



TRABAJO DE DIPLOMA

TÍTULO: MANTENIMIENTO BASADO EN RIESGOS PARA
EL MOTOR DE TECNOLOGÍA MAN B&W DIESEL DE LA
CENTRAL ELÉCTRICA SANCTI SPÍRITUS.

AUTOR: RAIKO SÁNCHEZ CRUZ

TUTOR: MSc. ENER RAÚL RIVERA MARTÍN

2018



Pensamiento



"En una época de cambios permanentes, el futuro pertenece a los que siguen aprendiendo...los que ya aprendieron, se encuentran equipados para vivir un mundo que ya no existe."

Eric Hoffer



Dedicatoria



A, mi madre por estar siempre a mi lado y brindarme su amor incondicional.

A, toda mi familia por apoyarme en todo momento por difíciles que sean las circunstancias.



Agradecimientos



A, mi tutor por creer en mí y hacer realidad
este sueño.

A, mis compañeros de trabajo por su solidaridad en estos
tiempos de arduo trabajo científico.

A, la máster Laura Pérez por su atención y acertados consejos.



Resumen



RESUMEN

En el presente trabajo se propone un procedimiento para definir acciones de mejora en el mantenimiento del motor de tecnología MAN B&W Diesel de la Central Eléctrica Sancti Spíritus perteneciente a la Unidad Empresarial de Base EMGEF (Empresa de Mantenimiento a Grupos Electrógenos de fuel oil) a partir de la metodología del Análisis de riesgos. La tesis contiene una revisión bibliográfica que aborda las generalidades sobre la Gestión de mantenimiento y el Análisis de riesgo, así como las técnicas más utilizadas para estos fines. Finalmente, la aplicación práctica de la propuesta permitió definir las acciones preventivas a aplicar para reducir el riesgo asociado a cada modo de fallo, el responsable de su realización y la frecuencia de ejecución de las mismas. Todo ello ofrece solución al problema de la investigación planteado.




Summary




Summary

In the present work, a procedure is proposed to define improvement actions in the maintenance of the MAN B & W Diesel technology engine of the Sancti Spíritus Power Station belonging to the EMGEF Base Enterprise Unit (Maintenance Company for Fuel Oil Generating Groups) from of the Risk Analysis methodology. The thesis contains a bibliographical review that addresses the generalities about Maintenance Management and Risk Analysis, as well as the techniques most used for these purposes. Finally, the practical application of the proposal made it possible to define the preventive actions to be taken to reduce the risk associated with each failure mode, the person responsible for its execution and the frequency of execution of the same. All this offers solution to the problem of the raised research.



Indice



ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	16
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	6
1.1. Gestión del mantenimiento.....	7
1.1.1. Evolución del mantenimiento	8
1.1.2. Proceso de administración del mantenimiento.....	12
1.2. Políticas de mantenimiento. Sus filosofías	14
1.2.1. Mantenimiento correctivo	14
1.2.2. Mantenimiento predictivo	14
1.2.3. Mantenimiento modificativo.....	15
1.2.4. Mantenimiento Preventivo Planificado (MPP)	16
1.2.5. Sistema Alternativo de Mantenimiento (SAM).....	16
1.2.6. Mantenimiento Productivo Total (TPM, por sus siglas en inglés).....	17
1.2.7. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC)	17
1.3. La selección de la política de mantenimiento a aplicar en la empresa.....	18
1.3.1. Aspectos generales sobre la selección del tipo de mantenimiento en Cuba.....	19
1.4. Generalidades sobre el Análisis de riesgo	20
1.4.1. Análisis de riesgo y definiciones matemáticas	23
1.4.2. Técnicas para la identificación y/o evaluación de riesgos.....	25
1.5. Mantenimiento basado en el riesgo.....	31
1.5.1. Mantenimiento basado en el riesgo en Cuba	32
1.6. Generalidades sobre los Grupos electrógenos en Cuba y su mantenimiento....	32
1.7. Conclusiones parciales.....	34
CAPÍTULO 2. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DEL TIPO DE MANTENIMIENTO BASADO EN ELEMENTOS DE ANÁLISIS DE RIESGO	31
2.1. Descripción general del procedimiento para la toma de decisiones vinculada a la selección del tipo de mantenimiento a aplicar en la Central Eléctrica Sancti Spíritus	31
2.2. Caracterización de la Central Eléctrica Sancti Spíritus	34
2.2.1. Caracterización del área de mantenimiento de la Central Eléctrica Sancti Spíritus	37

2.2.2. Deficiencias principales del sistema de mantenimiento actual.....	39
2.3. Aplicación práctica del procedimiento propuesto	39
2.3.1. Fase 1: Preparación inicial	40
2.3.2. Fase 2: Realizar el levantamiento de los riesgos	40
2.3.3. Fase 3: Realizar un análisis de riesgo	40
2.3.4. Fases 4 y 5: Evaluación de riesgos y determinación de las acciones de mantenimiento.....	43
2.4. Conclusiones parciales.....	44
CONCLUSIONES	46
RECOMENDACIONES	44
BIBLIOGRAFÍA	
ANEXOS	



Introducción



INTRODUCCIÓN

La actividad de mantenimiento ha emergido como una sofisticada disciplina que combina técnicas de gestión, organización y planeamiento con aplicaciones ingenieriles de avanzada, pasando a ser de una actividad reactiva a una concepción con enfoque proactivo, debido a que los paros imprevistos son cada vez más costosos con una considerable dosis de quebranto de credibilidad que se refleja en pérdida de mercado (Acosta Palmer, 2012; Parra Márquez, 2012; Rodríguez Díaz, 2014; Sosa Martínez, 2016; Truong, 2017).

En su desarrollo se observa una creciente toma de conciencia para evaluar hasta qué punto las fallas en los equipos afectan la seguridad y el medio ambiente, la relación entre el mantenimiento y la calidad del producto y la presión por alcanzar una alta disponibilidad en la planta y mantener limitado el costo.

Según Espinosa Fuentes (2013), Dumaguila Encalada (2014) y De la Paz Martínez (2015) de manera general mantenimiento son las acciones técnicas, organizativas y económicas encaminadas a conservar o restablecer el buen estado de los activos fijos, a partir de la observancia y reducción de su desgaste y con el fin de alargar su vida útil económica, para lograr una mayor disponibilidad y confiabilidad para cumplir con calidad y eficiencia sus funciones, conservando el ambiente y la seguridad del personal.

La naturaleza de los procesos industriales y operacionales, donde se incluye la función de mantenimiento, implican riesgos de accidentes, que deben identificarse y evaluarse para implantar las medidas que eviten la ocurrencia de los mismos o que minimicen las consecuencias asociadas a dichos riesgos. El constante incremento del costo de equipos, primas de seguros, además de posibles pérdidas humanas por incidentes, ha aumentado el ímpetu de la industria hacia objetivos de prevención de riesgos (Espinosa Fuentes, 2006; Lust, 2009; Cotts, 2010; Gutiérrez, 2015; Santos Rubio y Bautista-Paloma, 2016). El riesgo es uno de los elementos centrales de los sistemas ambientales de las empresas, los que pueden desencadenar su acción dañina en el entorno empresarial. El análisis de los riesgos determinará cuáles son los factores de riesgo que potencialmente tendrían un mayor efecto sobre nuestro proyecto y, por lo tanto, deben ser gestionados por el

emprendedor con especial atención (Muñoz, 2013; Rodríguez Díaz, 2014; Gutiérrez, 2015; Dickerson, 2016; Pérez González, 2016).

El mantenimiento basado en el riesgo, es una técnica cuantitativa de análisis basado en la economía, establece el valor relativo de las distintas tareas de mantenimiento y sirve como herramienta de mejora continua. Este tipo de mantenimiento determina las oportunidades de mejora incremental, eliminando las tareas de bajo valor e introduciendo tareas dirigidas a los aspectos de alto riesgo comercial. El mantenimiento basado en el riesgo evalúa el riesgo comercial actual y analiza los costos y beneficios de las medidas para mitigar los fallos, además de su mayor sencillez de aplicación, lo que hace que se aplique con éxito (Moreno Escudero, 2010; Peña Vasconcellos, 2015; Kiran, 2016).

Acerca del mantenimiento basado en riesgo, en Cuba se ha incursionado muy poco, por lo que las aplicaciones sobre este tema son escasas, solamente se tiene referencia de las investigaciones realizadas por Fernández Llanes (2011), Polo Salgado (2011), Aguilar del Oro (2012) y Rodríguez Díaz (2014). En Cuba, tradicionalmente, el mantenimiento ha sido considerado como una actividad auxiliar, postergado a un segundo plano y aislado del resto de las áreas estratégicas de la empresa; además se ha minimizado su efecto decisivo en variables que definen la competitividad empresarial como el costo, el tiempo de entrega y la calidad. El Perfeccionamiento Empresarial ha buscado introducir procesos de cambio en todas las esferas de actuación de las organizaciones y bajo estas condiciones emerge el mantenimiento industrial como un proceso con potencialidades para influir positivamente en la competitividad de las empresas (Alfonso Llanes, 2009; Aguilar del Oro, 2012; Rodríguez Díaz, 2014; Peña Vasconcellos, 2015; Pérez González, 2016).

A partir del VI Congreso del Partido Comunista de Cuba (PCC) en abril del 2011, se ponen en vigor los lineamientos que regirán la política económica y social del país, donde se trata el mantenimiento en 16 de ellos. Los lineamientos 15, 16, 59, 81, 110, 117, 198, 209 y 218 proponen como objetivos fundamentales (PCC, 2011)

- Priorizar la actividad del mantenimiento en el país.
- Aumentar la fabricación y recuperación de piezas de repuesto.
- Potenciar los servicios de reparación y mantenimiento.
- Vincular el mantenimiento y las reparaciones con el uso eficiente de la energía.
- Cumplir con los planes y metas con eficiencia.

- Mostrar sostenidamente sus balances financieros eliminando sus pérdidas.
- Garantizar las actividades previstas sin afectar la calidad.
- Planificar y ejecutar con prioridad las inversiones hacia los equipos más importantes.
- Fomentar una adecuada infraestructura técnica.
- Potenciar la capacidad de diseño del equipamiento.

En el año 2016 a partir del VII Congreso del PCC, se presentan el Proyecto de Conceptualización del Modelo Económico y Social Cubano de Desarrollo Socialista y el Proyecto Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta 2030, en el cual se aborda sobre el mantenimiento lo siguiente (PCC, 2016):

- Materializar un eficiente funcionamiento mediante el mantenimiento a los medios de producción.
- Planificar la actividad de mantenimiento para la disponibilidad de los equipos.
- Realizar el control, en especial de tipo preventivo para posibilitar la corrección de desviaciones, efectuar oportunamente los reajustes necesarios y la adopción de las medidas pertinentes.
- Recuperar, preservar, modernizar y ampliar en general la infraestructura.
- Estimular la participación de la inversión extranjera y nacional en el desarrollo y mantenimiento de la infraestructura del país.
- Fomentar el desarrollo de reparación y mantenimiento de forma tal que contribuya a la competitividad, la calidad y a la reducción de costos.

Esta nueva situación ha creado la necesidad de convertir las empresas cubanas en organizaciones flexibles, capaces de adaptarse a los constantes cambios a partir del incremento de sus capacidades de respuesta a las nuevas condiciones del entorno. Muchos servicios de mantenimiento funcionan con resultados inciertos y a un costo resultante elevado, incluyendo no solo el dinero invertido, sino también, el esfuerzo del personal, horas extras realizadas en forma habitual, mayor cantidad de materiales y repuestos, en definitiva, la falta de objetivos estables, claros y conocidos encarece la gestión del área según Rodríguez Machado (2012), Velázquez Pérez (2014), De la Paz Martínez (2015), Llerena Morera (2016) y Sosa Martínez (2016).

Infortunadamente, la realidad es otra, con frecuencia ocurren averías imprevistas, los equipos instalados pierden su capacidad, no se cuenta con soporte de equipos de respaldo o un inventario lógico de partes en almacén o con personal capacitado, bien

dirigido y con procedimientos claros para atender los equipos. Todo esto lleva a pérdidas de la calidad requerida, deterioro, obsolescencia del equipo, baja satisfacción del cliente, pérdida de ingresos, aumento de los gastos, disminución del valor del patrimonio. Por lo que el mantenimiento constituye una pieza clave para el correcto funcionamiento de la empresa (Stefano, 2006; García Garrido, 2009; Mora Gutiérrez, 2012; Rodríguez Díaz, 2014; Truong, 2017).

La Central Eléctrica Sancti Spíritus objeto de estudio práctico de la presente investigación, subordinada a la Unidad Empresarial de Base EMGEF (Empresa de Mantenimiento a Grupos Electrónicos de fuel oil) entidad perteneciente a la unión eléctrica, su objetivo es la generación de energía eléctrica a partir del uso de combustible fuel oil y mantener una disponibilidad de operación superior al 90%; lo que posibilita la reducción de las pérdidas por transmisión y distribución, disminuye el nivel de averías ocurridas en líneas eléctricas producto de sobrecargas, así como garantiza un servicio fiable y seguro al sector residencial y estatal. Esta empresa cuenta con cinco motores de tecnología MAN B&W Diesel, de nacionalidad Alemana, de 3,85 MWh, estos representan aproximadamente el 60% de la demanda eléctrica de la ciudad.

Se puede detectar un grupo de limitaciones que conducen a la necesidad del planteamiento de una nueva propuesta de sistema de mantenimiento a emplear en los equipos que supere estas restricciones y contenga sus fortalezas. A continuación se presentan las limitantes fundamentales:

- La estadía, desde enero del 2016 hasta abril del presente año, ha variado desde 1.41 h hasta 7.80 h.
- El número de fallos ha variado en los últimos cuatro trimestres desde 10 en el primer trimestre del año 2016 hasta 21 que se han presentado en igual período del presente 2017.
- No se conocen a la perfección todas las causas que pueden provocar paradas o afectaciones al funcionamiento del motor de tecnología MAN B&W Diesel.

Lo anteriormente expuesto caracteriza la **situación problemática** que originó la presente investigación y conduce al **problema de investigación** siguiente: ¿Cómo contribuir al mejoramiento del funcionamiento del motor de tecnología MAN B&W Diesel en la Central Eléctrica Sancti Spíritus.?

El **objetivo general** de la investigación consiste en implementar un procedimiento que permita la definición de las acciones de mejora encaminadas a mitigar los riesgos relacionados al mantenimiento del motor de tecnología MAN B&W Diesel en la Central Eléctrica Sancti Spíritus.

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

1. Construir el marco teórico-referencial de la investigación partiendo del análisis de los elementos analizados en la literatura nacional e internacional revisada sobre temáticas relacionadas a la gestión de riesgo y gestión del mantenimiento.
2. Seleccionar un procedimiento que permita la definición de las acciones de mantenimiento más adecuadas para el Motor de tecnología MAN B&W Diesel basado en la filosofía del Mantenimiento Basado en Riesgo.
3. Aplicar el procedimiento seleccionado para la definición de las acciones de mantenimiento del motor de tecnología MAN B&W Diesel de la Central Eléctrica Sancti Spíritus basado en la filosofía del Mantenimiento Basado en Riesgo.

El **valor social** de la investigación radica en su contribución al cubrimiento de los compromisos sociales de la empresa como cumplir con los compromisos de generación eléctrica con el Sistema Electroenergético Nacional (SEN). Por otra parte, el estudio contribuirá a disminuir las afectaciones medioambientales resultantes de mantenimientos deficientes realizados al equipamiento.

El **aporte práctico** radica en la factibilidad y pertinencia demostrada de poder implementar el procedimiento propuesto, con resultados satisfactorios y de perspectiva alentadora para su continuidad, en el objeto del estudio práctico seleccionado.

Su **valor metodológico** se manifiesta a través de la integración de diferentes conceptos y herramientas en el procedimiento propuesto para apoyar al proceso de toma de decisiones vinculado a la selección del sistema de mantenimiento más efectivo a aplicar a las organizaciones, estructurados en un método general que permite su aplicación a objetos de estudio con similares propósitos.

El trabajo se encuentra estructurado de la forma siguiente: un primer capítulo donde se construye el marco teórico y referencial de la investigación para llegar a una conceptualización de las definiciones, elementos y tendencias principales del campo objeto de estudio, y en el Capítulo II se ilustra la caracterización general de la Central

Eléctrica Sancti Spíritus y la aplicación de la propuesta en la empresa objeto de estudio, además, se incluyen un grupo de conclusiones y recomendaciones que resaltan los principales resultados obtenidos en la investigación, así como aquellos aspectos que el autor considera deben ser extendidos como parte de la continuidad científica de la investigación. Finalmente se expone un grupo de anexos de necesaria inclusión para fundamentar, destacar y facilitar la comprensión de los aspectos de mayor complejidad tratados en el cuerpo del documento.



Capítulo 1



CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

En este capítulo se muestra un análisis de diferentes fuentes bibliográficas, con vistas a precisar los principales aspectos conceptuales involucrados en la investigación, fundamentalmente todo lo relacionado con la Gestión del mantenimiento y el Análisis de riesgos, para así crear una base que sustente teóricamente el desarrollo de la investigación y facilitar una mejor comprensión de los temas que se tratarán. Este capítulo enfatiza el valor y el significado en lo teórico-práctico que tiene la determinación de los tipos de mantenimiento que se les puede dar a los diferentes equipamientos de la organización teniendo en cuenta un análisis de los riesgos y fallos. Para cumplir con este objetivo se elaboró el hilo conductor que se muestra en la figura 1.1 lo que permitirá hacer un claro análisis del estado del arte en la investigación y de la posibilidad de manifestación de la práctica sobre la gestión del mantenimiento.

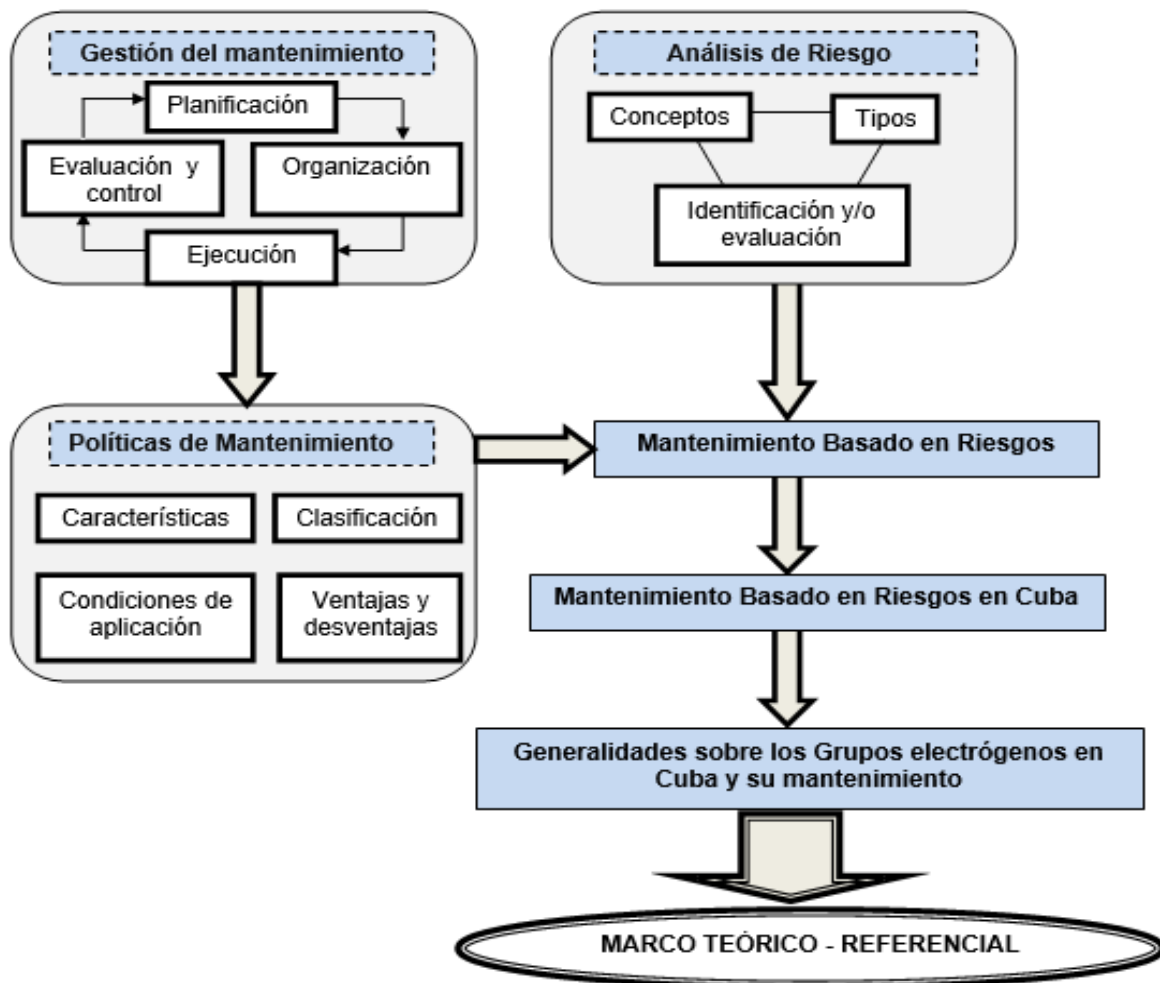


Figura 1.1. Hilo conductor del marco teórico-referencial.

1.1. Gestión del mantenimiento

Un componente decisivo en el logro de una gestión adecuada del mantenimiento en las empresas resulta la adopción del sistema de mantenimiento más efectivo, que le permite a las organizaciones un incremento en la confiabilidad y disponibilidad del equipamiento, y una reducción de los costos. Resulta importante aclarar que la gestión de mantenimiento recae en el individuo, sección, departamento o subdirección que se encarga de dirigir la organización del mantenimiento y está comprometido con el cumplimiento de las funciones necesarias para alcanzar los objetivos propuestos.

Se pueden encontrar infinidad de definiciones para el concepto de mantenimiento según los criterios de cada autor. Varios son los estudios realizados (Alfonso Llanes, 2009; Mora Gutiérrez, 2009; León Márquez, 2012; Mora Gutiérrez, 2012; Rodríguez Machado, 2012; Velázquez Pérez, 2014; De la Paz Martínez, 2015; Mostafa et al., 2015) en los cuales se hace una caracterización del largo camino recorrido en el desarrollo del concepto de mantenimiento, en los que se definen las particularidades y elementos comunes de cada propuesta, así como sus objetivos, tareas y funciones. Independientemente de la definición que se utilice, se percibe que los conceptos citados utilizan las expresiones “mantener”, “restablecer”, “conservar”, “restaurar” o “preservar” la función pretendida del activo hasta el estándar de funcionamiento deseado por sus usuarios.

