



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

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA E INDUSTRIAL  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL

# *Trabajo de Diploma*

**“Mantenimiento Basado en el Riesgo a la caldera de la UEB Recape VC David Díaz Guadarrama”**

**Autor:** Souangah Marc Curtis Kouassi

**Tutores:** M. Sc. José Ulivis Espinosa Martínez

Dra. C. Estrella María de la Paz Martínez

# *Resumen*



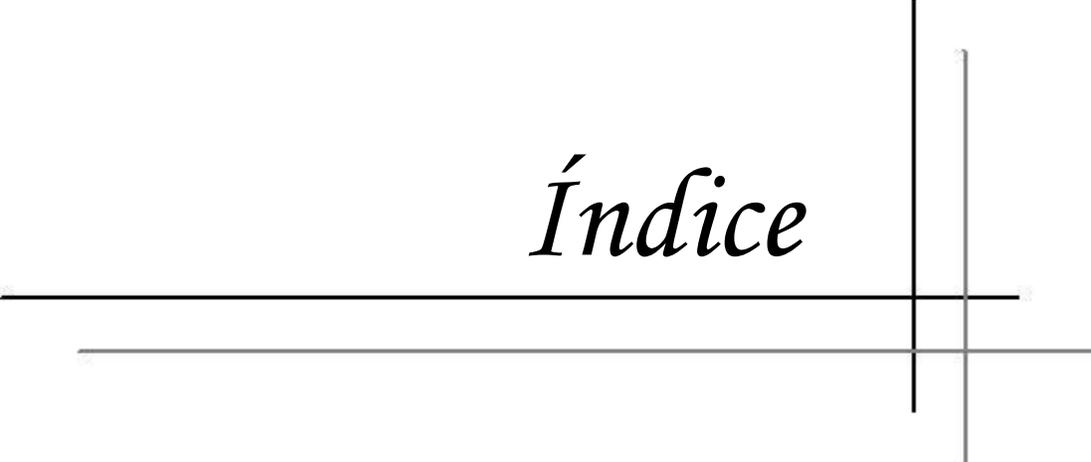
## **RESUMEN**

El trabajo presente se desarrolla en la Recapadora de neumático entidad de la UEB Recapadora de Villa Clara, donde se realiza el análisis de fallos a la caldera la cual es la que más ocasionan paradas en la producción y pueden llegar a afectar la salud de los trabajadores y contaminar al medio ambiente, empleando un procedimiento de Mantenimiento Basado en el Riesgo (MBR) para evitar las consecuencias de las fallas y minimizar su impacto. Como principales resultados de la investigación se arrojó que el procedimiento seleccionado posibilitó determinar los problemas que afectan el buen funcionamiento de la caldera, así como detectar las oportunidades de mejora que mayor impacto pueden tener en el incremento del desempeño de la Gestión de Mantenimiento en la entidad.

## **Summary**

The present work is developed in the Recapadora of pneumatic entity of UEB Recapadora of Villa Clara, where the analysis of failures is carried out to the boiler which is the one that causes more stops in the production and can affect the health of the workers And contaminate the environment, using a Risk Based Maintenance (MBR) procedure to avoid the consequences of failures and minimize their impact. The main results of the investigation were that the selected procedure made it possible to determine the problems that affect the proper functioning of the boiler, as well as to detect the opportunities for improvement that may have the greatest impact on the performance of Maintenance Management in the entity.

# *Índice*

A decorative graphic consisting of two horizontal lines and two vertical lines. The top horizontal line is solid black and extends from the left edge to the right edge. The bottom horizontal line is a lighter gray and is positioned below the top line. The two vertical lines are on the right side of the page, with the left one being solid black and the right one being a lighter gray. They intersect the horizontal lines.

# Índice

<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 1 .....</b>	<b>26</b>
1.1 Introducción.....	26
1. El mantenimiento .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
1.2.1 Definiciones de mantenimiento .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
1.2.2 Objetivos del mantenimiento .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
1.2.3 Funciones del mantenimiento.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
1.2.4 Evolución histórica del mantenimiento .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
1.2.5 Tipos de mantenimiento.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
1.3 Gestión del mantenimiento .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
1.3.1 Planificación.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
1.3.2 Organización .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
1.3.3 Ejecución.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
1.3.4 Evaluación y control .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
1.3.5 Normalización de los procesos de gestión del mantenimiento;	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
1.4 Sistemas de mantenimiento .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
1.5 Mantenimiento Basado en el Riesgo (MBR).....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
1.6 Mantenimiento en cuba .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
1.6.1. Mantenimiento basado en riesgo en Cuba .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
1.7 El Mantenimiento en el sector de la industria Cubana .....	26
1.8 Mantenimiento en el contexto de las empresas de la UEB Recape VC “David Díaz Guadarrama” .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
1.9 Conclusiones parciales .....	42
<b>CAPÍTULO 2 .....</b>	<b>44</b>

<b>Capítulo 2: Caracterización de la UEB Recape VC “David Díaz Guadarrama” aplicación del procedimiento de MBR seleccionado.....</b>	<b>44</b>
2.2 Caracterización de La UEB Recapadora Villa Clara .....	44
2.3. Descripción del área de mantenimiento.....	47
2.4. Descripción del proceso Sistemas Auxiliares .....	49
2.5 Aplicación del procedimiento de MBR seleccionado .....	51
2.6 Conclusiones parciales .....	57
<b>Conclusiones generales .....</b>	<b>60</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>62</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>46</b>
<b>Anexos</b>	

# *Introducción*



## INTRODUCCIÓN

Los sistemas e instalaciones industriales juegan un papel decisivo en los resultados de la producción no sólo en términos referentes a la cantidad de unidades producidas sino también en cuanto la calidad y costos de producción. Debido a los altos niveles de mecanización y automatización de los sistemas de producción actuales, el desempeño funcional de los equipos incide de forma determinante en el logro de producciones competitivas.

El mantenimiento es precisamente la actividad tecnológica destinada al aseguramiento del desempeño de los activos de producción y de hecho es el único paliativo para de una forma económicamente racional atenuar el ritmo de deterioro del estado técnico de los equipos.

La mayoría de las instalaciones y equipos accesorios mecánicos de las industrias presentan un proceso evolutivo paulatino de cambio del estado técnico hasta un estado de fallo desde una fase incipiente de formación hasta su debut manifiesto como una pérdida funcional.

Actualmente, el mundo se encuentra en un periodo de crisis energética, ya que dentro de algunos años, la producción mundial de petróleo convencional empezará a disminuir, al haber alcanzado actualmente el límite de producción (DOE/EIA 2013).

El desarrollo industrial en Cuba en la actualidad se ha modernizado y necesita de forma expedita y progresiva de mantenimientos dentro de sus actividades de administración con el fin de lograr la optimización, la eficiencia y eficacia de la producción con el ahorro y conservación de la energía.

Las industrias generadoras de bienes y/o servicios que poseen instaladas máquinas, herramientas para lograr su objeto social y empresarial, necesitan que estos se mantengan en un correcto estado de funcionamiento y disponibilidad, por lo cual las organizaciones empresariales deben procurar que la vida útil de sus equipos sea la máxima posible para cumplir con su razón de ser y desarrollar una planeación, control y supervisión ; lo cual se logra a través del mantenimiento industrial como una entidad de servicio a la producción. El mantenimiento dentro de la industria es el rector de la producción, sin mantenimiento no hay producción.

Es de suma importancia tener una visión a futuro, planificar y programar el mantenimiento para cubrir toda el área en el tiempo, sea a mediano o largo plazo y además reducir costos de

repuestos y materiales porque el desempeño de la empresa estará en la calidad de mantenimiento que se provea a cada uno de los elementos.

El mantenimiento ha sufrido varias transformaciones con la evolución de la tecnología; a los inicios era visto como actividades correctivas para solucionar fallas. Las acciones de mantenimiento eran realizadas por los operarios de las máquinas; con el desarrollo de las máquinas se organizan los departamentos de mantenimiento no solo con el fin de solucionar fallas sino de prevenirlas, actuar antes que se produzca la falla y garantizar eficiencia para evitar los costes por averías. El mantenimiento no debe verse como un costo si no como una inversión ya que está ligado directamente a la calidad y eficiencia.

A raíz del impacto que tiene el mantenimiento en la competitividad, es que ha tomado especial interés dentro de las organizaciones, por lo tanto, el mismo ocupa un lugar fundamental en los objetivos y procesos de actualización del modelo económico y social cubano.

Se ha realizado un estudio del sistema de trabajo en la UEB Recape VC “David Díaz Guadarrama”, perteneciente al MINDUS, cuya labor fundamental es el Recape en Caliente para toda la gama de neumáticos y Recape en Frío para neumáticos de transporte.

La Recapadora de neumáticos de transporte está inmerso en un proceso de crecimiento acelerado en la satisfacción del cliente y con el rol más importante en la economía nacional se encuentra urgida en el perfeccionamiento de su gestión de mantenimiento como parte de la implantación de un sistema de calidad total, que le permita satisfacer las exigencias de la sociedad y los consumidores para enfrentar los retos de la competencia con el ahorro de portadores energéticos.

El mantenimiento que se ha aplicado en la UEB ha incluido tareas preventivas y correctivas orientadas en sus inicios por el MINBAS. A partir del año 2013 con la nueva reestructuración de los ministerios pasa al MINDUS, el cual inicia como parte de su política con un diagnóstico el cual da como resultado regular, determinado por; carencia de una política que asegure el estado técnico, solo el 15,5 % de los problemas identificados, corresponden a la disponibilidad de recursos y falta de financiamiento, el 84,5 % de los problemas que se han diagnosticado son de planificación, organización, gestión del mantenimiento, capacitación y dirección. Es imprescindible, elaborar e implantar la

política de mantenimiento ajustada a las condiciones actuales de la política económica aprobada en el VI Congreso del PCC.

AL realizar un análisis de los sistemas de la UEB resalta que los sistemas auxiliares por la importancia dentro del proceso productivo, donde la mayoría de los equipos que intervienen en el proceso utilizan vapor y aire comprimido, lo que confirma su importancia y la necesidad de que su funcionamiento sea el adecuado ya que de fallar alguno de estos se detiene la producción, afectando la continuidad del proceso productivo, y la calidad de los neumáticos recapados.

Entre los equipos que mayor incidencia de rotura que presentan el sistema auxiliar y que causas mayores pérdidas al proceso productivo se encuentran:

- La Compact 100
- Las calderas
- Los compresores.

De estos tres equipos, la caldera es la que está presentando mayor dificultad según los reportes (un total de 22 imprevistos) del último año que se analizó. Esto ha traído consigo pérdidas en el proceso productivo (relacionadas con la materia prima y materiales), paradas del sistema (llámese tiempo), costo de reparación, daños al medio ambiente y en ocasiones daños a los operarios. Los elementos anteriormente expuestos constituyen la **situación problemática** identificada que fundamentó la investigación desarrollada.

### **Problema de la investigación**

¿Cómo lograr que en la caldera de la UEB Recape VC “David Díaz Guadarrama”, se garantice el buen funcionamiento, cumpliendo con los estándares de seguridad y evitando así la insatisfacción de los trabajadores?

### **Objetivo general**

Implementar un procedimiento de Mantenimiento Basado en el Riesgo a la caldera de la UEB Recape de Villa Clara

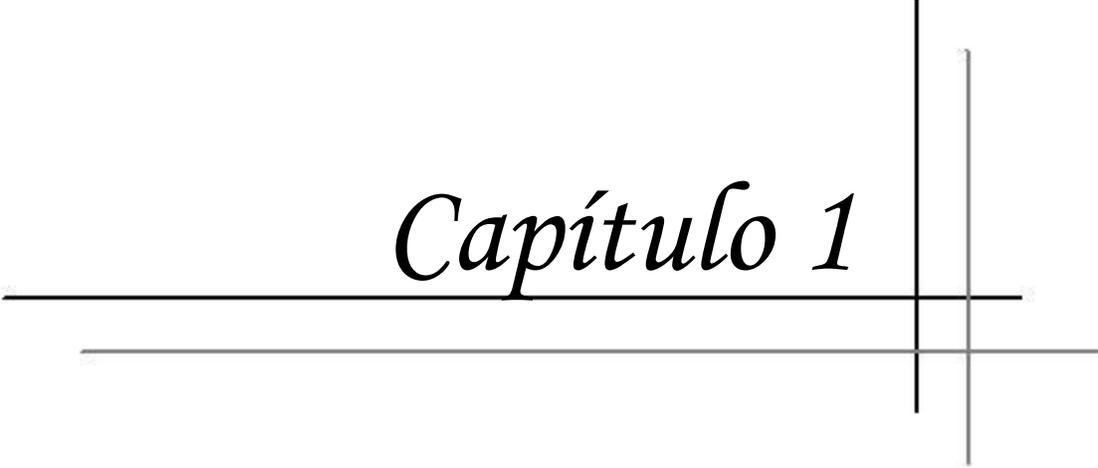
### **Objetivos específicos**

1. Seleccionar un procedimiento de Mantenimiento Basado en el Riesgo para el equipo objeto de estudio práctico de la UEB Recape de Villa Clara.

2. Aplicar el procedimiento seleccionado de Mantenimiento Basado en el Riesgo para el mantenimiento a la caldera de la UEB Recape de Villa Clara.

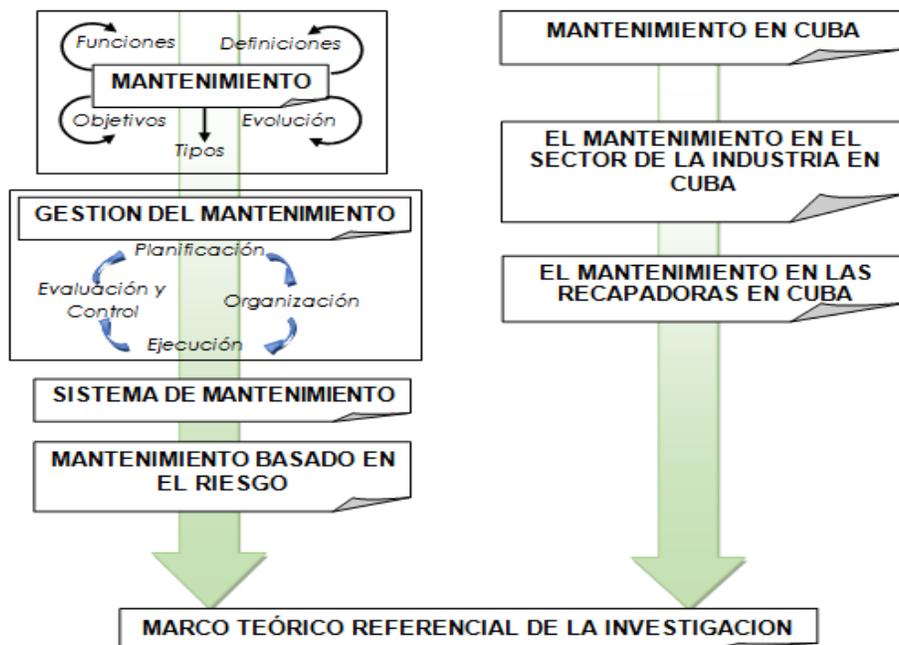
Los objetivos planteados se desarrollan en la tesis mediante la estructura lógica que se muestra a continuación: Capítulo 1: Revisión Bibliográfica de la Investigación; Capítulo 2: Caracterización de la entidad objeto de estudio, aplicación del procedimiento de MBR seleccionado, además, se muestran las principales conclusiones alcanzadas con el desarrollo del trabajo; un grupo de recomendaciones que contribuyen a desarrollar trabajos futuros que enriquezcan el resultado alcanzado, la bibliografía consultada y finalmente se expone un grupo de anexos de necesaria inclusión para fundamentar, destacar y facilitar la comprensión de los aspectos de mayor complejidad tratados en el cuerpo del documento.

# *Capítulo 1*



## 1.1 Introducción

El presente capítulo muestra un análisis crítico de la literatura especializada y otras fuentes, con vistas a precisar los principales aspectos conceptuales involucrados en la investigación, fundamentalmente con todo lo relacionado con el Mantenimiento Basado en el ahorro y administración de la gestión del mantenimiento a equipos y en este sentido se consultó bibliografía especializada y actualizada tanto nacional como internacional. Los temas fundamentales a tratar se resumen en el hilo conductor de la investigación que se muestra a continuación:



**Figura 1: Hilo conductor de la investigación.** Fuente: Elaboración propia

### 1.1. Generalidades del Mantenimiento

El término mantenimiento ha sido expresada por diversos autores como Knezevic (1996), Policarpo De Olivera (2003), Borroto-Pentón et al. (2005), Mora-Gutierrez (2012), García-Garrido (2012), Mostafa et al. (2015) los cuales coinciden en la mayoría de los elementos referidos a continuación. El mantenimiento es el conjunto de actividades dirigidas a conservar los equipos e instalaciones al menor costo posible durante un periodo

de tiempo determinado logrando así calidad, eficiencia y seguridad tanto de los trabajadores como del medio ambiente.

El autor de la presente investigación se identifica con la definición de mantenimiento presentada por De La Paz Martínez (2015a), donde plantea que el mantenimiento es la integración de las acciones técnicas, organizativas y económicas encaminadas a conservar o restablecer el buen estado de los activos, a partir de la observancia y reducción de su desgaste y con el fin de alargar su vida útil económica, con una mayor disponibilidad y confiabilidad para cumplir con calidad y eficiencia sus funciones, conservando el ambiente y la seguridad durante su ciclo de vida.

