RCM normalmente lleva a una reducción significativa en los trabajos rutinarios.

También quiere decir que las tareas restantes son más probables que se hagan bien. Esto combinado con unas tareas útiles equilibradas llevará a un mantenimiento más efectivo.

Si esto compara el enfoque gradual tradicional de abajo a arriba. Tradicionalmente, los requerimientos del mantenimiento se evaluaban en términos de sus características técnicas reales o supuestas, sin considerar de nuevo que en diferentes condiciones son aplicadas consecuencias diferentes. Esto resulta en un gran número de planes que no sirven para nada, no porque sean “equivocados”, sino porque no consiguen nada.

El proceso del RCM considera los requisitos del mantenimiento de cada elemento antes de preguntarse si es necesario volver a considerar el diseño. Esto es porque el ingeniero de mantenimiento que está de servicio hoy tiene que mantener los equipos como están funcionando hoy, y no como deberían estar o pueden que estén en el futuro.

### **8.3 EL PERSONAL IMPLICADO**

El proceso del RCM incorpora siete preguntas básicas. En la práctica el personal de mantenimiento no puede contestar a todas estas preguntas por sí mismos. Esto es porque muchas (si no la mayoría) de las respuestas sólo pueden proporcionarlas el personal operativo o el de producción. Esto se aplica especialmente a las preguntas que conciernen al funcionamiento deseado, los efectos de las fallas y las consecuencias de los mismos.

Por esta razón, una revisión de los requerimientos del mantenimiento de cualquier equipo debería hacerse por equipos de trabajo reducidos que incluyan por lo menos una persona de la función del mantenimiento y otra de la función de producción u operaciones, además de los especialistas en el tema.

La antigüedad de los miembros del grupo es menos importante que el hecho de que deben tener un amplio conocimiento de los equipos que se están estudiando. Cada miembro del grupo deberá también haber sido entrenado en los diferentes conceptos y el proceso del RCM.

Todo lo anterior es fundamental considerando que el mejoramiento del desempeño implica contribuciones en actitudes, organización, conocimiento, patrones culturales y resultados y a esto se le suma que el uso de estos grupos no sólo permite que los directivos obtengan acceso de forma sistemática al conocimiento y experiencia de cada miembro del grupo, sino que además reparte de forma extraordinaria los problemas del mantenimiento y sus soluciones.

### **8.3.1 Los Facilitadores**

Los grupos de revisión del RCM trabajan bajo la asesoría de un especialista bien entrenado en el RCM, que se conoce como un facilitador. Los facilitadores son el personal más importante en el proceso de revisión del RCM. Su papel es asegurar que:

- Que RCM sea aplicado correctamente (que se hagan las preguntas correctamente y en el orden previsto, y que todos los miembros del grupo las comprendan).
- Que el personal del grupo (el de operación y mantenimiento) consiga un grado razonable de consenso general acerca de cuáles son las respuestas a las preguntas formuladas.
- Que no se ignore cualquier componente o equipo.

- Que las reuniones progresen de forma razonable.
- Que todos los documentos del RCM sean diligenciados debidamente.

### 8.3.2 Los Auditores

Luego de terminar la revisión de cada elemento de los equipos importantes, la persona que tenga la responsabilidad total de la operación necesitará comprobar que ha sido hecha correctamente y que está de acuerdo con la evaluación de las consecuencias de las fallas y la selección de las tareas. No tiene que efectuar la intervención personalmente, sino que pueden delegarla en otros que en su opinión estén capacitados para realizarla.

Teniendo en cuenta que las actividades que se quieren hacer con la implementación de esta herramienta son de tipo “mejoramiento continuo” las cuáles de manera general pueden ser agrupadas en dos tipos:

Las **Actividades Reactivas** como son aplicar Análisis Causa Raíz (ACR) de manera que una vez ocurrido el incidente se pueda identificar la causa para atacarla de manera inmediata.

Las **Actividades Proactivas** como es aplicar la filosofía del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC o RCM por sus siglas en ingles), lo cual es menos tensionante y más efectivo en cuanto a la obtención de resultados no costosos y controlables.