En la literatura especializada han sido tratados indistintamente los tipos de mantenimiento como políticas, estrategias o filosofías, métodos y sistemas (Borroto Pentón, 2005; Gutiérrez, 2007; Rodríguez Díaz, 2014; Sosa Martínez, 2016) .El término “tipo de mantenimiento” estará referido a la forma de ejecutar dicha actividad en un equipo o grupo de ellos, mientras que el término “sistema de mantenimiento” se encuentra vinculado a la filosofía utilizada para gestionar el mantenimiento a nivel de empresa u organización.

La Gestión del mantenimiento tiene como objetivo fundamental garantizarle al cliente, tanto externo como interno, la disponibilidad de los activos fijos cuando lo necesiten, con seguridad y confiabilidad total, durante el tiempo óptimo necesario para operar con las condiciones tecnológicas exigidas previamente, para llevar a cabo la producción de bienes o servicios que satisfagan las necesidades o requerimientos de los clientes, con los niveles de calidad, cantidad y tiempo solicitado en el momento oportuno, reduciendo al máximo los costos, y con los mayores índices de rentabilidad, productividad y

competitividad (Stefano, 2006; Parra Márquez, 2012; Rodríguez Machado, 2012; Velázquez Pérez, 2014; De la Paz Martínez, 2015; Olives Masip, 2015; Llerena Morera, 2016). Durante los últimos veinte años, el mantenimiento ha cambiado, quizás más que cualquier otra disciplina gerencial. Estos cambios se deben principalmente al enorme aumento en número y variedad de los activos físicos que deben ser mantenidos en todo el mundo, a la elaboración de diseños más complejos, al uso de nuevos métodos de mantenimiento, y a la existencia de una óptica cambiante en la organización de esta actividad y sus responsabilidades (Mora Gutiérrez, 2009; Wang, 2010; Sosa Martínez, 2016; Truong, 2017). Se hace necesario el análisis del papel protagónico que desempeña en una organización, incidiendo en diversos factores como costo de producción, calidad del producto o servicio, capacidad operacional, capacidad de la empresa como un ente organizado, seguridad e higiene industrial, calidad de vida del personal y útil del equipo e imagen y seguridad ambiental (Roy, 2016; Sosa Martínez, 2016; Truong, 2017).

Se considera que la definición de Gestión del mantenimiento es una de las más completas y abarcadoras al exponer que: 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 (De la Paz Martínez, 2015).

1.1.1. Evolución del mantenimiento

A continuación, se detallan las características principales de cada una de las generaciones a través de las cuales se ha venido desarrollando el mantenimiento como se muestra en la tabla 1.1.

Primera generación

La primera generación cubre el período entre 1930 y la Segunda 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. El único mantenimiento que se realizaba era el de "Reparar cuando se averíe". La primera generación tuvo como objetivo principal:

reparar cuando se rompiera. Esto limitaba solamente a realizar un mantenimiento correctivo (Díaz Cajas 2008; Rodríguez Machado, 2012; Castellanos López, 2015).

Tabla 1.1. Características principales de las generaciones de mantenimiento

Generación	Época en que aparece	Principales fundamentos
Primera generación	Desde el inicio de la Revolución Industrial	Mantenimiento correctivo puro
Segunda generación	A partir de la Segunda Guerra Mundial	Mantenimiento preventivo planificado
Tercera generación	Década de los 80	Mantenimiento predictivo o por condición, Análisis de fallo, RCM, y TPM
Cuarta generación	Década de los 90	<u>World Class Management</u> y la eficiencia en la gestión
Quinta generación	Siglo XXI	Tercera tecnología. Visión técnico económica de los activos y del costo del ciclo de vida

Fuente: García Garrido (2010), Rodríguez Díaz (2014) y Sosa Martínez (2016).

Segunda generación

La Segunda Guerra Mundial 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. Con este nuevo enfoque del mantenimiento, apareció el concepto de mantenimiento preventivo. En la década de los 60, éste consistía fundamentalmente en realizar revisiones periódicas a la maquinaria a intervalos fijos. Además, se comenzaron a implementar sistemas de control y planificación del mantenimiento con el objetivo de controlar el aumento de los costes de mantenimiento y planificar las revisiones a intervalos fijos. La segunda generación perseguía como objetivos: mayor disponibilidad de la planta, mayor vida de los equipos, menor costo. Lo

que generó la planificación del mantenimiento, sistemas de control para el mantenimiento y la incorporación de la informática al mantenimiento a través de grandes ordenadores (Nieto Martínez, 2015).

Tercera generación

Se inició a mediados de la década de los setenta, cuando se aceleraron los cambios a raíz del avance tecnológico y de las nuevas investigaciones. La mecanización y la automatización siguieron aumentando, se operaba con volúmenes de producción muy llevados, cobraban mucha importancia los tiempos de parada debido a los costos por pérdidas de producción. Alcanzó mayor complejidad la maquinaria y aumentaba nuestra dependencia de ellas, se exigían productos y servicios de calidad, considerando aspectos de seguridad y medio ambiente y se consolidó el desarrollo del mantenimiento preventivo. La tercera generación centralizó sus tareas en los siguientes objetivos: mayor disponibilidad y fiabilidad, mayor seguridad, mayor calidad del producto, respeto al Medio Ambiente, mayor vida de los equipos y eficiencia de costes. Dando lugar a técnicas como: monitoreo de condición, diseño basado en fiabilidad y mantenibilidad, estudios de riesgo, utilización de pequeños y rápidos ordenadores, Modos de Fallo y Causas de Fallo (FMEA, FMECA), sistemas expertos, polivalencia y trabajo en equipo (González Rocha, 2006; Pérez Borrajo, 2014).

Cuarta generación

En los últimos años se vivió un crecimiento muy importante de nuevos conceptos de mantenimiento y metodologías aplicadas a la gestión del mantenimiento. Hasta finales de la década de los 90, los desarrollos alcanzados en la tercera generación del mantenimiento incluían:

- herramientas de ayuda a la decisión como: estudios de riesgo, modos de fallo y análisis de causas de fallo;
- nuevas técnicas de mantenimiento como el monitoreo de condición;
- equipos de diseño, dando mucha relevancia a la fiabilidad y mantenibilidad; y
- un cambio importante en pensamiento de la organización hacia la participación, el trabajo en equipo y la flexibilidad.

El nuevo enfoque se centra en la eliminación de fallos utilizando técnicas proactivas. Ya no basta con eliminar las consecuencias del fallo, sino que se debe encontrar la causa de ese fallo para eliminarlo y evitar así que se repita. Asimismo, existe una preocupación

creciente en la importancia de la mantenibilidad y fiabilidad de los equipos, de manera que resulta clave tomar en cuenta estos valores desde la fase de diseño del proyecto. Otro punto importante es la tendencia a implantar sistemas de mejora continua de los planes de mantenimiento preventivo y predictivo, de la organización y ejecución del mantenimiento. La cuarta generación tiene definidos como objetivos: mayor disponibilidad y fiabilidad, mayor seguridad, mayor calidad del producto, respeto al medio ambiente, mayor vida de los equipos, eficiencia de costos, mayor mantenibilidad, patrones de fallos / eliminación de los fallos. Para sustentar estos objetivos las técnicas utilizadas son las siguientes: monitoreo de condición, utilización de pequeños y rápidos ordenadores, Modos de Fallo y Causas de Fallo (FMEA, FMECA), polivalencia y trabajo en equipo/ mantenimiento autónomo, estudio fiabilidad y mantenibilidad durante el proyecto, Gestión del riesgo, sistemas de mejora continua, mantenimiento preventivo, mantenimiento predictivo, mantenimiento proactivo, eliminación del fallo, grupos de mejora y seguimiento de acciones (López García, 2013; Pérez González, 2016).

Quinta generación

En esta generación se centra en la terotecnología. Esta palabra, derivada del griego, significa el estudio y gestión de la vida de un activo o recurso desde el mismo comienzo (con su adquisición) hasta su propio final (incluyendo formas de disponer del mismo, desmantelar, etc.). Integra prácticas gerenciales, financieras, de ingeniería, de logística y de producción a los activos físicos buscando costes 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 (López García, 2013).

Combina experiencia y conocimiento para lograr una visión holística del impacto del mantenimiento sobre la calidad de los elementos que constituyen un proceso de producción, y para producir continuamente mejoras tanto técnicas como económicas. La quinta generación 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 (García González-Quijano, 2004; Broche Hernández, 2015; Llerena Morera, 2016).

1.1.2. Proceso de administración del mantenimiento

La administración puede ser considerada como un sistema de toma de decisiones cuyo propósito es dirigir los recursos disponibles hacia el logro del objetivo de la empresa (Mora Gutiérrez, 2009; Leong, 2012). Según la ISO 9000 (2015), la gestión no es más que el conjunto de actividades coordinadas para dirigir y controlar una organización. 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”. Por su parte Wang (2010) plantea que “recientes análisis sobre la efectividad de la gestión del mantenimiento indican que un tercio de todos los costos de mantenimiento se debe a una gestión deficiente”.

Dado que en la actualidad el mantenimiento está destinado a ser el pilar fundamental de toda empresa que considere ser competitiva, se hace necesario utilizar técnicas y métodos para la planificación, organización, ejecución y control de actividades que garanticen el buen desempeño del equipamiento e instalaciones. Lo anterior resulta imposible sin una eficiente estrategia y organización de esta disciplina en cada empresa, sobre todo por la estrecha relación que existe entre producción y mantenimiento. La gestión del mantenimiento abarca el cumplimiento de un conjunto de funciones, dígase Planificar, Organizar, Ejecutar y Controlar. A continuación, se describen las etapas que componen la administración del mantenimiento.

Planificación

La planificación del mantenimiento es el alma de todos los esfuerzos desarrollados en esta función (Tomlison, 2010). En ella se le debe dar respuesta a las preguntas: ¿cuándo hacerlo?, ¿con qué hacerlo? y ¿con quién hacerlo? En esta fase se definen: las acciones de mantenimiento (preventivo, correctivo) a realizar en los equipos o instalaciones, los recursos necesarios (materiales y humanos), y se establece el balance de las cargas de trabajo con las capacidades de medios y hombres para llevarlas a cabo (Hernández Milia, 2010; Fernández Llanes, 2011; León Márquez, 2012). Deben ser cubiertos por la planificación los planes de mantenimiento, manejo de repuestos y partes, recursos humanos, manejo de contratistas (terceros), recursos físicos y recursos financieros.

Organización

La organización del mantenimiento debe dar respuesta a las preguntas: ¿qué hacer? y ¿cómo hacerlo? Para ello se vale de dos fases: la fase organizativa donde se determina la estructura de trabajo, las funciones dentro de esta, las relaciones externas e internas, los procedimientos para el flujo y registro de información y documentación; y la fase preparatoria donde se define la preparación de los recursos (materiales y humanos), la documentación y las instalaciones (Hernández Milia, 2010; Fernández Llanes, 2011; León Márquez, 2012). Es de destacar que en muchas organizaciones, en el contexto empresarial cubano, aunque no dejan de considerarse muchos de los elementos mencionados anteriormente, la planificación y organización del mantenimiento han 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 nivel de deterioro de los mismos, además de no ser constante el considerable número de información que se ha de procesar (Alfonso Llanes, 2009). Esto trae consigo un sinnúmero de problemas que se necesitan enfrentar para el mejoramiento de la confiabilidad y eficiencia de los equipos.

Ejecución

La esencia de la ejecución es realizar las actividades de mantenimiento de forma efectiva y eficiente, para aumentar la productividad en la gestión y cumplir exitosamente con los programas establecidos (Hernández Milia, 2010)

La ejecución del mantenimiento puede realizarse por medios propios, por contratación de los trabajos a terceros o, como es bastante común, contratar una parte y el resto ejecutarlo por medios propios, combinación conocida como mixta (Espinoza Fuentes, 2013). Para ejecutar el mantenimiento por medios propios la empresa debe disponer de los recursos (materiales y humanos) que se necesitan para desarrollar las labores y asegurar una adecuada utilización de los mismos (Borroto Pentón, 2005).

Evaluación y control

Cada sistema de mantenimiento incluye un método de control, por lo general expresado en función de tasas, cuotas y razones o índices, para determinar cómo marchan las cosas y por qué marchan, a fin de que permita tomar decisiones (Leong, 2012; Norman, 2012; Brown, 2014; Yssaad, 2014). Existen diversas formas para realizar la evaluación de la gestión del mantenimiento. Todas ellas pueden resumirse en dos grandes grupos:

medición de resultados a partir del cálculo y análisis de indicadores de mantenimiento, y valoración del desarrollo mediante control directo, principalmente a través de auditorías (Alfonso Llanes, 2009).

1.2. Políticas de mantenimiento. Sus filosofías

En la actualidad, en aras de lograr una mejora significativa en la gestión integral del mantenimiento en las empresas, se ha desarrollado una amplia variedad de sistemas y filosofías sobre la base de los resultados y experiencias obtenidas a partir de la aplicación de los sistemas tradicionales. La selección e implementación del sistema de mantenimiento más efectivo en las organizaciones, se convierte en la base para la aplicación a nivel táctico u operativo de las políticas o tipos de mantenimiento más adecuadas (Mora Gutiérrez, 2009; Norman, 2012).

1.2.1. Mantenimiento correctivo

Es una técnica de la ingeniería que consiste en realizar una serie de trabajos de restauración, que son necesarios cuando la maquinaria, aparatos o instalaciones se estropean, y es necesario recuperarlos. Comprende la compensación de los daños sufridos por fallas incipientes, a una maquinaria o un equipo, y todos los trabajos que resulten pertinentes para su reparación; su aplicación se da cuando el equipo ha dejado de funcionar y es necesario repararlo (Hernández Milia, 2010; León Márquez, 2010; Polo Salgado, 2011; Aguilar del Oro, 2012; Rodríguez Díaz, 2014; Pérez González, 2016).

Dentro de este tipo de mantenimiento se pueden contemplar dos tipos o enfoques.

- Mantenimiento paliativo o de campo (de arreglo): este se encarga de la reposición del funcionamiento, aunque no quede eliminada la fuente que provocó la avería.
- Mantenimiento curativo (de reparación): este se encarga de la reparación propiamente, pero eliminando las causas que han originado la avería.

En general, se programa la detención del equipo, pero antes de hacerlo, se van acumulando tareas a realizar sobre el mismo y se programa su ejecución en dicha oportunidad, aprovechando así para ejecutar toda tarea que no se podría hacer con el equipo en funcionamiento (Moblely, 2008; Norman, 2012; Rodríguez Machado, 2012; Rodríguez Díaz, 2014; Pérez González, 2016)

1.2.2. Mantenimiento predictivo

Consiste en predecir, es decir, en adelantarse a la posible avería antes de que se produzca, esto se consigue con un análisis de las características de la máquina a

mantener y la lectura periódica de algunos parámetros como por ejemplo las vibraciones. El análisis de estos datos indicará la degradación del elemento mecánico, por ejemplo, de rodamiento. Los datos indicarán cuál es el momento idóneo para realizar la sustitución de este antes de que se produzca la rotura. Para conseguir esto se utilizan herramientas y técnicas de monitorización de parámetros físicos.

Para autores como Batista Rodríguez (2000), Sotuyo Blanco (2001), da Silva Neto y Gonçalves de Lima (2002) y Dos Santos Méndez (2002), el mantenimiento predictivo consiste en estudiar la evolución temporal de ciertos parámetros y asociarlos a la evolución de fallos, para así determinar en qué período de tiempo, ese fallo va a tomar una relevancia importante, y así poder planificar todas las intervenciones con tiempo suficiente, para que ese fallo nunca tenga consecuencias graves. Su objetivo se encuentra enfocado a determinar, en todo instante, la condición técnica real de la máquina examinada, mientras esta se encuentre en pleno funcionamiento, para ello se hace uso de un programa sistemático de mediciones de los parámetros más importantes del equipo; y disminuir las paradas por mantenimientos preventivos, y de esta manera minimizar los costos por mantenimiento y por no producción. Las técnicas siguientes son utilizadas para la estimación del mantenimiento predictivo (Mora Gutiérrez, 2009; Polo Salgado, 2011; Rodríguez Hernández, 2012; Rodríguez Díaz, 2014; Pérez González, 2016):

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

1.2.3. Mantenimiento modificativo

Este tipo de mantenimiento es aquel que se realiza tanto para modificar las características de producción de los equipos, como para mejorar la fiabilidad, mantenibilidad y seguridad de la máquina o instalación. Este mantenimiento también tiene como objetivo el de realizar una reforma parcial en una máquina, equipo o sistema con el fin de obtener un mejor rendimiento de la misma de acuerdo a los requerimientos del tipo de trabajo que

se desea realizar, o bien para obtener un beneficio en la rapidez de reparación (Moubray, 1997; Alfonso Llanes, 2009; Rodríguez Díaz, 2014; Pérez González, 2016).

1.2.4. Mantenimiento Preventivo Planificado (MPP)

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 (Mobley, 2008; Rodríguez Hernández, 2012; Rodríguez Díaz, 2014; Pérez González, 2016).

1.2.5. Sistema Alternativo de Mantenimiento (SAM)

Es un sistema para la organización, planificación y control del mantenimiento industrial que se caracteriza por integrar armónicamente más de uno de los tipos de mantenimiento conocidos, en calidad de subsistemas del mismo. Estos tipos de mantenimiento serán aplicados a los diferentes equipos individuales o grupos homogéneos de equipos en función de sus características tecnológicas y otros elementos (De la Paz Martínez, 2006; Rodríguez Hernández, 2012; Velázquez Pérez, 2014). Las ventajas que presenta la aplicación del SAM, según (De la Paz Martínez, 1996; León Márquez, 2012)

- Implica la aplicación del sistema de mantenimiento más adecuado a las cantidades y características de cada equipo o línea de producción.
- Se ajusta a las circunstancias específicas de cada equipo. Se debe lograr una disponibilidad alta de los mismos.
- Los costos de mantenimiento deben reducirse, al efectuarse los trabajos solo realmente necesarios en muchos casos.
- Para los equipos más imprescindibles se garantiza un trabajo sin fallos hasta el momento en que se haya previsto que se debe ejecutar un trabajo de reparación.

- Con respecto a los equipos auxiliares o poco principales implica un importante ahorro de recursos a aplicárseles el sistema contra avería (sin que este necesariamente implique que se espere a que se rompa el equipo).
- Disminuyen las posibilidades de producirse desajustes y errores al evitar el desarme y arme de componentes con una regularidad no siempre necesaria.

1.2.6. Mantenimiento Productivo Total (TPM, por sus siglas en inglés)

Fue desarrollado por primera vez en 1969 en la empresa japonesa Nippondenso del grupo Toyota, y su implementación se inicia fuera de Japón a partir de los años ochenta (Nakajima, 1991; Mobley, 2008; Kennedy, 2009; Rodríguez Díaz, 2014; Chávez Salazar y Espinoza Girón, 2016; Pérez González, 2016). El TPM es el 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.

1.2.7. Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC)

Es una metodología de análisis sistemático, objetivo y documentado, aplicable a cualquier tipo de instalación industrial muy útil para el desarrollo u optimización de un plan eficiente de mantenimiento preventivo en una instalación industrial que contribuya a la mejora de la confiabilidad de la misma y, por consiguiente, al incremento de la rentabilidad de los procesos implicados y del valor de los activos fijos (Moubray, 1997; Salguero Manosalvas, 2010; Norman, 2012; Mao, 2013; Naveen, 2013; Rodríguez Díaz, 2014; Pérez González, 2016). Actualmente uno de los mayores retos para las personas encargadas en temas de mantenimiento no es sólo aprender todas las técnicas existentes, sino identificar cuáles son las adecuadas para aplicar en su propia organización y cuáles no, tanto desde el punto de vista técnico como económico. Tomando una decisión correcta es posible mejorar el rendimiento de los activos y al mismo tiempo incluso reducir los costos de mantenimiento.

1.3. La selección de la política de mantenimiento a aplicar en la empresa

En la actualidad muchas organizaciones implementan sistemas de mantenimiento de avanzada; sin embargo, no realizan una valoración objetiva para conocer realmente cuál sistema se ajusta mejor a las características y condiciones que posee la entidad. Varios autores (LI, 2009; Lust, 2009; Mora Gutiérrez, 2009), han planteado numerosas opiniones relacionadas con la selección de la filosofía de mantenimiento a ser aplicada a nivel de empresa. Los mismos coinciden, en primer lugar, en que el criterio de selección está influenciado por numerosas variables, algunas de las cuales son difíciles de cuantificar, no obstante, los métodos cuantitativos proporcionan una herramienta en la toma de decisiones de este tipo. Un mantenimiento bien diseñado, como principio, debe adecuarse a las características de cada máquina, así como a las particulares de la empresa u organización que decida su implementación. En este sentido se han desarrollado varios procedimientos empleando criterios de selección generalmente a nivel de máquina (Alfonso Llanes, 2009; Arunraj, 2010; Seyedshohadaie, 2010). Con el objetivo de decidir sobre el tipo de mantenimiento más apropiado a aplicar a un equipo o máquina, se han presentado disímiles propuestas en la literatura. Estas pueden dividirse en dos tendencias fundamentales. La primera está relacionada con la presentación de metodologías que, al considerar varios factores, permiten decidir directamente la política de mantenimiento a seguir en cada situación. Dentro de estas metodologías se destacan la filosofía RCM (Mkandawirea, 2015; Syed, 2015), el análisis multicriterio (Antonioni, 2007; Pavan, 2009; Recchia, 2011; Duvivier, 2013), el análisis de riesgo (Arunraj, 2010; Seyedshohadaie, 2010; Gutiérrez, 2015; Aragón, 2016), las estrategias de selección basadas en elementos económicos (Sondalini, 2002; Alsyouf, 2009) y el Sistema Alternativo de Mantenimiento (SAM) (De la Paz Martínez, 2006; Velázquez Pérez, 2014), utilizado en varias industrias cubanas. La segunda estrategia, de mucho auge en la actualidad, consiste en la determinación del nivel de criticidad de cada activo dentro del proceso productivo para luego, en función de este, asignar la política de mantenimiento que resulte pertinente. El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, al crear una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, que dirige el esfuerzo y los recursos hacia las áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional (Alfonso Llanes, 2009; Mao, 2013; Rodríguez Díaz, 2014;

Yssaad, 2014; Sosa Martínez, 2016). El método clásico de evaluación de la criticidad de los componentes de un sistema se realiza normalmente mediante la técnica de Análisis de los Modos de Fallo y sus Efectos (FMEA, Failure Mode and Effect Analysis) y, en otros casos, mediante la herramienta de Análisis de Modos de Fallo y Efectos Críticos (FMECA, Failure Modes, Effects and Criticality Analysis) (Alfonso Llanes, 2009; Salguero Manosalvas, 2010; Muñoz, 2013; Rodríguez Díaz, 2014, Dickerson, 2016).

La forma más utilizada para realizar la jerarquización de los elementos dentro de un sistema productivo o de servicios es el empleo de un grupo de factores, criterios o variables que caractericen su contexto operacional y valoren las consecuencias que sobre cada una de ellas genera el modo de fallo que se presente (Alfonso Llanes, 2009; Seyedshohadaie, 2010; Dickerson, 2016).