A lo largo de los años se ha demostrado que para desarrollar cualquier definición es de suma importancia especificar objetivos. Algunos de los objetivos del mantenimiento expuestos por autores como Torres (2005); Chusin (2008) y De la Paz Martínez (2015b), se exponen a continuación:

- Garantizar la máxima disponibilidad y la confiabilidad de los equipos e instalaciones.
- Satisfacer los requisitos del sistema de calidad de la empresa.
- Cumplir todas las normas de seguridad para evitar accidentes y mantener la conservación del medio ambiente.
- Maximizar la productividad y eficiencia.
- Prolongar la vida útil económica de los activos fijos.
- Conseguir estos objetivos a un costo razonable

### **1.1.1. Evolución histórica del mantenimiento**

La historia del mantenimiento como parte estructural de las empresas, data desde la aparición de las máquinas para la producción de bienes y servicios, inclusive desde cuando el hombre forma parte de la energía de dichos equipos (Mora-Gutiérrez, 2014). La actividad de mantenimiento se aplica como una herramienta para mantener los procesos de las empresas en el ámbito de los negocios, con la finalidad de incrementar la vida útil de

sus activos y optimizar los recursos favoreciendo la mejora continua (Alfonso Llanes (2009b).

El desarrollo vertiginoso de la tecnología ha planteado la necesidad de cambiar las filosofías tradicionales de trabajo y ha propiciado la aparición de una visión que pondera los resultados del mantenimiento en logro de la competitividad empresarial. El desarrollo y evolución histórica del mantenimiento ha sido fundamentado por los investigadores Moubray (1997), Alkaim (2003), Cardoso de Morais (2004), (García González-Quijano, 2004), García Garrido (2010), López-García (2013), Rodríguez-Díaz (2014), Broche-Hernández (2015), Llerena-Morera (2016). Los cambios acontecidos sobre mantenimiento han sido descritos a través de cinco etapas. Las cuales se reflejan a continuación:

1ª- Etapa: La más larga, desde la Revolución Industrial hasta después de la 2ª Guerra Mundial. En esta época la industria estaba poco mecanizada y por tanto los tiempos fuera de servicio no eran críticos, lo que llevaba a no dedicar esfuerzos en la prevención de fallos de equipos. Además, al ser maquinaria muy simple y normalmente sobredimensionada, los equipos eran muy fiables y fáciles de reparar, por lo que no se hacían revisiones sistemáticas salvo las rutinarias de limpieza y lubricación. En esta etapa el mantenimiento se ocupa sólo de arreglar averías (mantenimiento correctivo) (García-Garrido, 2012).

2ª- Etapa: Entre la 2ª Guerra Mundial y finales de los 70, este suceso provocó un fuerte aumento de la demanda de toda clase de bienes. Este cambio unido al acusado descenso en la oferta de mano de obra que causó la guerra, aceleró el proceso de mecanización de la industria. Conforme aumentaba la mecanización, la industria comenzaba a depender de manera crítica del buen funcionamiento de la maquinaria. Esta dependencia provocó que el mantenimiento se entrara en buscar formas de prevenir los fallos y por tanto de evitar o reducir los tiempos de parada forzada de las máquinas, se descubre la relación entre edad de los equipos y probabilidad de fallo Se comienza a hacer el mantenimiento preventivo.

3ª- Etapa: Surge a principios de los años 80. En esta etapa la maquinaria alcanzó mayor complejidad y se aumentó la dependencia de ellas. Aspecto que demandó la exigencia de productos y servicios de calidad (aparecen las certificaciones ISO 9001 e ISO 9002), considerando aspectos de seguridad y medio ambiente. Por lo que se empiezan a realizar

estudios causa-efecto para averiguar el origen de los problemas. Es el Mantenimiento Predictivo o detección precoz de síntomas incipientes para actuar antes de que las consecuencias sean catastróficas.

4ª- Etapa: Aparece en los primeros años de los 90. El mantenimiento se contempla como una parte del concepto de Calidad Total: «Mediante una adecuada gestión del mantenimiento es posible aumentar la disponibilidad al tiempo que se reducen los costos». Es el Mantenimiento Basado en el Riesgo (MBR). Se concibe el mantenimiento como un proceso de la empresa al que contribuyen también otros departamentos. Se identifica al mantenimiento como fuente de beneficios frente al antiguo concepto de mantenimiento como «mal necesario». La posibilidad de que una máquina falle y las consecuencias asociadas para la empresa es un riesgo que hay que gestionar, teniendo como objetivo la disponibilidad necesaria en cada caso al mínimo costo.

5ª- Etapa: Esta etapa está centrada en la terotecnología. Integra prácticas gerenciales, financieras, de ingeniería, de logística y de producción a los activos físicos buscando costos de ciclo de vida (CCV) económicos. Es aplicable en todo tipo de industria y proceso. El objetivo principal de su aplicación es mejorar y mantener la efectividad técnica y económica de un proceso o equipo a lo largo de todo su ciclo de vida. La quinta etapa define como objetivos plantear las bases y reglas para la creación de un modelo de la gestión y operación de mantenimiento orientada por la técnica y la logística integral de los equipos.

### **1.1.2. Funciones del mantenimiento**

Portuondo-Pichardo (1990) plantea que las funciones de mantenimiento caracterizan y de hecho justifican la existencia de una subdivisión de la empresa dedicada al mantenimiento. Al respecto describió las funciones básicas de mantenimiento desglosadas en primarias y secundarias. Las primeras referidas al mantenimiento, inspecciones, servicio de lubricación y protección contra la corrosión, recuperación y modificación de equipos, instalaciones y edificaciones. Las funciones secundarias incluyen la protección técnica y los medios técnicos para la limpieza tecnológica de equipos e instalaciones, los medios técnicos para la eliminación de desechos y la generación y distribución de algunas producciones auxiliares como energía eléctrica, vapor, aire comprimido, aire para

instrumentos y agua de enfriamiento. García-Garrido (2012) coincide con esta clasificación. A continuación, se detallan dichas funciones:

#### **Funciones primarias:**

- Mantener, reparar y revisar los equipos e instalaciones.
- Generación y distribución de los servicios eléctricos, vapor, aire, agua, gas, etc.
- Modificar, instalar, remover equipos e instalaciones.
- Nuevas instalaciones de equipos y edificios.
- Desarrollo de programas de Mantenimiento Preventivo y Programado.
- Selección y entrenamiento de personal.

#### **Funciones secundarias:**

- Asesorar la compra de nuevos equipos.
- Hacer pedidos de repuestos, herramientas y suministros.
- Controlar y asegurar un inventario de repuestos y suministros.
- Mantener los equipos de seguridad y demás sistemas de protección.
- Llevar la contabilidad e inventario de los equipos.
- Cualquier otro servicio delegado por la administración.

#### **1.1.3. Tipos de mantenimiento**

El mantenimiento no es, en manera alguna, un fenómeno estático; por el contrario es un concepto evolutivo (Gonzales-Silva, 1996) y durante la historia, se ha generado una infinidad de tipos, modelos o filosofías de mantenimiento, y se hace difícil conocerlas todas y aún más seleccionar la adecuada para emplear a una organización. Los tipos de mantenimiento básico según la literatura son el correctivo, preventivo y predictivo (Sotuyo Blanco, 2001, Torres, 2005, García-Garrido, 2010, Farfán Bertín, 2014, Silva Franco, 2015). Aunque menos tratado también se menciona el mantenimiento en uso que es la base del mantenimiento productivo total (Nakajima, 1988, Pérez-Jaramillo, 1992, Tobalina, 1992, Lezana, 1995, Ortiz-Álvarez, 2000, García-Garrido, 2010), otros tipos de mantenimiento son: condicional y cero horas, estos términos son usados por el autor García-Garrido (2010) y referenciados en Dumaguala-Encalada (2014). Es válido resaltar que el autor García-Garrido (2010) coincide con todas las definiciones anteriores. En la

Tabla 1.1 se muestra un breve resumen de las mismas según García-Garrido (2010), referenciado en Dumaguala-Encalada (2014)

Tabla 1.1. Resumen de tipos de mantenimiento

Tipos de mantenimiento	Concepto
<b>Mantenimiento en uso</b>	Es el más básico y consiste en una serie de tareas elementales como tomas de datos, inspecciones visuales, limpieza, lubricación, reapriete de tornillos.
<b>Mantenimiento condicional</b>	Es el tipo en el que si se descubren anomalías durante el mantenimiento en uso se programa una intervención, caso contrario no se actúa sobre el equipo.
<b>Mantenimiento correctivo</b>	Conjunto de tareas destinadas a la corrección del defecto cuando el equipo deja de operar se trata directamente de la reparación de averías.
<b>Mantenimiento preventivo</b>	Es el que se realiza a intervalos predeterminados con la intención de minimizar la probabilidad de fallo o degradación del equipo.
<b>Mantenimiento predictivo</b>	Es el tipo de mantenimiento más tecnológico, requiriendo de medios técnicos avanzados, y en ocasiones de un vasto conocimiento matemático, físico y/o técnico.
<b>Mantenimiento cero horas</b>	Esta revisión consiste en dejar como si el equipo fuera nuevo sustituyendo o reparando todos los elementos sometidos a desgaste.

**Fuente:** (Dumaguala-Encalada, 2014)

## 1.2. Gestión del Mantenimiento

Según la ISO 9000: 2015, la gestión no es más que el conjunto de actividades coordinadas para dirigir y controlar una organización. A partir de estas definiciones se puede entender

que para desarrollar una buena gestión es preciso conocer y haber definido el objetivo u objetivos a alcanzar. Según Manzini (2010), se puede definir la gestión del mantenimiento como “las actuaciones con las que la dirección de una organización de mantenimiento sigue una política determinada”

La gestión de una empresa se refiere a su administración, es decir al manejo de los recursos, a su planeación y a su control, mientras que la operación es la realización física del servicio del mantenimiento. Tanto la gestión como la operación son aspectos básicos necesarios a reconocer en el mantenimiento. El esquema moderno de mantenimiento implica la vinculación de herramientas propias de la gestión. El concepto integral se maneja desde la base de utilizar en forma eficaz y eficiente los factores productivos en forma individual y conjunta (Mora-Gutierrez, 2012, Broche-Hernández, 2015). La gestión de mantenimiento abarca el cumplimiento de un conjunto de funciones: la planificación, la organización, la ejecución y el control. En los apartados siguientes se profundiza en el contenido de cada una de estas etapas.

### **1.2.1. Planificación**

Se denomina planificación del mantenimiento al conjunto de actividades que, a partir de las necesidades de mantenimiento, definen el curso de acción y las oportunidades más apropiadas para satisfacerlas, identificando los recursos necesarios y definiendo los medios para asegurar su oportuna disponibilidad (Borroto-Pentón et al., 2005, Troya-Jorge, 2016). Es de destacar que en muchas organizaciones la planificación del mantenimiento ha tendido a depender de la experiencia y la percepción de los operadores y a ser manejada sensorialmente; se ha centrado en inspecciones cualitativas del estado de los equipos, debido a la dificultad para determinar cuantitativamente el estado de deterioro de los mismos, además de no ser constante, el considerable número de información que se ha de procesar. Esto trae un sinnúmero de problemas que es necesario enfrentar para mejorar la confiabilidad y eficiencia de los equipos. Esta tendencia es la que se conoce como planificación tradicional del mantenimiento (Hernández -Milia, 2010, Fernández -Llanes, 2011, León-Márquez, 2012).

### **1.2.2. Organización**

La organización es tal vez el área más desarrollada de la teoría administrativa, tiene dos vertientes fundamentales, una estática que es sinónimo de entidad u organización creada para alcanzar determinados objetivos, o colectivo de personas estructurado para la acción. La vertiente dinámica es la organización como función de dirección, que consiste en ordenar y armonizar los recursos humanos, materiales y financieros de que se dispone con la finalidad de cumplimentar un objetivo dado con la máxima eficiencia (Sánchez, 1999). Esta, por lo general, consiste en la programación de todas las actividades tendientes a optimizar la ejecución de un conjunto de tareas en un período generalmente establecido, distribuyendo frente a las necesidades derivadas de la carga de trabajo programable, los recursos con la finalidad de optimizarlos (Hernández -Milia, 2010, Fernández -Llanes, 2011, León-Márquez, 2012).

### **1.2.3. Ejecución**

Es el conjunto de actividades tendiente a realizar los requerimientos de mantenimiento, expresadas como trabajos específicos de cualquier tipo. Maneja la recepción de los programas o requerimientos en el caso de emergencias, la labor preparatoria de búsqueda de repuestos, herramientas, asignación del personal, instrucciones sobre procedimientos, así como la ejecución correcta de las tareas específicas del caso y la puesta en servicio del equipo o zona intervenida (Hernández -Milia, 2010, Espinosa-Fuentes, 2013b). Las tareas específicas en la ejecución del mantenimiento son las siguientes:

- Servicios técnicos: revisión, limpieza y fregado, lubricación, pruebas de regulación (ajustes y tolerancias perdidos por causas imprevistas) y conservación para la no operación.
- Protección contra la corrosión activa o pasiva: pintura y protecciones especiales.
- Inspecciones: controles del desgaste, revisión de los instrumentos de medición y revisión de los dispositivos de seguridad.
- Reparaciones: pequeñas, medianas y generales.

Existen tres maneras de llevar a cabo la ejecución del mantenimiento: por medios propios, por contratación, o una parte realizarla por contratación y el resto por medios propios, siendo esta última la opción más utilizada. La ejecución del mantenimiento por medios propios solo se justifica cuando el volumen de trabajo de mantenimiento asegura una adecuada utilización de personal calificado y de los recursos materiales, por lo que la empresa debe contar previamente con un personal calificado (Borroto-Pentón et al., 2005).

#### **1.2.4. Evaluación y control**

Una vez gestionados los recursos disponibles para llevar a cabo el mantenimiento es necesario evaluar el grado de cumplimiento de los objetivos marcados, comparándolo con las metas prefijadas. El control es una acción a ser realizada en forma constante en la organización, aunque existe una fuerte tendencia al autocontrol, utilizando mecanismos simples, sobre la base de los objetivos definidos, para un período determinado. Está basado en patrones de comparación preestablecidos, en consecuencia, será eficaz en la medida en que los resultados de su aplicación sean económicos y sirvan para tomar medidas de corrección. Todas ellas pueden resumirse en dos grandes grupos: medición de resultados a partir del cálculo y análisis de indicadores de mantenimiento (Adams, 2016, Barone, 2014, Castellanos-López, 2015) y valoración del desarrollo mediante control directo, principalmente a través de auditorías (Acosta Palmer, 2012, Mena Sánchez, 2016, Troya-Jorge, 2016).

#### **1.3. Sistemas de mantenimiento**

En la literatura especializada, han sido tratados indistintamente los sistemas de mantenimiento como políticas, estrategias o filosofías, métodos y tipos de mantenimiento. Lo más común en las denominaciones es el término de sistemas (González-Quijano, 2004, Rodríguez-Díaz, 2014) a lo largo de la historia en el desarrollo industrial se han empleado diferentes sistemas de mantenimiento en dependencia de las condiciones dadas. Entre los más identificados tradicionalmente se pueden mencionar:

- Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC).
- Mantenimiento Autónomo/Mantenimiento Productivo Total (TPM).
- Sistema Alternativo de Mantenimiento (SAM).

- Sistema de Mantenimiento Preventivo Planificado (MPP)
- Mantenimiento Basado en el Riesgo (MBR).

A continuación, se abordan los sistemas de mantenimientos antes mencionados:

### **Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC)**

El MCC se puede definir como un “método sistemático y estructurado para determinar el mantenimiento más adecuado a aplicar a una instalación para que ésta siga cumpliendo con las funciones para las que fue concebida y en su contexto operacional actual” (Moubray, 1997).

El RCM es una metodología que permite el diseño y optimización de los planes de Mantenimiento mediante el análisis de cada sistema, determinando cómo puede fallar funcionalmente y qué consecuencias pueden derivarse de esos fallos. Los efectos de cada modo de fallo se evalúan de acuerdo al impacto sobre la seguridad, el medio ambiente, la operación y el costo.

Se basa en la confiabilidad desde el diseño del equipo y su objetivo es preservarla durante el ciclo de la operación, el resultado busca obtener un programa de mantenimiento preventivo que logre los niveles deseados de seguridad y confiabilidad al mínimo costo posible. Es a través del programa preventivo que se logran detectar fallos incipientes y corregirlas antes de que ocurran o causen mayores efectos, igualmente busca reducir la probabilidad de fallo (Martínez-Giraldo, 2014, Dumaguala-Encalada, 2014, Espinosa-Fuentes, 2014, Mkandawirea, 2015).

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

El concepto de mantenimiento productivo total hay que situarlo en el contexto de una evolución del concepto de mantenimiento clásico y de una nueva filosofía de producción, es decir, el concepto de calidad total (Nakajima, 1991, Mobley et al., 2008,).

Conjunto de disposiciones técnicas, medios y actuaciones que permiten garantizar que las máquinas, instalaciones y organizaciones que conforman un proceso básico o línea de producción, pueden desarrollar el trabajo que tienen previsto en un plan de producción en constante evolución por la aplicación de la mejora continua. En este contexto el TPM

asume el reto de cero fallos, cero incidentes, cero defectos para mejorar la eficacia de un proceso, permitiendo reducir costos y stocks intermedios y finales, con lo que la productividad mejora. Teniendo así, como acción principal: cuidar y explotar los sistemas y procesos básicos productivos, manteniéndoles en su estado de referencia y aplicando sobre ellos la mejora continua (Rodríguez-Díaz, 2014, Castellanos-López, 2015, Kennedy, 2015, Chávez-Salazar y Espinoza-Giron, 2016).