Estos análisis permiten conocer el orden de implantación de las técnicas a usar, de manera que se pueda garantizar un impacto significativo en los sistemas estudiados.

Si fuese el caso del Análisis Causa Raíz/solución de problemas sería muy productivo de manera previa aplicar un Análisis de Oportunidades de Mejora y para el caso actual o en cuestión que es el del Mantenimiento Centrado en La Confiabilidad es importante realizar de manera anticipada un Análisis Funcional y un Análisis de Criticidad.

#### **8.4. LOS BENEFICIOS A CONSEGUIR POR “RCM”**

El RCM ha sido usado por una amplia variedad de industrias durante los últimos diez años. Cuando es aplicado correctamente produce los beneficios siguientes:

##### **8.4.1. Mayor seguridad y protección del entorno, debido a:**

- Mejoramiento en el mantenimiento de los dispositivos de seguridad existentes.
- La disposición de nuevos dispositivos de seguridad.
- La revisión sistemática de las consecuencias de cada falla antes de considerar la cuestión operacional.
- Claras estrategias para prevenir los modos de falla que puedan afectar a la seguridad, y para las acciones “a falta de” que deban tomarse si no se pueden encontrar tareas sistemáticas apropiadas.
- Menos fallas causadas por un mantenimiento innecesario.

#### **8.4.2. Mejores rendimientos operativos, debido a:**

- Un mayor énfasis en los requisitos del mantenimiento de elementos y componentes críticos.
- Un diagnóstico más rápido de las fallas mediante la referencia a los modos de falla relacionados con la función y a los análisis de sus efectos.
- Menor daño secundario a continuación de las fallas de poca importancia (como resultado de una revisión extensa de los efectos de las fallas).
- Intervalos más largos entre las revisiones, y en algunos casos la eliminación completa de ellas.
- Listas de trabajos de interrupción más cortas, que llevan a paradas más cortas, más fácil de solucionar y menos costosas.
- Menos problemas de “desgaste de inicio” después de las interrupciones debido a que se eliminan las revisiones innecesarias.
- La eliminación de elementos superfluos y como consecuencia las fallas inherentes a ellos.
- La eliminación de componentes poco fiables.
- Un conocimiento sistemático acerca de la operación.

#### **8.4.3 Mayor Control de los costos del mantenimiento, debido a:**

- Menor mantenimiento rutinario innecesario.
- Mejor compra de los servicios de mantenimiento (motivada por el énfasis sobre las consecuencias de las fallas).
- La prevención o eliminación de los costos de las fallas.
- Unas políticas de funcionamiento más claras, especialmente en cuanto a los equipos de reserva.
- Menor necesidad de usar personal experto caro porque todo el personal tiene mejor conocimiento de la operación.
- Pautas más claras para la adquisición de nueva tecnología de mantenimiento, tal como equipos de monitorización de la condición (“condition monitoring”).

**8.4.4. Más larga vida útil de los equipos,** debido al aumento del uso de las técnicas de mantenimiento “a condición”.

**8.4.5. Una amplia base de datos de mantenimiento,** que:

- Reduce los efectos de la rotación del personal con la pérdida consiguiente de su experiencia y competencia.
- Provee un conocimiento de las instalaciones más profundo en su contexto operacional.

- Provee una base valiosa para la introducción de los sistemas expertos.
- Conduce a la realización de planos y manuales más exactos.
- Hace posible la adaptación a circunstancias cambiantes (tales como nuevos horarios de turno o una nueva tecnología) sin tener que volver a considerar desde el principio todas las políticas y programas de mantenimiento.

**8.4.6. Mayor motivación de las personas,** especialmente el personal que está interviniendo en el proceso de revisión. Esto lleva a un conocimiento general de la instalación en su contexto operacional mucho mejor, junto con un “compartir” más amplio de los problemas del mantenimiento y de sus soluciones. También significa que las soluciones tienen mayores probabilidades de éxito.

**8.4.7. Mejor trabajo de grupo,** motivado por un planteamiento altamente estructurado del grupo a los análisis de los problemas del mantenimiento y a la toma de decisiones.