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

Los tipos de mantenimiento analizados se pueden combinar de forma tal que se obtenga el máximo rendimiento de las instalaciones. Varios autores (Alfonso Llanes, 2009; Hernández Milia, 2010; Fernández Llanes, 2011; Acosta Palmer, 2012; Rodríguez Díaz, 2014) han coincidido que no es justificable pensar que toda una planta debe estar sujeta a un único tipo de mantenimiento.

Para la selección del tipo de mantenimiento, varios autores cubanos han diseñado metodologías con este fin, tal es el caso de Polo Salgado (2011) y Rodríguez Hernández (2012) los mismos proponen un algoritmo que incluye el estudio del régimen de explotación y del sistema de mantenimiento existente en la empresa, la clasificación de la industria según sus características de producción, grado de mecanización y régimen de trabajo, la aplicación del proceso de diferenciación de máquinas y definición de la política de mantenimiento hasta nivel de sistemas; de estos resultados se obtiene el tipo de acción de mantenimiento a acometer y luego de una valoración económica de ser positivo el análisis, se implanta el sistema, el cual puede irse perfeccionando hasta el logro de una gestión de mantenimiento automatizada.

Por otra parte, Alfonso Llanes (2009), propone un algoritmo, a partir de las propuestas presentadas por Torres (1997), Borroto Pentón (2005) y Christensen (2006) que alcanza este objetivo en dependencia del valor de cada una de las variables que, a su criterio, van a caracterizar el entorno operacional en que se desempeña el equipamiento estudiado, dígame: costo, eficiencia, eficacia, utilidad, disponibilidad y productividad. A

partir de las características propias de cada tipo de mantenimiento (ventajas, desventajas y condiciones de aplicación) se deciden las políticas de mantenimiento a considerar, así como su orden de prioridad según la estrategia trazada para cada clase y el tipo de fallo que se presente. Una metodología pobremente utilizada en Cuba lo constituye el Análisis de riesgo (Rodríguez Díaz, 2014; Peña Vasconcellos, 2015; Llerena Morera, 2016; Pérez González, 2016). En el apartado siguiente se profundiza en su contenido.

1.4. Generalidades sobre el Análisis de riesgo

Las organizaciones, no importa cuál sea su actividad y tamaño, afrontan una serie de riesgos que pueden afectar a la consecución de sus objetivos. Todas las actividades de una organización están sometidas de forma permanente a una serie de amenazas, lo cual las hace vulnerables, comprometiendo su estabilidad. Accidentes o riesgos operacionales, enfermedades, incendios, pérdidas de beneficios, catástrofes naturales, etc., son una muestra de este panorama, sin olvidar las amenazas propias del negocio (Romeral, 2008; Enciso y Casares, 2011; Molpeceres, 2012; Brennan, 2013; Leveson, 2015; Aragón, 2016; Dickerson, 2016). Acerca del término riesgo existen diferentes conceptos y definiciones las cuales se muestran en el anexo 1. En estos estudios se observa la existencia de consenso en utilizar las expresiones fallas, accidentes, sucesos, daños, protección, prevención o costo por dichos daños, relacionados todos con la salud y seguridad de los trabajadores inmiscuidos en las diferentes operaciones, así como del medio ambiente (Wu, 2016).

Cuando se aborda el tema referente al riesgo es necesario referirse a la Gestión de riesgo, donde Enciso y Casares (2011) plantean que hablar sobre este tema ya no se limita al enfoque financiero tradicional o de cobertura. La gerencia de riesgos en realidad posee una visión holística de la compañía que contempla aspectos muy variados como la pérdida de control, la seguridad, así como diversas estrategias para prevenir, reducir o transferir el riesgo.

Según Molpeceres (2012), Gutiérrez (2015) y Dickerson (2016) es el proceso planificado, concertado, participativo e integral de reducción de las condiciones de riesgo de desastres de una comunidad, una región o un país. Implica la complementariedad de capacidades y recursos locales, regionales y nacionales y está íntimamente ligada a la búsqueda del desarrollo sostenible. Es el conjunto de decisiones administrativas, de organización y conocimientos operacionales para implementar políticas y estrategias con

el fin de reducir el impacto de amenazas naturales y desastres ambientales y tecnológicos; mientras que de una forma más reducida Casares (2013) plantea que son las actividades coordinadas para dirigir y controlar una empresa en relación con el riesgo e incluye, por norma general, la evaluación, el tratamiento, la aceptación y la comunicación de los riesgos.

La gerencia de riesgos en un entorno global se está perfilando como una estrategia financiera y empresarial que proporciona una importante ventaja competitiva a las empresas que disponen de ella, así como un importante incremento de valor en el mercado. Toda empresa debería establecer esquemas eficientes y efectivos de administración, gestión y control de todos los riesgos a los que se encuentran expuestas en el desarrollo de su negocio, conforme su objeto social, sin perjuicio del cumplimiento de las obligaciones que sobre esta materia establezcan otras normas especiales y/o particulares, ya que la administración integral de riesgos es parte de la estrategia institucional y del proceso de toma de decisiones (Enciso y Casares, 2011; Casares, 2013; Dickerson, 2016).

La norma que aborda el tema referente al riesgo y por consiguiente su gestión es la ISO 31000 (2015), la cual está estructurada en tres elementos clave para una efectiva gestión de los mismos: los principios para su gestión, la estructura de soporte y el proceso de gestión, los cuales se muestran en la figura 1.3. Los principios buscan establecer el enfoque cultural e ideológico con que se deben gestionar los riesgos en toda organización. La estructura del sistema de gestión, denominada también marco de trabajo, establece y define los componentes necesarios para realizar una buena gestión de los riesgos e indica que el proceso debe iniciarse en la alta dirección de la empresa, mostrando su compromiso y emitiendo directrices para el proceso de gerencia de riesgos (política de riesgos). Este proceso se considera el pilar más importante al ser el que realmente permite gestionar los riesgos cuando estos se materializan en el contexto de la empresa, debe estar precedido y apoyado en los dos primeros si se quiere que el conjunto de la gerencia de riesgos sea eficaz para el logro de los objetivos de la empresa.

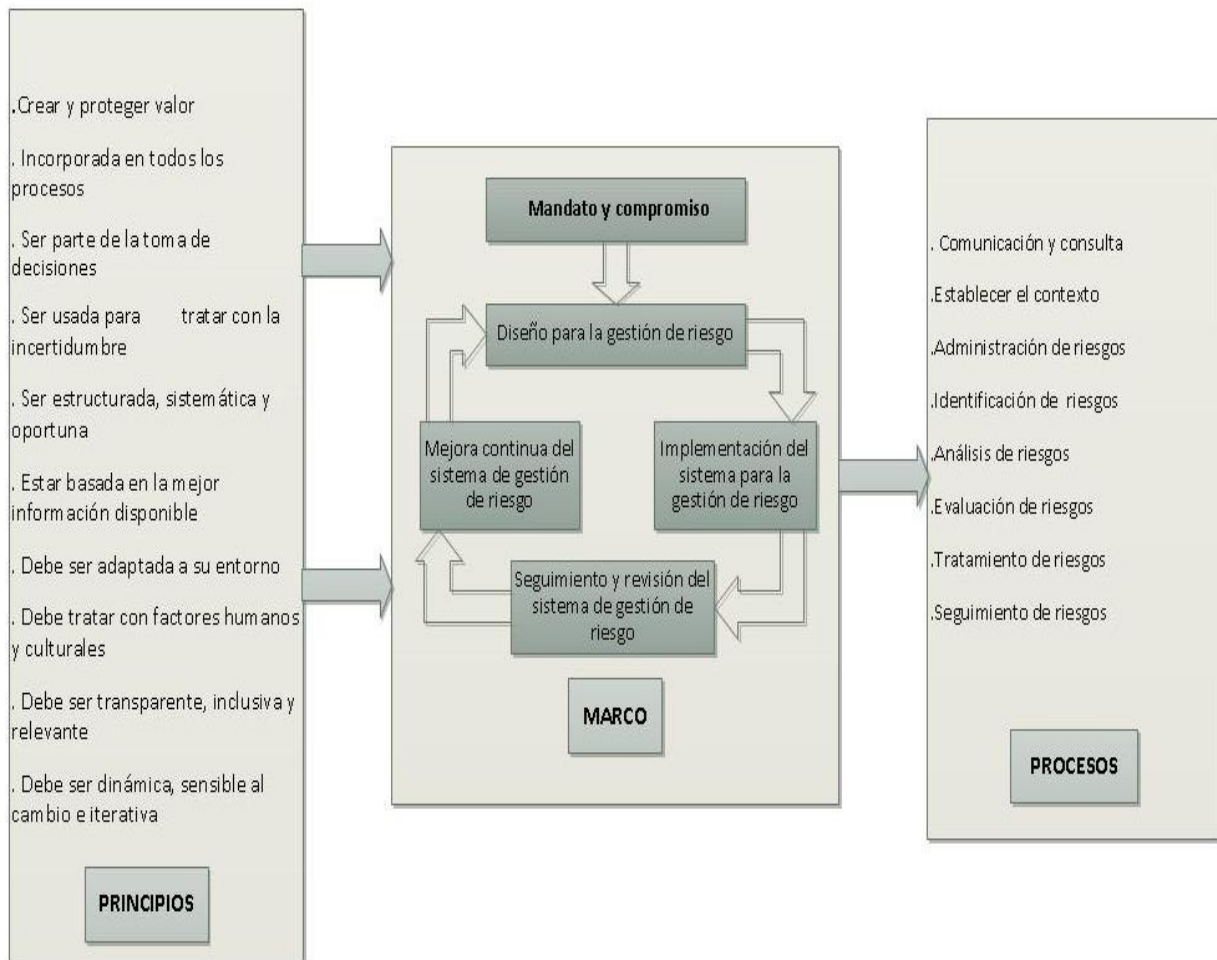


Figura 1.3. Relación entre el proceso, los principios y el marco de la Gestión de riesgos. Fuente: ISO 31000 (2015).

Esta norma en general habla sobre la evaluación de riesgos y tiene como finalidad que las organizaciones comprendan las amenazas que podrían afectar el logro de los objetivos y la adecuación y eficacia de los controles ya existentes, proporcionando una base para el tratamiento de los riesgos y la selección de las mejores decisiones a través de las buenas prácticas que ofrece.

La norma contiene las respuestas a las preguntas siguientes:

- ¿Qué puede suceder y por qué?
- ¿Cuáles son las consecuencias?
- ¿Cuál es la probabilidad de que ocurran en el futuro?
- ¿Hay factores que mitigan las consecuencias del riesgo o que reducen su probabilidad?

La evaluación de riesgos no es una actividad independiente y debería integrarse con los otros componentes en el proceso de gestión, afirma la ISO 31000 (2015), esta norma puede ayudar a la organización en los enfoques siguientes:

- Conceptos de evaluación de riesgos.
- Proceso de evaluación de riesgos.
- Selección de las técnicas de evaluación de riesgos.

En dicha norma también se tratan las ventajas de gestionar de forma correcta el riesgo, las cuales son:

- Aumentar la probabilidad de lograr los objetivos.
- Fomentar la gestión proactiva.
- Ser conscientes de la necesidad de identificar y tratar los riesgos en toda la organización.
- Mejorar la identificación de las oportunidades y amenazas
- Cumplir con las exigencias legales y reglamentarias y las normas internacionales.
- Mejorar la confianza de los interesados y la confianza.
- Establecer una base confiable para la toma de decisiones y la planificación.
- Mejorar los controles.
- Asignar y utilizar eficazmente los recursos para el tratamiento del riesgo.
- Mejorar la eficacia operacional y la eficiencia.
- Mejorar la salud y seguridad, así como la protección del medio ambiente.
- Mejorar la prevención de pérdidas y gestión de incidentes.
- Minimizar las pérdidas.
- Mejorar el aprendizaje de la organización.
- Mejorar la resistencia de la organización.

1.4.1. Análisis de riesgo y definiciones matemáticas

El Análisis de los riesgos es el proceso de identificación de los efectos potenciales en el funcionamiento empresarial, consiste en un proceso sistemático para estimar la probabilidad de ocurrencia y la magnitud del impacto de cada fallo identificado en los activos y recursos de la organización (Romeral, 2008; Sondalini, 2009; Rodríguez Díaz, 2014; Dickerson, 2016). La ISO 31000 (2015) además de otros autores Villanueva (2009), Enciso y Casares (2011), Betancourt Conde (2016) y Kamsu-Foguem (2016), plantean que el Análisis del riesgo se puede realizar con diferentes grados de detalle, dependiendo

del riesgo, de la finalidad del análisis y de la información, de los datos y recursos disponibles. El análisis puede ser cualitativo (alto, medio, bajo), semicuantitativo o cuantitativo (valor en riesgo, flujos de caja en riesgo, distribuciones de pérdidas, backtesting, análisis de sensibilidad, etc.) o una combinación de los tres casos, dependiendo de las circunstancias, con el objetivo de determinar la probabilidad e impacto (tangible e intangible) de los posibles eventos. Dependiendo de los casos se puede necesitar más de un valor numérico o descriptor para especificar las consecuencias y su probabilidad, para diferentes momentos, lugares, grupos o situaciones.

El Análisis del riesgo proporciona elementos de entrada para la evaluación y para tomar decisiones acerca de si es necesario tratar los riesgos, así como sobre las estrategias y los métodos de tratamiento del riesgo más apropiados (Rodríguez Díaz, 2014, Betancourt Conde, 2016b). La definición matemática de riesgo lo define como la esperanza matemática de la pérdida. Si se considera un suceso con una probabilidad de ocurrencia y un daño o consecuencia, el riesgo vendrá definido por el producto de esta probabilidad por el efecto o magnitud del daño (Kallen, 2009; Borboa Santamaría, 2010). Según Masayuki (2009), Muñoz, (2013), Rodríguez Díaz (2014), Gutiérrez (2015), Dickerson (2016) y Pérez González (2016) es el resultado de la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de un peligro definido (problema, fallo, accidente, catástrofe natural, fraude, error humano, etc.) y de la severidad o magnitud de las consecuencias de este hecho indeseable en caso de que ocurra. El concepto de riesgo tiene dos elementos, la probabilidad de que algo suceda y las consecuencias en caso de que suceda; en las expresiones 1.1 y 1.2 se muestra como se calcula el mismo.

$$\text{Riesgo} = P \times C \quad (1.1)$$

Donde:

P: Probabilidad de ocurrencia; siendo $0 \leq P \leq 1$

C: Consecuencia o daño

Una definición equivalente se puede obtener al sustituir la probabilidad de ocurrencia por la frecuencia con que ocurre un fallo y las consecuencias que podrían traer consigo por la severidad de los daños:

$$\text{Riesgo} = F \times S \quad (1.2)$$

Donde:

F: Frecuencia de ocurrencia

S: Severidad

Estos efectos se pueden medir en distintas unidades: en términos económicos, en pérdida de vidas humanas, en daños personales, etc. Obviamente, para reducir el riesgo se puede actuar sobre las dos variables, o sea, reducir la probabilidad de ocurrencia o la magnitud esperable del daño, o actuar simultáneamente sobre las dos. Para algunos autores (Romerio, 2000; Borboa Santamaría, 2010; Fernández Llanes, 2011; Brennan, 2013; Kiran, 2016), disminuir la probabilidad es prevención y disminuir la gravedad de los efectos es protección.

Según el autor Moreno Escudero (2010), una vez que las probabilidades y los modos de fallo se han determinado, los mecanismos de deterioro pertinentes y la probabilidad de cada consecuencia deben ser determinados. La falta de contención solo puede ser el primer evento en una serie de eventos que llevan a una consecuencia específica.

1.4.2. Técnicas para la identificación y/o evaluación de riesgos

La identificación de los riesgos a los que está sometida una empresa es la base de la gerencia de riesgos. El primer paso del análisis debe consistir siempre en la identificación y conocimiento detallado de las posibles fuentes, orígenes o causas de los fallos, así como los sujetos que pudieran verse afectados por los mismos, sus consecuencias potenciales, las áreas de impactos, etc. No todos los acontecimientos que suceden en una empresa son susceptibles de interpretarse como un riesgo, ni todos llegan a materializarse (Gutiérrez, 2015).

El objetivo de esta etapa consiste en generar una lista exhaustiva de riesgos denominada “decálogo de riesgos”, basada en aquellos sucesos que podrían crear, mejorar, prevenir, degradar, acelerar o retrasar el logro de los objetivos. En el anexo 2 se muestra una relación de las técnicas potenciales y sus categorías, donde se observa la existencia de más de treinta métodos de evaluación, ordenados por su nombre y clasificados por su aplicabilidad (FA: Fuertemente aplicables, NA: No se aplica, A: Aplicable) en cada una de las diferentes fases de identificación, análisis y evaluación de los riesgos; esta evaluación va a permitir establecer las estrategias oportunas que favorezcan la reducción de la frecuencia y la intensidad del impacto del riesgo. Entre dichas estrategias también se puede decidir “no hacer nada”, y si bien es una estrategia improbable, en algunas circunstancias tiene sentido no tratar el riesgo de ninguna otra manera que manteniendo los controles existentes. En otras ocasiones, puede llevar a la decisión de realizar un

análisis en mayor profundidad (Narváez Rosero, 2014; ISO 31000, 2015; Betancourt Conde, 2016).

Existen diferentes métodos y herramientas que contribuyen a una mejor gestión en la etapa de identificación de riesgos, gracias a los cuales se puede obtener un sistema de información organizado a partir del cual se procesan los riesgos encontrados. Las técnicas empleadas deberían ser justificables y apropiadas a la organización, proporcionar resultados que mejoren la comprensión de la naturaleza del riesgo y que sean trazables, reproducibles y verificables. Además, se deberían seleccionar en base a factores aplicables tales como (ISO 31010, 2015) los objetivos del estudio, las necesidades de las personas que han de tomar decisiones, el tipo y la gama de riesgos que se analizan, la posible magnitud de las consecuencias, el grado de conocimientos técnicos, de recursos humanos y de otros tipos que se necesitan, la disponibilidad de información y de datos, la necesidad de modificación y actualización de la apreciación del riesgo. A continuación se detallan las características generales de un grupo de técnicas utilizadas para realizar la evaluación de los riesgos (Ospino Ibarra, 2012; Rodríguez Díaz, 2014; Peña Vasconcellos, 2015; Betancourt Conde, 2016; Dickerson, 2016).

Análisis de modos de fallos y sus efectos (FMEA) / Análisis de modos de falla, efectos y criticidad (FMEAC)

El FMEA, es una herramienta de máxima utilidad en el desarrollo del producto que permite, de una forma sistemática, asegurar que han sido tenidos en cuenta y analizados todos los fallos potencialmente concebibles, es decir, permite identificar las variables significativas del proceso/producto para poder determinar y establecer las acciones correctoras necesarias para la prevención del fallo, o la detección del mismo si éste se produce, evitando que productos defectuosos o inadecuados lleguen al cliente, es un método dirigido a lograr el aseguramiento de la calidad, que mediante el análisis sistemático, contribuye a identificar y prevenir los modos de fallo, tanto de un producto como de un proceso, evaluando su gravedad, ocurrencia y detección, mediante los cuales, se calculará el Número de Prioridad de Riesgo, para priorizar las causas, sobre las cuales habrá que actuar para evitar que se presenten dichos modos de fallo (Jamshidia, 2015; Santos Rubio y Bautista-Paloma, 2016).

Se pueden distinguir dos tipos de FMEA, el de diseño, que va dirigido al producto, y el de proceso, que está orientado al proceso de fabricación, es decir, a los medios de

producción que se utilizan. Cuando la criticidad es considerada en un FMEA, el nombre es cambiado a Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad FMECA y una sección adicional es añadida en el procedimiento y en el formato tabular del FMEA. Aunque hoy en día la distinción entre ambos términos ha sido empañada y a menudo son usados intercambiabilmente (Harris, 2013).

FMECA es una técnica que facilita la identificación de posibles problemas en el diseño o proceso mediante el examen de los efectos de los fallos del nivel inferior. Las acciones recomendadas o las disposiciones de compensación son para reducir la probabilidad de que ocurra el problema, y mitigar el riesgo, si de hecho se produce. Para que un FMECA sea efectivo debe ser realizado por personal que está íntimamente relacionado con el diseño y operación del sistema además de una efectiva facilitación (Espinosa Fuentes, 2013; Chemweno, 2015; Sinha, 2015).

Análisis de peligros y operabilidad (HAZOP)

Denominado también "Hazard and Operability Análisis" o HAZOP es una técnica de seguridad orientada a identificar circunstancias de peligro y de accidente, siendo la operación (la garantía de funcionamiento) un aspecto secundario, es un método absolutamente sistemático, porque se controlan todas y cada una de las variables de proceso, en todos y cada uno de los equipos de la planta. Su aplicación se fundamenta en la identificación de todos los parámetros del proceso (presión, temperatura, nivel, caudal, etc.) y sus condiciones de trabajo habituales, analizando de manera sistemática las desviaciones posibles. Para cada situación peligrosa identificada se propondrán las medidas correctoras oportunas en el sentido de evitar las desviaciones detectadas (Harris, 2013).

Este método requiere documentación completa y un conocimiento exhaustivo de la planta, de los productos utilizados y de las condiciones de proceso. Está especialmente adaptado a plantas relativamente complejas en las que otros métodos serían totalmente anárquicos.

Análisis mediante árbol de fallas (FTA)

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. Es una técnica en la cual muchos eventos que interactúan para producir otros eventos pueden ser relacionados mediante el uso de simples relaciones lógicas; estas relaciones permiten la

construcción de una estructura lógica que permite modelar los modos de falla de un sistema. Se recomienda su utilización en instalaciones complejas en las que concurren muchos aparatos, instrumentos, equipo de control y alarma y sistemas de seguridad. Incluso es aplicable para valorar la incidencia del fallo humano en la probabilidad del suceso capital (Rodríguez Díaz, 2014; Peña Vasconcellos, 2015).

Análisis de riesgo (PHA)

El análisis de riesgo (también conocido como evaluación de riesgo o PHA por sus siglas en inglés: Process Hazards Analysis) es el estudio de las causas de las posibles amenazas, y los daños y consecuencias que estas puedan producir. Este tipo de análisis es ampliamente utilizado como herramienta de gestión en estudios financieros y de seguridad para identificar riesgos (métodos cualitativos) y otras para evaluar riesgos (generalmente de naturaleza cuantitativa). El primer paso del análisis es identificar los activos a proteger o evaluar. La evaluación de riesgos involucra comparar el nivel de riesgo detectado durante el proceso de análisis con criterios de riesgo establecidos previamente. La función de la evaluación consiste en ayudar a alcanzar un nivel razonable de consenso en torno a los objetivos en cuestión, y asegurar un nivel mínimo que permita desarrollar indicadores operacionales a partir de los cuales medir y evaluar (Muñoz, 2013; Rodríguez Díaz, 2014; Gutiérrez, 2015; Dickerson, 2016).

