

**UCLV**  
Universidad Central  
"Marta Abreu" de Las Villas



**FIMI**  
Facultad de  
Ingeniería Mecánica  
e Industrial

Departamento de Ingeniería Industrial

## **TRABAJO DE DIPLOMA**

Mantenimiento Basado en el Riesgo para el equipamiento de la UEB  
Mantenimiento General de la empresa Planta Mecánica de Villa Clara.

Autor: Gabriel Leandro Cabriales Toledo

Tutor: Dr.C. Ing. Aramis Alfonso Llanes

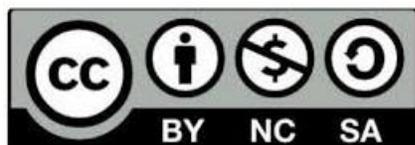
Santa Clara , junio 2018  
Copyright©UCLV



Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

**Atribución- No Comercial- Compartir Igual**

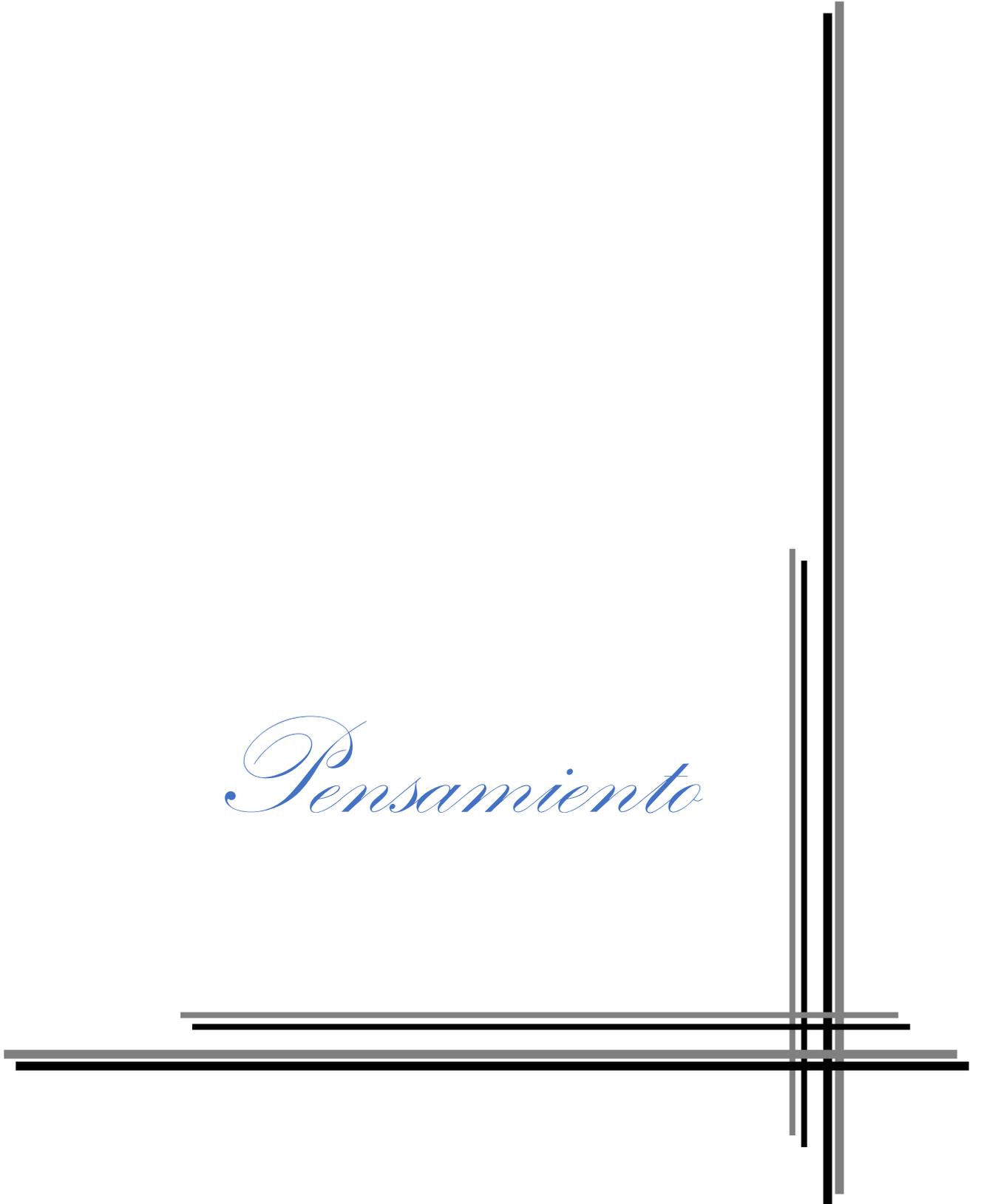


Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

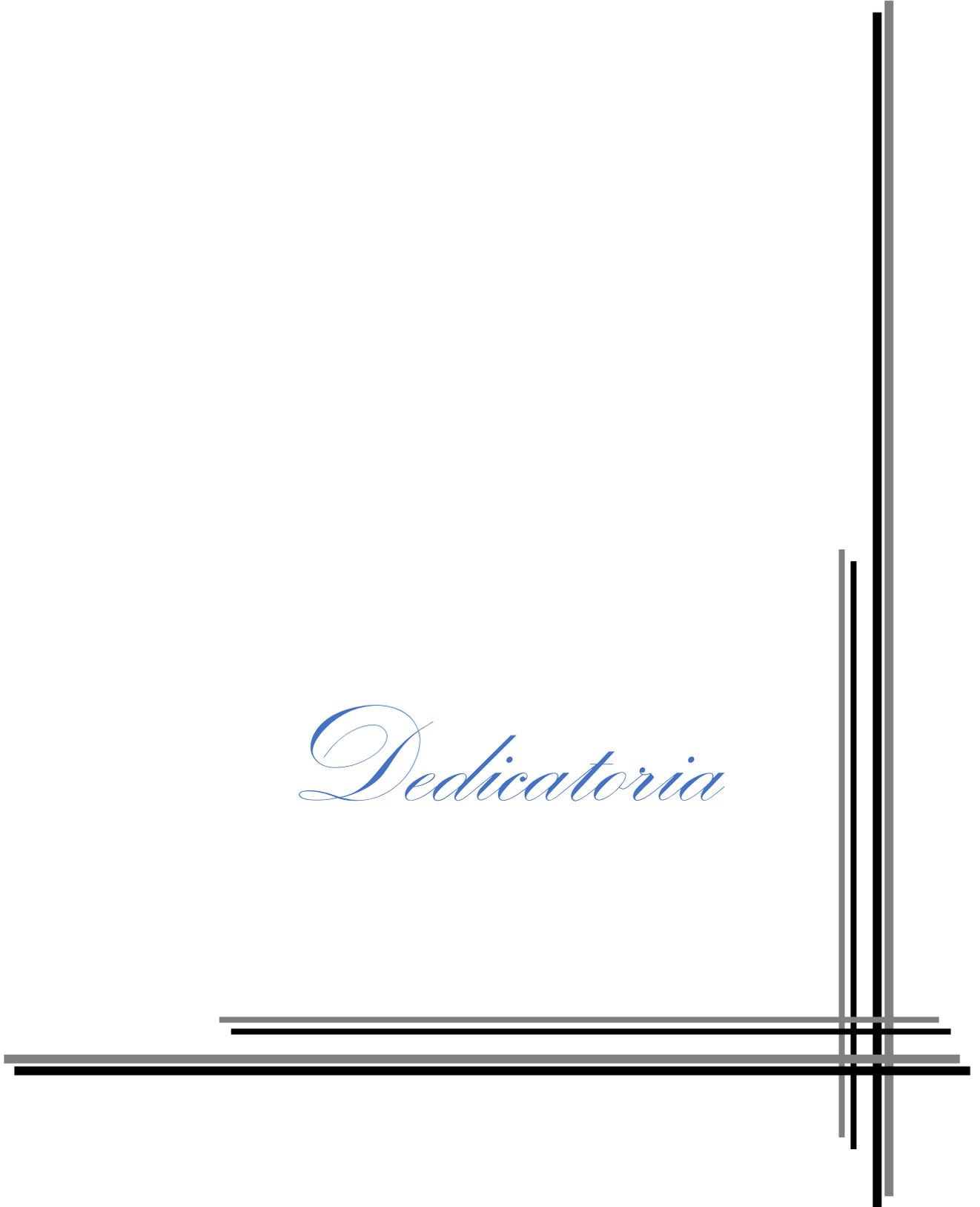
Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

*Pensamiento*



*Lo excelente es enemigo del desarrollo, porque transmite la idea de que no hay posibilidad de mejora.*

*Dedicatoria*



*A mi madre por ser la luz guía en todo el trayecto hasta aquí, por darme los mejores consejos en cada momento y el abrazo oportuno, todo este logro te le dedico a ti.*