Esto mejora la comunicación y la cooperación entre:

- **Las áreas:** Operación así como los de la función del mantenimiento.
- **Personal de diferentes niveles:** los gerentes los jefes de departamentos, técnicos y operarios.
- **Especialistas internos y externos:** los diseñadores de la maquinaria, vendedores, usuarios y el personal encargado del mantenimiento.

Muchas compañías que han usado círculos de calidad y RCM, en mantenimiento han encontrado que el RCM les permite conseguir mucho más en el campo de la

formación de equipos que en la de los círculos de calidad, especialmente en las instalaciones de alta tecnología.

Todos estos factores forman parte de la evolución de la gestión del mantenimiento, y muchos ya son la meta de los programas de mejora. Lo importante del RCM es que provee un marco de trabajo paso a paso efectivo para realizarlos todos a la vez, y hace participar a todo el que tenga algo que ver con los equipos de los procesos.

Entonces, después de tan clara y precisa información se puede llegar a afirmar que el RCM es capaz de producir resultados muy rápidos. De hecho, la mayoría de las organizaciones pueden completar una revisión del RCM en menos de un año utilizando el personal existente. La revisión termina con una recopilación de la documentación, fiable y totalmente documentada del mantenimiento cíclico de todos los elementos significativos de cada equipo de la instalación.

Si el RCM es usado correctamente para volver a evaluar los requisitos de mantenimiento de los activos existentes, transformará ambos requisitos y la forma en que es percibida la función mantenimiento como operación total. El resultado es un mantenimiento menos costoso, más armonioso y más eficaz.

Además se puede afirmar que:

1. Los aspectos que caracterizan el entorno empresarial actual obligan a las organizaciones a ser cada vez más flexibles. Una de las formas de lograr esta tan demandada flexibilidad es mediante la aplicación de una metodología de mantenimiento que garantice que el equipamiento productivo de la empresa se encuentre en condiciones de desempeñar las funciones deseadas en su contexto operacional presente.

2. La actividad de planificación del mantenimiento en la empresa, exige rigor científico-técnico, pues de lo contrario queda en una buena intención que puede desacreditarla y provocarle problemas en el desarrollo posterior de su actividad productiva.

3. Se considera válida la inserción del procedimiento propuesto, en el árbol de decisión del MCC o RCM como una vía que permite convertir las consecuencias operacionales en consecuencias no operacionales, de forma que el modo de fallo no ejerza un efecto adverso sobre la capacidad operacional y que influya solamente en los costos de reparación.

Como se ha explicado en el desarrollo del presente capítulo, el objetivo principal del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad está en reducir el costo del mantenimiento en las empresas, para enfocarse en las funciones más importantes de los sistemas de las mismas, de tal forma que se puedan evitar o quitar acciones de mantenimiento que no sean estrictamente necesarias o que no agreguen ningún tipo de valor.

De manera complementaria, tiene como meta evitar o reducir las consecuencias de las fallas y no necesariamente evitar las fallas. Considerando que las consecuencias de las fallas son los efectos que estas tienen sobre:

- ✓ La seguridad del personal y de los equipos.
- ✓ El ambiente
- ✓ Las operaciones
- ✓ La economía del negocio
- ✓ La imagen de la compañía

A todos los beneficios anteriores se le suman los que pueden lograr los aportes hechos por Moubray y Snelock denominados RCM2\* y RCM+\* respectivamente,

quienes los definen de igual forma que el RCM, pero agregando términos que amplían de alguna manera su alcance: “Es un proceso usado para decidir lo que debe hacerse y asegurarse de que cualquier activo, proceso o sistema continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que haga” y “es un proceso o versión del rcm que permite superar las desventajas y problemas típicos del RCM tradicional, usándose con mayor efectividad en la industria de procesos” respectivamente.

Lo que los usuarios esperan de sus activos, es definido en términos de parámetros principales de ejecución, tales como producción, información, velocidad, alcance y capacidad de transporte. Cuando es pertinente, el proceso RCM2 también define lo que los usuarios quieren en términos de riesgo (seguridad e integridad ambiental), calidad (precisión, exactitud, consistencia y estabilidad), control, comodidad, contención, economía, servicio al cliente, entre otros.