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

El Sistema Alternativo de Mantenimiento se le concede gran importancia porque es el sistema para la organización, planificación y control del mantenimiento industrial y se caracteriza por integrar armónicamente más de uno de los sistemas de mantenimiento conocidos, en calidad de subsistemas del mismo caracterizado por su flexibilidad, aplicado en la industria mecánica, ligera y especialmente en la industria textil Cubana (Rodríguez-Machado et al., 2012, Velazquez-Pérez, 2014, Sosa-Martínez, 2016). En particular, el SAM incluye mantenimiento correctivo, mantenimiento preventivo y mantenimiento predictivo o por diagnóstico (De la Paz Martínez, 1996, Borroto-Pentón et al., 2005). Es importante señalar que de cierta manera el SAM se basa en el análisis de criticidad de los activos fijos. Como ha podido apreciarse hasta aquí, son muchas las denominaciones de las formas en que se pretende efectuar el mantenimiento a los activos fijos, todos expresan como hacer el mantenimiento (Tabares, 1999, Mora-Gutierrez, 2012).

### **Mantenimiento Preventivo Planificado (MPP)**

Este sistema representa un conjunto de medidas organizativas y técnicas dirigidas al cuidado, observación, mantenimiento y reparación de las máquinas y equipos. La base para la planificación son los datos sobre la duración y estructura del ciclo de reparaciones de las máquinas y equipos. El sistema establece que después de que cada equipo haya trabajado las horas reglamentadas, corresponde la realización de revisiones y de las reparaciones planificadas, conforme con el plan que comprende las reparaciones pequeñas, medianas y generales. Esto implica el establecimiento de un programa que se denomina ciclo de reparación, que consiste en el período entre dos reparaciones generales o, para el caso de equipos que inician su operación, al período entre su puesta en funcionamiento y la primera reparación general (Cuartas-Pérez, 2008, Rodríguez-Hernández, 2012,

Rodríguez-Díaz, 2014, Pérez-González, 2016, Sosa-Martínez, 2016, Chávez-Salazar y Espinoza-Giron, 2016, Zhang et al., 2016).

### **Mantenimiento Basado en el Riesgo (MBR)**

El mantenimiento basado en el riesgo es un proceso que identifica, evalúa y realiza un mapeo de los riesgos industriales (Mora-Gutierrez, 2012). El análisis de estos riesgos permite identificar los componentes que más influyen en el riesgo de la instalación, al punto de focalizar en ellos los esfuerzos de inspección, y definir el programa óptimo de inspección, en función de su influencia en el riesgo, determinándose el alcance, la periodicidad y la técnica de mantenimiento (Velazquez-Pérez, 2014).

Según Martínez-Giraldo (2014) y Espinosa-Martínez (2014) la metodología de mantenimiento basado en el riesgo se desarrolla en tres módulos principales:

- La determinación del riesgo, que consiste en la identificación y estimación del riesgo.
- La evaluación del riesgo el cual considera los criterios de valoración para la comparación con los criterios de aceptación.
- La planeación del mantenimiento considerando los factores de riesgo.

El enfoque de mantenimiento basado en el riesgo complementa una estrategia alternativa para minimizar el impacto resultante de averías o fallos.

#### **1.4. Mantenimiento Basado en el Riesgo**

En la actualidad en el sector industrial mundial se utilizan metodologías de mantenimiento, con resultados satisfactorios, pero dadas las exigencias del entorno es necesario desarrollar procedimientos con una perspectiva amplia, que considere la incorporación de las nuevas tecnologías de monitoreo y que analicen el riesgo de los posibles eventos y consecuencias asociadas, de tal forma que tengan una menor afectación a los usuarios Martínez-Giraldo (2014). A continuación, se describe un grupo de metodologías encontradas en la literatura consultada:

- Según Vesely et al. (1994) esta propuesta se basa en la evaluación probabilística del riesgo, conocido por sus siglas en inglés como-PRA, el cual es útil para realizar la priorización del mantenimiento. Consiste en la identificación de situaciones importantes que permitan priorizar los mantenimientos a partir de la relación de dos variables, una

determina la importancia del equipo a ser mantenido dentro de la instalación y la otra determina el impacto que se producirían si el mantenimiento no se lleva a cabo de manera efectiva.

- Según Vaurio (1995) propone un procedimiento sistemático para determinar exactamente el intervalo de pruebas y mantenimiento relacionando la seguridad de los equipos y sus componentes. La medida del riesgo es el tiempo promedio de la tasa de accidentes. Se modelan como eventos básicos los fallos en componentes, las causas más comunes de fallo y los errores humanos, la probabilidad de fallo es función de los intervalos de prueba y mantenimiento.
- Según Khan y Abbasi (2000) la metodología planteada utiliza el análisis del árbol de fallos, conocido por sus siglas en inglés como-FTA, y se basa en la construcción de un árbol hipotético de eventos con sucesos iniciadores. Dentro de las ramas se asignan otros sub-eventos, propagando el fallo, dando origen a la causa principal del evento. Ha sido una técnica utilizada tradicionalmente en la identificación de riesgos en las instalaciones nucleares y las empresas de energía, combinando el peligro potencial de fallo y la probabilidad de ocurrencia, es de las técnicas más utilizadas ya que estima la frecuencia y probabilidad de accidente o fallos. La articulación sistemática del árbol de fallos está asociada con la asignación de probabilidades a cada fallo. El ejercicio es también llamado a veces la evaluación del riesgo probabilística.
- Inspección Basada en Riesgo: está fundamentada en las normas API (580/581, 2008) y permite caracterizar el riesgo asociado a los componentes estáticos de un sistema de producción sometidos a corrosión, con base en el análisis del comportamiento histórico de fallos, modos de degradación o deterioro, características de diseño, condiciones de operación, mantenimiento, inspección y políticas gerenciales tomando en cuenta al mismo tiempo la calidad y efectividad de la inspección, así como las consecuencias asociadas a las potenciales fallos. El objetivo fundamental del RBI es definir planes de inspección basados en la caracterización probabilística del deterioro y el modelaje probabilístico de la consecuencia de un fallo (caracterización del riesgo). Esta metodología se basa en las siguientes fases que a continuación se presentan:

**Fase I:** Estimación del riesgo, teniendo en cuenta una estimación de las consecuencias de cada fallo y la probabilidad de que ese fallo se produzca, que incluye la utilización de Análisis de Árbol de Fallos (FTA).

**Fase II:** Evaluación del riesgo, definiendo un nivel de riesgo aceptable y comparando los riesgos estimados de cada fallo con ese valor.

**Fase III:** Planificación del mantenimiento, optimizando el plan de mantenimiento para reducir la probabilidad de los fallos que sobrepasan el criterio de aceptación, reduciendo así su riesgo.

- Según Khan y Haddara (2003) proponen una nueva metodología para la inspección y el mantenimiento basado en el riesgo. Integra la evaluación cuantitativa de los riesgos y la evaluación con técnicas de análisis de confiabilidad. La intervención de los equipos se realiza con la determinación de la prioridad basada en el riesgo total considerando elementos económicos, de seguridad y medio ambiente, a partir de estos resultados se desarrolla un plan de mantenimiento para reducir el riesgo no tolerable.
- Según González-Quijano (2004) esta metodología se encuentra compuesta por seis secciones en las cuales se abordan los métodos para identificar los mecanismos de degradación más probables y para desarrollar escenarios en los cuales se combina la evaluación de la probabilidad de fallo y de las consecuencias del fallo. A través del modelo Bow tie utiliza el árbol de fallos y el árbol de eventos o sucesos para concluir con la evaluación de cómo desarrollar la valoración del riesgo e identificar nuevas actividades de inspección y mantenimiento.
- Krishnasamy et al. (2005) presentan una metodología para el MBR compuesta por cuatro etapas, dígase, identificación del equipo y su estructura, identificación de los riesgos, evaluación de riesgos y programación del mantenimiento. La metodología, permite estimar el riesgo causado por una fallo inesperada en función de la probabilidad y la consecuencia de la fallo. Se requiere de una identificación y clasificación de los equipos críticos para valorar el riesgo y lograr llevarlo con medidas de control a un nivel aceptable. La intervención de los equipos se realiza de acuerdo a la prioridad en

tiempo, la cual determina la confiabilidad de la unidad constructiva o conjunto de equipos, lo que ayuda a reducir el riesgo general de la subestación.

- Rodríguez-Díaz (2014) el siguiente procedimiento consta de seis fases abarcando elementos, según la nueva norma (ISO 31000, 2015) y estudios anteriores como el de González-Quijano (2004) , deben tenerse en cuenta en estudios que se realice sobre el mantenimiento basado en el riesgo. Además, el autor realiza un estudio pormenorizado de las diferentes técnicas existentes para realizar estudios de este tipo, y deja abierta, a las condiciones específicas de cada entidad, el empleo de una u otra herramienta.
- Martínez-Giraldo (2014) según este autor la metodología de mantenimiento basado en el riesgo se desarrolla en tres módulos principales: la determinación del riesgo, que consiste en la identificación y estimación del riesgo; la evaluación del riesgo, el cual considera los criterios de valoración para la comparación con los criterios de aceptación; y por último la planeación del mantenimiento, considerando los factores de riesgo.
- Espinosa-Martínez (2014) el siguiente autor propone un procedimiento que está compuesto por tres etapas donde cada una contiene dos fases, en la primera se conforma el grupo de trabajo y selecciona el equipamiento, en la segunda se estima el riesgo y en la tercera se planifica el mantenimiento. Para desarrollar cada una de estas etapas se emplean herramientas para identificar y calcular el nivel de probabilidad de riesgo, se utilizan técnicas estadísticas, y se apoya en la metodología de González-Quijano (2004), junto con la evaluación y control para concluir con el estudio.

Después de haber analizado las metodologías sobre mantenimiento basado en el riesgo, de los autores citados anteriormente, es posible concluir que todas se basan en las tres fases fundamentales planteadas por la metodología de la Inspección Basada en el Riesgo, dígase: estimación del riesgo, evaluación del riesgo y la planificación y optimización del mantenimiento, exceptuando la de Rodríguez-Díaz (2014) que se basa en la norma (ISO 31000, 2015).

Después de un análisis de las metodologías consultadas, se decide aplicar el procedimiento de Espinosa-Martínez (2014).

#### **1.4.1. Mantenimiento basado en el riesgo en Cuba**

Acerca del mantenimiento basado en el riesgo, en Cuba se ha incursionado muy poco. Las aplicaciones sobre este tema son escasas. Se tienen como referencia las investigaciones desarrolladas por (Fernández -Llanes, 2011, Polo-Salgado, 2011, y Aguilar del Oro, 2012 ). Los autores mencionados proponen una metodología basada principalmente en el FMEA. Realizan su aplicación en las empresas Combinado de Productos Lácteos, Empresa Agropecuaria Militar “Cuba Soy” y Empresa Mecánica “Indalecio Montejo” de Ciego de Ávila respectivamente. Se debe señalar que estas propuestas no tienen en cuenta el cálculo del Número de Prioridad de Riesgo (NPR) para priorizar las causas. Sobre la jerarquización de las causas es sobre las cuáles habrá que actuar para evitar que se presenten los modos de fallo, por lo que superar esta deficiencia sería de gran importancia para facilitar la toma de decisiones. Además, se tiene la investigación realizada por (Lander-Tomas, 2015) aplicada en la en la Unidad Básica Textil “Desembarco del Granma” de Villa Clara en la que sí se utiliza el NPR para priorizar las causas.

En la investigación de Rodríguez-Díaz (2014) se realiza un estudio de riesgos para la industria electroquímica ya que esta posee características específicas puesto que trabajan con reactivos químicos, altamente corrosivos, explosivos, abrasivos y contaminantes. En el caso mencionado el nivel de riesgos es elevado y por tanto deben estar bien identificados y administrados para evitar consecuencias adversas no solo para la producción sino también para las personas y el medio ambiente. Por otro lado Pérez-González (2016) propone un mantenimiento basado en riesgo a través de un árbol de fallos en el Hotel Playa Cayo Santa María.

#### **1.7 El Mantenimiento en el sector de la industria Cubana**

Desde el inicio del año 2005 algunos sectores de la economía comenzaron a rescatar y establecer sus propios Sistemas de Gestión de Mantenimiento, como es el caso de los antiguos ministerios, Ministerio de la Industria Básica (MINBAS) y el Ministerio de la Industria Sidero-Mecánica, y otros diseñaron de manera incipiente procedimientos y normas que establecen de alguna manera como organizar el mantenimiento industrial.

Por citar ejemplos, ha faltado en casi todos los sistemas, procedimientos y normas que aseguren el control del cumplimiento de los planes de mantenimiento, así como de los

análisis de las averías ocurridas y el control de la calidad. Esta situación ha provocado que se acumulen incumplimientos del plan de mantenimiento sin ningún seguimiento a su ejecución, casi siempre sin un responsable de las causas que provocan que el mantenimiento no se ejecute en el momento en que se planificó, y también que ocurran averías y no se analicen sus causas, así como en el control de la calidad de los mantenimientos la cual no se controla y en el mejor de los casos no se hace con rigor. (Mantenimiento, 2014)

La política a formular reviste una importancia cardinal para la eficiencia y competitividad futura de la industria cubana, constituye un imprescindible punto de partida para la elaboración de una política de mantenimiento efectiva y su impacto será determinante para el éxito y la sostenibilidad de la misma. Su magnitud y complejidad demanda una especial atención de los cuadros, los especialistas y el apoyo del sector académico, atendiendo al origen multicausal de los problemas a enfrentar.

### **1.9 Conclusiones parciales**

- El “estado de la práctica” evidenció que el Sistema de Gestión de Mantenimiento en el MINDUS se rige por el Manual que no es aplicado correctamente; por lo que es necesario establecer un sistema de mantenimiento que garantice la estabilidad del equipamiento en el proceso por concepto de paradas y consumo energético; en correspondencia con los objetivos planteados en la resolución económica del VI Congreso del Partido de lograr el fortalecimiento institucional.
- Al analizar las metodologías planteadas por diferentes autores para la realización de planes de Mantenimiento Basado en el Riesgo se considera que el más apropiado es el de (Martinez 2014) la cual se fundamenta en la Norma API 581, complementada con las experiencias prácticas en la aplicación de estudios de criticidad en plantas de proceso y diversas instalaciones industriales en empresas de Villa Clara.



# Capítulo 2

## CAPÍTULO 2

### **Capítulo 2: Caracterización de la UEB Recape VC “David Díaz Guadarrama” aplicación del procedimiento de MBR seleccionado.**

#### 2.1 Introducción

Para dar solución al problema de la investigación planteado, se define en este capítulo la caracterización de la entidad objeto de estudio y como respuesta a las conclusiones parciales arribadas en el Capítulo 1, se realiza la aplicación del procedimiento de Mantenimiento Basado en el Riesgo seleccionado.

#### **2.2 Caracterización de La UEB Recapadora Villa Clara**

La empresa de La Goma, en forma abreviada POLIGOM, es una empresa cubana fundada el 21 de abril del 2005, comprometida con la Revolución y las tareas que respaldan la defensa del país, está integrada al grupo Empresarial de la Industria Química y en este momento subordinada al Ministerio de la Industria (MINDUS), la misma tiene presencia en 5 provincias del país mediante UEB recapadoras. La UEB Recape de Villa Clara se encuentra ubicada en la Carretera Central, entre Danielito y Libertadores, en la ciudad de Santa Clara. POLIGOM surge debido a la contribución de importaciones del país.

Además brinda servicios de comercialización de neumáticos y otros productos de caucho así como el servicio de recauchutado, soportados en tecnología no muy avanzada pero en vísperas de la misma. Su estructura organizativa parte desde el grupo empresarial de la

Industria Química como célula principal de la gestión empresarial, lo que propicia la atención personalizada e integral a sus clientes. Sus trabajadores forman equipos profesionales que buscan soluciones creativas a los problemas que puedan presentarse. El sentido de pertenencia, la motivación y un clima laboral de confianza y respeto caracterizan el desempeño de la UEB Recape de Villa Clara que descansan en los valores que unen a sus trabajadores. Su cultura empresarial se fundamenta en la orientación al servicio, al rigor y al detalle.

La UEB Recape de Villa Clara se dedica fundamentalmente al Recape de neumáticos en caliente para toda la gama de neumáticos y Recape en Frío para los neumáticos de transporte. Estas producciones están destinadas a satisfacer las necesidades de nuestros clientes AZCUBA, MINAGRI, MINFAR, MITRANS entre otros.

El principal proveedor de materias primas es UEB Conrado Piña de La Habana y de otros suministros: Minorista de alimentos V.C, Copextel y Gases Industriales.