*A mi padre y mi hermano por siempre darme su apoyo, estar a mi lado en todo lo que he realizado, haber confiado en mí siempre que le planteaba una idea.*

*A mis abuelitos(as) por darme sus sabidurías y amor incondicional en todo momento en especial a los que no se los puedo decir.*

*A mi novia por estar siempre a mi lado en los momentos más difíciles de la carrera y compartir los más felices.*

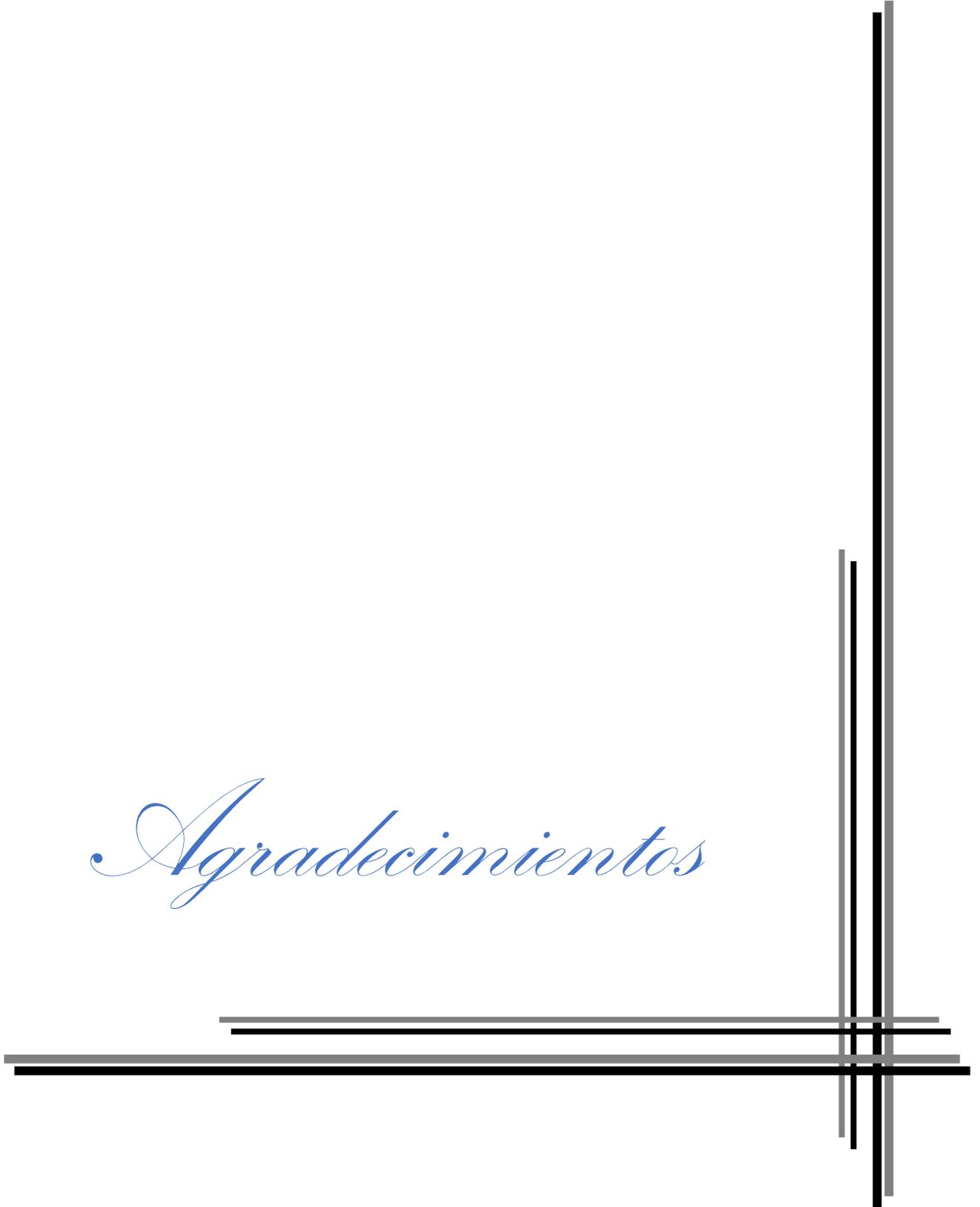
*A mis tías (os) por brindarme su mano siempre que la necesite.*

*A mis amigos (as) con los que compartí momentos felices y tristes que hicieron unirnos más aun, a Jimmy, Daniel, Andrés, Arrechea, Duniel, a Lorena, Elianis, Anabel, Jeisi y Cleidy.*

*A todos los que de una forma u otra me han ayudado para realizar la tesis.*

*Muchas Gracias.*

*Agradecimientos*



*A mi tutor: Aramis Alfonso Llanes por toda su dedicación y atención, sin él éste trabajo no sería posible.*

*Al especialista de servicios técnicos Conyedo, al director de la UEB de mantenimiento Ariel y a la técnica en documentación Marilyn por entregarme con mucho esmero toda la información y su apoyo para lo que hiciera falta.*

*A mi novia por estar siempre en los momentos que hacía falta, a mi mamá, hermano y papá por todo su cariño, a toda mi familia y la de mi novia.*

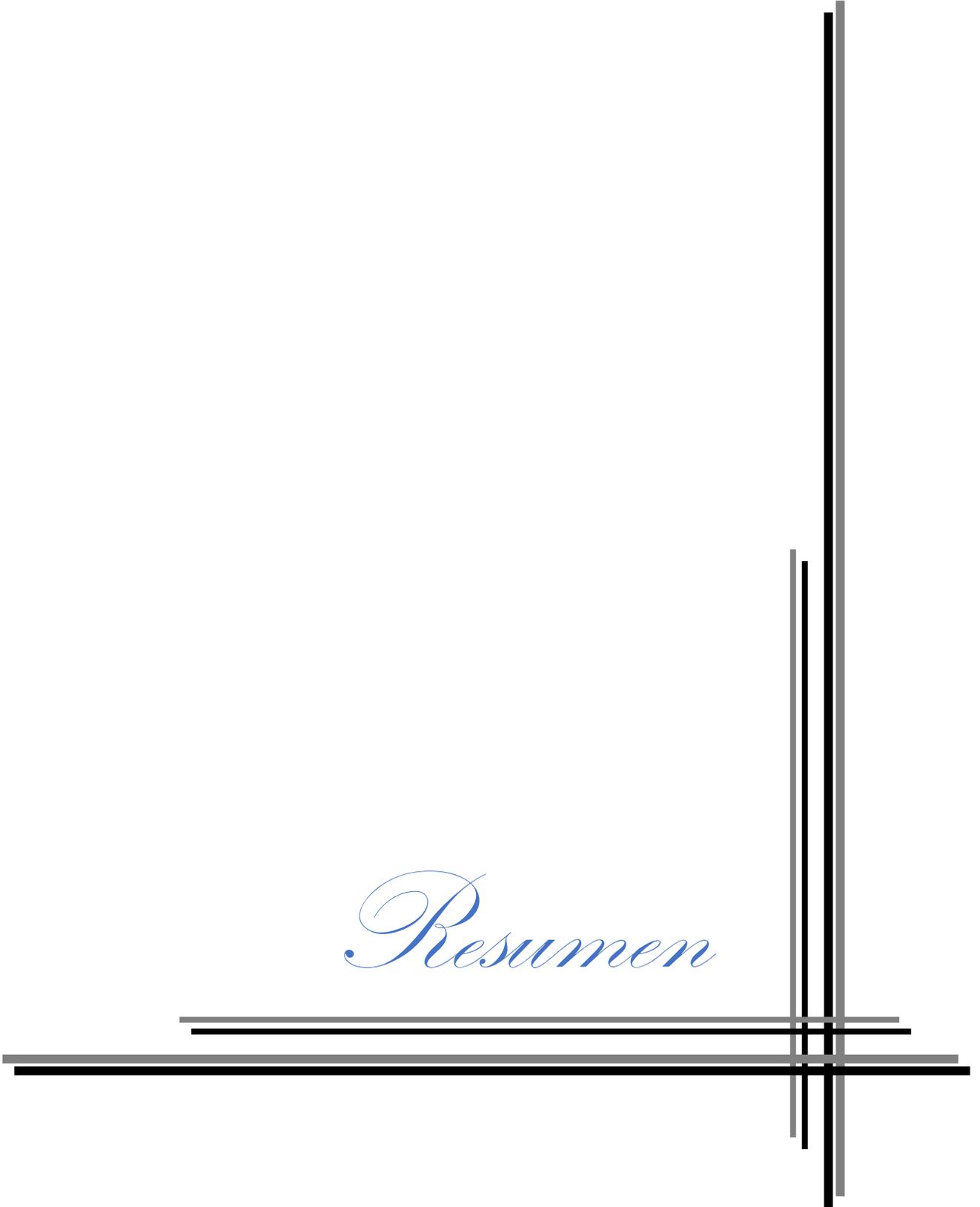
*A todos los que de una forma u otra me han ayudado para realizar la tesis.*