El próximo paso en el proceso RCM 2 es identificar las formas en las cuales el sistema puede fallar en el cumplimiento de esas expectativas (estados de falla), seguidos por un FMEA (Failure Modes and Effects Análisis), (Análisis de los modos de Falla y de los Efectos), para identificar todos los eventos que son razonablemente las probables causas de cada estado de falla.

Finalmente, el proceso RCM 2 busca identificar una apropiada política del manejo de fallas para tratar cada modo de falla a la luz de sus consecuencias y características técnicas. Las opciones de la política del manejo de fallas incluyen:

- Mantenimiento predictivo
- Mantenimiento preventivo
- Búsqueda de fallas
- Cambio del diseño o configuración del sistema
- Cambio de la forma en que es operado el sistema
- Operarlo para que falle

El proceso RCM2 suministra normas poderosas para decidir si cualquier política de manejo de fallas es técnicamente apropiada. También suministra criterios precisos para decidir qué tan a menudo se deben realizar las tareas rutinarias. El fuerte énfasis sobre las expectativas del usuario es una de las muchas características del RCM 2, que lo distinguen de las interpretaciones de otros menos rigurosos de la filosofía RCM. Otra fortaleza es el uso de grupos de análisis RCM de funcionalidad cruzada de usuarios y personal de mantenimiento para aplicar el proceso. Con una cuidadosa capacitación, tales grupos son capaces de usar RCM2 para producir extraordinarios programas de mantenimiento con costos efectivos, aún en situaciones donde ellos tienen poco o ningún acceso a la información histórica.

La rigurosa aplicación del RCM2 transforma completamente la opinión que cualquier organización tiene de sus activos físicos. No sólo revoluciona opiniones acerca del mantenimiento sino que también conduce a un más amplio y más profundo conocimiento acerca de la forma cómo funcionan las cosas.

Desde el punto de vista de los negocios para los cuales el activo sirve, estos cambios son profundos y muy importantes. Ello significa que los activos se hacen más confiables porque son mantenidos en mejor forma, y los operarios probablemente harán menos cosas que ocasionen fallas en los activos. Una mejor comprensión de cómo funcionan los sistemas significa que los operarios están en capacidad de reaccionar rápida, confiada y correctamente, cuando las cosas funcionan mal. Capacidad muy valiosa, especialmente en instalaciones montadas de forma compleja, peligrosa y riesgosa.

En todos los casos, las personas que viven con la operación de los equipos diariamente son una valiosa fuente de información, ello lleva a la conclusión de que desde ambos puntos de vista – validez técnica y desarrollo de capacidad – es un error no involucrar a las personas con los activos directamente en la aplicación del proceso RCM.

RCM2 cumple con la norma SAE STANDARD JA1011 “Criterios de Evaluación para procesos RCM / Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad”. Y para lograr una mejor comprensión de cómo funciona el RCM2 se recomienda uno de los cursos ofrecidos por Soporte y Cía. Ltda., quien ha desarrollado un entendimiento de lo que se debe hacer para asegurar que el RCM sea correctamente aplicado por grupos de análisis multidisciplinarios.

Con todo lo anterior queda claro que la importancia del RCM2 y el RCM+ radica en que estas han agregado el uso de técnicas avanzadas que permiten que el desarrollo del RCM se haga de una manera muy práctica, rápida y cuantificada, basada en riesgo y optimizando los intervalos por costo riesgo. Que es precisamente lo que se va a hacer en el actual trabajo, en el que se ha intentado hacer una integración de las tres versiones de tal manera que los resultados sean lo más óptimos y efectivos posibles.