La Filosofía de trabajo de la UEB Recape de Villa Clara para el próximo período estratégico se sustenta en los siguientes pilares:

- Enfoque político – ideológico
- Compromiso con la Revolución y la Defensa de la Patria como principio irrenunciable
- Orientación económica de las decisiones
- La participación de cada área de la UEB Recape de Villa Clara para lograr el objetivo final: Cumplir con la Misión
- Búsqueda de niveles crecientes de eficiencia y productividad
- Efectiva colaboración y diálogo de forma horizontal entre los cuadros de la empresa

Tiene como objeto social, producir y comercializar neumáticos y otros productos de caucho, así como brindar servicio de recauchutado. Está conformada por las UEB: Conrado Piña, las UEB productoras de neumáticos: Nelson Fernández, Julio Antonio Mella, las Recapadoras de Neumáticos, Venta y Aseguramiento. Las 5 Recapadoras de neumáticos quedaron distribuidas por todo el país de la siguiente forma: Recape Habana, Recape Villa Clara, Recape Camagüey, Recape Holguín y Recape Santiago de Cuba.

La UEB Recape V.C “David Díaz Guadarrama” objeto de estudio tiene como misión contribuir a la sustitución de importaciones del país, cumpliendo con eficiencia y eficacia nuestros compromisos de neumáticos recapados, que satisfagan las necesidades requeridas por nuestros clientes en: calidad, precio, surtido y asistencia técnica; y su visión es ser un proveedor confiable que mejora continuamente la calidad de sus productos y servicios haciéndolos más competitivos además de ser eficiente y eficaces para promover el bienestar, la calidad de vida, el desarrollo de su personal y contribuir al cuidado del ecosistema.

Su capital humano está compuesto por 119 trabajadores para el cierre del mes de Mayo de 2015 de una plantilla aprobada de 120 trabajadores, lo que representa un nivel de ocupación del 99.16%; de los cuales 31 son mujeres y 88 hombres. Por categorías ocupacionales se encuentra dividida de la siguiente forma:

La **Política de la Calidad** de nuestra entidad está enfocada a entregar neumáticos recapados en caliente y frío que satisfagan las necesidades y expectativas de nuestros clientes a un precio de mercado justo. Estos propósitos están incorporados a los objetivos de desempeño de la organización y para alcanzarlos aseguramos que todo el personal está dotado de la formación y de los recursos necesarios. La UEB ha implementado un Sistema de Gestión de la Calidad de acuerdo con los requisitos de la NC ISO 9001:2008 para asegurar que los niveles de calidad se cumplan y se mejoren continuamente. La alta dirección de la UEB se compromete a:

- Cumplir los requisitos pactados con los clientes, los legales y reglamentarios aplicables;
- Prevenir la contaminación asociada a nuestras actividades y servicios así como minimizar los riesgos en materia de seguridad y salud en el trabajo;
- Mejorar continuamente la eficacia del Sistema de Gestión de la Calidad.

La UEB Recape VC cuenta con 5 grupos (ver anexo 1): Contable Financiero, Recursos Humanos, Aseguramiento, Mantenimiento y Seguridad Interna; 2 Áreas: Operaciones y Comercial; y el Taller de Recape el cual cuenta con 3 turnos de trabajo.

La estructura organizativa de la UEB se muestra en la Figura #1, donde el Director de la UEB dirige el trabajo de forma directa a los jefes de grupos y áreas, exceptuando al Jefe de grupo de Mantenimiento y al Jefe de taller de Recape que responden a un jefe de área de

Operaciones. Y el caso de los jefes de Brigada que son subordinados directos al jefe de taller de Recape.

La sede principal de la UEB se encuentra ubicada en la Carretera Central, entre Danielito y Libertadores, en la ciudad de Santa Clara, Villa Clara, Cuba. Posee además otros emplazamientos, situados en áreas aledañas al centro como son el Área Comercial y almacenes de Productos terminados.

Las condiciones naturales del entorno que rodean a los emplazamientos mencionados son desfavorables, dado fundamentalmente por encontrarse en la ciudad muy cerca de viviendas.

Valores que nos unen

- Lealtad: Actuamos de manera desinteresada, transparente y veraz. Creemos en la dirección de nuestra empresa.
- Responsabilidad y Disciplina: Actuamos con total entrega al trabajo. Somos puntuales, respetuosos y organizados.
- Excelencia: Ejecutamos nuestro trabajo con calidad. Mantenemos el máximo aprovechamiento de la jornada laboral. Desarrollamos la innovación y la creatividad.
- Profesionalidad: Mantenemos una superación permanente. Somos rigurosos en el enfoque y solución de los problemas.
- Amor: Trabajamos con alegría y entusiasmo. Tenemos un alto sentido de pertenencia.

### **2.3. Descripción del área de mantenimiento**

El departamento de mantenimiento tiene un sistema organizativo de mantenimiento basado en lo establecido en el sistema único de mantenimiento del MINBAS, el cual establece:

- El mantenimiento por parada total de la fábrica
- El mantenimiento preventivo planificado

Se establece con carácter obligatorio la elaboración anual del mantenimiento, aprovechándose las paradas que se realizan en la fábrica por falta de materia prima

Se realiza una programación del trabajo diario de mantenimiento compuesta fundamentalmente de los planes operativos mensuales, los imprevistos y las solicitudes de trabajo de otras áreas.

Mantenimiento Preventivo Planificado (MPP): Es el mantenimiento que se realizan mediante acciones, a intervalos predeterminados, con el propósito de reducir la posibilidad de que la condición técnica del equipo caiga por debajo de un nivel requerido de aceptabilidad y de seguridad para la integridad del mismo, puede ser de dos formas:

Directo: Cuando se refiere al conjunto de medidas dirigidas a prevenir fallos desde su desarrollo inicial en los equipos. Se lleva a cabo después de un cierto número de horas de operación.

Indirecto: Cuando se basa en la inspección sistemática y/o monitoreo de las condiciones de operación del equipamiento instalado

Ciclos de Mantenimiento: Método de aplicación del Mantenimiento Preventivo Planificado ( MPP ), que se aplica en aquellos equipos de complejidad técnica apreciable, o de gran importancia en el proceso productivo, donde el mantenimiento se establece por intervenciones tipificadas y distribuidas dentro de un ciclo. Cuando el equipo llega al número de horas establecidas se realiza la intervención de mantenimiento correspondiente.

Mantenimiento pequeño: Es el Mantenimiento en que se realizan cambios de algunos componentes de corta vida, se cambian lubricantes y se eliminan los defectos detectados durante la operación, como salideros de agua, vapor lubricantes y gases, limpieza de superficie de calentamiento, revisiones de sistemas de regulación y de protección, revisión ligera de partes eléctricas; como interruptores, etc. así como acopiar información para próximos mantenimientos.

Mantenimiento por ciclo natural: Mantenimiento que se aplica a equipos de poca complejidad técnica o relativa poca importancia para el proceso productivo, se efectúan cada cierto periodo de tiempo previamente establecido para cada equipo.

Mantenimiento mediano: Es el Mantenimiento en que se realizan reparaciones y sustituciones de piezas de mayor duración, así como la ejecución de trabajos más complejos que en la categoría anterior.

Mantenimiento general: Esta categoría implica la ejecución de mayores volúmenes de trabajos y consume mayores cantidades de recursos materiales humanos y de tiempo. En él se cambian o reparan conjuntos o bloques completos de elementos, y se sustituyen piezas de larga vida de duración, cuyo objetivo es alcanzar los parámetros de diseño en cuanto a la Confiabilidad, eficiencia y capacidad, pudiendo incluso mejorarlo.

#### **2.4. Descripción del proceso Sistemas Auxiliares**

Los sistemas auxiliares son de vital importancia en la realización del proceso productivo, pues la mayoría de los equipos que intervienen en el proceso utilizan vapor y aire comprimido, lo que corrobora su importancia y la necesidad de que su funcionamiento sea el adecuado ya que de fallar alguno de estos requerimientos se detiene la producción, afectando la continuidad del proceso productivo, y la calidad del neumático recapado. Este sistema como se muestra en el anexo 2 está compuesto por:

##### **Aire comprimido**

Existen dos compresores reciprocantes de doble etapa con enfriamiento intermedio. Uno opera y el otro de reserva. El aire se produce a  $15\text{kgf/cm}^2$  y se utiliza en todos los equipos del proceso. Se divide en dos líneas, una de alta, que se usa en el interno de los neumáticos en prensas y la línea de baja a  $8\text{kgf/cm}^2$  que se usa en toda la instrumentación, o sea se mantiene uno de ellos trabajando y otro en mantenimiento suministrando aire a las válvulas reguladoras de vapor y a los diferentes equipos del proceso.

La cantidad de aire suministrada por el compresor está regulada por un sistema de descarga automático. La finalidad de este sistema es la de descargar el compresor suspendiendo la compresión cuando la presión en el depósito de aire ha alcanzado un nivel predeterminado.

El aire al ser comprimido en los cilindros se calienta y para disipar este calor, los cilindros llevan camisas de agua de refrigeración. Para esto se dispone de un sistema de enfriamiento que debe garantizar que la temperatura del agua sea menor de  $35^\circ\text{C}$  a la entrada del compresor. El agua a la salida del compresor tendrá una temperatura aproximada de  $45\text{-}50^\circ\text{C}$ ; esta agua caliente es bombeada a la torre de enfriamiento y de aquí a una cisterna que vuelve a alimentar la sala de compresores; de no entrarle el agua

necesaria a los compresores, automáticamente se detiene el compresor teniendo que parar toda la fábrica, de ahí la importancia de esta agua de enfriamiento.

En la fábrica existen dos depósitos con el objetivo de almacenar el aire, y amortiguar las pulsaciones que aun procedan del amortiguador primario y regular la carga y descarga del compresor. De los depósitos, el aire va a la línea para los equipos.

### **Calderas**

Esta área está destinada a suministrar el vapor que se necesita en el proceso productivo para diferentes usos, principalmente para agente energética para la cocción de la goma, tanto en las prensas de Recape como en los moldes, además de otros servicios. El sistema está compuesto por dos calderas del tipo ENSAC 100 BPH de fuego, compactas y automatizadas. El agua que se alimenta a la caldera circula por el interior de los tubos de calefacción, absorbe el calor necesario hasta convertirse en vapor saturado. El vapor al salir de la caldera va a un distribuidor y de allí pasa por un paso reductor compuesto por una válvula autorreguladora con su respectivo bypass.

### **Tratamiento de agua**

El objetivo de esta operación es disminuir las incrustaciones que tiene lugar en la superficie de intercambio de calor en la Caldera, disminuyendo la dureza y por tanto obteniendo un agua suave pero cuidando que esto pudiera traer consigo la corrosión. Esta operación se realiza en dos suavizadores cargado con resina Woffatit tipo KPS. Este proceso consiste en poner en contacto el agua con el material del suavizador. El agua se alimenta por gravedad de diez tanques con una capacidad de 500 Gls. Cada uno los cuales se llenan con agua cruda proveniente de una cisterna de 108 m<sup>3</sup>. El agua tratada se envía a una cisterna y esta se utiliza para reponer el agua de retorno en el tanque de alimentación a Caldera. El tanque de agua suavizada esta interconectado al tanque de condensado de forma tal que se mantenga siempre el nivel de agua para mantener constante el suministro de agua a la Caldera. El tratamiento de suavización del H<sub>2</sub>O no es más que el proceso que se logra por medio del intercambio de los iones sodios que contiene la resina, por los de calcio y magnesio que posee el agua.

### **Interconexiones**

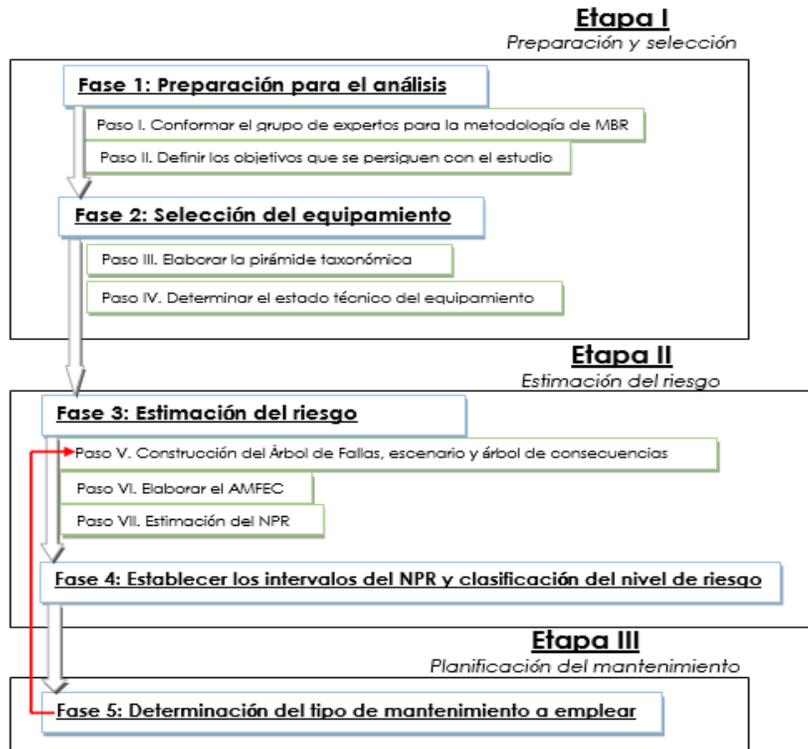
Con lo expuesto anteriormente queda claro que existe una estrecha interrelación entre los sistemas auxiliares antes mencionados y los equipos del proceso tecnológico que son grandes consumidores de aire y de vapor.

Por tanto y con vistas a lograr que la calidad del producto final no se afecte es de vital importancia lograr mantener los parámetros de operación de estos sistemas en condiciones óptimas.

Igual sucede con el sistema de tratamiento de agua y suavizamiento que son los encargados de garantizar la calidad del agua que va a ser utilizada en la generación de vapor, la cual requiere de un nivel cero de dureza del agua que se utilizara en ellas ya que la presencia de sales disueltas en esta agua pueden provocar incrustaciones en el interior de las calderas lo que traería como consecuencia la pérdida de calor y la presencia de corrosión en el interior de las mismas, disminuyéndose consecuentemente la eficiencia operacional en la generación de vapor, la cual es de vital importancia ya que la gran parte de los equipos que intervienen en el proceso productivo consumen vapor el cual se hace indispensable para el correcto funcionamiento de los mismos, por ejemplo en la compact 100 en la cual se reblandece la banda de goma que se adhiere al neumático, así como en las prensas, vulca y otros equipos en los cuales se hace imprescindible el uso de vapor.

## **2.5 Aplicación del procedimiento de MBR seleccionado**

Para darle cumplimiento al objetivo de la presente investigación, se aplicará el procedimiento de Mantenimiento Basado en el Riesgo propuesto por (Martinez 2014), donde las etapas que lo conforman se muestran en la figura 2.1.



**Figura 2.1** Procedimiento a seguir para la ejecución del plan de mantenimiento basado en el riesgo. **Fuente:** (Martinez 2014).

### **Fase 1: Preparación para el análisis**

Para el análisis de esta fase es necesario desarrollar los pasos siguientes:

#### **Paso I. Conformar el grupo de trabajo para la metodología de MBR**

El tamaño del grupo de expertos se definió mediante el procedimiento propuesto por **Hurtado de Mendoza (2003)** que se muestra en el anexo 3.

En la tabla 2.1 se muestran algunos datos de los especialistas que conforman este grupo de trabajo en la empresa objeto de estudio. El proceso de selección se desarrolló teniendo en cuenta que los mismos tuvieran suficientes conocimientos sobre el tema a tratar y experiencia en la tarea, de manera que garantizaran resultados consecuentes con el objetivo perseguido.

**Tabla 2.1: Relación de los expertos seleccionados.**

<b>Nro.</b>	<b>Nombre</b>	<b>Año de experiencia</b>
1	<b>Susana Cruz Quintana</b>	30
2	<b>Barbará Alonso Rodríguez</b>	10
3	<b>Iván Artiles Astelarra</b>	12
4	<b>Yisel Vino Gallardo</b>	5
5	<b>Yuliet Gomez Franco</b>	10

## **Paso II. Definir los objetivos que se perciben en el estudio.**

En este paso, se deben definir claramente los objetivos que se persiguen con el estudio que se va a realizar, ya que su definición condicionará el alcance del análisis MBR, así como facilitará el proceso ya que se garantiza que el grupo de trabajo entienda y acepte las condiciones bajo las cuales acometerán su labor.

El líder del equipo o el facilitador (en este caso es la especialista en mantenimiento), prepara el plan de trabajo para llevar a cabo la aplicación del MBR a la caldera del sistema auxiliar de la UEB objeto de estudio práctico y precisar como objetivos del mantenimiento:

1. Garantizar la máxima disponibilidad de la caldera al mínimo costo posible.
2. Mejorar la fiabilidad del servicio teniendo en cuenta las horas de funcionamiento del equipamiento, calidad del servicio, seguridad de las personas, buen rendimiento energético y mínimo deterioro ambiental. Todos estos conceptos son medibles de la siguiente forma:
  - Horas de funcionamiento: según el programa de trabajo, se definen las horas de funcionamiento anual, previstas y ejecutadas.
  - Calidad del servicio: teniendo en cuenta si el fallo del equipo afecta la calidad del servicio (nivel de afectación de la calidad que conlleva al fallo del equipo).
  - Seguridad de las personas: la eficacia de la seguridad se mide teniendo en cuenta el índice de ocurrencia de accidentes (cantidad de accidentes en un período dado de tiempo) y en el índice de gravedad de estos (si los efectos son graves o si proporcionan algún tipo de riesgo a los trabajadores).