*A la brigada de mantenimiento en general por prestarme atención y ayudarme con la tesis.*

*A todos mis compañeros de la UCLV por estar junto a ellos estos cinco años inolvidables, a todos, de corazón:*

*Muchas Gracias.*

*Resumen*

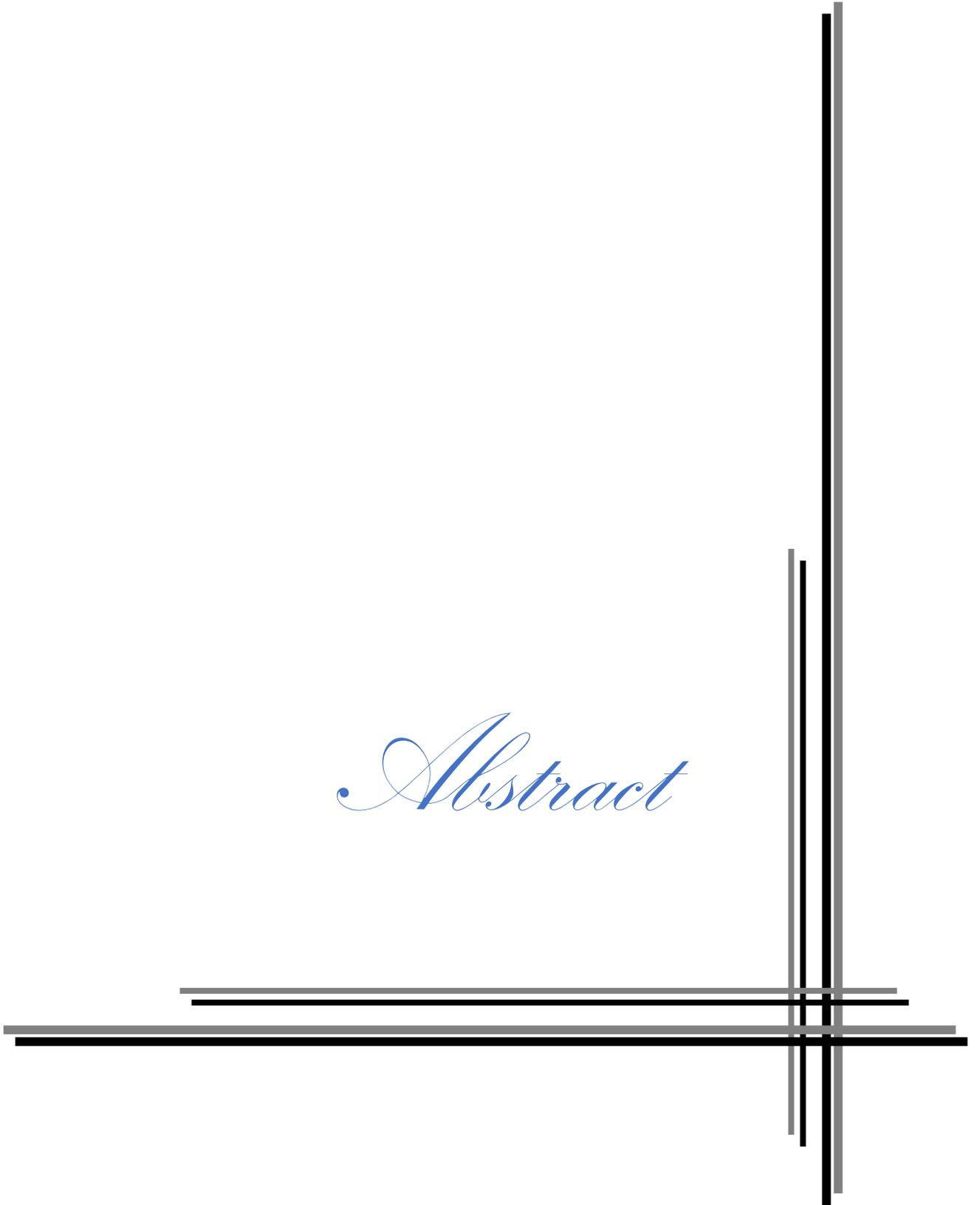


## **RESUMEN**

La selección de las acciones encaminadas a mitigar los riesgos existentes en los diferentes procesos desarrollados en las empresas ha sido un tema de estudio que ha tomado mucho auge en la actualidad. En este sentido, la presente Tesis muestra un procedimiento que permite definir acciones de mejora en el mantenimiento del equipamiento seleccionado de la UEB Mantenimiento General de la empresa Planta Mecánica de Villa Clara, en función de la combinación de los elementos característicos del Análisis de riesgo.

La tesis contiene una revisión bibliográfica que aborda las generalidades sobre la Gestión de mantenimiento, el Análisis de riesgo, las técnicas más utilizadas para estos fines, así como el Mantenimiento Basado en el Riesgo. Finalmente, la aplicación práctica del procedimiento seleccionado a una muestra del equipamiento de la empresa objeto de estudio práctico de la investigación, permitió definir las acciones preventivas a aplicar para mitigar el riesgo asociado a cada modo de fallo, el responsable de su realización y la frecuencia de la ejecución de las mismas. Todo ello ofrece solución al problema de la investigación.

*Abstract*

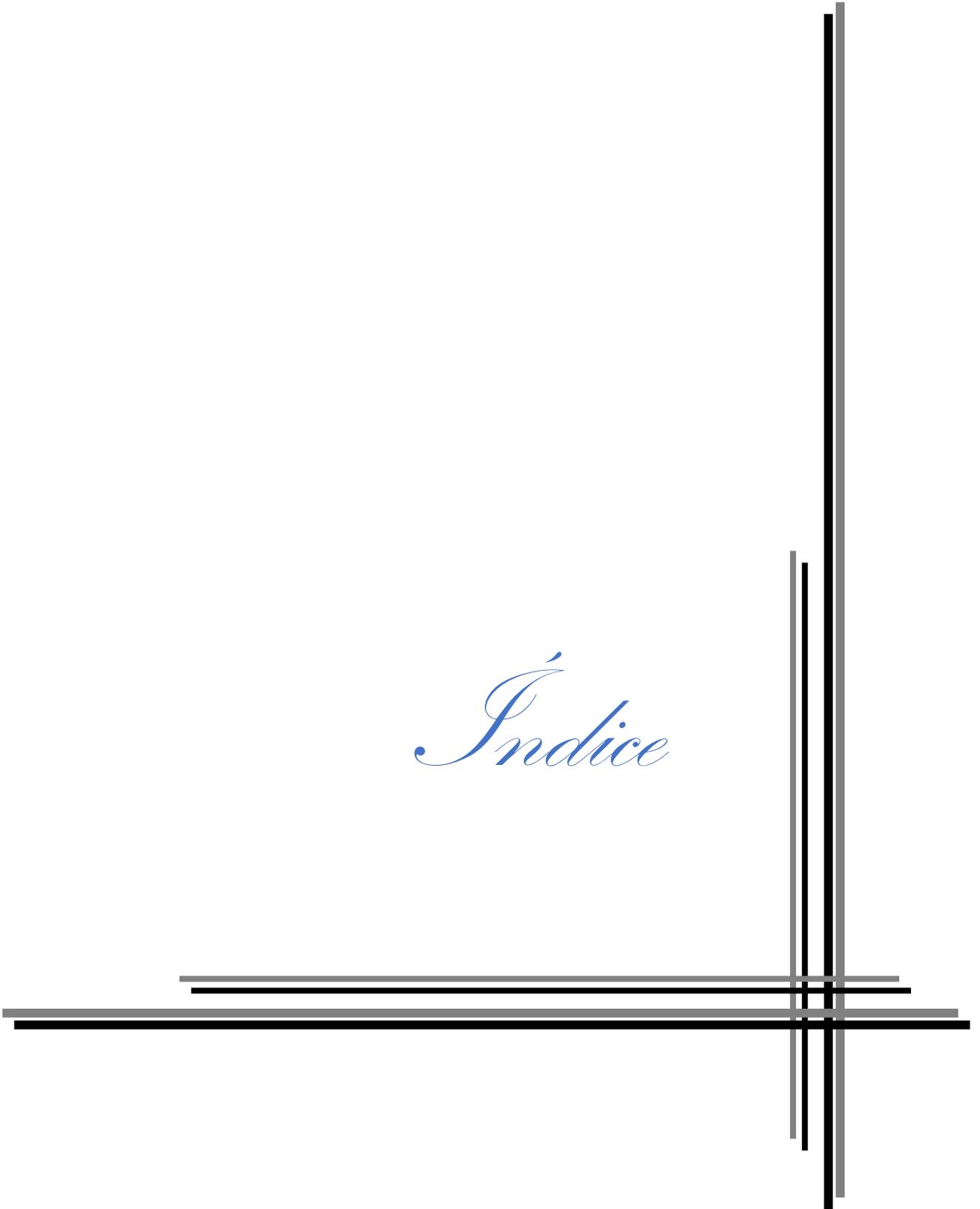


## **ABSTRACT**

The selection of actions aimed at mitigating the existing risks in the different processes developed in the companies has been a subject of study that has taken much boom today. In this sense, the present Thesis shows a procedure that allows defining improvement actions in the maintenance of the selected equipment of the UEB Mantenimiento General of the Planta Mecánica of Villa Clara, depending on the combination of the characteristic elements of the Risk Analysis.