Análisis mediante árboles de sucesos o eventos

Mediante el ETA (Event Tree Análisis) se pretende estructurar la secuencia de eventos básicos que desencadena un tipo de accidente concreto, estableciendo también las probabilidades de ocurrencia, si el conocimiento de los sucesos básicos lo permite (Espinosa Fuentes, 2013). Desde un punto de vista abstracto, es similar al análisis de árboles de fallos, sin embargo, los sucesos básicos en este caso no son fallos de los sistemas sino alternativas de las diferentes situaciones que pueden darse. Por su especificidad y grado de desarrollo, son aplicables a las mismas instalaciones y bajo las mismas condiciones que los árboles de fallos (Rodríguez Díaz, 2014; Peña Vasconcellos, 2015).

Análisis de causas y consecuencias

Permite un análisis cuantitativo de los eventos de fallo en sistemas complejos, partiendo de sucesos capitales y factores condicionantes, con lo que al final se obtiene un árbol de causas/consecuencias. Es una combinación de árboles de fallos y árboles de sucesos

por lo que también se utilizan símbolos lógicos y asignación de probabilidades a cada uno. Los resultados obtenidos son muy detallados y permiten, como en el caso de los árboles de fallos y de sucesos, cuantificar la utilidad de las medidas correctoras propuestas (Rodríguez Díaz, 2014; Peña Vasconcellos, 2015; Pérez González, 2016).

Índices de riesgo

Son procedimientos de aplicación relativamente simple a instalaciones complejas, en las que se evalúan una serie más o menos detallada de parámetros y se cuantifican unos valores que permiten una evaluación del nivel de riesgo de la instalación analizada. Existe un buen número de ellos, cada uno con sus especificidades. Son métodos de aplicación simple y económica ya que, con la cumplimentación razonada de una lista de comprobación, se obtienen de forma más o menos inmediata unos valores orientativos del riesgo intrínseco de la actividad e incluso pueden determinarse los factores que más contribuyen a incrementar este riesgo. Sin embargo, su grado de descripción de la instalación es limitado, por lo que los resultados obtenidos son genéricos y pueden pasar por alto multitud de factores, agravantes o no (Rodríguez Díaz, 2014; Peña Vasconcellos, 2015; Pérez González, 2016).

Listas de Verificación (Checklists)

Consiste en contrastar la realidad de la planta con una lista muy detallada de cuestiones relativas a los más diversos ámbitos, tales como condiciones de proceso, seguridad o estado de las instalaciones o servicios. Es un procedimiento fácil y controlado. Está especialmente adaptado para garantizar el cumplimiento de normas o reglamentos técnicos y permite la reproducibilidad del análisis de forma periódica, permitiendo estudiar las desviaciones que se producen en el tiempo (Rodríguez Díaz, 2014; Peña Vasconcellos, 2015; Pérez González, 2016).

Análisis "¿Qué pasa si...?"

El objetivo fundamental de este método es la detección y análisis de las desviaciones sobre los procesos y condiciones previstos, intentando evitar aquellos eventos que puedan resultar no deseables. Básicamente consiste en responder cualitativamente a una batería de preguntas del tipo "¿Qué pasa si...?". Resulta un sistema muy creativo y de simple aplicación (y por lo tanto, económico). Sin embargo, aun realizándose de modo estructurado puede pasar por alto algunos peligros menos evidentes, pero no por ello menos graves (Rodríguez Díaz, 2014; Pérez González, 2016).

Análisis histórico de accidentes

Su objetivo primordial es detectar los peligros presentes en una instalación por comparación con otras similares que hayan tenido accidentes registrados en el pasado. Analizando esos antecedentes es posible conocer las fuentes de peligro, estimar el alcance posible de los daños e incluso, si la información es suficiente, estimar la frecuencia de ocurrencia. Es una metodología simple y económica, ya que no compromete muchos recursos materiales o humanos. Su gran ventaja es que detecta peligros absolutamente reales, que ya en el pasado se han puesto de manifiesto. Sin embargo, las informaciones recogidas son limitadas dado que sólo se registran los accidentes que acaban en eventos de relativa importancia y se obvian incidentes, potencialmente más peligrosos que los anteriores, pero que por circunstancias fortuitas favorables no desencadenan un gran accidente (Rodríguez Díaz, 2014; Peña Vasconcellos, 2015; Pérez González, 2016).

Análisis preliminar de peligros

Este método es similar al análisis histórico de accidentes, aunque no se basa en el estudio de siniestros previos sino en la búsqueda bibliográfica de peligros que puedan hallarse presentes en una nueva instalación a partir de la lista de productos químicos presentes. Este es un procedimiento de análisis simple y económico, aunque no sistemático; es estrictamente cualitativo y depende en exceso de los conocimientos previos de los ejecutantes. Resulta idóneo para instalaciones en fase de anteproyecto o ingeniería básica, cuando aún no se han desarrollado planos detallados de la instalación (Rodríguez Díaz, 2014; Peña Vasconcellos, 2015; Pérez González, 2016).

Análisis de las funciones

El objetivo de esta técnica es analizar los peligros y los puntos críticos de control (HCCAP), es un sistema sistemático, proactivo y preventivo para asegurar la calidad del producto, fiabilidad y seguridad del proceso, midiendo y supervisando las características específicas que requieren ser definidos dentro de ciertos límites.

Evaluaciones de controles

Esta técnica realiza un análisis de las capas de protección (LOPA). Es un método de análisis de riesgo semicuantitativo para determinar y valorar el riesgo de forma intuitiva, que señala qué capas de protección son susceptibles de ser mejoradas y en qué grado.

1.5. Mantenimiento basado en el riesgo

El Sistema de Mantenimiento Basado en el Riesgo o Sistema de Mantenimiento Centrado en el Negocio (BCM, por sus siglas en inglés), provee una metodología para decidir objetivos de mantenimiento, formular los planes de vida de los equipos y la programación de mantenimiento de las plantas, diseñando la organización de mantenimiento y estableciendo un sistema apropiado de documentación y control. Este sistema presenta un marco de referencia sistemático, basado en traducir los objetivos empresariales en objetivos de mantenimiento, que persiguen formular planes de vida de equipos y programas de mantenimiento de planta, diseñar la organización respectiva y establecer los sistemas apropiados de documentación y control (Jaimes Pineda, 2010; Fernández Llanes, 2011; Diamantoulaki, 2013; Rodríguez Díaz, 2014; Gintautas, 2016; Kiran, 2016). Esta filosofía defiende una metodología de aproximación terotecnológica orientada a optimizar los costos totales de mantenimiento en el ciclo de vida asociado al equipamiento, en contraposición al proceso de adquisición de activos limitado a consideraciones de performance y costo de capital. Además, usa juicios de ingeniería y experiencia como la base para el análisis de probabilidades y consecuencia de una falla, los resultados son dependientes de la experiencia y conocimientos de los expertos (Hameed, 2015; Moradkhani, 2015; Kiran, 2016). Los resultados son emitidos en términos como alto, medio, bajo, etc. u otros datos numéricos. Por otra parte Mora Gutiérrez (2012) y Rodríguez Díaz (2014) definen las características principales del Sistema Basado en el Riesgo, las mismas se muestran a continuación:

- Acabado análisis de confiabilidad, mantenibilidad y seguridad, con la participación conjunta del propietario, operador y responsables del diseño, manufactura e instalación. Evaluación de aprovisionamiento de repuestos, capacitación del personal de mantenimiento y los servicios de apoyo de proveedores.
- Un sistema de registro y análisis de fallas e identificación de áreas con alto costo de mantenimiento, desde la puesta en marcha hasta el reemplazo de la planta, destinado a formular modos de acción conducentes a minimizar costos directos e indirectos de mantenimiento.

De manera general, la formulación y aplicación de este sistema, para una organización, es un problema complejo y comprometido cuya resolución requiere de un enfoque sistemático y pragmático de aproximación. Esta metodología posee un enfoque iterativo

para establecer las estrategias de mantenimiento denominado “Top-Down Bottom-Up” (Mora Gutiérrez, 2009; Rodríguez Díaz, 2014; Floriana, 2015; Kamsu-Foguem, 2016).

1.5.1. Mantenimiento basado en el riesgo en Cuba

En la actualidad las investigaciones encontradas en la literatura sobre el mantenimiento basado en riesgo en Cuba son pocas, de las que se destacan las realizadas por Fernández Llanes (2011), Polo Salgado (2011) y Aguilar del Oro (2012), los cuales proponen una metodología basada principalmente en el FMEA y realizan su aplicación en las empresas “Combinado de Productos Lácteos”, “Empresa Agropecuaria Militar Cuba Soy” y “Empresa Mecánica Indalecio Montejo”, respectivamente pertenecientes a la provincia Ciego de Ávila. Se debe señalar que estas propuestas no tienen en cuenta el cálculo del Número de Prioridad de Riesgo (NPR) para priorizar las causas sobre las cuáles habrá que actuar para evitar que se presenten los modos de fallo.

Las investigaciones realizadas por Rodríguez Díaz (2014), Broche Hernández (2015) y Pérez González (2016) proponen una metodología basada principalmente en el FMEA y tienen en cuenta el cálculo del Número de Prioridad de Riesgo (NPR) como punto de partida para el mejoramiento del nivel de riesgo en cada uno de los modos de fallo y realizan su aplicación en las empresas “UEB Elpidio Sosa, Electroquímica”, “UEB Embotelladora Central Osvaldo Socarrás Martínez” y “Hotel Playa Cayo Santa María” pertenecientes a la provincia Villa Clara, respectivamente. En el caso específico de Rodríguez Díaz (2014), Broche Hernández (2015) y Pérez González (2016) además, emplean un árbol de fallos como herramienta de entrada al trabajo con el FMEA.

La propuesta presentada por Rodríguez Díaz (2014) se considera de alta valía al abarcar los elementos, que según la nueva norma ISO 31000 (2015), deben tener en cuenta en todo estudio que se realice sobre 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.

1.6. Generalidades sobre los Grupos electrógenos en Cuba y su mantenimiento

En el mundo moderno, el desarrollo de un país se mide entre otros elementos por el nivel de electrificación que el mismo posee, debido a que la electricidad es la principal fuente de energía para la realización de la inmensa mayoría de las actividades productivas, económicas, administrativas y de servicios. En el 2004, Cuba sufrió una severa crisis en

el Sistema de Generación Electro Energético Nacional (SEN), apoyado en aquel entonces en grandes plantas con elevados índices de consumo de combustibles y redes de transmisión y distribución en mal estado técnico, esta situación conllevó al surgimiento de la puesta en marcha de un nuevo programa.

Este programa fue la primera etapa de la Generación Distribuida en Cuba que consistió en la instalación de baterías de grupos electrógenos, de alta calidad y eficiencia operando con diesel o fuel-oil, suministrados por firmas prestigiosas. En menos de dos años de intenso trabajo, se instalaron más de 1300 MW que son generados de forma distribuida por Grupos Electrógenos Diesel en 116 de los 169 municipios del país. Posteriormente se dio paso a la segunda etapa del proceso con la instalación de grupos de mayores potencias de tecnología fuel oil de HYUNDAI (Corea del Sur) y MAN (Alemania), hasta cubrir una capacidad instalada actual de casi 900 MW (Llosas Albuerne, 2010; Hourné Calzada, 2012).

La Oficina Nacional de Estadística e Información (ONEI) ha publicado información sobre el número de grupos electrógenos que hay instalados en Cuba, especificando en cada provincia y clasificándolos según el combustible utilizado, diesel o fuel. En 2016 había instalados un total de 1.406 grupos electrógenos en Cuba, de estos, 856 (61%) funcionaban con diesel, mientras que 550 (39%) lo hacían con fuel. Se mantiene el número de equipos instalados, actualmente

Según la ONEI, el mantenimiento de los grupos electrógenos diesel y fuel oil se ofrece casi en su totalidad por la Empresa Grupos Electrógenos y Servicios Eléctricos (GEYSEL) y la Empresa de Mantenimiento a Grupos Electrógenos de Fuel oil (EMGEF) localizadas en la provincia de La Habana (Montoya Sirvent, 2017). De aquí nacen las entidades pertenecientes en cada una de las provincias del país las cuales utilizan el Mantenimiento Preventivo Planificado, aprobado para estos equipos de tecnología MAN B&W Diesel, utilizando para ello las matrices bases de mantenimiento establecidas en el Manual de Generación Distribuida de Electricidad en Cuba según Dorta Herrera (2009), con el propósito de reducir la posibilidad de que la condición técnica de este caiga por debajo de un nivel requerido de aceptabilidad y de seguridad para la integridad de los mismos, además se emplea el mantenimiento correctivo en caso de necesitarse.

1.7. Conclusiones parciales

1. La mayoría de los servicios que se disfrutan hoy en día no habrían sido posibles sin la electricidad suministrada por grupos electrógenos instalados en Cuba; sin embargo, el esquema actual de generación presenta riesgos para su equipamiento por lo que se encuentra actualmente sometido a realizar un proceso de acciones preventivas de mejora.
2. Las metodologías de evaluación de riesgos existentes en la literatura proporcionan una base sólida para la toma de decisiones dentro de un amplio rango de usos para la gestión de los activos y la optimización de las tareas de mantenimiento. En este sentido, el procedimiento propuesto por Rodríguez Díaz (2014) aborda de manera general los elementos a considerar en un análisis de este tipo.



Capítulo 2



CAPÍTULO 2. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DEL TIPO DE MANTENIMIENTO BASADO EN ELEMENTOS DE ANÁLISIS DE RIESGO

En el presente capítulo, para tributar a la solución del problema de investigación de la tesis, y como respuesta a lo expuesto en las conclusiones parciales derivadas de la construcción del marco teórico y referencial de la investigación, se expone la aplicación de un procedimiento general para asistir el proceso de toma de decisiones vinculado a la selección del sistema de mantenimiento basado en Análisis de riesgo. Primeramente, se realiza una descripción general del procedimiento a aplicar y luego se muestra la aplicación del mismo.

2.1. Descripción general del procedimiento para la toma de decisiones vinculada a la selección del tipo de mantenimiento a aplicar en la Central Eléctrica Sancti Spíritus

En la figura 2.1 se muestra el procedimiento general propuesto por Rodríguez Díaz (2014) el cual será empleado para el desarrollo de la presente investigación. A continuación, se realiza una descripción general de su contenido.

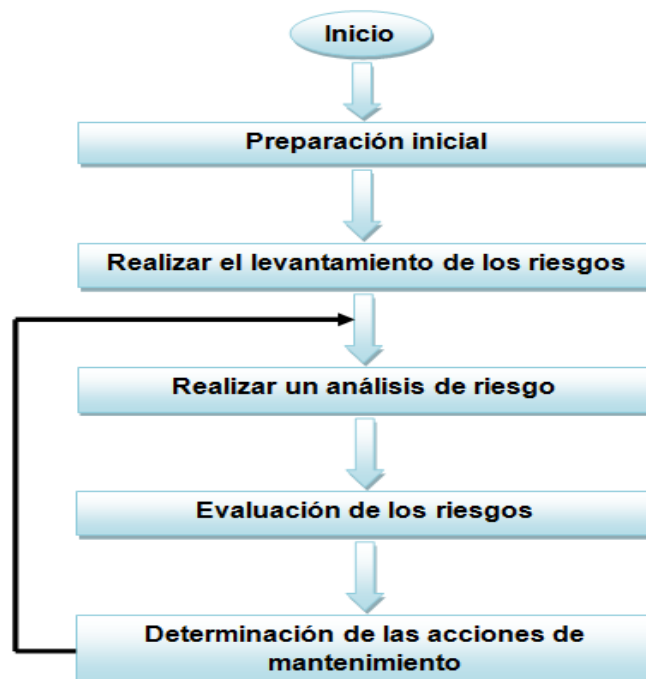


Figura 2.1. Procedimiento general para la selección del tipo de mantenimiento basado en el análisis de riesgos. Fuente: Rodríguez Díaz (2014).

Fase 1: Preparación inicial

En esta fase se crean fundamentalmente las condiciones básicas para desarrollar la aplicación de las diferentes etapas del procedimiento. Una de las acciones principales lo constituye la conformación del grupo de expertos el cual estará constituido por especialistas de la empresa que posean conocimientos generales sobre el tema. Para la determinación y selección de los expertos se emplea el procedimiento presentado por Hurtado de Mendoza Fernández (2003).

Fase 2. Realizar el levantamiento de los riesgos

En esta fase se realiza la jerarquía de la planta la cual facilita la identificación de las funciones, los mecanismos de degradación y los fallos del equipamiento. El desarrollo de esta fase puede desarrollarse a través de la llamada “Hoja de trabajo del AMFE”. De manera general este levantamiento debe comprender los elementos que se detallan a continuación.

- Desglose funcional
- Modos de fallo o riesgos
- Efectos del fallo

Fase 3. Realizar un análisis de riesgo

Para el desarrollo de esta fase, se utiliza el procedimiento específico que se muestra en la figura 2.2. Este procedimiento está compuesto por tres etapas que expresan la función de cada elemento de las etapas del análisis de riesgo donde se dan a conocer parámetros básicos dentro de los cuales deben administrarse los riesgos de la entidad, así como la clasificación que tienen los componentes del número de prioridad de riesgo para luego de ser clasificados hacer los cálculos del NPR el cual permitirá priorizar la causa potencial del fallo para posibles acciones correctoras.

Fase 4. Evaluación de los riesgos

Luego de obtener los valores del Número de Prioridad del Riesgo a partir de la fase anterior se puede catalogar el riesgo en función del rango donde se encuentre este indicador, según se muestra en la tabla 2.1.

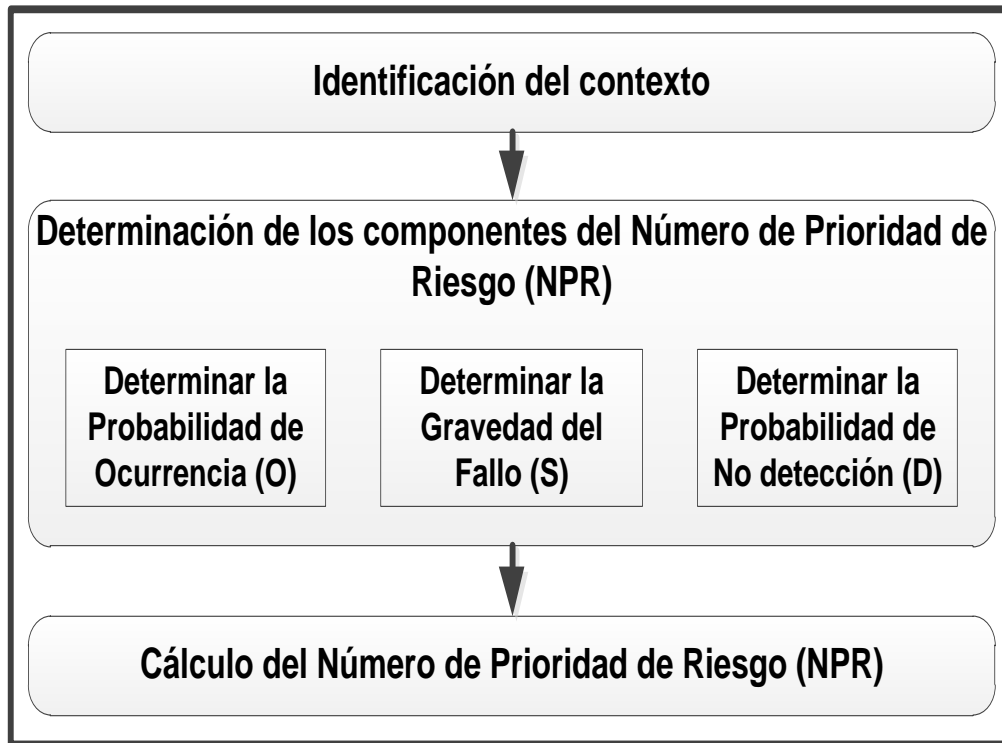


Figura 2.2. Procedimiento específico para la determinación del NPR.

Tabla 2.1. Niveles de riesgo del fallo

Niveles de riesgo	Valor del NPR
Muy alto riesgo o inadmisible (H)	504 > NPR
Alto riesgo o inaceptable (S)	210 < NPR ≤ 504
Riesgo tolerable (M)	60 < NPR ≤ 210
Riesgo aceptable (L)	1 < NPR ≤ 60

En el desarrollo de esta tabla se debe trabajar de conjunto con personal experimentado, que posea conocimientos sobre la influencia de los fallos en el desempeño operacional del sistema.

Fase 5. Determinación de las acciones de mantenimiento

Un plan de mantenimiento es un documento donde se listan un grupo de tareas que debe realizar el personal con un nivel de conocimientos específico en un activo determinado y con una frecuencia explícita. Para la generación de la planificación del mantenimiento se utilizarán los datos obtenidos del análisis FMEA. Con esta información se pueden elaborar los solucionarios de fallas, además, con los valores obtenidos del cálculo del

índice de riesgo (NPR) de cada componente, se pueden (de ser necesario) reformular las pautas de mantenimiento preventivo que se realizan a estos equipos. En esta fase se definen las especificaciones pertinentes para el desarrollo de la planificación de las acciones de mantenimiento necesarias en cada equipo, en aras de eliminar el riesgo equivalente a cada modo de fallo o disminuirlo hasta niveles permisibles.

En esta fase se determinarán las acciones de mantenimiento a aplicar al componente asociado al modo de fallo correspondiente a través de los resultados obtenidos. En la figura 2.3 se presenta el algoritmo de decisión seleccionado para desarrollar este proceso de toma de decisiones. Finalmente se realiza la programación del mantenimiento donde se definen elementos cruciales para el adecuado desempeño del sistema de mantenimiento. Se definen los intervalos de intervención, o sea, la frecuencia con la cual se debe realizar cada tarea de mantenimiento, y por último se realiza la estimación del número de prioridad de riesgo mejorado (NPRM) que se apoya en el llamado método GOD (SOD según definiciones), el cual separa las diferentes acciones a realizar según su Gravedad (Severidad), Ocurrencia y posibilidad de Detección. Una vez establecidas las medidas y ejecutadas, se debe revisar el AMFE, simplemente valorar nuevamente la Gravedad, la Ocurrencia y la Detección. Esto debe ofrecer un valor de NPR más bajo y dentro de unos patrones de seguridad, dígame, un valor por debajo de 60.