- Buen rendimiento energético: traducido en la eliminación de las pérdidas de energía que incrementan los costos de operación.
3. Prolongar la vida útil de la caldera.
  4. Contribuir a la comodidad y el mantenimiento de las condiciones ambientales.
  5. Cuidar la imagen de la institución desde el punto de vista del entorno físico.

Los límites de aplicación están relacionados con la fase 2, paso III, el cual se mostrará en la pirámide taxonómica, se definirá la jerarquía a seguir. Llevando al equipo seleccionado que de no funcionar correctamente pudieran ocasionar la parada de la producción e inclusive afectar la salud de los trabajadores del centro y llegar a contaminar el medio ambiente.

## **Fase 2. Recolección y validación de datos e información**

### **Paso III. Elaborar la pirámide taxonómica.**

La jerarquía técnica para los equipos de la planta se muestra en la siguiente figura.



Figura 2.2. Jerarquía técnica para los equipos de la planta representada a través de la pirámide taxonómica.

Como se puede apreciar en la figura 2.2 esta muestra hasta donde se realizó el estudio de la presente investigación, el cual se enfocará en el estudio de la caldera dentro del sistema auxiliar por ser esta la de mayor importancia dentro del proceso de la UEB, al fallar la

misma se detiene todo el proceso, incurriendo en pérdidas tanto de índoles materiales como financieras de la empresa.

#### **Paso IV. Determinar el estado técnico de los equipos**

Para el análisis del estado técnico de los equipos se le aplicó, a los equipos que conforman el sistema auxiliar, la Guía para elaborar el diagnóstico del estado técnico de las máquinas, equipos e instalaciones tecnológicas, la lubricación y la organización y limpieza de la industria, expedida por el Ministerio de Industrias en febrero del 2013 (ver anexo 4).

#### **Fase 3. Estimación del riesgo**

El riesgo puede ser definido como la combinación entre la probabilidad de que ocurra un determinado evento o fallo y la consecuencia (generalmente negativa) asociada con ese fallo o evento.

El análisis de probabilidad de falla en un programa de MBR se realiza para estimar la probabilidad de la ocurrencia que genere una consecuencia adversa. Para esto es necesario aplicar el paso V.

#### **Paso V. Construcción del Árbol de Fallas, escenario y árbol de consecuencias**

En la siguiente figura se muestra como quedara la construcción del árbol de fallas, escenario y árbol de consecuencias para cada modo de fallo, los demás se muestran en el anexo 5.

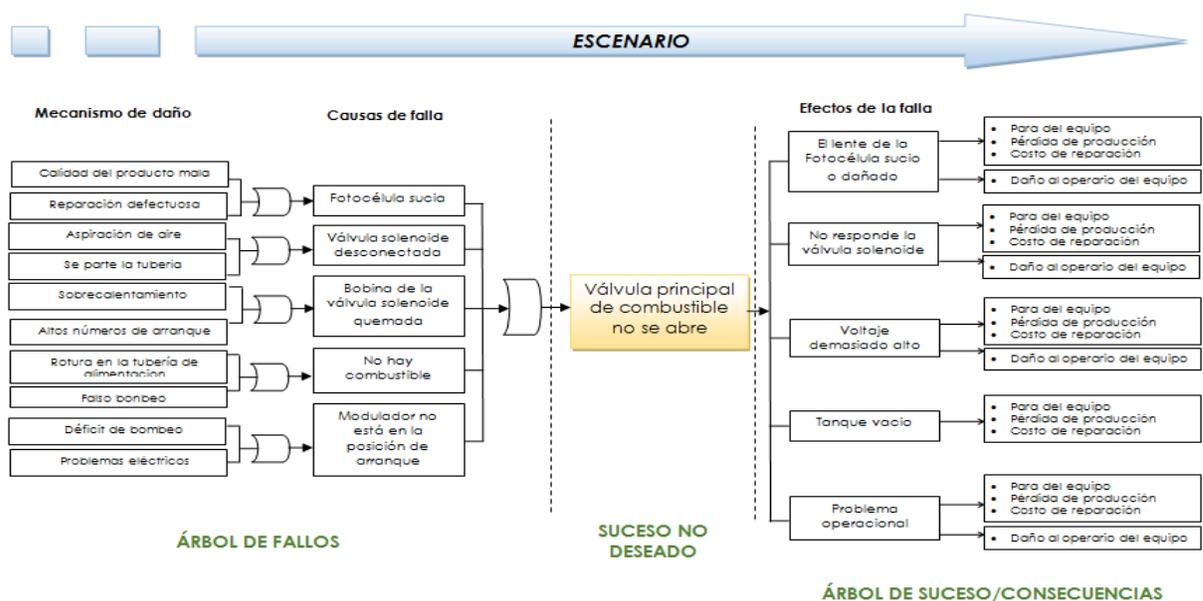


Figura 2.3. Ejemplo del árbol de fallas, escenario y árbol de consecuencias

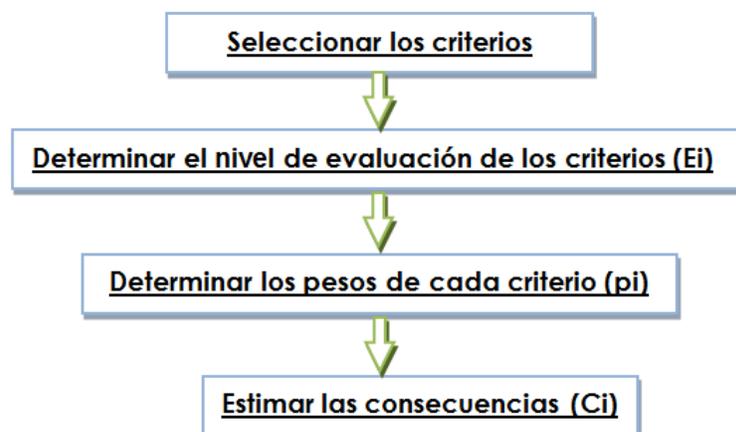
### **Paso VI. Elaborar el AMFEC.**

Para la estimación del riesgo se construye el AMFEC (ver anexo 6 hasta la columna detección de la falla), como se puede apreciar la estimación se realizará de forma cualitativa por lo que para lograr la correcta elaboración del AMFEC se analizan con anterioridad el árbol de fallas, el escenario y el árbol de consecuencias de cada equipo seleccionado en la fase V. La técnica del Árbol de Fallas es una de las más usadas para estimar la frecuencia de ocurrencia de eventos no deseados en sistemas con varios componentes.

La utilización de este método de análisis de riesgos permite un conocimiento exhaustivo de las relaciones causa-efecto existente entre los diversos fallos posibles del sistema.

### **Paso VII. Estimación de los NPR**

La determinación de los NPR, se determina a través de la multiplicación de las consecuencias por la probabilidad de fallo. Para estimar las consecuencias se siguen los pasos de la figura 2.4. El grupo de expertos seleccionó los criterios siguientes: seguridad física, operacional, medio ambiente y no operacional. Dichos criterios son evaluados y a su vez se le asigna un peso por el método de ordenación simple (anexo 5). Por último son estimadas las consecuencias utilizando la formula mostrada en el anexo 5. Mientras que la probabilidad del fallo, solo se determina por la multiplicación de la frecuencia por la detección de forma cualitativa (anexo 7).



## Figura 2.4 Procedimiento para estimar las consecuencias

Para establecer el nivel de prioridad del riesgo (NPR), se puede observar en el anexo 6 en la columna de Valoración AMFEC, determina por la multiplicación de las consecuencia determinadas en el paso anterior, por la multiplicación de la frecuencia y la ocurrencia (que se determinan como se muestra en el anexo 8), y como su clasificación quedando determinada por el grupo de trabajo como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 2.3. Clasificación del riesgo de cada modo de fallo.

%	Riesgo
$\leq 7\%$	Aceptable
$>7\%$ al $\leq 25\%$	Admisible
$>25\%$ al $\leq 70\%$	Tolerable
$>70\%$	Inadmisible

### **Fase 5: Determinación del tipo de mantenimiento a emplear**

La planificación del tipo de mantenimiento que se debe aplicar al componente asociado al modo de fallo correspondiente se realiza a través del esquema desarrollado por (García González-Quijano 2004) que se muestra en el anexo 9 y queda definido para los componentes en las últimas tres columnas del anexo 6 y de forma general para cada equipo el tipo de mantenimiento a realizar de manera que se minimice la probabilidad de falla.

La figura 2.4 muestra el diagrama de barra correspondiente a los resultados de la columna de riesgo del anexo 6, para indicar las cuatro zonas que caracterizan el análisis de riesgo elaborado a la caldera.

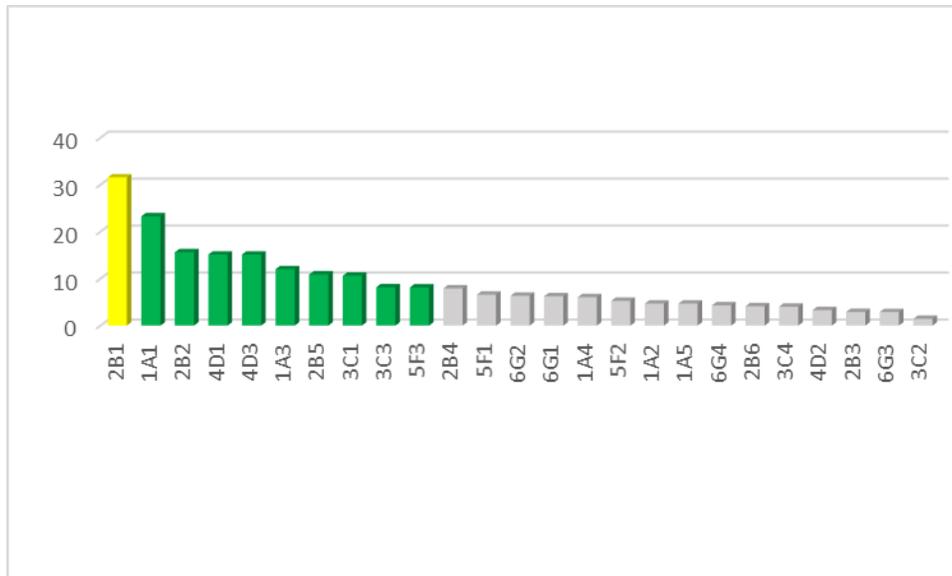


Figura 2.4. Diagrama de barra, zona que caracterizan el análisis de riesgo.

## 2.6 Conclusiones parciales.

1. En la UEB el sistema de Mantenimiento Preventivo Planificado empleado no permite garantizar en su totalidad los objetivos que se le exige para este tipo de trabajo pues presenta problemas que afecta el desempeño adecuado del proceso generación de vapor, por lo que se hace necesario implementar estrategias de mejora en su planificación para los equipos.
2. El procedimiento de mantenimiento basado en el riesgo se ajustó a las condiciones existentes en la UEB, ayudando así a la toma de decisiones sobre las actividades de mantenimiento a aplicar según la criticidad de los fallos que pueden ocurrir en los equipos objeto de estudio.

*Conclusiones*

A decorative graphic consisting of two horizontal lines and two vertical lines. The top horizontal line is solid black and passes through the word 'Conclusiones'. The bottom horizontal line is a lighter gray. The two vertical lines are also lighter gray and intersect the horizontal lines on the right side of the text.

## **Conclusiones generales**

1. El estudio de la Revisión Bibliográfica de la investigación ratifica la existencia de una extensa base conceptual sobre el mantenimiento y sus aplicaciones, sin embargo, son insuficientes los precedentes sobre el tratamiento del Mantenimiento Basado en el Riesgo en empresas cubanas, específicamente en la Industria del Recape.
2. La aplicación del procedimiento de Mantenimiento Basado en el Riesgo seleccionado en la UEB Recape VC David Díaz Guadarrama, permitió determinar los problemas que afectan la producción, así como detectar las oportunidades de mejora que mayor impacto pueden tener en el incremento del desempeño de la Gestión de Mantenimiento en la entidad.
3. Los resultados alcanzados en la presente investigación facilitará central la mayor atención en el equipo más críticos del sistema auxiliar, con el ahorro y el aumento en la seguridad que ello conlleva, facilitando así identificar el mantenimiento optimo a partir del riesgo y el diagrama de decisión seleccionado.

# *Recomendaciones*

---

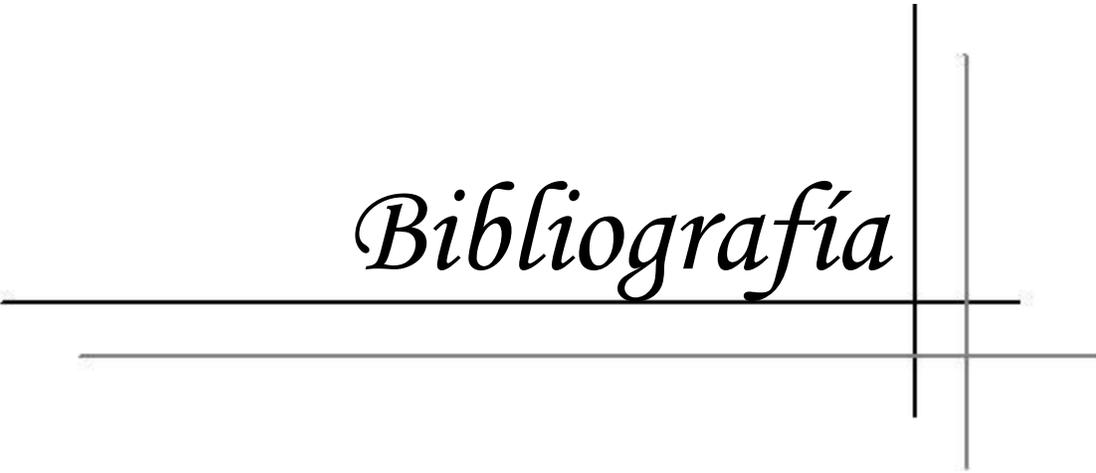
---



## **Recomendaciones**

1. Presentar al consejo de dirección de la UEB Recape VC David Díaz Guadarrama la investigación con el objetivo de lograr su aprobación y así poder extenderlas al resto de los equipos de la UEB, analizando la factibilidad de su implantación y considerando las modificaciones que en cada caso pudieran ser necesarias.
2. Realizar un plan de capacitación para el personal de mantenimiento con vistas a adiestrarlos en el tema objeto de estudio para alcanzar mejores resultados en las actividades de mantenimiento.
3. Establecer un sistema de información en la UEB que permita recolectar los datos necesarios para realizar un análisis estadístico de la frecuencia necesaria para llevar a cabo las actividades de mantenimiento propuestas.

# *Bibliografía*



## Bibliografía

---

1. Acosta Palmer, H. R. (2012). Auditoría y Evaluación de la Gestión de la Calidad en el Mantenimiento. Centro de Estudios en Ingeniería de Mantenimiento, CEIM – ISPJAE.
2. Adams, J. S. (2016). Towards Dynamic Criticality -Based Maintenance Strategy for Industrial Assets University of Combridge , Institute for Manufacturing. España.
3. AENOR (2002). Instrucciones para la instalación, manejo, mantenimiento, revisiones e inspecciones de las plataformas elevadoras móviles de personal (PEMP). N. U. 58921-IN.
4. Aguilar Del Oro, Y. (2012). Procedimiento para la determinación del tipo de mantenimiento a partir del Análisis de Riesgo. Aplicación en la empresa mecánica Indalecio Montejo de Ciego de Ávila. Santa Clara, Cuba, UCLV. **Trabajo de Grado presentado para optar al título de Ingeniero Industrial.**
5. API, N. (2003).
6. API, N. (2008).
7. Balda, A. (2006). Plan de Inspección Basada en Riesgo para Equipos Estáticos de una Instalación de Procesamiento de Hidrocarburos., Universidad Simón Bolívar. **Trabajo de Postgrado.**
8. Barone, G. F. and M. Dan (2014). Life-cycle maintenance of deteriorating structures by multi-objective optimization involving reliability, risk, availability, hazard and cost. Department of Civil and Environmental Engineering, Engineering Research Center for Advanced Technology for Large Structural Systems (ATLSS Center), Lehigh University, 117 ATLSS Dr., Bethlehem, PA 18015-4729, USA.
9. .
10. Borroto Pentón, Y. (2005). Contribución al mejoramiento de la gestión del mantenimiento en hospitales en Cuba. Aplicación en hospitales de la provincia Villa Clara. . Santa Clara, Cuba, UCLV. **Tesis en opción al grado científico de Doctora en Ciencias Técnicas**
11. Castellano Lopez, I. (2015). Selección del tipo de mantenimiento a aplicar al equipamiento del Gran Hotel “Los Helechos”. CASTELLANOS LÓPEZ, I.