The thesis contains a bibliographic review that deals with the generalities about Maintenance Management, Risk Analysis, the most used techniques for these purposes, as well as Risk-Based Maintenance. Finally, the practical application of the selected procedure to a sample of the equipment of the company object of practical study of the investigation, allowed to define the preventive actions to be applied to mitigate the risk associated to each mode of failure, the person responsible for its realization and the frequency of the execution of the same. All this offers a solution to the problem of research.

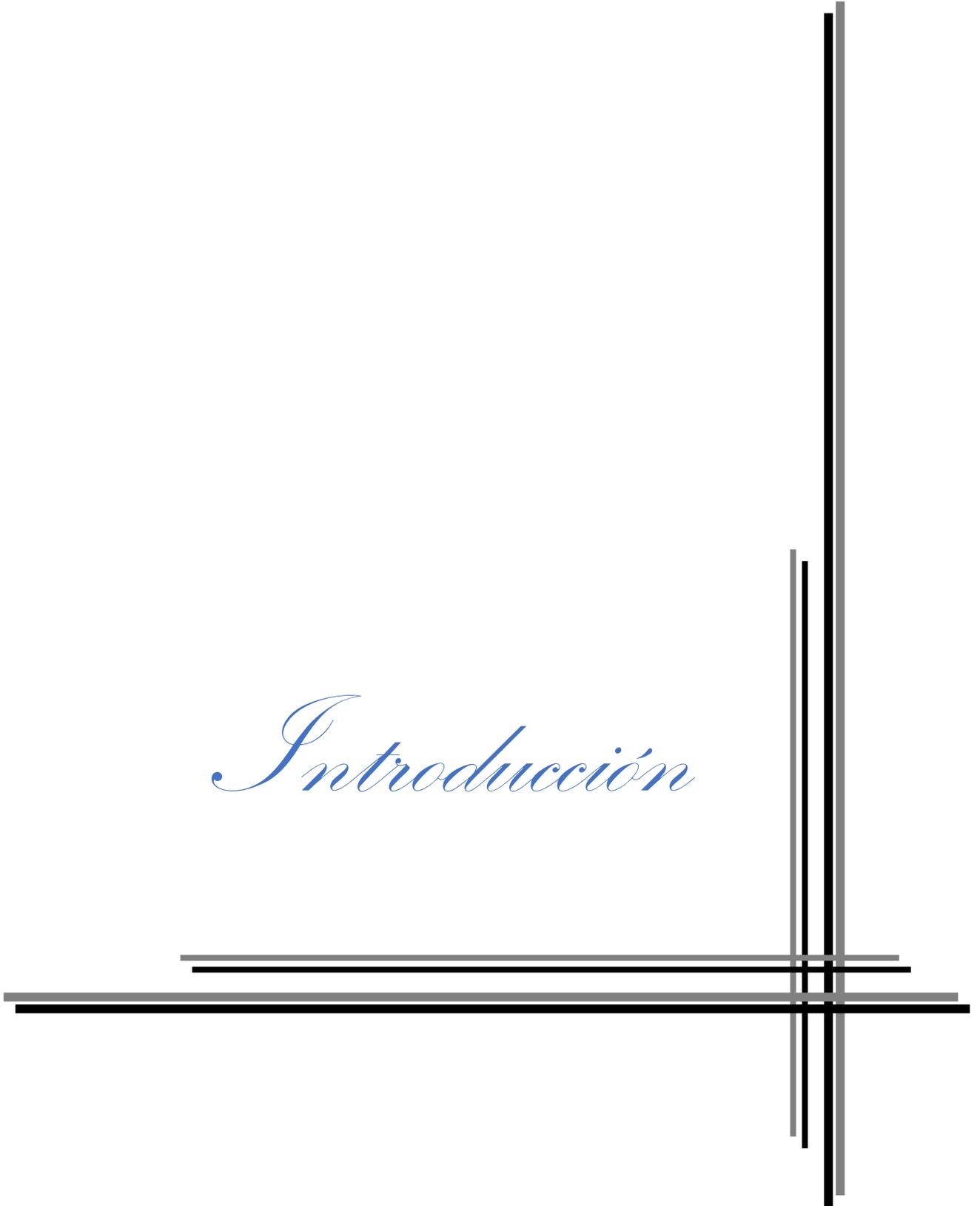
*Indice*



## Índice

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL .....	6
1.1. Gestión del mantenimiento en la empresa .....	6
1.1.1. Evolución del mantenimiento.....	8
1.1.2. Proceso de gestión del mantenimiento.....	11
1.2 Sistemas de mantenimientos .....	13
1.3 Generalidades sobre la Gestión de riesgo.....	19
1.3.1. Definiciones matemáticas utilizadas en la Gestión de riesgo.....	20
1.3.2. Normativas y técnicas para la gestión del riesgo .....	21
1.4. Generalidades sobre el Mantenimiento basado en el riesgo.....	26
1.4.1. Mantenimiento basado en el riesgo en Cuba.....	28
1.5 Conclusiones parciales .....	28
CAPÍTULO 2. PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACIÓN DE LAS ACCIONES DE MANTENIMIENTO BASADO EN ELEMENTOS DE GESTIÓN DE RIESGO.....	30
2.1. Descripción general del procedimiento para la toma de decisiones vinculada a la selección del tipo de mantenimiento basado en elementos de Gestión de riesgo .....	30
2.2. Caracterización de la empresa “Planta Mecánica” .....	32
2.3. Aplicación práctica del procedimiento seleccionado .....	34
2.3.1. Fase 1. Inicio o preparación .....	34
2.3.2. Fase 2. Realizar una jerarquía de la planta .....	34
2.3.3. Fase 3. Realizar el Análisis de riesgo .....	35
2.3.4. Fases 4 y 5. Evaluación de riesgos y determinación de las acciones de mantenimiento .	37
2.4. Conclusiones parciales .....	39
CONCLUSIONES.....	40
RECOMENDACIONES .....	41
BIBLIOGRAFÍA .....	43
Anexos .....	60

# *Introducción*



## INTRODUCCIÓN

El Mantenimiento ha variado más que cualquier otra disciplina durante los últimos años, para responder a expectativas cambiantes y a una óptica de nuevos métodos, diseños cada vez más complejos y responsabilidades enfocadas al negocio y la satisfacción de los clientes como meta fundamental (Wu, 2016; Villada Duque, 2016; Zhang and Zhou, 2016; Truong, 2017; Uribe Zapata, 2017). Se requiere por tanto, un conjunto de estrategias, políticas y actitudes sistemáticas para asegurar que un sistema o componente pueda ser operado cuando se necesita y lograr así un menor índice de fallo, mayor explotación y elevada confiabilidad, produciendo un bien real que puede resumirse en la capacidad de producir con calidad, seguridad y rentabilidad (Díaz Concepción, 2015).

Se considera que en la actualidad el mantenimiento es una pieza esencial en el engranaje empresarial por lo que la cultura de “falla-reemplazo” anteriormente concebida, ha tenido que ser desplazada por un enfoque, en donde es imperativo conservar el buen funcionamiento de los equipos durante su vida útil, mediante el conocimiento de la presencia y avance del deterioro los mismos, lo cual permite disminuir la incertidumbre del riesgo futuro de que una falla ocurra y pueda generar consecuencias perjudiciales para la empresa, ambiente, personas o equipos (Sidibe, 2016; Torres, 2016). También desempeña un papel muy importante en cualquier programa de ahorro de energía, de materiales, de divisas, de tiempo, etc. Pues no sería posible una institución eficiente y productiva a la cual no se le dé su debido mantenimiento (Alrabghi, 2015; Arslankaya, 2015; Balam Mena, 2015; Gutiérrez, 2015).

El mantenimiento según Arslankaya (2015), Hameed (2015) y Bangalore (2018) es la actividad realizada por el hombre con el auxilio de herramientas, con el objetivo de conservar todos los bienes que componen los activos de la empresa, en las mejores condiciones de funcionamiento, con un excelente nivel de confiabilidad, calidad y al menor costo posible, no sólo deberá mantener las máquinas sino también las instalaciones de: iluminación, redes de computación, sistemas de energía eléctrica, aire comprimido, agua, aire acondicionado, calles internas, pisos, depósitos, etc. Además deberá coordinar con recursos humanos un plan para la capacitación continua del personal.