2.2. Caracterización de la Central Eléctrica Sancti Spíritus

La Central Eléctrica Sancti Spíritus, pertenece a la Unidad Empresarial de Base EMGEF (Empresa de Mantenimiento a Grupos Electrógenos de fuel oil) entidad perteneciente a la unión eléctrica, esta central fue inaugurada en mayo de 2007 llevando aproximadamente diez años de explotación. La Instalación se encuentra localizada en la carretera de Zaza del Medio, km 1 ½, zona industrial norte en el municipio de Sancti Spíritus, en la provincia del mismo nombre. Esta empresa cuenta con cinco motores de tecnología MAN B&W Diesel, de nacionalidad alemana, de 3,85 MWh, estos representan aproximadamente el 60% de la demanda eléctrica de la ciudad, en horario pico, esta tecnología emplea diferentes tipos de combustible diesel y fuel oil.

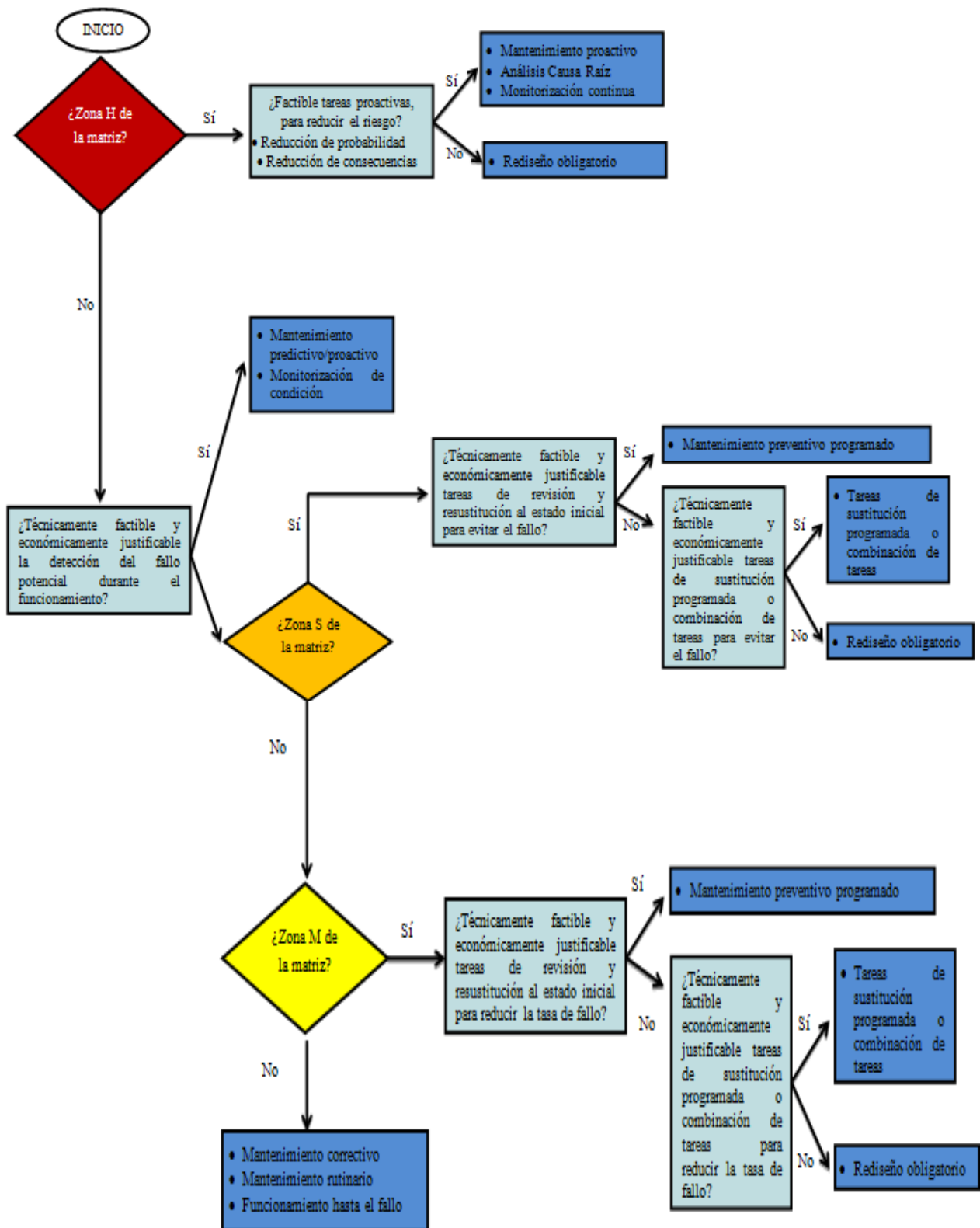


Figura 2.3. Diagrama de decisión para seleccionar las acciones de mantenimiento.
Fuente: García González-Quijano (2004).

Tres de los motores con que cuenta la central (motor 1, 3 y 5) tienen acopladas calderas recuperadoras de vapor, las que utilizan los gases de escape de la combustión, para generar el vapor necesario en los distintos procesos de la central principalmente en el procesamiento del fuel oil. La central cuenta con diferentes equipamientos e instalaciones clasificados en:

- Sistema motor-generador: comprende todo el equipamiento del motor principal y el generador.
- Equipos auxiliares: incluye centrífugas de aceite, calderas, compresores, deareador, booster, sistema de recuperación de condensado, sistema de agua de enfriamiento del motor, transformadores, interruptores y cargador de baterías.
- Tratamiento de combustible: incluye centrífugas de fuel, bombas de combustible, filtros de fuel y diesel.
- Recepción y alimentación de combustible: que incluye bombas del descargadero, flujómetros y tanques de combustible.
- Tratamiento de agua: planta de tratamiento de agua, sistema contra incendio, cisterna y bombas de agua.

El proceso de generación se monitorea y controla los distintos parámetros de casi la totalidad de sus procesos, desde la sala de control, realizándolo de forma automática. La Central Eléctrica se encuentra sincronizada al sistema de la red nacional, y está diseñada para laborar las 24 horas en dependencia de la demanda eléctrica, lo que proporciona y garantiza gran parte de la energía demandada en el municipio, principalmente en los horarios de máxima demanda. Además, está diseñada con la posibilidad de generar energía eléctrica de forma aislada, lo que posibilita que se pueda generar electricidad para instalaciones de producción y servicio en situaciones excepcionales, huracanes, desastres naturales y acciones de la defensa.

La empresa identifica su misión en garantizar la generación eficiente y sustentable de energía eléctrica en régimen base con motores de combustión interna respondiendo a los requisitos del Sistema Electroenergético Nacional (SEN) con profesionalidad y confiabilidad; mientras que la visión se define como: alcanzar los niveles de generación de energía eléctrica que permitan satisfacer las necesidades de nuestro cliente, manteniendo una alta disponibilidad, confiabilidad y seguridad operacional; mejorando la eficacia y eficiencia del sistema de gestión, el clima organizacional, el ahorro de recursos

y la mitigación de los impactos ambientales negativos. Su objeto social es la generación de energía eléctrica a partir del uso de combustible fuel oil y mantener una disponibilidad de operación superior al 90%; lo que posibilita la reducción de las pérdidas por transmisión y distribución, disminuye el nivel de averías ocurridas en líneas eléctricas producto de sobrecargas, así como garantiza un servicio fiable y seguro al sector residencial y estatal. A continuación, en el anexo 3 se puede apreciar el organigrama de la empresa, donde se reflejan las diferentes direcciones y Unidades Empresariales de Base (UEB) encargadas de lograr un correcto funcionamiento de la entidad para cumplir con el objeto social que tiene la misma. Con la finalidad de realizar sus actividades, la empresa cuenta con una plantilla aprobada de 60 trabajadores, la cual, se encuentra cubierta por 53, según se muestra en la tabla 2.2

Tabla 2.2 Plantilla aprobada y cubierta de la entidad objeto de estudio

	Plantilla aprobada	Plantilla cubierta
Dirección general	2	1
Área Administrativa	3	3
Área Técnica	7	5
Brigada de operaciones 1	7	7
Brigada de operaciones 2	7	7
Brigada de operaciones 3	7	6
Brigada de operaciones 4	7	7
Área de mantenimiento	20	17
Total	60	53

Fuente: documentación de la empresa.

El cliente principal de la empresa es: la Unión Eléctrica Nacional (UNE) la que se encuentra encaminada a elevar la eficiencia en el Sistema Electroenergético Nacional (SEN) para un mayor desarrollo del sistema estatal y bienestar de la población en general. Dentro de sus proveedores se encuentran: CUPET, CUBALUB.

2.2.1. Caracterización del área de mantenimiento de la Central Eléctrica Sancti Spíritus

La empresa cuenta con un área de mantenimiento la cual tiene como misión mantener una disponibilidad técnica del equipamiento de elevada confiabilidad, mantenibilidad y por esto es evaluado su desempeño dentro del sistema, minimizar las fallas imprevistas

y garantizar la seguridad tanto del hombre como del medio ambiente, contribuyendo, de esta forma, a mejorar la eficiencia de la organización.

La empresa cuenta con una plantilla aprobada de 20 trabajadores, la cual, en estos momentos, se encuentra cubierta por 17, según se muestra en la tabla 2.3. los cuales se encargan de realizar actividades como la supervisión, coordinación de los mantenimientos a realizar, el control del funcionamiento de todos los equipos a través de la automática.

En la Central Eléctrica Sancti Spíritus donde se realiza la presente investigación se utiliza el Mantenimiento Preventivo Planificado que es el aprobado para el equipo utilizando para ello las matrices bases de mantenimiento establecidas en el Manual de Generación Distribuida de Electricidad en Cuba según Dorta Herrera (2009), 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 de los mismos, además se emplea el mantenimiento correctivo en caso de necesitarse.

Tabla 2.3. Plantilla aprobada y cubierta en el área de mantenimiento

Área de mantenimiento	Plantilla aprobada	Plantilla cubierta
Taller de mantenimiento y reparación	5	3
Brigada de Mantenimiento Mecánico	7	7
Brigada de Mantenimiento Compromiso	4	3
Brigada de Mantenimiento Eléctrico	4	4
Total	20	17

Fuente: documentación de la empresa.

En el área del taller es donde se realizan los mantenimientos a las partes y piezas de los motores según su ciclo de mantenimiento, estos mantenimientos se tienen que realizar bajo regulaciones, instrucciones e inspecciones que garantizan la calidad de la ejecución, entregando el equipo sin limitaciones ni restricciones para su operación.

Para la ejecución del mantenimiento las áreas de mantenimiento y operación coordinan el trabajo a realizar, el equipo es entregado a mantenimiento por un proceso de entrega debidamente documentado (UJ-IG 0310 Análisis de equipos antes y después de mantenimiento) ver anexo 4, con las vías libres solicitadas, el equipo limpio y las medidas

de seguridad tomadas. Terminado el mantenimiento al equipo, se entrega a la operación con el trabajo finalizado y limpio, a través de un proceso de recepción debidamente documentado (UJ-IG 0310 Análisis de equipos antes y después de mantenimiento), se devuelven las vías libres y se comienza la prueba del equipo con la que participación de ambas partes. El equipo es recepcionado, finalmente, con el resultado exitoso de la prueba. También se realiza un mantenimiento diario donde hay un grupo de acciones de mantenimiento que realiza el personal de operación:

- Inspecciones diarias del motor.
- Detección y corrección de partes flojas.
- Corrección de salideros.
- Cambio de lubricante y filtros de lubricante, combustible y aire. Mantenimiento de pintura, limpieza, y cultura de producción.

2.2.2. Deficiencias principales del sistema de mantenimiento actual

La actividad de mantenimiento que se realiza en la Central Eléctrica Sancti Spíritus muestra un conjunto de insuficiencias que atentan contra la efectividad de esta actividad, identificadas durante una auditoria técnica hecha por la UNE, por lo que se detectó que:

- No se cumple con el tiempo de entrega de los registros inherentes a las distintas actividades de mantenimiento para conformar el expediente técnico del motor
- No hay una disponibilidad de las piezas de repuesto necesaria para desempeñar su trabajo en calidad y cantidad precisa.
- No hay una estabilidad del chequeo de las distintas actividades a través de los puntos de espera y los registros.
- No se cuenta en el momento de la ejecución del mantenimiento con insumos como pegamentos, desengrasantes, siliconas, entre otros de vital importancia para facilitar el trabajo.
- No se utilizan los vínculos con universidades, centros especializados, u otros para actualizar los conocimientos, con las técnicas más modernas.

2.3. Aplicación práctica del procedimiento propuesto

A continuación, se presentan los resultados principales de la aplicación del procedimiento general seleccionado para facilitar el proceso de toma de decisiones para el análisis de riesgo. Para alcanzar el objetivo de esta etapa es necesario utilizar técnicas de trabajo en grupos, siendo la tormenta de ideas o Brainstorming una de las más usadas,

participando en él un grupo de expertos. Las actividades planificadas fueron: entrevistas, revisión de documentos de la entidad y reuniones del equipo.

2.3.1. Fase 1: Preparación inicial

Luego de plantearle y explicarle a la dirección las características y requisitos que deben cumplir los integrantes del equipo de trabajo, se realizó la determinación y selección de los expertos mediante el procedimiento presentado por Hurtado de Mendoza Fernández (2003). El equipo de trabajo quedó conformado por los siete especialistas que se muestra a continuación:

- Especialista B en ensayos físicos químicos y mecánicos
- Especialista B en ensayos físicos químicos y mecánicos
- Especialista A en explotación de centrales eléctricas
- Especialista A en automatización
- Operador A de centrales eléctricas (Jefe de brigada)
- Mecánico A de mantenimiento industrial
- Especialista A en mantenimiento industrial

2.3.2. Fase 2: Realizar el levantamiento de los riesgos

El objeto práctico de la investigación son los motores MAN B&W Diesel modelo V28/32S los cuales existen cinco de este tipo en la Central Eléctrica Sancti Spíritus, estos son los equipos principales encargados de generar energía eléctrica para el Sistema Electroenergético Nacional (SEN). En el anexo 5 se presenta el resultado obtenido después de haber realizado el levantamiento de riesgos para el equipo seleccionado por el grupo de especialistas.

2.3.3. Fase 3: Realizar un análisis de riesgo

En este epígrafe se desarrolla la aplicación del análisis de riesgo como política de mantenimiento en el equipo clave de la entidad de objeto de estudio, siguiendo el procedimiento expuesto en el apartado anterior.

Etapa 1. Identificación del contexto operacional

La entidad objeto de estudio posee un régimen de trabajo de 2 turnos de 12 horas diarias, los siete días de la semana. Los trabajadores tienen el mínimo de condiciones garantizadas: ropa y calzado de trabajo, medios de protección individual entre otros de manera general, el equipamiento está expuesto a un ambiente agresivo (temperatura y altas presiones).

Etapa 2. Determinación de los componentes del análisis de riesgos

A partir de los riesgos identificados en la fase 2 se realiza un análisis minucioso de los mismos

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en los pasos de esta etapa

Paso 1. Clasificación de la Probabilidad de Ocurrencia (O)

Los resultados obtenidos a través de la definición de los diferentes criterios y valor de probabilidad muestran la evaluación hecha, en este caso, por el grupo de expertos previamente seleccionados (ver tabla 2.4)

Tabla 2.4. Cuadro de clasificación de la probabilidad de ocurrencia

Criterio	Contenido	Valor O
A_Alta	El fallo es más frecuente ocurriendo cada 12 días aproximadamente.	10
MA Media-Alta	El suceso ocurre en un período comprendido entre 12 días y 24 días.	8-9
M_Media	El fallo tiene un período de ocurrencia entre 24 días y 3 meses	5-7
MB_Media-Baja	El fallo ocurre en un período entre 3 meses y 6 meses.	2-4
B_Baja	El fallo ocurre con una frecuencia superior a 6 meses	1

Paso 2. Clasificación de la Gravedad del Fallo (S)

Las descripciones de los diferentes criterios definidos por el grupo de expertos, donde se deja evidenciada la consecuencia de riesgo asociada a cada fallo, su criterio y valor de probabilidad, se puede observar en la tabla 2.5, que se muestra a continuación.

Paso 3. Clasificación de la Probabilidad de No Detección

Al igual que en el paso 1 y 2, a continuación se muestran, en la tabla 2.6, los resultados obtenidos por el grupo de expertos de las descripciones de los diferentes criterios y su valor de probabilidad.

Tabla 2.5. Cuadro de clasificación de la gravedad o severidad de fallo

Criterio	Contenido	Valor S
A _ Ínfima	No tiene consecuencia para la salud, medio ambiente y el equipamiento	1
B _ Escasa	Puede presentar leves problemas de salud pero sin hospitalización, además puede afectar el equipamiento así como provocar alguna contaminación medioambiental, pero dentro de los límites permisibles	2-3
C _ Baja	Puede presentar leves problemas de salud pero con hospitalización temporal, además puede provocar alguna contaminación medioambiental, pero dentro de los límites permisibles y daño menor al equipamiento	4-5
D _ Moderada	Puede presentar problemas severos de salud con ingresos hospitalarios, además puede provocar alguna contaminación medioambiental, pero dentro de los límites permisibles y daño relativamente alto al equipamiento	6-7
E _ Elevada	Puede presentar graves problemas de salud permanente con peligros para la vida y puede ocasionar una contaminación medioambiental fuera de las especificaciones permisibles, además daño mayor al equipamiento	8-9
F _ Muy elevada	Puede ocasionar una contaminación medioambiental fuera de las especificaciones permisibles que puede ocasionar enfermedades a los operarios que laboran en el área además de la pérdida del equipamiento	10

Tabla 2.6. Cuadro de clasificación de la probabilidad de no detección

Criterio	Contenido	Valor D
A _Alta	El fallo es muy difícil de detectar por los controles existentes	10
MA _Media-Alta	El fallo es de naturaleza tal, que su detección es relativamente improbable mediante los controles existentes	8-9
M _Media	El fallo con relativa frecuencia es difícil de detectar por los controles existentes	5-7
MB _Media-Baja	El fallo aunque es obvio y de fácil detección, podría raramente escapar a algún control primario, pero sería detectado posteriormente	2-4
B _Baja	El fallo es obvio. Resulta muy improbable que no sea detectado por los controles existentes	1

2.3.4. Fases 4 y 5: Evaluación de riesgos y determinación de las acciones de mantenimiento

En esta fase primeramente se define, por parte del equipo de trabajo, según las características propias del equipo estudiado, el rango de valores del NPR para cada categoría de riesgos. En la tabla 2.7 se muestra el resultado obtenido.

Tabla 2.7. Rango de valores del NPR para cada nivel de riesgo

Niveles de riesgo	Valor del NPR
Muy alto riesgo o inadmisible (H)	504 > NPR
Alto riesgo o inaceptable (S)	210 < NPR ≤ 504
Riesgo tolerable (M)	60 < NPR ≤ 210
Riesgo aceptable (L)	1 < NPR ≤ 60

En el anexo 6 se muestra el resultado obtenido después de haber definido las acciones de mejora para cada modo de fallo con niveles de riesgo iniciales superiores a los deseados, así como sus responsables, y período de realización. Además, se realiza el cálculo del NPR estimado a obtener luego de sistematizadas dichas acciones de mejora

para cada modo de fallo. Al analizar los resultados obtenidos en el anexo 6 se puede observar que:

- De los 89 modos de fallo identificados, 39% se clasifican como aceptable, 37% como tolerable, 20% como inaceptable, 3% como inadmisible (Ver figura 2.4 a).
- Luego de aplicadas las acciones de mejora se espera un mejoramiento en el 100% de los niveles de riesgo de los modos de fallo, resultando en la situación siguiente: 65% clasifican como riesgos aceptables, 30% tolerable y 5% inaceptable (Ver figura 2.4 b).

En la figura 2.4 se muestra una comparación de la cantidad de modos de fallos existentes en cada nivel de riesgo, antes y después de definidas las acciones de mejora.

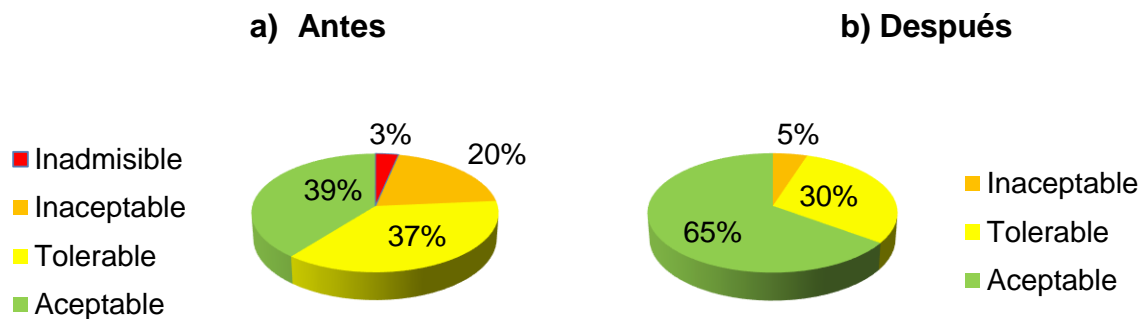


Figura 2.4. Comportamiento del nivel de riesgo antes y después de las acciones de mejora.

2.4. Conclusiones parciales

1. La aplicación del procedimiento seleccionado al caso de estudio práctico, demostró su capacidad de asistir, aún en condiciones de insuficiencia informativa, un proceso decisonal en el contexto abordado por la investigación.
2. La puesta en práctica del procedimiento seleccionado, permitió determinar las acciones de mantenimiento más efectivas a aplicar a cada modo de fallo del equipamiento bajo estudio, incluyendo los componentes principales que lo conforman.



Conclusiones



Conclusiones

1. Al analizar la situación problemática que fundamenta el presente trabajo investigativo originó la necesidad de aplicar un procedimiento que facilite la toma de decisiones respecto a las acciones de mantenimiento para el equipo cuyos componentes consideren los elementos referentes al análisis de riesgo, dada la cantidad de situaciones arriesgadas, desde el punto de vista técnico, que se presentan en la entidad objeto de estudio práctico de la investigación, específicamente en el equipamiento del motor de tecnología MAN B&W Diesel.
2. El estudio de la literatura científica especializada permitió corroborar que se consideró como adecuado el enfoque propuesto por Rodríguez Díaz (2014) para determinar las acciones de mantenimiento a aplicar al equipamiento objeto de estudio basado en la metodología del análisis de riesgo.
3. En el procedimiento empleado quedó demostrada su efectividad mediante su aplicación en la organización objeto de estudio práctico de la investigación por lo que se evidencia en la definición del nivel de criticidad de los modos de fallo del motor de tecnología MAN B&W Diesel a partir de los niveles de riesgo, la determinación de las acciones de mantenimiento a aplicar a cada uno de ellos en aras de disminuir los niveles de riesgos de fallo, y el logro de un mejoramiento del Nivel de Prioridad del Riesgo estimado, quedando con ello solucionado el problema de investigación.



Recomendaciones



Recomendaciones

Con el propósito de ocasionar la realización de futuros trabajos, que enriquezcan el resultado de la presente investigación, se plantean las siguientes recomendaciones:

1. Proponer a la dirección realizar una valoración de las propuestas de mejora presentadas, en aras de ser aplicadas en la empresa.
2. Propagar el procedimiento propuesto al resto del equipamiento de la empresa, analizando la factibilidad de su implantación, considerando las modificaciones que en cada caso pudieran ser necesarias.