## **8.5. BUSCANDO LA EFECTIVIDAD DE LA TÉCNICA**

Como la mayoría de los nuevos conceptos, técnicas y filosofías, sino todos, el RCM ha tenido sus defensores y sus detractores, pero buscando una inclinación hacia la parte productiva de las industrias y buscando alcanzar resultados efectivos alejados de cualquier tipo de contratiempo o fracaso en la implementación de la filosofía RCM o MCC, cabe dejar claro, que es de gran importancia que el enfoque de trabajo en la empresa no debe estar solo en el mantenimiento, sino en la mejora de la empresa total, para lo cual es necesario que el RCM sea usado solo en la medida que la empresa lo requiera para mejorar lo que tenga que mejorar de tal forma que mejore la empresa como tal y no que se intente mejorar algunas áreas de la misma dejando de lado a otras, para ello se recomienda que de ser necesario se haga uso de cualquier otra herramienta auxiliar que contribuya al logro de los objetivos como son Análisis Funcional, Análisis de Criticidad, Herramientas de Optimización de Mantenimiento, etc.

“El **Análisis Funcional** tiene como propósito proveer un claro entendimiento de las funciones de una planta y la operación por un equipo multidisciplinario (propósitos de la planta) para incrementar la conciencia de temas críticos dentro de todos los aspectos de la planta (que pueden disminuir su desempeño de alguna manera), proveer una conciencia de la planta desde el punto de vista de negocios y proveer un diagrama de bloques simplificado de los procesos internos”.

“El **Análisis de Criticidad** permite identificar las áreas sobre las cuales se tiene un mayor impacto”.

“Las **Herramientas de Optimización de Mantenimiento** ayudan a justificar las principales decisiones a tomar con un enfoque costo riesgo, lo cual permite optimizar frecuencias de mantenimiento, inspección y búsqueda de fallas así como evaluaciones de proyectos y rediseños, optimización de partes de repuestos, análisis de ciclos de vida, etc.”

Considerando lo anterior es muy importante tener en cuenta algunas barreras del RCM clásico que pueden o no presentarse a la hora de la implementación y que en la mayoría de los casos va a depender de particularidades del personal a cargo o de la forma como sean entendidos los pasos o asimilada la misma metodología:

#### **8.5.1 Limitaciones de implementación del RCM clásico<sup>1</sup>:**

1. Dificultad en la definición de sistemas y funciones.
2. Dificultades en la creación de un plan jerarquizado de implementación.
3. Mala relación costo beneficio en más de un 40% de los sistemas evaluados.
4. Problemas en la definición de frecuencias optimas de mantenimiento, inspecciones, etc.
5. No trata los problemas de operación diaria, muy proactivo, pero sin embargo el día a día mata a muchas empresas. ¡Eliminando entre otras cosas el tiempo para las reuniones de RCM!

6. Los esquemas de reuniones cortas semanales y grupos de trabajo completos son muy difíciles de implementar.
7. Un plan de implementación global puede tardar muchos años y costar millones de dólares en empresas grandes.
8. Los resultados pueden tardar muchos años en materializarse.
9. Difícil de justificar económicamente en muchos casos.
10. Alta rotación de los gerentes y visión a corto plazo de los mismos dificulta la implementación.
11. Problemas con la comunicación de resultados.
12. Es difícil mantener equipos de trabajo durante largo tiempo.

A continuación se presentan de manera muy general algunas ideas o sugerencias que pueden ser tenidas en cuenta en momentos en que se presenten cualquiera de las anteriores situaciones problemáticas y que pueden dar una visión más amplia de cómo afrontarlas, resolverlas o al menos disminuir su impacto en la actitud del equipo de trabajo o del mismo personal involucrado y quizás hasta en la obtención de los resultados deseados, el cual sería el peor de los casos.

### **8.5.2 ¿Cómo superar dichos límites?**

1. Utilizar mejores técnicas para definir funciones y sistemas.
2. Utilizar un buen sistema de criticidad para establecer el plan de implementación, el sentido común no es suficiente.
3. La criticidad debe estar basada en riesgo y en tener una relación directa con indicadores económicos de la empresa.
4. Establecer planes de implementación de RCM solo para sistemas críticos.
5. Usar estrategias diferentes para los sistemas de baja criticidad, como el RCM en reversa o Reverse RCM.
6. Usar herramientas avanzadas para la optimización por costo riesgo de las frecuencias de mantenimiento e inspección, así como la evaluación óptima de partes de repuesto y la evaluación económica de los rediseños.