2015. Selección del tipo de mantenimiento a aplicar al equipamiento del Gran Hotel “Los Helechos”, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. **Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de: Ingeniero Industria**

12. Chavez Salazar, H. E. G. and R. Edu (2016). Propuesta de implementación de un plan de mantenimiento preventivo para aumentar la disponibilidad de los equipos de la planta de alimentos de la empresa Minera la Zanja SRL.
13. De la Paz Martinez, E. (2015). Ingeniería de confiabilidad. Material complementario del curso del mismo nombre. Maestría en Ingeniería industrial. Instituto Tecnológico Superior de Misantla, Edo. Veracruz, México.
14. De la Paz Martínez, E. M. (1996). Perfeccionamiento del sistema de mantenimiento en la Industria Textil Cubana. Aplicación en la Empresa Textil "Desembarco del Granma". . Santa Clara. Cuba UCLV **Tesis en opción al grado científico de Doctora en Ciencias Técnicas.**
15. Diaz Valdivia, L. M. (2014). Evaluación del mantenimiento en la destilería de la UEB “Derivados Heriberto Duquesne”. Cuba, UCLV. **Tesis presentada en opción al título de Ingeniero Industrial.**
16. DOE/EIA (2013).
17. Dumaguala Encalada, E. M. (2014). Gestión e implementación del plan de mantenimiento en los laboratorios del área de Ingeniería Mecánica en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Departamento de Mecánica. Ecuador, Universidad Politécnica Salesiana.
18. Dumaguala Encalada, E. M. (2014). Gestión e implementación del plan de mantenimiento en los laboratorios del área de Ingeniería Mecánica en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, Universidad Politécnica Salesiana. **Tesis de Diplomado.**
19. Espinosa Fuentes, F. (2013). "Gerenciar el mantenimiento". . Universidad de Talca.
20. Fernández Llanes, R. (2011). Procedimiento para determinar el tipo de mantenimiento a partir del Análisis de Riesgo. Santa Clara, Cuba, Universidad Central Marta Abreu de las Villas. **Trabajo de diploma para optar por el título de Ingeniero Industrial.**
21. García Garrido, S. (2012). Ingeniería de Mantenimiento. Manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento. Madrid.

22. García González-Quijano, J. (2004). Mejora en la confiabilidad operacional de las Plantas de Generación de Energía Eléctrica: Desarrollo de una metodología de Gestión de Mantenimiento Basado en el Riesgo (RBM) Madrid, España, Escuela Técnica Superior de Ingeniería. Universidad Pontificia Comillas. **Tesis presentada para optar por el Título Académico de Máster en Gestión Técnica y Económica en el Sector Eléctrico.**
23. Gónzales Silva, C. A. (1996). Manual de mantenimiento de los servicios de Salud: Instalaciones y bienes de equipos. Washington D.C, Organización Panamerica de la Salud.
24. González Rocha, A. M. and L. Mora Ballesteros (2006). Modelo Gerencial de Mantenimiento para la Planta Manufacturas de Cemento S.A. . Bucaramanga, Colombia Escuela de Ingeniería Mecánica. Universidad Industrial de Santander. **Trabajo de grado para optar por el título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento.**
25. Hernández Milia, R. (2010). "Procedimiento para la asistencia decisional al proceso de selección del sistema de mantenimiento". Santa Clara,Cuba, Universidad Central Marta Abreu de las Villas. **Trabajo de diploma para optar por el título de Ingeniero Industrial.**
26. ISO (2015).
27. Knezevic, J. (1996). Mantenimiento. Madrid, España
28. LEÓN MÁRQUEZ, O. (2012). "Determinación del tipo de mantenimiento a aplicar al equipamiento productivo de la Unidad Básica de Producciones Metálicas El Vaquerito". Santa Clara,Cuba, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. **Trabajo de diploma para optar por el título de Ingeniero Industrial.**
29. López García, J. (2013). "Gestión del Mantenimiento eficiente: Las cinco generaciones del Mantenimiento." from [http://www.google scholar.com/articles/las\\_cinco\\_generaciones\\_del\\_mantenimiento.html](http://www.google scholar.com/articles/las_cinco_generaciones_del_mantenimiento.html).
30. Manzini, R. and P. y. F. Hoang, E (2010). "Maintenance for Industrial Systems". Springer Science. Estados Unidos.
31. Martinez, E. (2014). Procedimiento basado en riesgo. Santa Clara, CUBA.
32. Martínez Giraldo, L. A. (2014). Metodología para la definición de tareas de mantenimiento basado en confiabilidad, condición y riesgo aplicada a equipos del sistema de transmisión nacional. Medellín, Colombia, Universidad Nacional

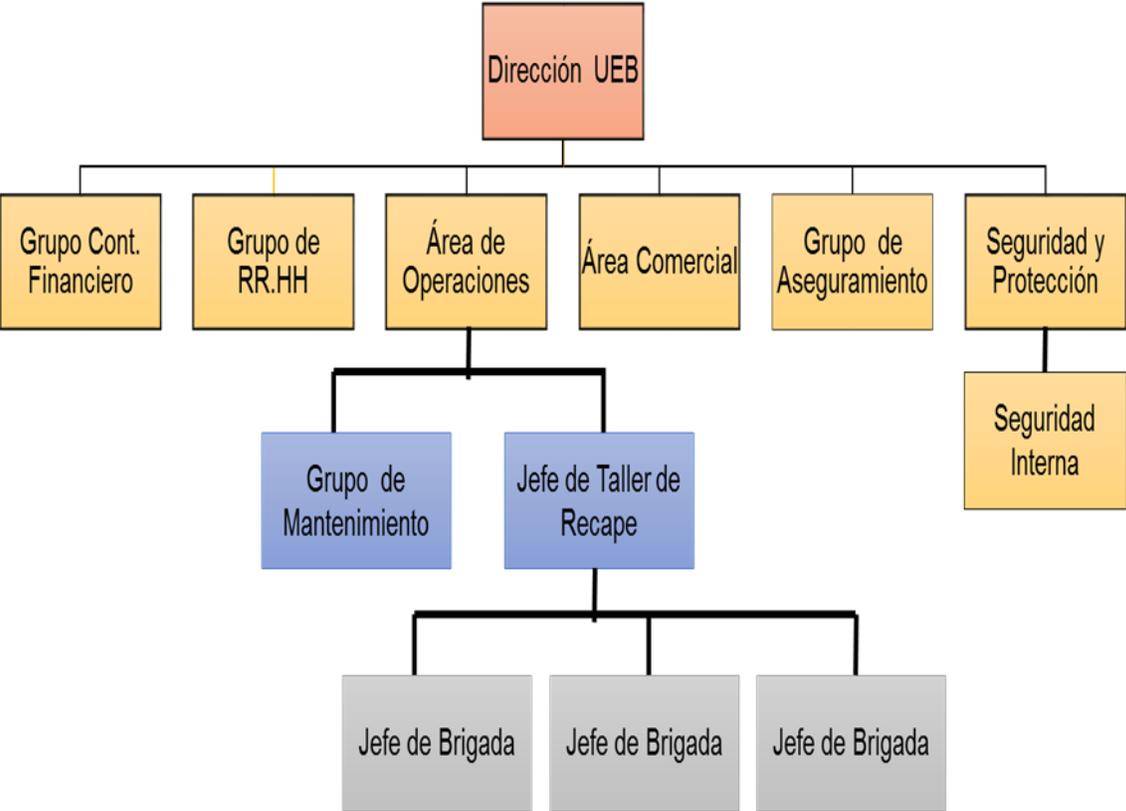
de Colombia. **Tesis presentada para optar por el Título Académico de Máster en Ingeniería Eléctrica.**

33. MARTÍNEZ GIRALDO, L. A. (2014). Metodología para la definición de tareas de mantenimiento basado en confiabilidad, condición y riesgo aplicada a equipos del sistema de transmisión nacional. Colombia, Universidad Nacional de Colombia. **Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de Magister en Ingeniería Eléctrica.**
34. Mena Sánchez, M. (2016). Contribución al mejoramiento de la Gestión de mantenimiento en la UEB Provari de Ciego de Ávila. Santa Clara, Villa Clara, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Departamento de Ingeniería Industrial. **Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de: Ingeniero Industrial.**
35. Mora Gutiérrez, A. (2012). Mantenimiento Industrial Efectivo Antioquia Colombia.
36. Moubray, J. (1997). Reliability Centered Maintenance (RCM).
37. Neto Chusin and E. Orlando (2008). Mantenimiento Industrial. Ecuador.
38. Pena Vasconcellos, L. (2015). Selección del tipo de mantenimiento basado en el análisis de riesgo en la Unidad Básica Textil “Desembarco del Granma”. Santa Clara, Cuba, UCLV. **Trabajo de Diploma presentado para optar por el título de Ingeniero Industrial.**
39. Perez Gonzalez, W. (2015). Mantenimiento Basado en el Riesgo para el equipamiento del sistema de abasto de agua caliente en el Hotel Playa Cayo Santa María. Santa Clara, Cuba, UCLV. **Trabajo de Diploma para optar por el título de Ingeniero Industrial.**
40. Perez González, W. (2015). Mantenimiento Basado en el Riesgo para el equipamiento del sistema de abasto de agua caliente en el Hotel Playa Cayo Santa María. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial Departamento de Ingeniería Industrial. Santa Clara, UCLV. **Trabajo de Diploma para optar por el título de Ingeniero Industrial.**
41. Polo Salgado, L. (2011). Procedimiento para determinar el tipo de mantenimiento a partir del Análisis de Riesgo. Aplicación en el Combinado de Productos Lácteos de Ciego de Ávila. Cuba, UCLV. **Trabajo de Diploma presentado para optar por el título de Ingeniero Industrial.**
42. Portuondo Pichardo, F. (1990). Economía de Empresas Industriales. Ciudad de la Habana, Cuba

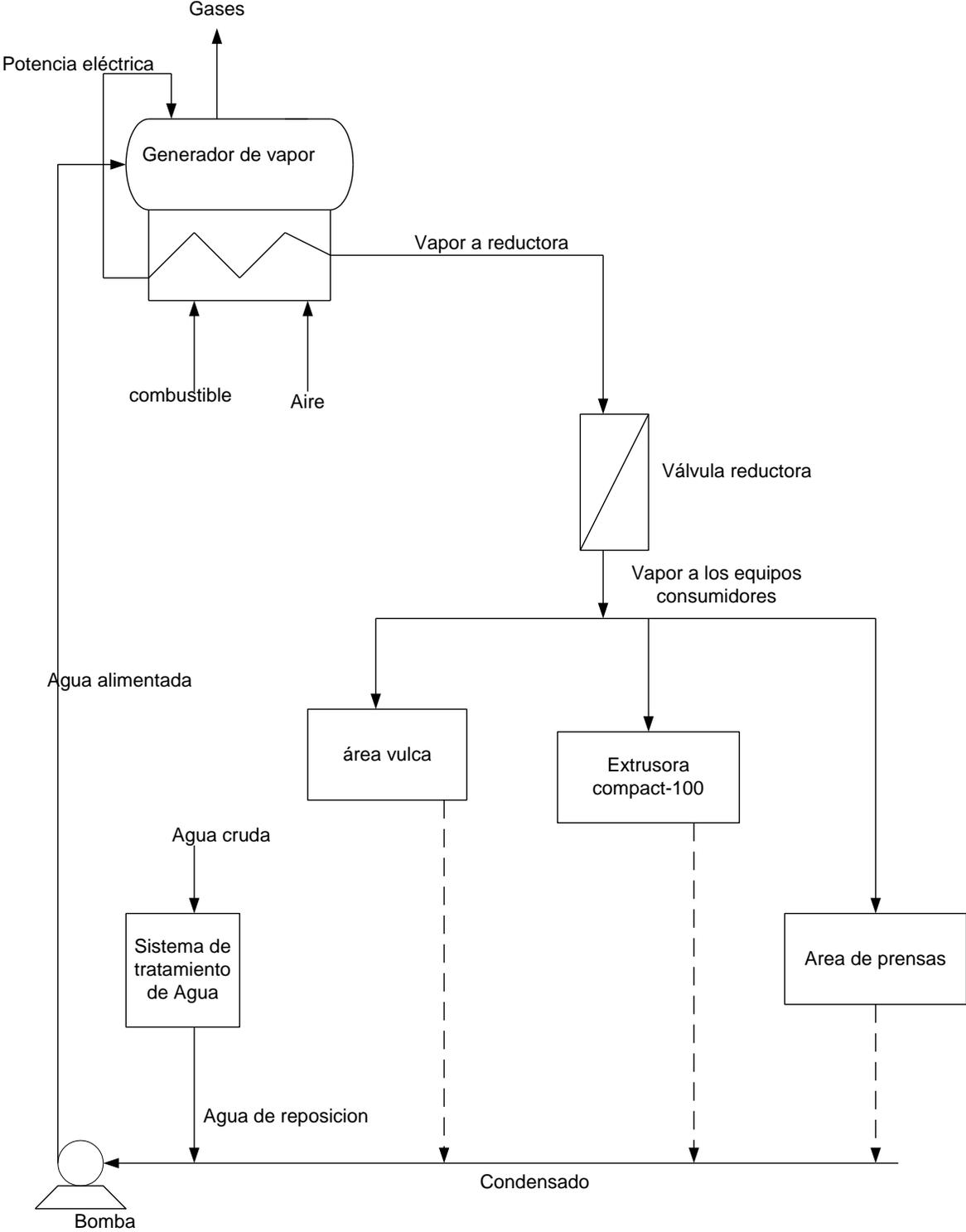
43. Rodriguez Diaz, Y. R. (2014). Definición de la política de mantenimiento para el equipamiento productivo de la UEB “Elpidio Sosa” de la Electroquímica de Sagua la Grande a partir de la metodología de Análisis de riesgo. Santa Clara, Cuba, UCLV. **Tesis presentada para la obtención del título de Máster en Ingeniería Industrial.**
44. Rodriguez Machado, A. (2012). "Manual de Gestión del Mantenimiento". Santa Clara, Cuba, UCLV. **Trabajo de Diploma., Universidad Central Marta Abreu de las Villas. Departamento de Ingeniería Industrial. Santa Clara.**
45. Sabina, R. C. (2012). El mantenimiento en la Industrial. Su importancia.
46. Sandra Hurtado de Mendoza , F. (2003). Criterio de experto y su procesamiento a través del metodo delphy.metodologia y epistemologia.
47. Sosa Martinez, D. A. (2016). "Selección del tipo de mantenimiento a aplicar en los sistemas tecnológicos y equipos del Kurhotel Escambray". Santa Clara, Cuba, Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. . **Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Industrial.**
48. Tobalina, F. (1994). TPM, Mantenimiento productivo total. Realidad y aplicación práctica.
49. Torres, L. D. (2005). Mantenimiento. Su Implementación y Gestión. . Argentina.
50. Troya Jorge, I. (2016). Contribución al mejoramiento de la gestión del mantenimiento en el Hospital Provincial Docente Clínico Quirúrgico “Comandante Manuel Fajardo Rivero”. Santa Clara , Cuba, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Departamento de Ingeniería Industrial. **Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de: Ingeniero Industrial.**
51. VELÁZQUEZ PÉREZ, E. (2014). "Implementación del sistema alternativo de Mantenimiento en la Empresa Gráfica de Villa Clara". Santa Clara, Cuba, UCLV. **Tesis presentada en opción al título académico de master.**
52. Zhao M-X; Su J and S.-G. Liu (2012). "Risk assessment based maintenance management for distribution networken. Journal of international council on electrical engineering. ." **Volumen 2:** 84-89.



Anexo1. Organigrama de la UEB Recape V.C



Anexo 2. Diagrama de Distribución de Vapor





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

**Jefa de MTTO**

N°	Fuentes de argumentación o fundamentación	Escala por niveles		
		Alto	Medio	Bajo
1	Análisis teóricos realizados por usted	X		
2	Experiencia práctica	X		
3	Estudio de investigaciones de autores nacionales	X		
4	Estudio de investigaciones de autores extranjeros		X	
5	Conocimiento del estado del conocimiento en el extranjero		X	
6	Intuición	X		

**Mecánico A (1)**

N°	Fuentes de argumentación o fundamentación	Escala por niveles		
		Alto	Medio	Bajo
1	Análisis teóricos realizados por usted	X		
2	Experiencia práctica	X		
3	Estudio de investigaciones de autores nacionales	X		
4	Estudio de investigaciones de autores extranjeros		X	
5	Conocimiento del estado del conocimiento en el extranjero		X	
6	Intuición		X	

Anexo 3. Continuación...

**Operador de calderas**

N°	Fuentes de argumentación o fundamentación	Escala por niveles		
		Alto	Medio	Bajo
1	Análisis teóricos realizados por usted		X	
2	Experiencia práctica	X		
3	Estudio de investigaciones de autores nacionales		X	
4	Estudio de investigaciones de autores extranjeros			X
5	Conocimiento del estado del conocimiento en el extranjero			X
6	Intuición	X		

**Mecánico A (2)**

N°	Fuentes de argumentación o fundamentación	Escala por niveles		
		Alto	Medio	Bajo
1	Análisis teóricos realizados por usted			X
2	Experiencia práctica			X
3	Estudio de investigaciones de autores nacionales			X
4	Estudio de investigaciones de autores extranjeros			X
5	Conocimiento del estado del conocimiento en el extranjero			X
6	Intuición		X	

Anexo 3. Continuación...

**Técnica auxiliar de mantenimiento**

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

**Electricista**

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

Anexo 3. Continuación...