Bibliografía



Bibliografía

1. Acosta Palmer, H. R. (2012) "Auditoría y Evaluación de la Gestión de la Calidad en el Mantenimiento". Centros de Estudios en Ingeniería de Mantenimiento. La Habana, Cuba.
2. Aguilar Del Oro, Y. (2012) "Procedimiento para la determinación del tipo de mantenimiento a partir del Análisis de Riesgo". Universidad Central Marta Abreu de las Villas. Departamento de Ingeniería Industrial, Santa Clara, Cuba.
3. Alfonso Llanes, A. (2009) "Procedimiento para la asistencia decisional al proceso de tercerización de la ejecución del mantenimiento". Departamento de Ingeniería Industrial. Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Santa Clara. Cuba.
4. Alsayouf, I. (2009) "Maintenance practices in Swedish industries: Survey results". International Journal of Production Economics. Vol. 121, pp. 212-223.
5. Antoniou, A. (2007) "Practical Optimization: Algorithms and Engineering Applications". In: Editorial Springer Science, U. D. V. (ed.). Universidad de Victoria, Canadá, pp. 669.
6. Aragón, G. D., Arango, F. O. y Aranda, F. C., (2016) "Cálculo del valor en riesgo operacional mediante redes bayesianas para una empresa financiera". Contaduría y administración, Vol. 61, pp. 176-201.
7. Arunraj, N. A. M., J. (2010) "Risk-based maintenance policy selection using AHP and goal programming". Safety Science., Vol. 48, pp. 238-247. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753509001684>.
8. Batista Rodríguez, C. (2000) Contribución al diseño de un sistema de gestión de mantenimiento para los centrales azucareros cubanos. Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas, Universidad de Holguín, Holguín.
9. Betancourt Conde, J. (2016) Mejoramiento de la gestión de inventario en la Empresa Constructora de Obras de Arquitecturas e Industriales No. 1 de Villa Clara a partir del análisis de riesgo. Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de: Ingeniero Industrial, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Departamento de Ingeniería Industrial.
10. Borboa Santamaría, A. (2010) "Desarrollo de una matriz de evaluación de riesgo operacionales para superintendencia de mantenimiento de la plataforma (MAP),

de una empresa petrolera en Puerto la Cruz, en estado Anzoátegui". Universidad de Oriente, Venezuela.

11. Borroto Pentón, Y. (2005) "Contribución al mejoramiento de la gestión del mantenimiento en hospitales en Cuba. Aplicación en hospitales de la provincia Villa Clara". Departamento de Ingeniería Industrial Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Cuba.
12. Brennan, F. (2013) "Risk based maintenance for offshore wind structures". Vol. 11, pp. 296-300. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827113004940>. Consultado en marzo, 8, 2014.
13. Broche Hernández, L. E. (2015) "Mantenimiento Basado en el Riesgo para el equipamiento de la línea de producción de Refrescos Carbonatados en la UEB Embotelladora Central Osvaldo Socarrás Martínez". Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
14. Brown, A. S. (2014) "A Handbook for Clinical and Biomedical Engineers". Primera Edición. USA., pp. 435.
15. Casares, I. (2013) "Proceso de Gestión de Riesgos y Seguros en las empresas". España: Molinuevo, Gráficos, SL.
16. 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.
17. Cotts, D. G., Roper, O. K. Y Payant, R. P. (2010) "The facility management handbook". Tercera Edición., p. 436.
18. Chávez Salazar, H. y Espinoza Girón, R. E. (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.
19. Chemweno, P., Pintelon, Liliane, Horenbeek, Adriaan Van, Muchiri, Peter (2015) "Development of a risk assessment selection methodology for asset maintenance decision making: An analytic network process (ANP) approach". Production Economics, journal homepage: www.elsevier.com/locate/ijpe.
20. Christensen, C. (2006) "Críticidad de equipos". <http://www.clubdemantenimiento.com>. Última consulta: 16.01.2018.

21. Da Silva Neto, J. C. y Gonçalves De Lima, A. (2002) Implantação do Controle de Manutenção. Revista Club de Mantenimiento. No.10, Septiembre, 2002. http://www.clubdemantenimiento.com.ar/r11t6_controle.htm,10.
22. 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".
23. De La Paz Martínez, E. M. (2015) "Una nueva visión en la Gestión del mantenimiento". Nuevas herramientas para la gestión de la ingeniería del mantenimiento y sus aplicaciones. Delegada COPIMAN, Cuba.
24. De La Paz Martínez, E. M., Espinosa Martínez, J. Y Espinosa Pedraja, R. (2006) "Desarrollo de un Sistema Integral de Mantenimiento en la Planta de Producción del Centro de Bioactivos Químicos de la Universidad Central Marta Abreu de las Villas".
25. Diamantoulaki, I. Y. (2013) "Risk-based maintenance scheduling using monitoring data for moored floating breakwaters". Structural Safety, Vol. 41, pp. 107-118. <http://wzw.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167473012000720>.
26. Díaz Cajas, C. S. (2008) "Automatización del Análisis de modos de fallas y efectos FMEA en la ingeniería de mantenimiento aplicado para la industria ecuatoriana". Escuela politécnica nacional. Quito,Ecuador.
27. Dickerson, D. E. (2016) "Risk-based Maintenance Management of U.S. Public School Facilities". International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction, pp. 685-692. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>.
28. Dorta Herrera, S. (2009) Manual de Gestión Generación Distribuida de Electricidad en Cuba
29. Dos Santos Méndez , A. L. (2002) Gestão do valor nas operações de manutençã. Universidad Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Brasil.
30. 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 Sede Cuenca.
31. Duvivier, D., Mesken, S. N. Y Ahues, M. (2013) "A fast multicriteria decision-making tool for industrial scheduling problems". International Journal of Production

Economics, Vol. 145, No. 2, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527313002703>. Consultado: 21, 04, 2018.

32. Enciso Y Casares (2011) "El proceso de gestión de riesgos como componente integral de la gestión empresarial". Boletín de estudios económicos,, pp. 66-73.
33. Espinosa Fuentes, F. (2006) "Metodología para innovación da gestión de manutención industrial". Universidad Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Brasil. .
34. Espinosa Fuentes, F. (2013) "Gerenciar el mantenimiento". Gerenciar el mantenimiento. Universidad de Talca.
35. Fernández LLanes, R. (2011) "Procedimiento para determinar el tipo de mantenimiento a partir del Análisis de Riesgo". Universidad Central Marta Abreu de las Villas. Santa Clara, Cuba.
36. Floriana, M. (2015) "Planning of operation & maintenance using risk and reliability based methods". Energy Procedia, Vol. 80, <http://www.sciencedirect.com>.
37. García Garrido, S. (2009) "Auditorías de mantenimiento". Editorial Renovetec. Madrid. Email:info@renovetec.com.
38. García Garrido, S. (2010) "Organización y gestión integral de mantenimiento". SG Garrido - 2010 - books.google.com.
39. 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)". Universidad Pontificia Comillas, Madrid. España.
40. Gintautas, T., Dalsgaard, J. y Ringdalen, V. (2016) "Towards a risk-based decision support for offshore wind turbine installation and operation & maintenance". Energy Procedia, Vol. 94, pp. 207-217. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.
41. González Rocha, Á. M. y M. B., Leonardo (2006) "Modelo Gerencial de Mantenimiento para la Planta Manufacturas de Cemento S.A." Escuela de Ingeniería Mecánica. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. Colombia.
42. Gutiérrez, E., Agüero, Miguel y Calixto, Ivaneska (2007) "Análisis de criticidad integral de activos". Maracaibo – Estado Zulia – Venezuela. <http://www.reliarisk.com>.

43. Gutiérrez, E., Trejo, Emilio, Medina, Robinson, Siblesz, Pedro (2015) "Cuidado Integral de Activos (IAC)".
44. Hameed, F. A. (2015) "Title: A Risk-based Shutdown Inspection and Maintenance Interval considering Human Error".
<http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.psep.2015.11.011>.
45. Harris, R. (2013) "HAZOP, FMEA, FMECA criticality assessment etc".
Management of reliability, maintenance, safety & risk.
46. Hernández Milia, R. (2010) "Procedimiento para la asistencia decisional al proceso de selección del sistema de mantenimiento". Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Cuba.
47. Hourné Calzada, M., Díaz Concepción, A. (2012) Análisis de criticidad de grupos electrógenos de la tecnología fuel oil en Cuba. Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias.No. 3,julio- septiembre, Vol. 21, pp. 55-61.
48. Hurtado De Mendoza Fernández, S. (2003).Su procesamiento a través del método Delphy" .<http://www.ub.es/histodidactica/Epistemolog%EDa/Delphy.htm>
49. ISO 9000 (2015) "Sistemas de Gestión de la Calidad".
50. ISO 31000 (2015) Norma cubana ISO 3100.
51. ISO 31010 (2015) Norma cubana ISO 31010. Gestión del riesgo-Técnicas de apreciación del riesgo.
52. Jaimes Pineda, S. A. (2010) "Desarrollo de una metodología para la evaluación de integridad y extensión de vida útil de calderas pirotubulares, basada en inspección y mantenimiento implementada a la caldera de bienestar universitario de la UIS". Facultad de Ingeniería Físico-Mecánico. Universidad Industrial de Santander, Buaramanga.
53. Jamshidia, A., Abbasgholizadeh, S., Ait-Kadia, D., Ruiz, Á. (2015) "A comprehensive fuzzy risk-based maintenance framework for prioritization of medical devices". Vol. 32, pp. 322-334. journal home:
<http://www.elsevier.com/locate/asoc>.
54. Kallen, M. J. (2009) "Risk and decision analysis in Maintenance Optimization and Flood Management". Editado por IOS Press BV NieuweHemweg, Amsterdam, Holanda.
55. Kamsu-Foguem, B. (2016) "Information structuring and risk-based inspection for the marine oil pipelines". Vol. 56. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apor.2016.01.009>.

56. Kennedy, R. (2009) "Examen de los procesos de RCM y TPM". <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mmnew/bib/notas/oim.asp>.
[Consultado: 04,03, 2018.](#)
57. Kiran, S., Prajeeth Kumar, K.P., Sreejith, B. y Muralidharan, M. (2016) Reliability evaluation and Risk based maintenance in a process plant. *Procedia Engineering*, 24, 576-583.
58. León Márquez, O. (2012) "Determinación del tipo de mantenimiento a aplicar al equipamiento productivo de la Unidad Básica de Producciones Metálicas El Vaquerito". Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ingeniería Industrial y Turismo Carrera de Ingeniería Industria, Santa Clara, Cuba.
59. Leong, T. K. (2012) "Quality Management Maintenance and Practices". *International Congress on Interdisciplinary Business and Social Science 2012.*, Vol. 65, pp. 688-696.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S18770428120517>.
60. Leveson, N. (2015) "A systems approach to risk management through leading safety indicators". *Reliability Engineering & System Safety*, Vol. 136, pp. 17-34.
61. Li, L. y Ni., J. (2009) "Short-term decision support system for maintenance task prioritization. *International journal of production economics*". Vol. 121, pp. 195-202
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527309001571>.
[Consultado: 08,04, 2018.](#)
62. López García, J. (2013) "Gestión del Mantenimiento eficiente: Las cinco generaciones del mantenimiento".
<http://www.google.com/scholar/articlesgeneracion>
63. Lust, T. R. y Riane, F. (2009) "Exact and heuristic methods for the selective maintenance problem". *European Journal of Operational Research.*, Vol. 197, pp. 1166-1177
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221708003081>.
[Consultado:10,03, 2018.](#)
64. LLerena Morera, D. (2016) "Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad a equipos más consumidores de energía eléctrica del Hotel Cayo Santa María". Universidad Central Marta Abreu de las Villas. Santa Clara, Cuba.
65. LLosas Albuérne, Y. (2010) La generación distribuida y sus beneficios en Cuba.

66. Manzini, R., Hoang, P. Y Ferrari, E. (2010) "Maintenance for Industrial Systems". Springer Science. Estados Unidos.
67. Mao, S. (2013) "Construction of the A ring of halichomycin via a RCM strategy". Vol. 54, pp. 4343-4345. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S00404039>
68. Masayuki, M. (2009) "Manufacturing and Service Enterprise with Risk". A Stochastic Management Approach. Springer Science. Japón.
69. Mkandawirea, B. O. B., Ijumbab, Nelson, Saha, Akshay (2015) "Transformer risk modelling by stochastic augmentation of reliability-centred maintenance". Vol. 119, pp. 471-477. journal homepage: <http://www.elsevier.com/locate/epsr>.
70. Mobley, R. (2008) Introduction to the theory and practice of maintenance. Mobley, RK, Maintenance Engineering Handbook, 7, 35-42.
71. Molpeceres, A. (2012) "Conceptos Generales sobre Gestión del Riesgo de Desastres y Contexto del País. Experiencias y Herramientas de aplicación a nivel regional y local". . PNUD Chile: Programa de las naciones unidas para el desarrollo.
72. Montoya Sirvent, F. (2017) El mercado de Equipos de Generación Eléctrica en Cuba.
73. Mora Gutiérrez, A. (2009) "Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios. Enfoque Sistemático Kantiano", Segunda Edición AMG. Medellín, Colombia.
74. Mora Gutiérrez, A. (2012) "Mantenimiento Industrial Efectivo". Editorial Coldi. Medellín, Colombia. www.pdfactory.com.
75. Moradkhani, A., Haghifam, M. R. y Mostafa, S. A. (2015) "Risk based maintenance scheduling in the presence of reward penalty scheme". Vol. 12, pp. 126-133. Journal home page: <http://www.elsevier.com/locate/epsr>.
76. Moreno Escudero, E. D. (2010) "Modelo de un plan de mantenimiento basado en la metodología RBI (Inspección basado en riesgo) para equipos críticos de una estación de cargadero de nafta". Universidad Industrial de Santander Aseduis, Bogotá.
77. Mostafa, S., Dumrak, J. y Soltan, H. (2015) "Lean maintenance roadmap". 2nd International Materials, Industrial, and Manufacturing Engineering Conference.

78. Moubray, J. M. (Ed.) (1997) Mantenimiento centrado en confiabilidad, Segunda Edición. Ellmann, Sueiro y Asociados. España. pp.433 .
79. Muñoz, E. S. (2013) "Generar un AMFE en 11 pasos". Blog profesional dedicado a la Ingeniería Industrial. <http://blog.enrimusa.com/generar-un-amfe-en-11-pasos/>.
80. NAKajima, S. (1991) Introducción al TPM Programa Para El Desarrollo. [trad.]. Traducido por Antonio Cuesta Alvarez. Madrid: Editorial Fundación REPSOL Publicaciones e Impreso en Gráficas del Mar.
81. Narvéez Rosero, M. (2014) "Gestión de riesgos en la fase de diseño para proyectos de construcción utilizando la guía PMBOK". Universidad Militar Nueva Granada.
82. Naveen, R. P., y Babu, S. A. (2013) RCM strategy-based entry into new crown ether/polyether macrocyclic systems derived from hydroxybenzaldehydes. IN Letters, T. (Ed.).
83. Nieto Martínez, A., Villalba, W. y Olmos, L. (2015) "Outsourcing de mantenimiento, una alternativa de gestión de activos en el sector productivo de bienes y servicios". Cuaderno Activa, Vol. 7, pp. 123-134.
84. Norman, T. (2012) "System Management, Maintenance, and Repair". Opción al grado científico de Doctor en Filosofía. Universidad de Vaxjo, Suecia, pp. 401-410. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123820280000272>.
85. Olives Masip, R. (2015) "Mantenimiento preventivo". Dirección General de Relaciones Laborales y Calidad en el Trabajo. Barcelona.
86. Ospino Ibarra, M. L. (2012) "Análisis de riesgo cualitativo de un proyecto de construcción. Aplicativo en una tienda de conveniencia "Listo!"–Primax".
87. Parra Márquez, C. A. (2012) "Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos". INGEMAN. Sevilla, España.
88. Pavan, M. (2009) "Multicriteria Decision-Making Methods. Chemical and Biochemical Data Analysis". Vol. 1 <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B978044452>.
89. PCC (2011) "Lineamientos de la política económica y social del partido y la revolución".
90. PCC (2016) Conceptualización del modelo económico y social cubano de desarrollo socialista.

91. Peña Vasconcellos, L. T. (2015) "Selección del tipo de mantenimiento basado en el análisis de riesgo en la Unidad Básica Textil "Desembarco del Granma", Villa Clara". Universidad Central" Marta Abreu" de Las Villas. Santa Clara, Cuba.
92. Pérez Borrajo, A. (2014) "Desarrollo de un procedimiento de Mantenimiento Basado en el Riesgo para el equipamiento de la Planta de Producción del Centro de Bioactivos Químicos". Universidad Central Marta Abreu de las Villas. Santa Clara, Cuba.
93. Pérez González, W. (2016) "Mantenimiento Basado en el Riesgo para el equipamiento del sistema de abasto de agua caliente en el Hotel Playa Cayo Santa María". Universidad Central Marta Abreu de las Villas. Santa Clara, Cuba.
94. Polo Salgado, L. (2011) "Procedimiento para la determinación del tipo de mantenimiento a partir del Análisis de Riesgo. Aplicación en el Combinado de Productos Lácteos de Ciego de Ávila". Universidad Central" Marta Abreu" de Las Villas, Santa Clara, Cuba.
95. Recchia, L. (2011) "Multicriteria Analysis and LCA Techniques". Springer Science, Inglaterra.
96. Rodríguez Díaz, Y. (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". Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Departamento de Ingeniería Industria. Santa Clara, Cuba.
97. Rodríguez Hernández, R. (2012) "Propuesta de procedimiento para la selección del tipo de mantenimiento a aplicar a los equipos de la Planta de Producción del Centro de Bioactivos Químicos". Universidad Central Marta Abreu de Las Villas, Santa Clara, Cuba.
98. Rodríguez Machado, A. (2012) "Manual de Gestión del Mantenimiento". Universidad Central Marta Abreu de las Villas. Departamento de Ingeniería Industrial. Santa Clara, Cuba.
99. Romeral, L. M. (2008) "Gestión de los riesgos tecnológicos". Revista de Procesos y Métricas de las tecnologías de la información, Vol. 5, pp. 15-23.
100. Romerio, F. (2000) "Les Risques Liés a la Libéralisation du Marché de L'électricité: Problématique et Solutions. Universidad de Genova".

101. Roy, R., Stark, R. y Tracht, K. (2016) Continuous maintenance and the future – Foundations and technological challenges. CIRP Annals - Manufacturing Technology, Vol. 65, pp. 667-688. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2016.06.006>.
102. Salguero Manosalvas, M. F. (2010) "Diseño e implementación de un sistema de mantenimiento estratégico aplicando las filosofías RCM y FMEA a las máquinas y herramientas de la empresa Weatherford South America Inc, base1, Francisco De Orellana." Sangolquí.
103. Santos Rubio, R. y Bautista-Paloma, M. (2016) "Análisis modal de fallos y efectos aplicado a la elaboración de citostáticos intravenosos". Calidad asistencial., Vol. 31, pp. 106-112. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cali.2015.07.003>.
104. Seyedshohadaie, S. R., Damjanovic, I. y Butenko, S. (2010) "Risk-based maintenance and rehabilitation decisions for transportation infrastructure networks. Transportation Research Part A: Policy and Practice". Vol. 44, pp. 236-248.
105. Sinha, Y. Y. S., J.A. (2015) "A progressive study into offshore wind farm maintenance optimisation using risk based failure analysis". Vol. 42, pp. 735-742. journal homepage: <http://www.elsevier.com/locate/rser>.
106. Sondalini, M. (2002) "Win Production and manufacturing over to doing better maintenance with this new equipment criticality rating method that uses the real costs of production loss". Lifetime Reliability Solutions. <http://www.lifetime-reliability.com/ABC%20Based%20Equipment%20Criticality.pdf>.
[Consultado:18.03.2018.](#)
107. Sondalini, M. (2009) "Plant and Equipment Wellness. Equipment Reliability and Maximum Life Cycle Profits,Engineers Media".
108. Sosa Martínez, D. A. (2016) "Selección del tipo de mantenimiento a aplicar en los sistemas tecnológicos y equipos del Kurhotel Escambray". Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Santa Clara, Cuba.
109. Sotuyo Blanco, S. (2001) Optimización Integral de Mantenimiento (OIM). <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mmnew/bib/notas/oim.asp>
[Consultado:22.03.2018.](#)
110. Stefano, L. (2006) "Maintenance global service contracts: a guide to develop maintenance management strategies and performance indicators". Universidad de Pisa. Italia.

111. Syed, F., Hassan, Usama, Perwez, Attique, Sajid (2015) "Free Cooling Investigation of RCMS Data Center" en Elsevier".
112. Tomlison, P. D. (2010) "Equipment Management. Key to Equipment Reliability and Productivity in Mining". Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. (SME). Estados Unidos.
113. Torres, J. (1997) "Manutenção Centrada em Confiabilidade. Manual de directrizes da linha seg: Uma proposta para racionalização das tarefas e redução do custo de manutenção". Seminario de Manutenção CEMAN. Seminario de Manutenção CEMAN. Brasil.
114. Truong, B. H., Cholette, M.E, Borghesani, P., Zhou, Y. B. (2017) "Opportunistic maintenance considering non-homogenous opportunity arrivals and stochastic opportunity durations". Reliability Engineering and System Safety, Vol. 160, pp. 151-161. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2016.12.011>.
115. Velázquez Pérez, E. (2014) "Implementación del sistema alternativo de Mantenimiento en la Empresa Gráfica de Villa Clara". Universidad Central Marta Abreu de las Villas. Departamento de Ingeniería Industrial.
116. Villanueva, L. F. A. (2009) "Asegurando el Valor en Proyectos de Construcción: Un estudio de Técnicas y Herramientas de Gestión de Riesgos en la Etapa de Construcción". Pontificia Universidad Católica del Perú.
117. Wang, W. (2010) "A model for maintenance service contract design, negotiation and optimization". European Journal of Operational Research., Vol. 201, No. 1, pp. 239–246. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221709001131>.
118. Wu, D., Yuan, Changwei, Kumfer, Wesley y Liu, Hongchao (2016) "A Life-Cycle Optimization Model Using Semi-Markov Process for Highway Bridge Maintenance". <http://dx.doi.org/10.1016/j.apm.2016.10.038>.
119. Yssaad, B., Khiat, M. y Chaker, A. (2014) "Reliability centered maintenance optimization for power distribution systems". Vol. 55, pp. 108-115. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142061513003669>.