7. Usar herramientas de mejoramiento continuo para resolver los problemas operacionales diarios.
8. Tratar de obtener resultados a corto plazo sin sacrificar los objetivos a largo plazo, este será el combustible para quemar la visión a corto plazo gerencial.
9. Poseer siempre a la mano los resultados económicos de la implementación, para esto se han de desarrollar algunos indicadores de desempeño.
10. Generar planes de comunicaciones y recompensas que permitan mantener el momentum de los equipos de trabajo, este permitirá el comportamiento de la visión de la empresa.
11. Crear planes de mejoramiento que involucren todos los sectores de la empresa.
12. Recordar que el mantenimiento no es el único ingrediente que interviene en el desempeño de las empresas.
13. Mantener un ambiente triunfalista.
14. Crear planes de implementación flexibles, que no dependan de individualidades.
15. Usar el apoyo de consultores que evitaren cometer errores que son más costosos que la misma consultoría. Un buen servicio de consultoría es altamente rentable, factores de retorno elevados se han conservado el primer año.
16. No creer que implementación es solo cuestión de adiestramiento, ningún experto en algo sale solo de las aulas, imagínense un cirujano que solo ha tomado cursos, ¿le encargaría usted a él una operación de amígdalas?
17. Implementación es cuestión de práctica y experiencia, soporte externo le permitirá utilizar la experiencia de ellos y evitar errores en su empresa.
18. El enfoque esta en: ¡HACER LAS COSAS BIEN DESDE LA PRIMERA VEZ!
19. Tener planes de desarrollo en búsqueda de la experiencia empresarial, con indicadores de desempeño, metas a mediano, largo y corto plazo.
20. Involucrar la mayor cantidad de gente posible.

21. Recordar que no hay atajos para la excelencia, INOCENCIA, luego CONCIENCIA, luego ENTENDIMIENTO, luego COMPETENCIA y luego EXCELENCIA.

Considerando algunos aspectos mencionados en el desarrollo de este trabajo y otros aprendidos en el transcurso de la especialización; Gerencia de Mantenimiento, se puede afirmar que se requiere muchísimo más que intentar mejorar el mantenimiento, para lograr aumentar y mejorar considerablemente el desempeño de cualquier empresa, y con más razón, es difícil solo mejorar el mantenimiento sin el apoyo e intervención de los demás sectores de la empresa.

El RCM es una excelente filosofía que sirve de herramienta para analizar, evaluar y mejorar o para generar nuevas estrategias de mantenimiento en cualquier empresa, porque integra diversas áreas de la misma en proyectos de trabajo en equipos interdisciplinarios.

Nadie nunca ha mencionado que la implementación de alguna técnica, herramienta o filosofía, sea fácil, solo es cuestión de imprimirle el cuidado necesario para su éxito y efectividad. De esta manera el RCM debe ser aplicado en sistemas cuya criticidad lo amerite y no en aquellos en los que cualquier otra herramienta mucho más sencilla pueda resolver la situación problema presente.

El RCM no genera intervalos óptimos para la ejecución de los planes de mantenimiento, para ello se podría hacer uso de herramientas avanzadas (herramientas APT). El enfoque a usar por el RCM debe estar centrado en el negocio de la empresa, adoptado mediante un buen estudio de criticidad basado en riesgo y cuantificado de ser posible y necesario.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- BLOOM, Neil B. Reliability Centered Maintenance (RCM). USA: McGraw-Hill, 2005. ISBN: 0071460691 / 9780071460699.
- MORA GUTIERREZ, Alberto. Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios. Medellín: AMG, 2009.
- MORA GUTIERREZ, Luís Alberto. Mantenimiento predictivo, teoría de la predicción. Cartagena: UIS-UTB, 1999. 003.20288 / M827.
- MOUBRAY, Jhon. RCM II: Reliability Centered Maintenance. USA: Industrial Press Inc, 2001.
- PARRA MÁRQUEZ, Carlos Alberto. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Cartagena: UTB – UIS, 2001. 620.0046 / P259.
- PMI. Practice Standard For Project Management Risk, Versión 2008.