**Energética**

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

**Operador del sistema de refrigeración**

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

### Anexo 3. Continuación...

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

Nº	Coefficiente de conocimiento	Coefficiente de argumentación	Coefficiente de competencia	Nivel de competencia
1	1	1	1	Alto
2	0.8	1	0.9	Alto
3	0.8	0.9	0.85	Alto
4	0.5	0.5	0.5	Bajo
5	1	1	1	Alto
6	0.7	0.5	0.6	Medio
7	0.8	1	0.9	Alto
8	0.5	0.7	0.6	Medio

Selección de los expertos

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

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

Nivel de confianza (%)	Valor de K
99	6.6564
95	3.8416
90	2.6896

### Anexo 2. Continuación...

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

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

$i = 0.1$

**Anexo 3.** Continuación...

P = 0.013 (proporción estimada de errores de los expertos)

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

M = 4,29 ≈ 5 expertos

Para el equipo de trabajo se debe contar con ocho expertos; por lo que teniendo en cuenta las personas que tienen mayor coeficiente de competencia, se seleccionan los candidatos que se muestran en la tabla siguiente:

<b>Nro.</b>	<b>Nombre</b>	<b>Año de experiencia</b>
<b>1</b>	<b>Susana Cruz Quintana</b>	30
<b>2</b>	<b>Barbará Alonso Rodríguez</b>	10
<b>3</b>	<b>Iván Artiles Astelarra</b>	12
<b>4</b>	<b>Yisel Vino Gallardo</b>	5
<b>5</b>	<b>Yuliet Gomez Franco</b>	10

#### **Anexo 4. Procedimientos utilizados en la guía.**

##### **Selección de las maquinas, equipos e instalaciones tecnológicas para ser evaluadas.**

La selección representativa de las Máquinas Equipos e Instalaciones tecnológicas se realizará considerando los criterios siguientes:

- Cantidad de Equipos a seleccionar.

<u>Equipos Instalados</u>	<u>Cantidad a Evaluar</u>
Más de 500	de 21 a 25
Más de 250 y menos de 499	de 16 a 20
Más de 100 y menos de 249	de 11 a 15
Menos de 100	10

- Las Máquinas, equipos e instalaciones tecnológicas que conformaran la muestra, se seleccionan sobre la base tomar los que estén identificados en el proceso tecnológico como Fundamentales o de mayor importancia, haciendo énfasis en aquellos que son únicos en la fábrica, los que al paralizarse provocan afectaciones productivas de alto impacto.
- La evaluación se realizará por los especialistas, técnicos u obreros calificados de mayor experiencia, oficio y conocimientos, basarán sus resultados en la apreciación y valoración que realicen en cada caso, expresándolo de forma cuantitativa en el modelo de trabajo donde no se podrán dar calificaciones superiores a la base tomada (B.T).

Por cada Máquina, Equipo o Instalación tecnológica seleccionada se dará una puntuación en correspondencia con la valoración que se haga de su estado técnico, considerando los criterios siguientes:

- Si valora que su Estado Técnico es Excelente 25 puntos
- Si valora que su Estado Técnico es Bueno 20 puntos
- Si valora que su Estado Técnico es Regular 10 puntos
- Si valora que su Estado Técnico es Malo 3 puntos
- Si valora que su Estado Técnico es Pésimo 0 puntos

**Anexo 4.** Continuación...

**Estructura de la puntuación.**

La estructura de la puntuación será la misma para cualquier Empresa, UEB o Entidad que se diagnostique, independientemente de la magnitud y variedad del equipamiento.

<b>MINDUS</b>	EMPRESA POLIGOM		D	M	A	
	UEB/ENTIDAD: RECAPE VILLA CLARA		28	3	17	
<b>Resumen de la evaluación del estado Técnico</b>						
			<b>Evaluación</b>			
No		<b>Grupos</b>	<b>B.T.</b>	<b>P.O.</b>	<b>%</b>	
M 1		Estado técnico Mecánico	25	10.6	42.4	
M 2		Estado técnico eléctrico	25	10.3	41.2	
M 3		Estado técnico de las instalaciones civiles y Condiciones Socio ambientales	20	14.48	72.4	
M 4		Lubricación	20	14	70	
M 5		Organización y Limpieza	10	8	80	
		<b>TOTAL</b>	<b>100</b>	57.38	57.38	
<b>OBSERVACIONES:</b>						
El resumen del estado técnico correspondientes es de > Regular						

BT = Base tomada o puntuación máxima a obtener

PO= Puntos Obtenidos de acuerdo a la Evaluación que realiza el especialista, técnico ú obrero calificado.

**Anexo 4.** Continuación...

**Estado técnico mecánico**

**Objetivo:**

Hacer un diagnóstico de las condiciones técnicas en que se encuentran las partes y sistemas Mecánicos de cada Máquina, equipo e instalaciones tecnológicas Industriales seleccionadas.

<b>MINDUS</b>	<b>EMPRESA</b> POLIGOM	<b>D</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M I</b>
	<b>UEB/ENTIDAD:</b> RECAPE VILLA CLARA	1 9	4	1 3	
<b>ESTADO TECNICO MECANICO</b>					<b>Evaluación</b>
<b>No</b>	<b>Máquinas, Equipos é Instalaciones seleccionadas</b>	<b>B. T.</b>		<b>P. O</b>	
1	Compresor Atlas #2	25		25	
2	Bofeadora colman	25		15	
3	Caldera	25		10	
4	Bofeadora Comby Ras	25		10	
5	Bandeadora Colman	25		15	
6	Bandeadora compac 100	25		10	
7	Bomba de torre de enfriamiento	25		2	
8	Multifuncional	25		8	
9	Autoclave	25		6	
10	Torre de Enfriamiento	25		5	
<b>Valor Promedio de las evaluaciones</b>		25		10.6	

**Anexo 4.** Continuación...

**Estado técnico eléctrico**

**Objetivo:**

Evaluar el estado técnico de los diferentes elementos que conforman el sistema eléctrico de fuerza de una industria (pizarras de fuerza y control, alumbrado, redes y otros sistemas eléctricos) así como los sistemas eléctricos y electrónicos de máquinas, equipos e instalaciones tecnológicas seleccionados.

<b>MINDUS</b>	<b>EMPRESA</b> POLIGOM	<b>D</b>	<b>M</b>	<b>A</b>	<b>M 2</b>
	<b>UEB/ENTIDAD:</b> RECAPE VILLA CLARA	1 9	4	1 3	
<b>ESTADO TECNICO ELECTRICO</b>					<b>Evaluación</b>
<b>No</b>	<b>Máquinas, Equipos é Instalaciones seleccionadas</b>	<b>B. T.</b>		<b>P. O</b>	
1	Compresor Atlas #2	25		10	
2	Bofeadora colman	25		12	
3	Caldera	25		8	
4	Bofeadora Comby Ras	25		8	
5	Bandeadora Colman	25		10	
6	Bandeadora compac 100	25		7	
7	Bomba de torre de enfriamiento	25		10	
8	Multifuncional	25		8	
9	Autoclave	25		5	
10	Torre de Enfriamiento	25		25	
<b>Valor Promedio de las evaluaciones</b>		25		10.3	

**Anexo 4.** Continuación...

**Estado técnico de las instalaciones civiles y condiciones socio ambientales.**

**Objetivo:**

Hacer un diagnóstico del estado técnico de las instalaciones civiles y de los medios y equipos concebidos para brindar condiciones que favorezcan la vida laboral de los trabajadores (condiciones socio ambientales).

MINDUS	EMPRESA: POLIGOM	D	M	A	M 3	
	UEB/ENTIDAD: RECAPE VILLA CLARA	19	4	13		
<b>ESTADO TECNICO DE LAS INSTALACIONES CIVILES Y CONDICIONES SOCIOAMBIENTALES</b>					<b>Evaluación</b>	
<b>No</b>	<b>Evaluación de los Aspectos siguientes.</b>				<b>B.T.</b>	<b>P.O.</b>
1	Existe plan de mantenimiento y reparación de edificios y pintura general y se cumple				2	2
2	Estado técnico de los Techos				2	1.5
3	Estado técnico de las paredes, estructuras de las naves (metálicas, hormigón, etc.)				2	1.5
4	Estado técnico de Puertas y ventanas				2	1.5
5	Estado técnicos de los Baños y taquillas				2	1.8
6	Estado técnico y condiciones de la Cocina, comedor, cafetería				2	1.2
7	Estado de la Pintura de los edificios, estructuras metálica, tuberías, etc.				2	1.3
8	Estado técnico de las Calles, aceras, cercas y portadas				2	1.7
9	Estado técnico de los Pisos, drenajes, alcantarillas y áreas verdes				2	1.8
10	Estado técnico de Bebederos, cajas de agua, freezer y cámaras de frío				2	1.8
	<b>TOTAL</b>				<b>20</b>	<b>14.48</b>
Esta actividad se retomó hace algunos años pero existen muchos problemas con los suministros sobre todo						

**Anexo 4.** Continuación...

**Lubricación**

**Objetivo:**

Hacer un diagnóstico de la situación que existe en la aplicación de los procedimientos establecidos para la actividad de Lubricación así como de las condiciones técnicas existentes para su funcionamiento.

MINDUS	EMPRESA: POLIGOM	D	M	A	M 4
	UEB/ENTIDAD: RECAPE VILLA CLARA	1 9	4	1 3	
<b>LUBRICACION</b>					
<b>No</b>	<b>Evaluación de los aspectos siguientes:</b>	<b>B.T.</b>	<b>P.O.</b>		
1	Existe el estudio de lubricación actualizado	4	4		
2	Se controla la ejecución de la lubricación mediante tarjetas.	4	4		
3	Se tienen los lubricantes recomendados por el estudio de Lubricación	4	4		
4	El local de lubricantes del taller posee las condiciones mínimas requeridas.	3	0		
5	Existen los medios o utensilios mínimos para lubricar con calidad.	3	0		
6	El almacén de lubricantes reúne las condiciones mínimas de seguridad	2	2		
<b>T O T A L</b>		<b>20</b>	<b>14</b>		
<b>O B S E R V A C I O N E S</b>					
El aspecto que más está afectando la lubricación es que no tiene operario que la realice y los utensilios están defectuosos					

**Anexo 4.** Continuación...

**Organización y limpieza**

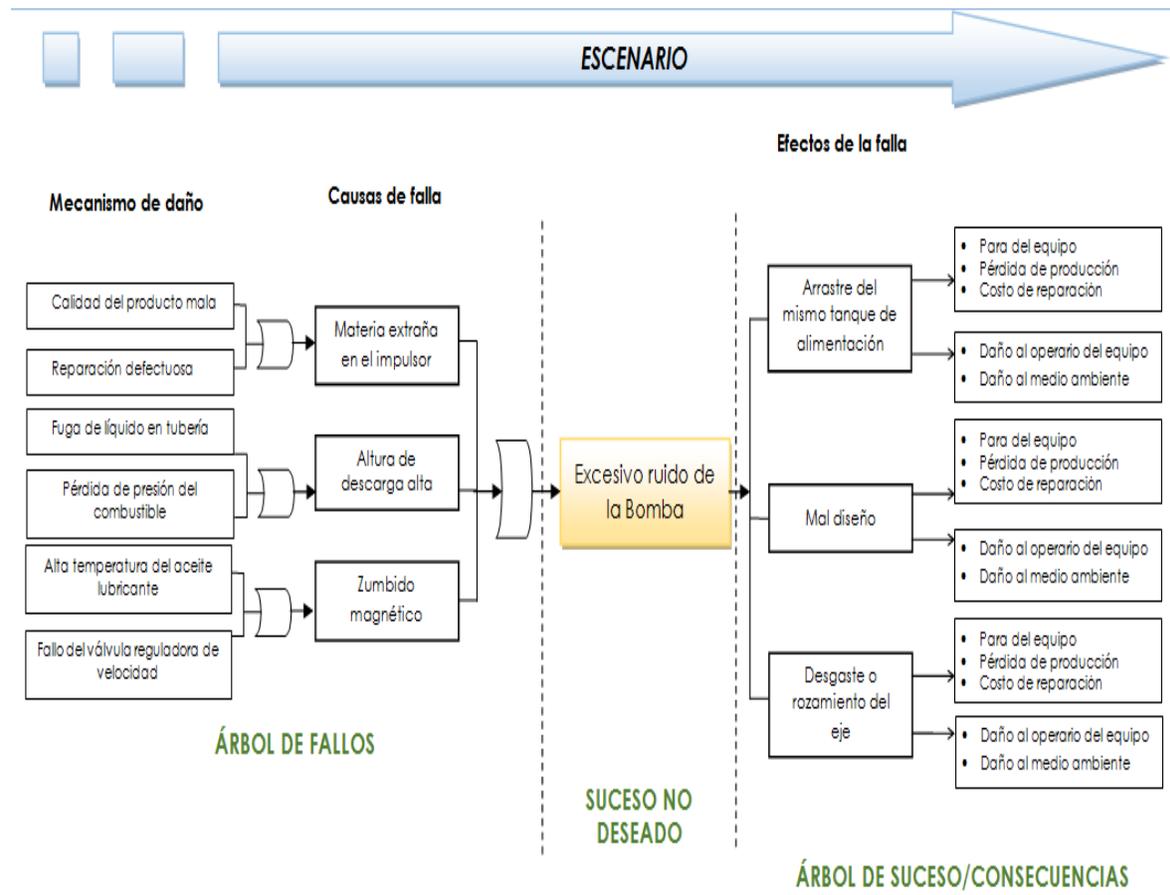
**Objetivo:**

Evaluar la organización y limpieza que existen en las áreas y equipos,

MINDUS	EMPRESA: POLIGOM	D	M	A	M 5
	UEB/ENTIDAD:				
<b>ORGANIZACIÓN Y LIMPIEZA</b>					
No	Evaluación de los Aspectos siguientes	B. T		P. O	
1	Como es la organización y limpieza de las <u>Maq.</u> equipos e instalaciones tecnológicas	5		3	
2	Organización y limpieza de la fábrica	5		5	
	<b>TOTAL</b>	<b>10</b>		<b>8</b>	
<b>OBSERVACIONES</b>					



## Anexo 5. Continuación



Anexo 6. AMFEC

Elaborado por:		Sistema:		Sistema auxiliar		Contexto operacional:								
Fecha:		Equipo:		CALDERA										
Revisado por:														
Componente	Modo de falla	Causas de falla	Código	Efectos de la falla	Detección de la falla/síntoma	Valoración AMFEC					Tarea de mantenimiento propuesta / sugerida	Frecuencia propuesta / sugerida	Ejecutor sugerido	
						C	F	D	NPR	Criticidad				
Válvula principal de combustible	Se enciende el piloto pero la válvula principal de combustible no se abre	1	Fotocélula sucia	1A1	El lente de la fotocélula sucio o dañado	Parada del equipo y de la producción	1.94	3	4	23.28	Admisible	Mantenimiento Preventivo Planificado	Mensual	Tercero
			Válvula solenoide desconectada	1A2	No responde la válvula solenoide		0.78	2	3	4.68	Aceptable	Correctivo	Diario	Operador
			Bobina de la válvula solenoide quemada	1A3	Voltaje demasiado alto		1.00	3	4	12	Admisible	Mantenimiento Preventivo Planificado	Semestral	Tercero
			No hay combustible	1A4	Tanque vacío		1.51	2	2	6.04	Aceptable	Rutinario, Funcionamiento o hasta el fallo	Diario	Operador
			Modulador no está en la posición de arranque	1A5	Problemas operacional		0.78	2	3	4.68	Aceptable	Correctivo, Rutinario	Diario	Operador

Anexo 6. Continuación

Quemador	El quemador produce explosiones	2	Mala regulación de los electrodos	2B1	Problemas de operación	No funciona la caldera de forma adecuada	2.63	4	3	31.56	Tolerable	Sustitución cíclica	Diario	Tercero
			Electrodos defectuosos	2B2	Selección incorrecta del tipo de electrodo		2.60	3	2	15.6	Admisible	Mantenimiento Preventivo Planificado	Cada dos meses	Tercero
			Transformador de ignición defectuoso	2B3	No se selecciono correctamente	Parada del equipo y de la producción	0.97	1	3	2.91	Aceptable	Rutinario, Funcionamiento hasta el fallo	Diario	Operador
			Entrada de aire incorrecta	2B4	Problemas de operación	No funciona la caldera de forma adecuada	0.88	3	3	7.92	Aceptable	Mantenimiento rutinario	Diario	Operador
			Boquillas defectuosas	2B5	Selección de la boquilla o tupición		1.21	3	3	10.89	Admisible	Mantenimiento Preventivo Planificado	Cada dos meses	Tercero
			Desajuste del control de Ignición	2B6	operacional		1.37	1	3	4.11	Aceptable	Mantenimiento rutinario	Diario	Operador
Bomba de agua	Bomba de agua trancada	3	Excesiva temperatura del agua	3C1	Problemas de fricción del eje	Parada del equipo y de la producción	1.18	3	3	10.62	Admisible	Mantenimiento Preventivo Planificado	Diario	Tercero
			Impulsor de la Bomba malo	3C2	Impulsor suelto		0.48	3	1	1.44	Aceptable	Mantenimiento rutinario	Diario	Operador
			Tubería de entrada de agua defectuosa	3C3	Tupición	No funciona la caldera de forma adecuada	1.02	4	2	8.16	Admisible	Mantenimiento Preventivo Planificado	Diario	Operador
			Cheque entre la bomba y la caldera defectuosa	3C4	Obstrucción del cheque	Parada del equipo y de la producción	0.67	3	2	4.02	Aceptable	Mantenimiento rutinario	Diario	Operador

Anexo 6. Continuación

Bomba de alimentación de combustible	Excesivo ruido de la Bomba	4	Materia extraña en el impulsor	4D1	Arrastre del mismo tanque de alimentación	No funciona la caldera de forma adecuada	1.68	3	3	15.12	Admisible	Mantenimiento Preventivo Planificado	Cada dos meses	Tercero
			Altura de descarga alta	4D2	Mal diseño		1.65	2	1	3.3	Aceptable	Rutinario, Funcionamiento o hasta el fallo	Diario	Operador
			Zumbido magnético	4D3	Desgaste o rozamiento del eje		1.68	3	3	15.12	Admisible	Mantenimiento Preventivo Planificado	Diario	Operador
	Vibración excesiva en la bomba	5	Materia extraña en el impulsor	5E1	Arrastre del mismo tanque de alimentación	No funciona la caldera de forma adecuada	1.65	4	1	6.6	Aceptable	Rutinario, Funcionamiento o hasta el fallo	Diario	Operador
			Impulsor dañado	5E2	Partículas extraña en el fluido		1.32	4	1	5.28	Aceptable	Rutinario, Funcionamiento o hasta el fallo	Diario	Operador
			Tubería de descarga mal montada	5E3	Mala operación		2.03	4	1	8.12	Admisible	Mantenimiento Preventivo Planificado	Cada dos meses	Tercero
	La descarga de la bomba es deficiente	6	Velocidad baja	6F1	Fallas en el impulsor	Parada del equipo y de la producción	1.04	3	2	6.24	Aceptable	Mantenimiento rutinario	Diario	Operador
			Presión de descarga alta	6F2	Válvulas cerradas		1.06	2	3	6.36	Aceptable	Mantenimiento rutinario	Diario	Operador
			Impulsor obstruido	6F3	Partículas extraña en el fluido		0.48	3	2	2.88	Aceptable	Rutinario, Funcionamiento o hasta el fallo	Diario	Operador
			Anillos espaciadores dañados	6F4	Deterioro de los anillos por mala operación		0.48	3	3	4.32	Aceptable	Mantenimiento rutinario	Diario	Tercero

## Anexo 7. Análisis de las consecuencias por modo de fallas

Para el análisis de las consecuencias se evalúan los siguientes tipos de consecuencias que pueden ocurrir:

- Capacidad de producción (CP)
- Consumo de combustible (Fuel) (CC) <sub>Fuel</sub>
- Impacto en producción (por falla) (IP)
- Impacto en la seguridad (cualquier daño. Herida, fatalidad) (IS)
- Impacto ambiental (daños a terceros, fuera de la planta) (IA)

Para la evaluación de cada una de estas consecuencias se plantea una escala de valoración para cada una.