Anexos



Anexos

Anexo 1. Definiciones de riesgos según varios autores

Autor	Año	Concepto de riesgo
García Soldevilla	1990	Entiende el concepto de riesgo como un factor cualitativo que describe cierto grado de incertidumbre sobre los resultados futuros de la inversión. También lo conceptualiza como "situaciones donde la probabilidad puede aplicarse a los resultados futuros".
Cooper & Chapman	1994	Riesgo es la exposición a la posibilidad de pérdidas económicas y financieras, de daños en las cosas y en las personas o de otros perjuicios como consecuencia de la incertidumbre que origina el llevar a cabo una acción.
Escuela Cubana de Seguros	1995	Posibilidad de que por azar ocurra un hecho que produzca una necesidad patrimonial. Es decir, se plantea que se soporta un riesgo cuando se sufren las consecuencias de la ocurrencia de un hecho previsto como posible.
Baca Gómez	1997	El riesgo incontrolado hace que el logro de los objetivos sea incierto.
Banco Central de Cuba	1997	Contingencia o eventualidad de un daño o de una pérdida como consecuencia de cualquier clase de actividad y cuyo aseguramiento, cuando sea posible, puede ser objeto de contrato.
Casa Savedras	1997	El riesgo es la posibilidad de que un evento o acción pueda afectar en forma adversa a la organización.
Jorion	1999	Volatilidad de los flujos financieros esperados, generalmente derivada del valor de los activos o los pasivos.
Estándar Australiano (AS/NZS 4360)	1999	La posibilidad de que suceda algo que tendrá un impacto sobre los objetivos.
Universidad Nacional de Colombia	2001	Posibilidad de ocurrencia de aquella situación que pueda entorpecer el normal desarrollo de las funciones de la entidad y le impidan el logro de sus objetivos.

Anexo 1. Continuación...

Fragoso	2002	Potencial de pérdidas que existe asociado a una operación productiva, cuando cambian en forma no planeada las condiciones definidas como estándares para garantizar el funcionamiento de un proceso o del sistema productivo en su conjunto.
Rodríguez, Frías C & Souquetc	2002	Probabilidad de que los precios de los activos que se tengan en un portafolio se muevan adversamente ante cambios en las variables macroeconómicas que los determinan.
Quirós	2003	El riesgo no es más que la probabilidad de ocurrencia de hechos y fenómenos internos y externos que pueden afectar el cumplimiento de los objetivos en la organización.
Federation of European Risk Management Associations (FERMA)	2003	El riesgo se puede definir como la combinación de la probabilidad de un suceso y sus consecuencias).
De la Fuente	2003	El riesgo es la incertidumbre acerca de un evento futuro asociado tanto a un resultado favorable como a un resultado adverso. Desde el punto de vista del análisis financiero, el interés es observar aquellos eventos que como resultado de la incertidumbre, producen pérdidas a una institución.
Universidad Nacional de Colombia	2004	El riesgo es una medida de incertidumbre que refleja hechos presentes o futuros que pueden ocasionar una ruptura en el flujo de información o incumplimiento en el logro de los objetivos organizacionales.
Dorta	2004	El riesgo es una posibilidad de sufrir una pérdida o no.
Gonzalo Alonso	2005	Desde el punto de vista estadístico, el riesgo se define como la esperanza matemática de la pérdida.

Anexo 1. Continuación...

Edwin Gutiérrez	2007	El riesgo es un término de naturaleza probabilística, que se define como “egresos o pérdidas probables consecuencia de la probable ocurrencia de un evento no deseado o falla”.
Hurtado Turiño	2007	Entiéndase por riesgo la existencia de contextos con resultados diferentes a los previstos, debido a la ocurrencia de un acontecimiento fortuito e incierto que en un momento dado podrá interponerse en el cumplimiento de las metas y objetivos trazados por la organización y que tendrá su origen en la interrelación de tres componentes esenciales: Severidad o magnitud. Frecuencia o incertidumbre de ocurrencia. Nivel de Riesgos.
Prieto Pérez	2008	El riesgo en si lleva la idea de Posibilidad de pérdida que implica posibilidades de pérdidas no compensadas con posibilidades de ganancias
Guillermo Cabanellas	2008	El riesgo es la contingencia, probabilidad, proximidad de un daño. Peligro.
Mejía Correa	2009	El riesgo es la combinación de la probabilidad de algún evento que ocurre durante un periodo de tiempo de interés y las consecuencias (generalmente negativas) asociadas con el evento
Meriño Amador	2011	El riesgo es valorado por una medida subjetiva de la gravedad de los efectos y una estimación de la probabilidad de ocurrencia por un periodo de tiempo predeterminado.
Romero Sánchez	2012	Es la probabilidad de ocurrencia de un suceso no deseado que puede ocasionar daños o perdidas.
Casares	2013	<ul style="list-style-type: none"> • La incertidumbre sobre la ocurrencia y la magnitud de un suceso con efectos negativos. • Posibilidad de que un peligro se materialice sobre un sujeto causando un daño. Dicha materialización se denomina accidente o siniestro. • En terminología de seguros, un riesgo puede ser el sujeto expuesto a una contingencia objeto de un seguro.
ISO:31000	2015	Es la probabilidad de ocurrencia de un suceso no deseado que puede ocasionar daños o perdidas.
Yang Zou	2016	“La probabilidad de riesgos no deseados y las consecuencias correspondientes” “ la probabilidad y consecuencia de riesgos” “ una combinación de la probabilidad y consecuencias del riesgo”
Ualison Rébula de Oliveira	2016	La palabra riesgo se aplica para los eventos inciertos, posibles riesgos o daño y perjuicios, u otras consecuencias indeseables que puede expresarse por medio de una probabilidad.

Fuente: Actualizado de Betancourt Conde (2016).

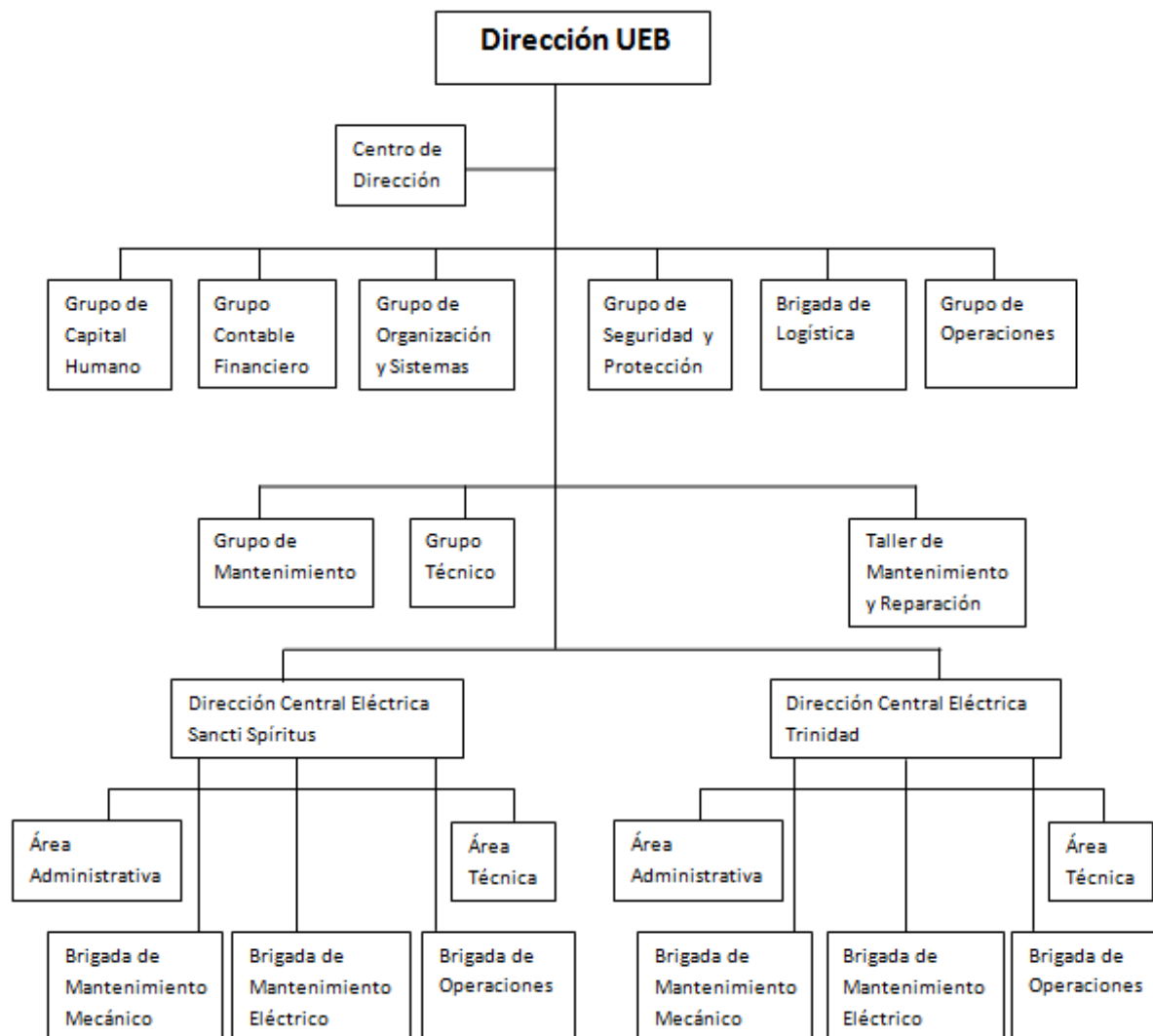
Anexo 2. Herramientas utilizadas para la evaluación del riesgo

Tabla 1: Herramientas utilizadas para la evaluación del riesgo: aplicación (ISO 31010)


Herramientas y técnicas	Proceso de evaluación del riesgo				Evaluación del riesgo
	Identificación del riesgo	Análisis del riesgo			
		Consecuencia	Probabilidad	Nivel de riesgo	
Tormenta de ideas (Brainstorming)	FA	NA	NA	NA	NA
Entrevistas estructuradas o semiestructuradas	FA	NA	NA	NA	NA
Delphi	FA	NA	NA	NA	NA
Lista verificación (Check-lists)	FA	NA	NA	NA	NA
Análisis preliminar de riesgos	FA	NA	NA	NA	NA
Estudios de riesgos operacionales (HAZOP)	FA	FA	A	A	A
Análisis de riesgos y puntos de control críticos (HACCP)	FA	FA	NA	NA	FA
Valoración de riesgo medioambiental	FA	FA	FA	FA	FA
Que pasaría si (What if)	FA	FA	FA	FA	FA
Análisis de escenario	FA	FA	A	A	A
Análisis del impacto en el negocio	A	FA	A	A	A
Análisis de causa	NA	FA	FA	FA	FA
Análisis modal de fallos potenciales y sus efectos (ANFE-FMEA)	FA	FA	FA	FA	FA
Análisis de árbol de fallos	A	NA	FA	A	A
Análisis de árbol de sucesos	A	FA	A	A	NA
Análisis de causa consecuencia	A	FA	FA	A	A
Análisis de causa efecto	FA	FA	NA	NA	NA
Análisis de niveles de protección	A	FA	A	A	NA
Árbol de decisión	NA	FA	FA	A	A
Análisis de fiabilidad humana	FA	FA	FA	FA	A
Análisis de la pajarita	NA	A	FA	FA	A
Mantenimiento centrado en la confiabilidad	FA	FA	FA	FA	FA
Análisis de errores de diseño (SNEAK)	A	NA	NA	NA	NA
Análisis de Markov	A	FA	NA	NA	NA
Simulación de Monte Carlo	NA	NA	NA	NA	FA
Estadísticas y redes Bayesianas	NA	FA	NA	NA	FA
Curvas FN	A	FA	FA	A	FA
Índices de riesgos	A	FA	FA	A	FA
Matriz de consecuencia/probabilidad	FA	FA	FA	FA	A
Análisis coste/beneficio	A	FA	A	A	A
Análisis de decisión multicriterio	A	FA	A	FA	A

Fuente: Tomado de la ISO 31010 (2015).

Anexo 3. Organigrama de la EMGEF Central Eléctrica Sancti Spíritus



Anexo 4. Documento UJ-IG 0310 Análisis de equipos antes y después de mantenimientos

	ANÁLISIS ANTES Y DESPUÉS DE MANTENIMIENTOS		
	Fecha:	(1)	
	Tipo de Mtto:	(2)	
Provincia: (3)	Duración del Mtto:	Desde	Hasta
Central eléctrica: (4)	Plan:		
Batería y Equipo: (7)	Real:	(5)	(6)
Antes del mantenimiento			
Resumen de condición de régimen del equipo y nuevos defectos detectados:			
(8)			
Volumen de trabajo del mantenimiento (Anexar) y defectos pendientes (No y breve descripción):			
(9)			
Evaluación del estado del equipo: (10)			
Después del mantenimiento			
Resumen de la condición de régimen del equipo:			
(11)			
Defectos pendientes en el equipo no solucionados, causa y plan de solución:			
(12)			
Evaluación del estado del equipo para su recepción: (13)			
Observaciones para la operación del equipo: (14)			
	Por mantenimiento:	Por operación:	
Nombre/Cargo (15)			
Fecha/Hora (16)			

Anexo 5. Resultados obtenidos de la Hoja de Trabajo del AMFE

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Sistema de enfriamiento		#	Realizado por:	FECHA				HOJA			
		COMPONENTE: Bomba adosada AT		REF	Revisado por:	FECHA				DE			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS				S	O	D	NPR
1	Circular el agua por todo el sistema de enfriamiento del motor con presión de (1.5 a 4.6) bar.	A	No circula el agua	1	La bomba está llena de aire	Bombeo en falso				2	2	3	12
				2	Rotura del impelente	No succiona el agua				6	1	1	6
				3	Desgaste en cojinetes	Se detiene el equipo				6	3	5	90
				4	Salideros por el sello	Sobre explotación del equipo				4	2	2	16
		B	Circula el agua a una presión inadecuada (menor a 1.5 bar. o superior a 4.6 bar.)	1	Rotura en el elemento de engrane	Desgaste o deterioro de los elementos de engranaje				8	1	2	16
				2	Fallas en el eje	Desgaste en el eje o en los cojinetes				7	1	2	14

Anexo 5. Continuación

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Sistema de enfriamiento		#	Realizado por:	FECHA				HOJA			
		COMPONENTE: Válvula termostática BT		REF	Revisado por:	FECHA				DE			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS				S	O	D	NPR
1	Mantener la temperatura del agua dentro en el rango de (30 a 40)° C	A	No cumple con su rango de temperatura de (30 a 40)°C	1	Rotura de elementos termostáticos.	Incremento de la temperatura del agua de enfriamiento				7	1	5	35
				2	Rotura del O ring del elemento termostático	Incremento de la temperatura del agua de enfriamiento				4	2	5	40
				3	Rotura de la junta de la válvula.	Pérdida de agua tratada para el enfriamiento del motor				5	2	2	20

Anexo 5. Continuación

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Sistema de enfriamiento		#	Realizado por:	FECHA				HOJA			
		COMPONENTE: Intercambiador Agua-Aire		REF	Revisado por:	FECHA				DE			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS				S	O	D	NPR
1	Enfriar el aire de entrada	A	No enfría el aire	1	Avería de las tubuladuras interiores	Mala combustión y altas temperatura en los gases de escape				6	2	2	24
				2	Avería de la junta del intercooler	Mala combustión y altas temperatura en los gases de escape				7	3	1	21
				3	Avería de la junta de los tubos de entrada de agua	Mala combustión y altas temperatura en los gases de escape				7	2	1	14
				4	Suciedad en el intercooler.	Mala combustión y altas temperatura en los gases de escape				6	1	8	48

Anexo 5. Continuación

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Sistema de enfriamiento		#	Realizado por:	FECHA		HOJA			
		COMPONENTE: Válvula termostática AT		REF	Revisado por:	FECHA		DE			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS		S	O	D	NPR
1	Mantener la temperatura del agua dentro en el rango de (75 a 85)°C	A	No cumple con su rango de temperatura de (75 a 85)°C	1	Rotura de elementos termostáticos.	Incremento de la temperatura del agua de enfriamiento		7	1	5	35
				2	Rotura del O ring del elemento termostático	Incremento de la temperatura del agua de enfriamiento		4	2	5	40
				3	Rotura de la junta de la válvula.	Pérdida de agua tratada para el enfriamiento del motor		5	2	2	20

Anexo 5. Continuación

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Sistema de enfriamiento		#	Realizado por:	FECHA		HOJA			
		COMPONENTE: Bomba adosada BT		REF	Revisado por:	FECHA		DE			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS		S	O	D	NPR
1	Circular el agua por todo el sistema de enfriamiento del motor con presión de (1 a 2,5) bar.	A	No circula el agua	1	La bomba está llena de aire	Bombeo en falso		2	2	3	12
				2	Rotura del impelente	No succiona el agua		6	1	1	6
				3	Desgaste en cojinetes	Se detiene el equipo		6	3	5	90
				4	Salideros por el sello	Sobre explotación del equipo		4	2	2	16
		B	Circula el agua a una presión inadecuada (menor a 1 bar. o superior a 2,5 bar.)	1	Rotura en el elemento de engrane	Desgaste o deterioro de los elementos de engranaje		8	1	2	16
				2	Fallas en el eje	Desgaste en el eje o en los cojinetes		7	1	2	14

Anexo 5. Continuación

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Sistema de enfriamiento		#	Realizado por:	FECHA				HOJA			
		COMPONENTE: Ventilador del generador		REF	Revisado por:	FECHA				DE			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS				S	O	D	NPR
1	Mantener la temperatura de trabajo en los enrollados y cojinetes del generador	A	No permite la ventilación al generador	1	Avería en el enrollado del motor	Alta temperatura del generador				8	2	2	32
				2	Avería en el interruptor de mando	Alta temperatura en los cojinetes				4	2	3	24
				3	Avería en los rodamientos	Sobrecalentamiento en el generador y en sus cojinetes				6	4	3	72
		B	Ventila a baja capacidad	1	Falso contacto en el interruptor	Deterioro de los enrollados del motor del ventilador				4	3	5	60
				2	Aspas del ventilador descompensadas	Alta temperatura en el motor				4	1	2	8

Anexo 5. Continuación

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Sistema de aceite lubricante		#	Realizado por:	FECHA				HOJA			
		COMPONENTE: Bomba adosada aceite		REF	Revisado por:	FECHA				DE			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS				S	O	D	NPR
1	Circular el aceite por todo el sistema de enfriamiento del motor con presión de (4 a 5)bar	A	No circula aceite	1	La bomba está llena de aire	Bombeo en falso				2	2	3	12
				2	Rotura del impelente	No succiona el agua				6	1	1	6
				3	Desgaste en cojinetes	Se detiene el equipo				6	3	5	90
				4	Salideros por el sello	Sobre explotación del equipo				4	2	2	16
		B	Circula el aceite a una presión inadecuada (menor a 4 bar. o superior a 5 bar.)	1	Rotura en el elemento de engrane	Desgaste o deterioro de los elementos de engranaje				8	1	2	16
				2	Fallas en el eje	Desgaste en el eje o en los cojinetes				7	1	2	14

Anexo 5. Continuación

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Sistema de aceite lubricante		#	Realizado por:	FECHA		HOJA			
		COMPONENTE: Intercambiador aceite-agua		REF	Revisado por:	FECHA		DE			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS		S	O	D	NPR
1	Enfriar el aceite del motor	A	No enfriá el aceite	1	Avería en tuberías	Alta temperatura del aceite		5	4	2	40
				2	Avería en válvula termostática	Parada del motor		4	3	5	60
				3	Mal funcionamiento de la válvula termostática de aceite	Alta temperatura del aceite		6	2	6	72
				4	Salidero por las placas del intercambiador	Pérdida del aceite de lubricación		6	7	3	126

Anexo 5. Continuación

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Sistema de aceite lubricante		#	Realizado por:	FECHA				HOJA			
		COMPONENTE: Filtro centrífugo		REF	Revisado por:	FECHA				DE			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS				S	O	D	NPR
1	Eliminar impurezas en el aceite	A	No elimina las impurezas en el aceite	1	Suciedad del elemento filtrante	Desgaste de las partes metálicas del motor y obstrucción en el sistema de lubricación				5	6	7	210
				2	Partiduras en la base del filtro	Pérdida de aceite y aumenta la concentración de sólidos disueltos en el aceite				7	8	4	224
				3	Avería en tuberías de entrada del filtro	Pérdida de aceite y aumenta la concentración de sólidos disueltos en el aceite				7	8	4	224
				4	Vibraciones mecánicas	Descompensación del filtro				8	4	3	96

Anexo 5. Continuación

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Sistema de aceite lubricante		#	Realizado por:	FECHA		HOJA			
		COMPONENTE: Filtro de aceite		REF	Revisado por:	FECHA		DE			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS		S	O	D	NPR
1	Eliminar impurezas en el aceite	A	No elimina las impurezas en el aceite	1	Suciedad del elemento filtrante	Incremento de la diferencia de presión a la entrada y salida del filtro por encima de 1.5 bar		7	9	4	252
				2	Desperfecto mecánico en el elemento filtrante	Desgaste de las partes metálicas del motor y obstrucción en el sistema de lubricación		6	7	5	210
				3	Salidero por las tapas del filtro	Pérdida de aceite e ineficiente lubricación		5	5	3	75
				4	Salidero en tuberías de entrada-salida del filtro	Pérdida de aceite e ineficiente lubricación		5	8	3	120

Anexo 5. Continuación

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Sistema de aceite lubricante		#	Realizado por:	FECHA				HOJA			
		COMPONENTE: Bomba de llenado de aceite		REF	Revisado por:	FECHA				DE			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS				S	O	D	NPR
1	Suministrar el aceite necesario para la lubricación del motor	A	No permite rellenar (reponer) de aceite el motor	1	Obstrucción de la entrada o salida de la bomba	Alta temperatura, desgaste y corrosión				9	6	4	216
				2	Avería en el motor de la bomba	No funciona la bomba				8	7	3	168
				3	Averías en rodamientos	Paralización del equipo				6	7	3	126
				4	Salideros por tuberías y válvulas	Pérdida de aceite				7	7	2	98

Anexo 5. Continuación

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Sistema de combustible		#	Realizado por:	FECHA				HOJA			
		COMPONENTE: Filtro separador		REF	Revisado por:	FECHA				DE			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS				S	O	D	NPR
1	Eliminar impurezas y agua del combustible	A	No elimina las impurezas del combustible	1	Suciedad en elementos filtrantes	Combustión defectuosa, deficiencia en la inyección, obstrucción en bombas inyectoras				9	6	4	216
				2	Mal funcionamiento del lazo de control	Combustión defectuosa, deficiencia en la inyección, obstrucción en bombas inyectoras				7	4	6	168
				3	Fallo en la entrada de aire de las válvulas neumáticas	Parada del equipo				8	7	5	280
				4	Fallo en la bomba de extracción de lodo	Derrame de combustible y lodo				9	5	5	225
				5	Salideros por tuberías y válvulas	Derrame de combustible				5	6	2	60