Para garantizar la vida útil de las instalaciones y de los equipos se hace necesaria la confección de un plan anual de mantenimiento que proporcione su ciclo adecuado, la programación de la fuerza de trabajo y el aseguramiento material necesario (Jamshidia, 2015; Kamsu-Foguem, 2016; Kiran, 2016). Es esencial un método ágil que permita distribuir los trabajos a realizar, la fuerza de trabajo, los recursos materiales a través del año y compatibilizar la necesidad de reparaciones con la necesidad de servicio (Mkandawirea, 2015; Mostafa et al., 2015; Nieto

Martínez, 2015). Además, debe lograr la reducción de las averías imprevistas y del tiempo de reparación, procurar la prolongación de la vida útil de los componentes, lograr los efectos del ahorro de recursos y con ello, reducir el costo del mantenimiento de las instalaciones y contribuir a mejorar la calidad del servicio (Moradkhani, 2015; Llerena Morera, 2016).

El mantenimiento en Cuba, tradicionalmente 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 (Hernández Alfonso, 2017). 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.

En la Gaceta Oficial No. 42 Extraordinaria de 3 de octubre de 2017, se publicó la resolución No. 116/2017 que establece las indicaciones metodológicas con los requisitos técnico-organizativos mínimos del sistema de mantenimiento industrial que sirve de base a las personas jurídicas para la elaboración de sus sistemas de gestión de mantenimiento industrial, todo ello con el fin de garantizar el correcto funcionamiento de las máquinas e instalaciones industriales que conforman los procesos productivos y permitir que estos alcancen su máximo rendimiento.

Con el devenir de los años se ha pasado del delimitado diseño de los planes de mantenimiento pensado en las recomendaciones de los fabricantes, en base a las fallas ocurridas, la experiencia operacional interna y externa y divorciada del operador de las actividades de mantenimiento de los equipos; a una práctica que ha generado una visión real de los requerimiento de mantenimientos de los activos y considerando los niveles de riesgo asociados a seguridad, higiene y ambiente y su impacto en procesos (Broche Hernández, 2015; Castellanos López, 2015; Céspedes Hernández, 2016).

La naturaleza de los procesos industriales y operaciones, implican riesgos, 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 las industrias hacia objetivos de prevención de riesgos (Franciosi et al., 2017). De ahí que se hace indispensable en toda organización el análisis de los posibles riesgos que esta pueda ocasionar en aras de transmitir confianza hacia sus clientes internos y externos (Chemweno, 2015; Chávez Salazar, 2016).

El reconocimiento de estas limitaciones de los diseños tradicionales de planes de mantenimiento, ha permitido el nacimiento de nuevas metodologías cuyo objetivo final es mejorar los tiempos de generación de planes de cuidado y a su vez generar una lista jerarquizada de equipos por nivel de criticidad, con el fin de generar los planes de cuidado de los equipos basados en el nivel de riesgo (Dickerson, 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 (Floriana, 2015). 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, 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 (De la Paz Martínez, 2015; Gintautas, 2016; Roy, 2016; Santos Rubio, 2016).

Todas las actividades humanas involucran un cierto grado de riesgo, y la UEB Mantenimiento General de la empresa Planta Mecánica no es la excepción. En sus instalaciones, líneas de producción, áreas de almacenamiento y de servicios, entre otras, la seguridad de los procesos es de gran importancia para el desarrollo responsable de sus actividades. La UEB Mantenimiento General de la empresa Planta Mecánica, objeto de estudio práctico de la presente investigación, se encuentra ubicada en Santa Clara, provincia Villa Clara, tiene como objeto social la prestación de servicio de mantenimiento industrial generales al mercado nacional y externo, servicios energéticos, fabricación y comercialización de piezas de repuesto, enrollado de motores y reparaciones capitales de máquinas y herramientas.

Se pudo detectar una serie de limitantes que pone en evidencia la necesidad de una nueva propuesta que supere las restricciones y reafirme sus fortalezas. A continuación se muestran las limitantes fundamentales:

El sistema de mantenimiento no está actualizado acorde a las tendencias actuales a nivel mundial (mantenimiento predictivo, SAM, RCM, MBR, etc.).

No se conocen a la perfección todas las causas que pueden provocar paradas o afectaciones al funcionamiento de los equipos fundamentales.

Incremento en el presupuesto de los gastos de mantenimiento en los últimos años en un 95,67% equivalente a 904 000 CUP, debido a la planificación ineficiente del mantenimiento implantado en la empresa.

Aumento de la estadía promedio del equipamiento. En el 2016 fue de 71h y en el 2017 de 115h.

El número de fallos ha variado en los últimos años, desde 17 en el primer trimestre del año 2017 hasta 28 que se han presentado en igual período del 2018.

Lo anteriormente expuesto caracteriza la **situación problemática** que originó la presente investigación y conduce al **problema de investigación** siguiente: ¿Cómo contribuir al mejoramiento del desempeño en el mantenimiento de la UEB Mantenimiento General de la empresa Planta Mecánica?

El **objetivo general** de la investigación consiste en: definir acciones del mantenimiento para el equipamiento de la UEB Mantenimiento General de la empresa Planta Mecánica, a partir de la filosofía del Mantenimiento Basado en Riesgo. Para alcanzar el objetivo general antes expuesto se proponen los **objetivos específicos** siguientes:

Seleccionar el procedimiento a aplicar en la determinación de las acciones de mantenimiento más adecuadas para el equipamiento de la UEB Mantenimiento General de la empresa Planta

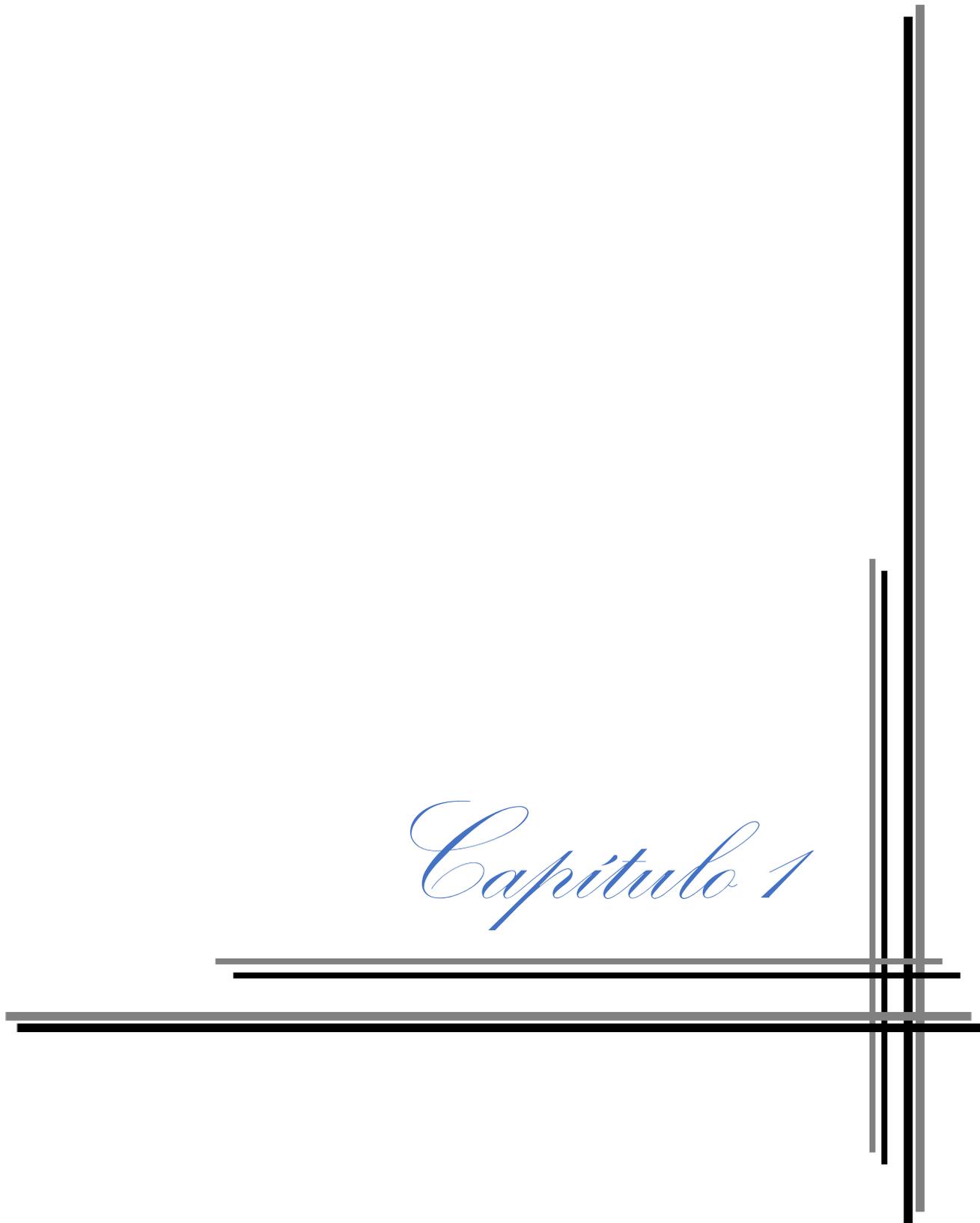
Mecánica, basado en la filosofía del Mantenimiento Basado en Riesgo, a partir del análisis de los elementos principales identificados en el marco teórico-referencial de la investigación.