Para valorar las consecuencias operacionales se tiene en cuenta si la pérdida de la función por un modo de falla puede afectar la producción.

Tabla de escala de valoración para consecuencias a la capacidad de producción.

Escala	Definición	Valor
No afecta	No tiene incidencia sobre la producción de la planta y por ende de las consecuencias operacionales de los sistemas de la caldera	0
Insignificante	Tiene poca incidencia sobre los sistemas de la caldera, pero sin afectar las condiciones de operación de equipos asociados	1
Secundario	Tiene más incidencia sobre el funcionamiento de la caldera, afectando las condiciones operacionales de los demás sistemas.	2
Grave	Afecta las condiciones operacionales de los sistemas de la caldera	3
Muy grave	Genera daños en los sistemas más importantes que están directamente relacionados con el funcionamiento de la caldera.	4

Las consecuencias en el Consumo de Combustible (Fuel) de la empresa están relacionadas por la pérdida del Fuel por fallas en el proceso de generación de vapor.

Tabla de escala de valores para consecuencias del Consumo de combustible (Fuel)

Escala	Definición	Valor
No afecta	Consumo nominal	0
Insignificante	Consumo entre el 1 y 2 % del consumo nominal	1
Secundario	Consumo entre el 2 y 5 % del consumo nominal	2
Grave	Consumo entre el 5 y 10 % del consumo nominal	3

Muy grave	Consumo más del 10 % del consumo nominal	4
-----------	--	---

Las consecuencias del impacto en producción están relacionadas con el costo de reparación, consecución de repuestos y gastos de mano de obra originados por el modo de falla.

Tabla de escala de valores para consecuencias del Impacto en producción (por falla)

Escala	Definición	Valor
No afecta	No afecta la producción	0
Insignificante	Afecta entre 1 y 25 % de impacto	1
Secundario	Afecta entre 24 y 50 % de impacto	2
Grave	Afecta entre 51 y 75 % de impacto	3
Muy grave	Afecta más del 75 % de impacto	4

La valoración de las consecuencias para el medio ambiente está relacionada con el análisis si las causas de los distintos modos de fallos pueden incurrir en una infracción a una regulación ambiental.

Tabla de escala de valoración para consecuencias al medio ambiente.

Escala	Definición	Valor
No afecta	No afecta al medio ambiente	0
Insignificante	Causa impacto ambiental no significativo, no genera sanciones	1
Secundario	Causa impacto ambiental, requiere control de la empresa, no genera sanciones económicas	2
Grave	Causa impacto ambiental, requiere control tanto de la empresa como del SIGMA, genera sanciones económicas	3
Muy grave	Causa impacto ambiental significativo, con grandes sanciones económicas por incumplimiento legal	4

La valoración de las consecuencias en la seguridad física de las causas de los distintos modos de fallos está relacionada con la salud del personal tanto externo como interno, debido si se presentan lesiones o pérdidas humanas.

Tabla de escala de valoración para consecuencias de la seguridad física.

Escala	Definición	Valor
No afecta	No hay tipo de lesión ni muerte	0
Insignificante	Afecta máximo a una persona dejando lesiones insignificantes,	1

	que no producen incapacidad ni la muerte	
Secundario	Afecta como máximo tres personas dejando lesiones insignificantes que pueden generar incapacidad parcial, pero no la muerte	2
Grave	Afecta hasta cinco personas dejando lesiones insignificantes o graves que pueden generar incapacidad parcial o de por vida, pero no la muerte	3
Muy grave	Afecta más de cinco personas pudiendo dejar lesiones muy graves que pueden generar incapacidad temporal de por vida o la muerte	4

Para la valoración total de la consecuencia que genera la presencia de cada causa de los distintos modos de falla, se le asigna un peso (determinado por el *Método de ordenación simple con múltiples expertos*) a cada tipo de consecuencias, para luego multiplicar la valoración de cada consecuencia por el peso asignado a cada tipo de consecuencia y luego se realiza la sumatoria de estas multiplicaciones y se halla el valor total de las consecuencias por causa.

Primeramente el grupo de trabajo le dará un orden de importancia según sus criterios.

Criterio	Expertos					$\Sigma$
	E1	E2	E3	E4	E5	
Capacidad de producción	2	2	1	2	1	8
Consumo de combustible (Fuel)	3	1	4	4	4	16
Impacto en producción	4	5	5	5	5	24
Impacto en la seguridad	1	3	2	1	2	9
Impacto ambiental	5	4	3	3	3	21

Se dará 1 al más importante, así sucesivamente de forma ascendente hasta 5 al menos importante.

El grupo de equipos, determinados a través del Criterio de los expertos con el uso de la prueba W de Kendall con el software SPSS. En la prueba estadística el Coeficiente de Concordancia de Kendall (W), ofrece el valor que posibilita decidir el nivel de concordancia entre los expertos la cual se muestra a continuación:

•

### Rangos

	Rango promedio
var001	1,60
var002	4,80
var003	3,20
var004	1,80
var005	3,60

### Estadísticos de prueba

N	5
W de Kendall <sup>a</sup>	,704
Chi-cuadrado	14,080
gl	4
Sig. asintótica	,007

a. Coeficiente de concordancia de Kendall

### Tabla con el peso de cada consecuencia

<u>Consecuencia</u>	<u>Peso</u>
Capacidad de producción (CP)	0.35
Consumo de combustible (Fuel) (CC) <sub>Fuel</sub>	0.19
Impacto en producción (por falla) (IP)	0.03
Impacto en la seguridad (cualquier daño. Herida, fatalidad) (IS)	0.33
Impacto ambiental (daños a terceros, fuera de la planta) (IA)	0.10

Las estimaciones de las consecuencias se realizan a las causas de las fallas como se muestra a continuación:

Modo de falla 1A1	Consecuencia	Valor	Peso	Total
	(CP)	1	0.35	0.35
	(CC) Fuel	2	0.19	0.38
	(IP)	0	0.03	0
	(IS)	2	0.33	0.66
	(IA)	4	0.10	0.4
	<b>Total</b>			<b>1.94</b>
Modo de falla 1A2	Consecuencia	Valor	Peso	Total
	(CP)	0	0.35	0
	(CC) Fuel	2	0.19	0.38
	(IP)	0	0.03	0
	(IS)	0	0.33	0
	(IA)	4	0.10	0.4
	<b>Total</b>			<b>0.78</b>
Modo de falla 1A3	Consecuencia	Valor	Peso	Total
	(CP)	0	0.35	0
	(CC) Fuel	3	0.19	0.57
	(IP)	1	0.03	0.03
	(IS)	0	0.33	0
	(IA)	4	0.10	0.4

	<b>Total</b>			<b>1.00</b>
<b>Modo de falla 1A4</b>	<b>Consecuencia</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>	<b>Total</b>
	(CP)	1	0.35	0.35
	(CC) Fuel	4	0.19	0.76
	(IP)	0	0.03	0
	(IS)	0	0.33	0
	(IA)	4	0.10	0.4
	<b>Total</b>			<b>1.51</b>
<b>Modo de falla 1A5</b>	<b>Consecuencia</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>	<b>Total</b>
	(CP)	0	0.35	0
	(CC) Fuel	2	0.19	0.38
	(IP)	0	0.03	0
	(IS)	0	0.33	0
	(IA)	4	0.10	0.4
	<b>Total</b>			<b>0.78</b>
<b>Modo de falla 2B1</b>	<b>Consecuencia</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>	<b>Total</b>
	(CP)	3	0.35	1.05
	(CC) Fuel	4	0.19	0.76
	(IP)	2	0.03	0.06
	(IS)	2	0.33	0.66
	(IA)	1	0.10	0.1
	<b>Total</b>			<b>2.63</b>
<b>Modo de falla 2B2</b>	<b>Consecuencia</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>	<b>Total</b>
	(CP)	4	0.35	1.04
	(CC) Fuel	2	0.19	0.38
	(IP)	2	0.03	0.06
	(IS)	2	0.33	0.66
	(IA)	1	0.10	0.1
	<b>Total</b>			<b>2.6</b>
<b>Modo de falla</b>	<b>Consecuencia</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>	<b>Total</b>
	(CP)	1	0.35	0.35

	(CC) Fuel	1	0.19	0.19
	(IP)	1	0.03	0.03
	(IS)	0	0.33	0
	(IA)	4	0.10	0.4
	<b>Total</b>			<b>0.97</b>
Modo de falla 2B4	<b>Consecuencia</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>	<b>Total</b>
	(CP)	0	0.35	0
	(CC) Fuel	1	0.19	0.19
	(IP)	1	0.03	0.03
	(IS)	2	0.33	0.66
	(IA)	0	0.10	0
	<b>Total</b>			<b>0.88</b>
Modo de falla 2B5	<b>Consecuencia</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>	<b>Total</b>
	(CP)	0	0.35	0
	(CC) Fuel	1	0.19	0.19
	(IP)	1	0.03	0.03
	(IS)	3	0.33	0.99
	(IA)	0	0.10	0
	<b>Total</b>			<b>1.21</b>
Modo de falla 2B6	<b>Consecuencia</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>	<b>Total</b>
	(CP)	0	0.35	0
	(CC) Fuel	2	0.19	0.38
	(IP)	0	0.03	0
	(IS)	3	0.33	0.99
	(IA)	0	0.10	0
	<b>Total</b>			<b>1.37</b>
Modo de falla 3C1	<b>Consecuencia</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>	<b>Total</b>
	(CP)	2	0.35	0.7
	(CC) Fuel	2	0.19	0.38
	(IP)	0	0.03	0
	(IS)	0	0.33	0
	(IA)	1	0.10	0.10

	<b>Total</b>			<b>1.18</b>
<b>Modo de falla 3C2</b>	<b>Consecuencia</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>	<b>Total</b>
	(CP)	0	0.35	0
	(CC) Fuel	2	0.19	0.38
	(IP)	0	0.03	0
	(IS)	0	0.33	0
	(IA)	1	0.10	0.10
	<b>Total</b>			<b>0.48</b>
<b>Modo de falla 3C3</b>	<b>Consecuencia</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>	<b>Total</b>
	(CP)	1	0.35	0.35
	(CC) Fuel	3	0.19	0.57
	(IP)	0	0.03	0
	(IS)	0	0.33	0
	(IA)	1	0.10	0.10
	<b>Total</b>			<b>1.02</b>
<b>Modo de falla 3C4</b>	<b>Consecuencia</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>	<b>Total</b>
	(CP)	0	0.35	0
	(CC) Fuel	3	0.19	0.57
	(IP)	0	0.03	0
	(IS)	0	0.33	0
	(IA)	1	0.10	0.10
	<b>Total</b>			<b>0.67</b>
<b>Modo de falla 4D1</b>	<b>Consecuencia</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>	<b>Total</b>
	(CP)	1	0.35	0.35
	(CC) Fuel	3	0.19	0.57
	(IP)	1	0.03	0.03
	(IS)	1	0.33	0.33
	(IA)	4	0.10	0.4
	<b>Total</b>			<b>1.68</b>
<b>Modo de falla</b>	<b>Consecuencia</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>	<b>Total</b>
	(CP)	1	0.35	0.35

	(CC) Fuel	3	0.19	0.57
	(IP)	0	0.03	0
	(IS)	1	0.33	0.33
	(IA)	4	0.10	0.4
	<b>Total</b>			<b>1.65</b>
<b>Modo de falla 4D3</b>	<b>Consecuencia</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>	<b>Total</b>
	(CP)	1	0.35	0.35
	(CC) Fuel	3	0.19	0.57
	(IP)	1	0.03	0.03
	(IS)	1	0.33	0.33
	(IA)	4	0.10	0.4
	<b>Total</b>			<b>1.68</b>

<b>Modo de falla 5E1</b>	<b>Consecuencia</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>	<b>Total</b>
	(CP)	1	0.35	0.35
	(CC) Fuel	3	0.19	0.57
	(IP)	0	0.03	0
	(IS)	1	0.33	0.33
	(IA)	4	0.10	0.4
	<b>Total</b>			<b>1.65</b>
<b>Modo de falla 5E2</b>	<b>Consecuencia</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>	<b>Total</b>
	(CP)	1	0.35	0.35
	(CC) Fuel	3	0.19	0.57
	(IP)	0	0.03	0
	(IS)	0	0.33	0
	(IA)	4	0.10	0.4
	<b>Total</b>			<b>1.32</b>
<b>Modo de falla 5E3</b>	<b>Consecuencia</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>	<b>Total</b>
	(CP)	2	0.35	0.7
	(CC) Fuel	3	0.19	0.57
	(IP)	1	0.03	0.03

	(IS)	1	0.33	0.33
	(IA)	4	0.10	0.4
	<b>Total</b>			<b>2.03</b>
Modo de falla 6F1	<b>Consecuencia</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>	<b>Total</b>
	(CP)	0	0.35	0
	(CC) Fuel	2	0.19	0.38
	(IP)	0	0.03	0
	(IS)	2	0.33	0.66
	(IA)	0	0.10	0
	<b>Total</b>			<b>1.04</b>
Modo de falla 6F2	<b>Consecuencia</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>	<b>Total</b>
	(CP)	1	0.35	0.35
	(CC) Fuel	2	0.19	0.38
	(IP)	0	0.03	0
	(IS)	1	0.33	0.33
	(IA)	0	0.10	0
	<b>Total</b>			<b>1.06</b>
Modo de falla 46F3	<b>Consecuencia</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>	<b>Total</b>
	(CP)	0	0.35	0
	(CC) Fuel	2	0.19	0.38
	(IP)	0	0.03	0
	(IS)	0	0.33	0
	(IA)	1	0.10	0.10
	<b>Total</b>			<b>0.48</b>
Modo de falla 6F4	<b>Consecuencia</b>	<b>Valor</b>	<b>Peso</b>	<b>Total</b>
	(CP)	0	0.35	0
	(CC) Fuel	2	0.19	0.38
	(IP)	0	0.03	0
	(IS)	0	0.33	0
	(IA)	1	0.10	0.10
	<b>Total</b>			<b>0.48</b>

## Anexo 8. Tablas para determinar frecuencia y detección.

Tabla de frecuencia

Rankin g	Descripción	
1	No afecta	1 caso entre 20 y 50 años
2	Insignificante	1 caso entre 5 y 20 años
3	Secundario	1 caso entre 1 y 5 años
4	Grave	Entre 1 y 10 casos al año
5	Muy grave	Más de 10 casos al año

Tabla de detección

Rankin g	Descripción	
1	Muy grave	Siempre hay probabilidad de que el defecto se detecte. Por medio de verificaciones y/o controles es seguro que se detecta la existencia de una deficiencia o un defecto.
2	Grave	Muy alta probabilidad de que el defecto se detecte. Por medio de verificaciones y/o controles es casi seguro que se detecta la existencia de una deficiencia o un defecto.
3	Secundario	Alta probabilidad de que el defecto se detecte. Por medio de verificaciones y/o controles se tiene una buena posibilidad de detectar la existencia de una deficiencia o un defecto.
4	Insignificante	Probabilidad moderada de que el defecto se detecte. Por medio de verificaciones y/o controles es probable detectar la existencia de una deficiencia o un defecto.
5	No afecta	Baja probabilidad de que el defecto se detecte. Por medio de verificaciones y/o controles no es probable detectar la existencia de una deficiencia o un defecto.

## Anexo 9. Diagrama de decisión del mantenimiento