Anexo 5. Continuación

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Sistema de combustible		#	Realizado por:	FECHA		HOJA			
		COMPONENTE: Filtro de combustible		REF	Revisado por:	FECHA		DE			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS		S	O	D	NPR
1	Eliminar impurezas del combustible	A	No elimina las impurezas del combustible	1	Suciedad del elemento filtrante	Combustión defectuosa, deficiencia en la inyección, obstrucción en bombas inyectoras		7	10	3	210
				2	Desperfecto mecánico en el elemento filtrante	Combustión defectuosa, deficiencia en la inyección, obstrucción en bombas inyectoras		8	6	3	144
				3	Salideros por juntas y O rings	Pérdida de combustible		6	7	4	168
				4	Partidura en tuberías de entrada-salida	Pérdida de combustible		7	4	2	56

Anexo 5. Continuación

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Sistema de combustible	#	Realizado por:	FECHA	HOJA			
		COMPONENTE: Inyector	REF	Revisado por:	FECHA	DE			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN	MODO DE FALLO		EFFECTOS DE LOS FALLOS	S	O	D	NPR
1	Inyectar combustible a la cámara de combustión	A Deficiente inyección	1	Tupición en la punta del inyector	Disminución de la potencia en la cámara de combustión	9	7	8	504
			2	Expansión de los orificios	Alta temperatura en la cámara de combustión, gases de escape, deformación en válvula y asiento, aumento del índice de consumo,	9	7	9	567
			3	Pérdida de calibración	Alta temperatura en la cámara de combustión, gases de escape, deformación en válvula y asiento, aumento del índice de consumo, pérdida de potencia	8	7	9	504
			4	Irregularidades entre las superficies del cuerpo del inyector y la tobera (punta del inyector)	Mala combustión, incremento del índice de combustible, suciedad en la cámara de combustión	8	7	10	560
			5	Deterioro de juntas y O ring del inyector	Mala combustión, incremento del índice de combustible, suciedad en la cámara de combustión	9	5	8	360

Anexo 5. Continuación

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Sistema de combustible		#	Realizado por:	FECHA				HOJA			
		COMPONENTE: Bomba llenado TK diesel		REF	Revisado por:	FECHA				DE			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS				S	O	D	NPR
1	Enviar el combustible a los tanques de recepción con presión de (2 a 4)bar	A	No suministra el combustible para el arranque y la parada del motor	1	Filtro obstruido	No llega combustible al tanque				6	2	6	72
				2	Motor eléctrico averiado	No funciona la bomba				7	2	4	56
				3	Problemas en los rodamientos	Avería del motor eléctrico y desperfectos en el funcionamiento de la bomba				5	3	4	60
				4	Sello de la bomba en mal estado	Salidero de combustible				4	7	3	84
				5	Obstrucción en válvulas y tuberías	No llega combustible al tanque				6	6	3	108
		B	Suministra combustible a una menor presión del intervalo de trabajo	1	Filtro con tupiciones	Demora en proceso de llenado del tanque				7	4	3	84
				2	Salidero en tuberías y válvulas	Demora en proceso de llenado del tanque				7	5	2	70

Anexo 5. Continuación

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Sistema de aire de carga y gases de escape		#	Realizado por:	FECHA				HOJA			
		COMPONENTE: Filtro de aire de admisión		REF	Revisado por:	FECHA				DE			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS				S	O	D	NPR
1	Filtrar el aire de carga	A	No filtra el aire de carga	1	Turbo compresor fuera de parámetro	Variación en la velocidad y temperatura del turbo				9	6	4	216
				2	Suciedad en los conductos de admisión y escape	Alta temperatura en la cámara de combustión				8	7	7	392
				3	Avería en el motor del filtro	Paralización del equipo				9	7	7	441
				4	Avería en la cadena de transmisión del filtro	Paralización del equipo				9	6	6	324

Anexo 5. Continuación

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Sistema de aire de carga y gases de escape		#	Realizado por:	FECHA				HOJA			
		COMPONENTE: Turbo compresor		REF	Revisado por:	FECHA				DE			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS				S	O	D	NPR
1	Suministrar aire fresco y comprimido a los cilindros para que ocurra la combustión a partir de los gases de escape.	A	No suministra el aire necesario para la cámara de combustión	1	Cuerpo extraño en el turbo compresor	Alta temperatura en los gases de escape, baja presión del aire sobre alimentación, número de revoluciones bajo, ruido excesivo.				10	4	9	360
				2	Compresor sucio	Número de revoluciones bajo, alta temperatura en los gases de escape				8	9	4	288
				3	Rozamientos internos	Ruido excesivo, vibraciones en el turbo compresor, arranque con dificultad				10	2	8	160
				4	Presión de aceite-lubricante alta	Pérdida de aceite-lubricante				7	4	4	112
				5	Mala inyección de combustible en el cilindro	Número de revoluciones bajo				9	8	9	648

Anexo 5. Continuación

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Sistema de aire de carga y gases de escape	#	Realizado por:	FECHA	HOJA					
		COMPONENTE: Enfriador de aire de carga	REF	Revisado por:	FECHA	DE					
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS		S	O	D	NPR
1	Regular la temperatura del aire que se inyecta a la cámara de combustión	A	Regula mal la temperatura	1	Suciedad en enfriador	Mal funcionamiento de la velocidad del turbo compresor; baja presión de aire de carga, alta temperatura en gases de escape		8	3	9	216
				2	Avería interna en tubuladuras	Mal funcionamiento de la velocidad del turbo compresor; baja presión de aire de carga, alta temperatura en gases de escape		7	4	4	112
				3	Salideros por juntas del enfriador	Pérdida de agua de enfriamiento		7	7	4	196
				4	Salideros por juntas en las tuberías de entrada-salida del enfriador	Pérdida de agua de enfriamiento		7	7	3	147

Anexo 5. Continuación

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Mecanismos del motor		#	Realizado por:	FECHA				HOJA			
		COMPONENTE: Mecanismos del motor		REF	Revisado por:	FECHA				DE			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS				S	O	D	NPR
1	Garantizar la energía mecánica para el funcionamiento del generador	A	No permite transmitir energía mecánica para que el generador funcione	1	Desgaste en el interior en la camisa del cilindro	Baja presión de compresión, mala combustión, excesivo consumo de aceite de lubricación, pérdida de potencia				9	2	10	180
				2	Alineamientos en los aros del pistón	Baja presión de compresión, mala combustión, excesivo consumo de aceite de lubricación, pérdida de potencia				9	2	10	180
				3	Incorrecta calibración en válvula de admisión y escape	Baja temperatura en gases de escape, baja presión de compresión, avería en el turbo compresor, daño de un pistón				8	6	8	384
				4	Ralladura del cigüeñal	Alta temperatura en cojinetes				10	1	10	100
				5	Averías en árbol de levas	Mal funcionamiento de las válvulas de admisión escape o averías, mal funcionamiento en las bombas de inyección				10	1	10	100
				6	Averías en la culata	Salidero de agua por el block del motor, salideros de aceite-lubricante, rotura en balancines y puentes de válvulas.				10	1	8	80

Anexo 6. Resultados recogidos de la aplicación del procedimiento. Bomba adosada AT

		Evaluación inicial:					Evaluación de seguimiento:					Acciones de mantenimiento	A realizarse por	Intervalo inicial	NPR mejorado												
		Fecha de evaluación anterior:					Fecha de evaluación actual:								S	O	D	NPR									
#	Modo de Fallo	Probabilidad de ocurrencia				Severidad de fallo					Probabilidad de no detección				Evaluación del riesgo				S	O	D	NPR					
		A	M A	M B	B	A	B	C	D	E	F	A	M A	M B	B	L	M	S					H				
3	Desgaste en cojinetes			x					x				x			x					Chequear presión, salideros y vibraciones	2 mecánicos A-B	8000 horas	6	1	2	12

Anexo 6. Resultados recogidos de la aplicación del procedimiento. Ventilador del generador

		Evaluación inicial:					Evaluación de seguimiento:					Acciones de mantenimiento	A realizarse por	Intervalo inicial	NPR mejorado												
		Fecha de evaluación anterior:					Fecha de evaluación actual:								S	O	D	NP R									
#	Modo de Fallo	Probabilidad de ocurrencia					Severidad de fallo					Probabilidad de no detección					Evaluación del riesgo										
		A	M A	M	M B	B	A	B	C	D	E	F	A	M A	M B	B	L	M	S	H							
3	Avería en los rodamientos				x					x					x						Limpiar con solución dieléctrica y engrasar	Electricista A y mecánico B	8000 horas	6	2	2	2 4

Anexo 6. Resultados recogidos de la aplicación del procedimiento. Bomba adosada aceite

		Evaluación inicial:					Evaluación de seguimiento:					Acciones de mantenimiento	A realizarse por	Intervalo inicial	NPR mejorado													
		Fecha de evaluación anterior:					Fecha de evaluación actual:								S	O	D	NP R										
#	Modo de Fallo	Probabilidad de ocurrencia					Severidad de fallo					Probabilidad de no detección					Evaluación del riesgo											
		A	M A	M	M B	B	A	B	C	D	E	F	A	M A	M	M B	B	L	M	S	H							
3	Desgaste en cojinetes				x					x					x							Chequear presión, salideros y vibraciones	3 mecánicos A-B	8000 horas	6	1	3	1 8

Anexo 6. Resultados recogidos de la aplicación del procedimiento. Intercambiador aceite-agua

		Evaluación inicial:					Evaluación de seguimiento:					Acciones de mantenimiento	A realizarse por	Intervalo inicial	NPR mejorado														
		Fecha de evaluación anterior:					Fecha de evaluación actual:								S	O	D	NP R											
#	Modo de Fallo	Probabilidad de ocurrencia					Severidad de fallo					Probabilidad de no detección					Evaluación del riesgo												
		A	M A	M	M B	B	A	B	C	D	E	F	A	M A	M	M B	B	L	M	S	H								
3	Mal funcionamiento de la válvula termostática de aceite				x					x					x								Chequear temperaturas antes y después de la válvula	2 mecánicos A-B	1000 horas	6	1	4	24
4	Salidero por las placas del intercambiador			x						x					x								Chequear salideros	Mecánico B	1000 horas	6	5	2	60

Anexo 6. Resultados recogidos de la aplicación del procedimiento. Filtro centrífugo

		Evaluación inicial:					Evaluación de seguimiento:					Acciones de mantenimiento	A realizarse por	Intervalo inicial	NPR mejorado												
		Fecha de evaluación anterior:					Fecha de evaluación actual:								S	O	D	NPR									
#	Modo de Fallo	Probabilidad de ocurrencia					Severidad de fallo					Probabilidad de no detección					Evaluación del riesgo										
		A	M A	M	M B	B	A	B	C	D	E	F	A	M A	M B	B	L	M	S	H							
1	Suciedad del elemento filtrante			x					x					x				x			Chequear funcionamiento de filtro de aceite y centrífuga	Operador CE y Mecánico C	700 horas	5	4	4	80
2	Partiduras en la base del filtro		x						x					x				x			Modificación de la base del filtro	Soldador y mecánicos C	15 días	7	3	3	63
3	Avería en tuberías de entrada del filtro		x						x					x				x			Chequear estado de las tuberías	Mecánicos C	semana l	7	6	3	126
4	Vibraciones mecánicas				x				x					x				x			Revisar alineación del filtro y la base	Especialista área técnica y mecánico B	diario	8	3	2	48

Anexo 6. Resultados recogidos de la aplicación del procedimiento. Filtro de aceite

		Evaluación inicial:										Evaluación de seguimiento:				Acciones de mantenimiento	A realizarse por	Intervalo inicial	NPR mejorado								
		Fecha de evaluación anterior:										Fecha de evaluación actual:															
#	Modo de Fallo	Probabilidad de ocurrencia					Severidad de fallo					Probabilidad de no detección				Evaluación del riesgo											
		A	M A	M	M B	B	A	B	C	D	E	F	A	M A	M	M B	B	L	M	S	H						
																		S	O	D	NPR						
1	Suciedad del elemento filtrante		x						x					x					x		Chequear funcionamiento del filtro centrífugo y la centrífuga	2 mecánicos B-C	15 días	7	7	2	98
2	Desperfecto mecánico en el elemento filtrante			x					x					x					x		Colocación correcta de los elementos filtrantes	Mecánico C	15 días	6	4	4	96
3	Salidero por las tapas del filtro			x					x					x					x		Colocación correcta de juntas y O rings	Mecánico C	15 días	5	4	3	60
4	Salidero en tuberías de entrada-salida del filtro		x						x					x					x		Chequear vibraciones y roce	Operador y mecánico C	15 días	5	6	2	60

Anexo 6. Resultados recogidos de la aplicación del procedimiento. Bomba de llenado de aceite

		Evaluación inicial:					Evaluación de seguimiento:					Acciones de mantenimiento	A realizarse por	Intervalo inicial	NPR mejorado												
		Fecha de evaluación anterior:					Fecha de evaluación actual:																				
#	Modo de Fallo	Probabilidad de ocurrencia					Severidad de fallo					Probabilidad de no detección					Evaluación del riesgo										
		A	M A	M	M B	B	A	B	C	D	E	F	A	M A	M B	B	L	M	S	H							
																S	O	D	NP R								
1	Obstrucción de la entrada o salida de la bomba			x						x				x				x			Mantenimiento al filtro	Mecánico C	3 meses	9	4	2	7 2
2	Avería en el motor de la bomba			x						x				x				x			Comprobar consumo de corriente del motor	Electricistas	3 meses	8	3	1	2 4
3	Averías en rodamientos			x						x				x				x			Limpieza y engrase de rodamientos	Mecánicos C	3 meses	6	3	2	3 6
4	Salideros por tuberías y válvulas			x						x				x				x			Chequear vibraciones y roce	Mecánicos C	3 meses	7	5	2	7 0

Anexo 6. Resultados recogidos de la aplicación del procedimiento. Filtro separador

		Evaluación inicial:					Evaluación de seguimiento:					Acciones de mantenimiento	A realizarse por	Intervalo inicial	NPR mejorado													
		Fecha de evaluación anterior:					Fecha de evaluación actual:								S	O	D	NPR										
#	Modo de Fallo	Probabilidad de ocurrencia					Severidad de fallo					Probabilidad de no detección					Evaluación del riesgo											
		A	M A	M	M B	B	A	B	C	D	E	F	A	M A	M	M B	B	L	M	S	H							
1	Suciedad en elementos filtrantes			x						x				x					x			Mantenimiento a los elementos filtrantes reduciendo ciclo	Mecánicos B	2 meses	9	4	2	72
2	Mal funcionamiento del lazo de control				x				x				x					x				Comprobar ciclo de trabajo del filtro	Especialista automático	2 meses	7	3	4	84
3	Fallo en la entrada de aire de las válvulas neumáticas			x						x			x						x			Comprobar secuencia de funcionamiento	Especialista automático y mecánico B	mensual	8	4	3	96
4	Fallo en la bomba de extracción de lodo			x						x			x						x			Comprobar llenado del tk de lodo	Mecánico C	mensual	9	4	3	108

Anexo 6. Resultados recogidos de la aplicación del procedimiento. Inyector

		Evaluación inicial:					Evaluación de seguimiento:					Acciones de mantenimiento	A realizarse por	Intervalo inicial	NPR mejorado													
		Fecha de evaluación anterior:					Fecha de evaluación actual:								S	O	D	NPR										
#	Modo de Fallo	Probabilidad de ocurrencia					Severidad de fallo					Probabilidad de no detección					Evaluación del riesgo											
		A	M A	M	M B	B	A	B	C	D	E	F	A	M A	M	M B	B	L	M	S	H							
1	Tupición en la punta del inyector			x						x		x								x		Actividades de diagnóstico	Mecánico A	1000 horas	9	4	6	216
2	Expansión de los orificios			x						x		x									x	Actividades de diagnóstico	Mecánico A	1000 horas	9	4	6	216
3	Pérdida de calibración			x						x		x								x		Comprobación periódica	Mecánico A	1000 horas	8	4	6	192
4	Irregularidades entre las superficies del cuerpo del inyector y la tobera (punta del inyector)			x						x		x									x	Verificar estado de las superficies	Mecánico A	1000 horas	8	4	6	192
5	Deterioro de juntas y O ring del inyector			x						x		x								x		Comprobar hermeticidad del inyector	Mecánico A	2000 horas	9	4	6	216

Resultados recogidos de la aplicación del procedimiento. Bomba de llenado TK diesel

# Modo de Fallo		Evaluación inicial:														Evaluación de seguimiento:				Acciones de mantenimiento	A realizarse por	Intervalo inicial	NPR mejorado								
		Fecha de evaluación anterior:														Fecha de evaluación actual:							S	O	D	NP					
		Probabilidad de ocurrencia					Severidad de fallo					Probabilidad de no detección				Evaluación del riesgo															
A	M A	M	M B	B	A	B	C	D	E	F	A	M A	M	M B	B	L	M	S	H	R											
1	Filtro obstruido				x						x									x				Chequeo periódico	Mecánico C	3 meses	6	1	4	2	4
4	Sello de la bomba en mal estado			x																	x			Verificar salideros	2 mecánicos B-C	3 meses	4	4	2	3	2
5	Obstrucción en válvulas y tuberías			x																	x			Chequear vibraciones y roce	Mecánico C	3 meses	6	4	2	4	8
6	Filtro con tupiciones				x																x			Limpieza periódica	Mecánico C	3 meses	7	3	2	4	2
7	Salidero en tuberías y válvulas			x																	x			Chequear vibraciones y roce	2 mecánicos B-C	mensual	7	4	2	5	6

Anexo 6. Resultados recogidos de la aplicación del procedimiento. Filtro de aire de admisión

		Evaluación inicial:										Evaluación de seguimiento:										Acciones de mantenimiento	A realizarse por	Intervalo inicial	NPR mejorado			
		Fecha de evaluación anterior:										Fecha de evaluación actual:																
#	Modo de Fallo	Probabilidad de ocurrencia					Severidad de fallo					Probabilidad de no detección					Evaluación del riesgo					S	O	D	NPR			
		A	M A	M	M B	B	A	B	C	D	E	F	A	M A	M	M B	B	L	M	S	H							
1	Turbo compresor fuera de parámetro			x						x					x					x		Chequear parámetros del turbo periódicamente	3 mecánicos A-B	4000 horas	9	2	2	36
2	Suciedad en los conductos de admisión y escape			x						x					x					x		Comprobar que funcione el filtro	Operador CE	8000 horas	8	4	5	160
3	Avería en el motor del filtro			x						x					x					x		Verificar funcionamiento del filtro	Mecánico B	2000 horas	9	2	2	36
4	Avería en la cadena de transmisión del filtro			x						x					x					x		Verificar funcionamiento del filtro	Mecánico B	2000 horas	9	2	2	36

Anexo 6. Resultados recogidos de la aplicación del procedimiento. Turbo compresor

		Evaluación inicial:					Evaluación de seguimiento:					Acciones de mantenimiento	A realizarse por	Intervalo inicial	NPR mejorado													
		Fecha de evaluación anterior:					Fecha de evaluación actual:								S	O	D	NP R										
#	Modo de Fallo	Probabilidad de ocurrencia					Severidad de fallo					Probabilidad de no detección					Evaluación del riesgo											
		A	M A	M	M B	B	A	B	C	D	E	F	A	M A	M	M B	B	L	M	S	H							
1	Cuerpo extraño en el turbo compresor				x						x	x							x			Comprobar parámetros y del de revisión múltiple escape	2 mecánicos A-B y especialista técnico	4000 horas	10	2	3	60
2	Compresor sucio	x								x			x						x			Limpieza periódica del turbo	Operador CE	100 horas	8	3	2	48
3	Rozamientos internos				x						x	x						x				Comprobar montaje y rpm	3 mecánicos A	4000 horas	10	1	2	20
4	Presión de aceite-lubricante alta				x				x					x					x			Limpieza de las tuberías de lubricación	2 mecánicos A	4000 horas	7	2	2	28
5	Mala inyección de combustible en el cilindro	x								x		x								x		Actividades de diagnóstico y chequeo de parámetros	Especialista técnico y 2 mecánicos A	2000 horas	9	2	3	54

Anexo 6. Resultados recogidos de la aplicación del procedimiento. Enfriador de aire de carga

		Evaluación inicial:										Evaluación de seguimiento:				Acciones de mantenimiento	A realizarse por	Intervalo inicial	NPR mejorado									
		Fecha de evaluación anterior:										Fecha de evaluación actual:							S	O	D	NP R						
#	Modo de Fallo	Probabilidad de ocurrencia					Severidad de fallo					Probabilidad de no detección				Evaluación del riesgo												
		A	M A	M	M B	B	A	B	C	D	E	F	A	M A	M	M B	B	L	M					S	H			
1	Suciedad en enfriador				x						x		x							x		Limpieza del filtro de admisión y del enfriador	Mecánico B	4000 horas	8	1	5	4 0
2	Avería interna en tubuladuras				x					x					x					x		Chequear parámetros del enfriador	Operador CE	2000 horas	7	2	2	2 8
3	Salideros por juntas del enfriador			x											x					x		Colocación correcta y sustitución	Mecánico C	2000 horas	7	2	2	2 8
4	Salideros por juntas en las tuberías de entrada-salida del enfriador			x											x					x		Colocación correcta de juntas y chequeo de vibraciones	Mecánico C	2000 horas	7	2	2	2 8

Anexo 6. Resultados recogidos de la aplicación del procedimiento. Mecanismos del motor

		Evaluación inicial:					Evaluación de seguimiento:					Acciones de mantenimiento	A realizarse por	Intervalo inicial	NPR mejorado													
		Fecha de evaluación anterior:					Fecha de evaluación actual:								S	O	D	NP R										
#	Modo de Fallo	Probabilidad de ocurrencia					Severidad de fallo					Probabilidad de no detección					Evaluación del riesgo											
		A	M A	M	M B	B	A	B	C	D	E	F	A	M A	M	M B	B	L	M	S	H							
1	Desgaste en el interior en la camisa del cilindro				x						x	x						x				Chequear parámetros y hermeticidad	Operador CE y mecánico A	8000 horas	9	1	5	45
2	Alineamientos en los aros del pistón				x					x	x							x				Colocación correcta de los aros en el pistón	Mecánico A	8000 horas	9	1	6	54
3	Incorrecta calibración en válvula de admisión y escape			x						x	x								x			Comprobar calibración periódica	Mecánico B	1500 horas	8	2	4	64
4	Ralladura del cigüeñal					x					x	x						x				Comprobar filtrado de aceite y estado de los cojinetes	Mecánico A y especialistas	4000 horas	10	1	6	60
5	Averías en árbol de levas					x					x	x						x				Comprobar montaje, cojinetes aprietes y	Mecánico A y especialistas	8000 horas	10	1	6	60
6	Averías en la culata					x					x	x						x				Comprobar montaje aprietes y	Mecánico A	8000 horas	10	1	4	40