Implementar el procedimiento seleccionado para definir las acciones de mantenimiento para el equipamiento de la UEB Mantenimiento General de la empresa Planta Mecánica, basado en la filosofía del Mantenimiento Basado en Riesgo.

La importancia de la presente investigación radica en los aportes social, práctico y económico que esta le brinda a la empresa. El **valor social** de esta investigación radica en una mayor eficiencia, productividad y capacidad de mejora del desempeño de los procesos productivos, que redundan en la disminución del número de roturas del equipamiento, en un manejo adecuado de sus activos durante todo su ciclo de vida, propiciando un elevado servicio a los clientes, el aseguramiento al sector estatal y la población en general, disminuyendo las afectaciones medioambientales. 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. El **valor económico** se aprecia al eliminar las paradas en la producción y las pérdidas ocasionadas por ellas se reducen los costos de mantenimiento y la estadía de los equipos, lo que se refleja en una disminución de los costos de producción y por ende en un aumento de las utilidades de la empresa.

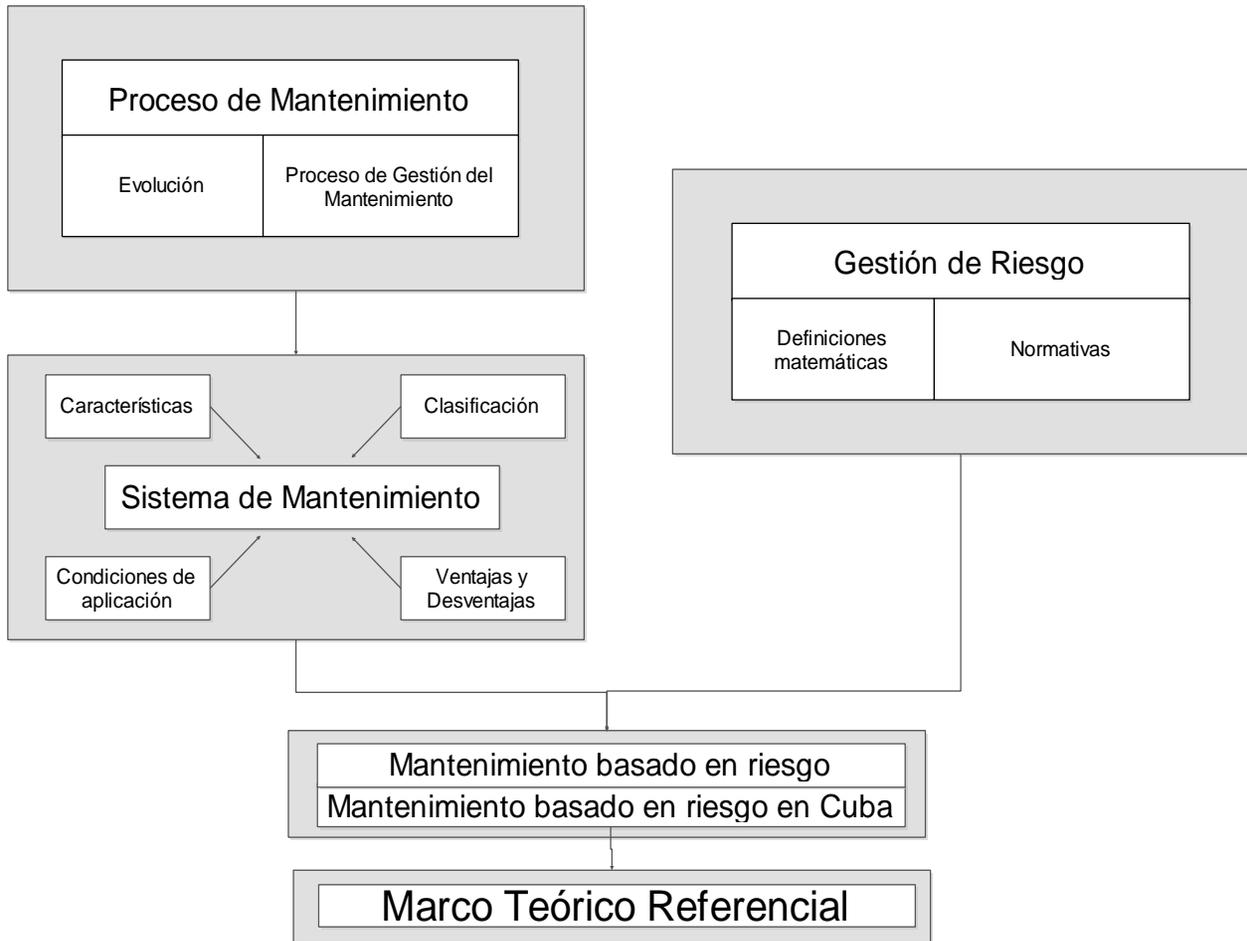
En la investigación se le da cumplimiento a los objetivos planteados mediante la estructura siguiente: el Capítulo I recoge toda la fundamentación teórica de la investigación para llegar a una conceptualización de las definiciones, elementos y tendencias principales del campo objeto de estudio y en el Capítulo II se ilustra la caracterización general la UEB Mantenimiento General de la empresa Planta Mecánica y la aplicación práctica del procedimiento seleccionado; además, se incluyen un grupo de conclusiones y recomendaciones que resaltan los principales resultados obtenidos en la investigación y que contribuye al desarrollo de trabajos futuros, respectivamente. 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.

*Capitulo 1*



## CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

El presente capítulo muestra un análisis explícito del estado del arte en la investigación y de la factibilidad de manifestación de la práctica sobre la gestión del mantenimiento y la Gestión de riesgo. En la figura 1.1 se presenta el hilo conductor que explica la estrategia seguida para la revisión y consulta de las diferentes fuentes bibliográficas.



**Figura 1.1. Hilo conductor del marco teórico-referencial.**

### 1.1. Gestión del mantenimiento en la empresa

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 (Correa Lozano, 2017; Hernández Alfonso, 2017; Lecca, 2017). Las empresas que utilizan edificios, instalaciones, máquinas, equipos, etc., para la generación de bienes o servicios, tienen la necesidad de que estos activos se encuentren con la mayor disponibilidad posible al mínimo costo, planteando una mayor durabilidad de dichos activos y los mínimos costos operativos. Por ello la conservación de los equipos de producción o para un

determinado servicio a prestar es una apuesta clave para la productividad de las empresas, así como para la calidad de los productos o servicios prestados (Murillo, 2017; Capelo Guijarro, 2017; Truong, 2017; Uribe Zapata, 2017).

El término mantenimiento ha sido conceptualizado con el transcurso de los años en diferentes artículos, libros y revistas con puntos de vistas en común y pequeñas diferencias. Varios son los autores que en sus estudios realizados como León Márquez (2012), Mora Gutiérrez (2012), Rodríguez Machado (2012), Casares (2013), Velázquez Pérez (2014), De la Paz Martínez (2015), Mostafa et al. (2015), y Chávez Salazar (2016) que en sus estudios realizados hacen 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.

Se considera que la definición de De la Paz Martínez (2015) 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.

Varios son los autores, tales como Rodríguez Díaz (2014), Hernández Gómez (2014), Hu (2014), y Sosa Martínez (2016), que de una forma u otra han expresado los tipos de mantenimiento como sistemas, estrategias, políticas y métodos. 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 (Gutiérrez, 2007). Se hace necesario el análisis del papel protagónico que desempeña en una organización la gestión del mantenimiento, 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).

La Gestión de mantenimiento forma parte de la moderna dirección de operaciones y se orienta a la utilización óptima de unos medios y recursos, con la finalidad de conservar y/o restituir la función de los equipos de producción a unas condiciones que les permitan cumplir con los

objetivos requeridos durante unos determinados periodos de tiempo (Parra Marquez, 2012; Brown, 2014). 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 posible (Rodríguez Machado, 2012; Velázquez Pérez, 2014; Narváez Rosero, 2014; Pérez Borrajo, 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 (Yssaad, 2014; Sosa Martínez, 2016; Wu, 2016; Truong, 2017).

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

El desarrollo vertiginoso de la tecnología ha planteado la necesidad de cambiar las filosofías tradicionales de trabajo y ha propiciado la aparición de una visión que pondera los resultados del mantenimiento en logro de la competitividad empresarial. Los autores Brennan (2013) y Brown (2014) consideran los cambios acontecidos a través de tres generaciones, las cuales representan cómo han venido creciendo las expectativas respecto al desempeño del mantenimiento, la visión de la naturaleza de los fallos, del equipamiento y las mejores prácticas utilizadas en una época determinada; sin embargo, existe un grupo de autores como García González-Quijano (2004), González Fernández (2007), Améndola (2005), Antoniou (2007), y Christensen (2006), referenciados en Pérez González (2016), que plantean que a los desarrollos en la tercera generación del mantenimiento se han ido añadiendo nuevas tendencias, técnicas y filosofías, de tal forma que ya se podía catalogar como una cuarta generación del mantenimiento. Otros autores como Díaz Cajas (2008), Alsyouf (2009), Arunraj (2010), García Garrido (2010), y Martínez Monseco (2013), referenciados en Rivero Rodriguez (2016), ya hablan de una quinta generación. A continuación se muestra el proceso evolutivo de este ha seguido una serie de generaciones cronológicas que se han caracterizado por una metodología específica para cada una de ellas.

### **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; Polo Salgado, 2011; Recchia 2011; Rodríguez Machado, 2012; Castellanos López, 2015).

### **Segunda generación**

La Segunda Guerra Mundial provocó un fuerte aumento de la demanda de toda clase de bienes. La exigencia de una mayor continuidad en la producción obliga a desarrollar formas de aumentar la disponibilidad de las máquinas, y se fragua entonces el concepto de mantenimiento preventivo sistemático. Los departamentos de mantenimiento buscan no sólo solucionar las fallas que se producen en los equipos, sino, sobre todo, prevenirlas, actuar para que no se produzcan, mediante actuaciones preventivas de carácter periódico que se planifican con antelación (García González-Quijano, 2004; Torres, 2005; Pavan, 2009), referenciados en Peña Vasconcellos (2015). La segunda generación perseguía como objetivos: mayor disponibilidad de la planta, y vida de los equipos, así como menor costo. Lo que generó la planificación, sistemas de control para el mantenimiento además de la incorporación de la informática a través de grandes ordenadores (Nieto Martínez, 2015).

### **Tercera generación**

Un poco más tarde, en los años 80 y tras atravesar una grave crisis energética en el 73, empieza a concebirse el concepto de fiabilidad y con él la tercera generación del mantenimiento caracterizada por el análisis de fallos, tanto los que han ocurrido como los que tienen una probabilidad tangible de ocurrir (fallos potenciales), el uso de la informática para el manejo de todos los datos del mantenimiento: órdenes de trabajo, gestión de las actividades preventivas, gestión de materiales, control de costos, etc (Diamantoulaki, 2013). Se desarrolla en Mantenimiento basado en Fiabilidad o RCM como estilo de gestión de mantenimiento, aparecen conceptos como el GMAO (Gestión del Mantenimiento Asistido por Ordenador) y el TPM (Mantenimiento Productivo Total). Se empieza a implantarse entonces en un número creciente de empresas TPM y RCM, como filosofías de gestión que se desarrollan de forma simultánea, ya que no se trata de sistemas opuestos, sino complementarios. 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; Seyedshohadaie, 2010; Pérez Borrajo, 2014).

#### **Cuarta generación**

La cuarta generación surge en los años 90, de la mano del Eureka World Class Management. El objetivo es la competitividad, y busca el desarrollo de métodos de trabajos eficaces y eficientes. 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 sus causas para eliminarlo y evitar así que se repita (García Garrido, 2010; Enciso y Casares, 2011). Además, 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 la ejecución del mismo (Igbaa, 2013; Diamantoulaki, 2013). Las técnicas utilizadas durante esta generación son: el 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; Harris, 2013; Pérez González, 2016).

#### **Quinta generación**

La quinta generación está centrada 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 costos de ciclo de vida (CCV) económicos (García González-Quijano, 2004; López García, 2013). 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 (Torres Rodríguez, 2008; Uribe Zapata, 2017). 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 (Norman, 2012; López García, 2013). Esta tiene como bandera la satisfacción y superación de las expectativas y

necesidades que se esperan del mantenimiento dentro de la organización, engloba a todos los procesos o acciones que son capaces de mantener la capacidad productiva de los activos instalados en la planta, en relación con los objetivos para los que fueron creados, contratados y/o adquiridos, cuidando a su vez la seguridad de las personas y el entorno, el medio ambiente, la calidad de la gestión y del producto terminado, al precio previsto (Duvivier, 2013; Dumagualla Encalada, 2014).

En la tabla 1.1 se detallan algunas características de las generaciones analizadas anteriormente.

**Tabla 1.1. Características principales de las generaciones de mantenimiento**

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

**Fuente: García Garrido (2010), referenciado en Machado Cárdenas (2017).**

### **1.1.2. Proceso de gestión 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 (Polo Salgado, 2011; Recchia 2011; Correa Lozano, 2017) .Según la ISO 9000 (2015), la gestión no es más que el conjunto de actividades coordinadas para dirigir y controlar una organización, mientras Leong (2012), define la gestión del mantenimiento como “las actuaciones con las que la dirección de una organización de mantenimiento sigue una política determinada”. Por su parte Leveson (2015) plantea que “recientes análisis sobre la efectividad de la gestión del mantenimiento indican que un tercio de todos los costos de mantenimiento se deben 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 (Torres, 2005; Salguero Manosalvas, 2010).

A continuación se describen las etapas que componen la administración del mantenimiento, las cuales guardan una estrecha relación con el llamado ciclo Deming (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar) al mostrar un camino que les permite a un área, función empresarial u organización para lograr la mejora continua (Broche Hernández, 2015).

### **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; Rivero Rodríguez, 2016). 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 (Sondalini, 2009; Verdecia Fusté, 2010; Syed, 2015).

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 (Martínez Silva, 2014; Díaz Concepción, 2015). Lo anterior 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 (Gutiérrez, 2007; Muñoz, 2013). La ejecución del mantenimiento puede realizarse por medios propios, por contratación de los trabajos a terceros o por la combinación de ambas. La tendencia general es hacia organizaciones de tipo mixto, descentralizadas por sectores (De la Paz Martínez, 2006; Espinosa 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 (Torres, 2016).

## **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 (Tavares, 2006; Kallen, 2009; Jaimes Pineda, 2010). El autor de la presente investigación coincide con Borboa Santamaría (2010), Espinosa Fuentes (2014), y Floriana (2015) referenciado en Machado Cárdenas (2017), al plantear que 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 la valoración del desarrollo mediante control directo, principalmente a través de auditorías.

### **1.2 Sistemas de mantenimientos**

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. Autores como Romerio (2000), Willmott (2001), y Sondalini (2002) referenciados en Betancourt Conde (2016), plantean que 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.

En la literatura especializada han sido tratados indistintamente los sistemas de mantenimiento como políticas, estrategias o filosofías, métodos y tipos de mantenimiento. La decisión de aplicar uno u otro debe ser el resultado de un análisis casuístico de cada equipo o línea de fabricación procurando alcanzar la confiabilidad operacional más alta en combinación con el costo mínimo de mantenimiento (García González-Quijano, 2004; Rodríguez Díaz, 2014). A

continuación, se hará referencia a algunos de los sistemas de mantenimiento disponibles en la literatura.

**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 (González Fernández, 2007; García Garrido, 2009; LI, 2009; Cotts, 2010). Este tipo de mantenimiento se clasifica en no planificado y planificado, según la disposición del equipo de mantenimiento de la empresa a enfrentar una avería (Paredes Rodríguez, 2005; Moreno Escudero, 2010; Molpeceres, 2012; Olives Masip, 2015).

Autores como Manzini (2010), Mao (2013), y Shen (2015) exponen que este tipo de mantenimiento resulta aplicable en sistemas complejos y en los procesos que admiten ser interrumpidos en cualquier momento y durante cualquier tiempo, sin afectar la seguridad, también es utilizado para equipos que ya cuentan con cierta antigüedad. 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 (Irrondo, 2005; Martínez Monseco, 2013).

**Mantenimiento predictivo:** según Lust (2009), Masayuki (2009), y Capelo Guijarro (2017) afirman que para evitar las desventajas que lleva consigo el mantenimiento preventivo, comenzó a desarrollarse en los últimos años el concepto de mantenimiento según estado o según síntomas, en que las intervenciones sobre los equipos no dependen ya del tiempo de funcionamiento, sino de las condiciones efectivas de ese equipo o de sus componentes. Este se conoce como mantenimiento predictivo. Para autores como Sinha (2015), Sidibe (2016), y Truong (2017), 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.

**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 (Villanueva, 2009; Zhang and Zhou, 2016).

**Mantenimiento proactivo:** es una técnica dirigida fundamentalmente a la detección y corrección de las causas que generan el desgaste y que conducen a la falla de la maquinaria. La longevidad de los componentes del sistema depende de que los parámetros de causas de falla se han mantenido dentro de límites aceptables, utilizando una práctica de "detección y corrección" de las desviaciones. Límites aceptables, significa que los parámetros de causas de falla están dentro del rango de severidad operación al que conducirá a una vida aceptable del componente en servicio (Dumagualla Encalada, 2014).

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

El Mantenimiento Preventivo Planificado (MPP), según De la Paz Martínez (1996) referenciado en Peña Vasconcellos (2015) es aquel que tiene como objetivo evitar el desgaste o deterioro prematuro de los medios básicos. El personal encargado de la planificación y control del mantenimiento, tiene entre sus funciones la de programar las inspecciones y reparaciones de forma planificada antes de que ocurra una avería o desperfecto de las máquinas y equipos. Es conveniente su aplicación en aquellas empresas donde la demanda es mayor que la capacidad, cuando funciona constantemente o donde existe dificultad en la adquisición inmediata de piezas de repuesto y materiales. Las ventajas que conlleva el uso de este sistema se traducen en un mayor aprovechamiento del personal y materiales de mantenimiento; disponibilidad de datos que permiten comparar diversos programas de producción desde el punto de vista de mantenimiento y una mayor flexibilidad debido a la disponibilidad de información anticipada y correcta en forma fácilmente interpretable.

El sistema MPP, según De la Paz Martínez (2015), es el más extendido en Cuba. Su aplicación también supone desventajas debido a que los ciclos que se planifican no siempre son los más adecuados para cada equipo y se requiere su revisión periódicamente; muchas veces se desarmen equipos sin necesidad real y entre el desarme y arme posterior se corren riesgos de roturas y errores que pueden ser de gran envergadura; el gasto de piezas, materiales y otros recursos en que se incurre es considerable y en ocasiones no responde a las necesidades reales y su carácter planificado y preventivo conduce a que los desperfectos en realidad no sean detectados con antelación suficiente para prevenir las paradas no planificadas (Rodríguez Hernández, 2012; Rodríguez Díaz, 2014; Pérez González, 2016).

### **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 sistemas de mantenimiento conocidos, en calidad de subsistemas del mismo caracterizado por su flexibilidad, aplicado en la industria mecánica, ligera y especialmente en la industria textil cubana (Rodríguez Machado, 2012; Velázquez Pérez, 2014; Sosa Martínez, 2016). Estos sistemas serán aplicados a los diferentes equipos individuales o grupos homogéneos de equipos en función de sus características tecnológicas y otros elementos (De la Paz Martínez, 2006; Rodríguez Hernández, 2012; Velázquez Pérez, 2014). Las ventajas que presenta la aplicación del SAM, según De la Paz Martínez (1996) y 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.

### **Mantenimiento Productivo Total (TPM, por sus siglas en inglés)**

Este sistema de mantenimiento es una técnica desarrollada en Japón en la década de los 70, que nace como una necesidad de mejorar la calidad de sus productos y servicios. El Total Productive Maintenance (TPM, por sus siglas en inglés) se define como: la reformulación y la mejora de la estructura empresarial a partir de la reestructuración, mejora de las personas y equipos, todo esto con el compromiso de todos los niveles jerárquicos y un cambio de la postura organizacional. El TPM consiste en la aplicación de los conceptos modernos de productividad y calidad total al mantenimiento para mejorar la competitividad de las empresas, su esencia es obtener lo máximo con calidad aceptable, al menor costo posible, en forma racional, permanente y con sentido integral (Jaimes Pineda, 2010; Dumaguala Encalada, 2014; Villada Duque, 2016).

El TPM promueve un trabajo en conjunto vinculando al hombre, máquina y empresa, de esta manera el trabajo de conservación de los medios de producción pasa a ser preocupación de todos. Esta filosofía de mantenimiento compromete la eficacia de la estructura orgánica de la empresa, por medio de mejoras a ser introducidas, tanto en personal como en equipo. El alcance de este sistema ha evolucionado ampliamente desde la década de los setenta, al punto que se le considera actualmente como un sistema de innovación empresarial, sobrepasando los modelos de mejoramiento industrial del final del siglo pasado (Torres, 2005; Tavares, 2006; García Garrido, 2009; Mora Gutiérrez, 2012; Hernández Gómez, 2014; Shen, 2015).

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

El sistema de mantenimiento centrado en la confiabilidad 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 (Larrota Bernal, 2017; Lecca, 2017) .

El objetivo del RCM radica en reducir al mínimo el costo por mantenimiento, para enfocarse en las funciones más importantes de los sistemas y evitando acciones de mantenimiento que no son necesarias. Varios autores como Moubray (2004), Jaimes Pineda (2010), Mora Gutiérrez (2012), Igbaa (2013), Dumagualla Encalada (2014), Espinosa Fuentes (2014), y Stadnicka et al. (2017) coinciden que las ventajas principales que se van a tener con la implantación de esta filosofía de mantenimiento son:

Si el RCM se aplica sobre un mantenimiento preventivo ya existente en la empresa, puede reducir la cantidad de mantenimiento rutinario hasta un 70%.

Si el RCM se aplicara para desarrollar un nuevo sistema de mantenimiento preventivo en la empresa, esto beneficiará para que la carga de trabajo programada sea mucho menor que el si el sistema se hubiera desarrollado por métodos convencionales.

Su lenguaje técnico es común, sencillo y fácil de entender para todos los empleados vinculados al sistema RCM, permitiendo al personal involucrado en las tareas saber que pueden hacer y cómo hacer para obtener los resultados requeridos.

Establece un sistema eficiente de mantenimiento preventivo.

Íntegra las tareas de mantenimiento con el contexto operacional.

### **Mantenimiento centrado en el negocio (MCN)**

El Mantenimiento Centrado en el Negocio (BCM, por sus siglas en inglés), Mantenimiento Basado en Riesgo (RBM, por sus siglas en inglés) o Mantenimiento Estratégico se desarrolla

sobre la base del comportamiento actual de las organizaciones y su entorno a nivel mundial, en cuanto al aumento de las exigencias de calidad y reducción de costos de los productos y servicios, donde el mantenimiento ha pasado a ser un elemento importante en el desempeño de los equipos en grado similar al de la operación, convirtiéndose en la única función operacional que influye y mejora los tres ejes determinantes de la realización industrial al mismo tiempo, o sea, costo, plazo y calidad, definida como la “función pivotante” (Paredes Rodríguez, 2005; Jaimes Pineda, 2010; Castellanos López, 2015; De la Paz Martínez, 2015).

Las ventajas de la implementación de este sistema logra que la planificación del mantenimiento se realice en función de la calidad, los costos y plazos de entrega de la organización; reduce al máximo el trabajo burocrático de los ejecutantes de mantenimiento; establece de forma completa los registros que serán recolectados en una intervención del mantenimiento e interrelaciona los registros de un área de mantenimiento con las demás áreas directa o indirectamente involucradas en la actividad final de la empresa y evita el riesgo de estar haciendo un excelente mantenimiento preventivo en el equipo equivocado (Rodríguez Machado, 2012; Espinosa Fuentes, 2014; Rodríguez Díaz, 2014; Broche Hernández, 2015; Llerena Morera, 2016).

### **Sistema de mantenimiento esbelto (Lean Maintenance)**

El término Lean fue acuñado por un grupo de estudio del Massachussets Institute of Tecnology (MIT) para analizar el nivel mundial de los métodos de manufactura de las empresas de la industria automotriz. Lean, es básicamente todo lo concerniente a obtener las cosas correctas en el lugar correcto, en el momento correcto, en la cantidad correcta, minimizando el despilfarro, siendo flexible y estando abierto al cambio. Su filosofía se desarrolla sobre la base de la Manufactura Esbelta (Lean Manufacturing) consistente en usar menos de cada cosa en la planta, menos esfuerzo humano, menos inversión en el inventario de materiales y herramientas, menos espacio (Mkandawirea, 2015; Mostafa et al., 2015).

El Mantenimiento esbelto es una operación de mantenimiento proactivo que emplea actividades de mantenimiento planificado y programado a través de prácticas del mantenimiento productivo total (MPT), usando las estrategias de mantenimiento desarrolladas a través de la aplicación de la decisión lógica del mantenimiento centrado en la confiabilidad (MCC) y practicada por equipos de acción auto dirigidos usando el proceso de las 5S, los eventos semanales de mejora Kaisen y, el mantenimiento autóctono, junto con técnicos de mantenimiento con multi-habilidades (Paredes Rodríguez, 2005; Arslankaya, 2015; Bangalore, 2018). Lo anterior se logra a través del uso comprometido de su sistema de orden de trabajo y su sistema computarizado de gestión de mantenimiento (CMMS: Computer Management Maintenance System) o sistema

de gestión de activos (EAM: Enterprise Asset Management). Ellos son soportados por un almacén de mantenimiento esbelto distribuido, que proporciona partes y materiales Justo a Tiempo (JIT) basado y apoyado por un grupo de ingeniería de mantenimiento y confiabilidad que efectúa el Análisis Causa Raíz (ACR) de fallas, la efectividad del procedimiento de mantenimiento, el análisis del mantenimiento predictivo, y el análisis de tendencias y resultados del monitoreo de condiciones (Paredes Rodríguez, 2005; Ewadh et al., 2018).

### **1.3 Generalidades sobre la Gestión 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). El análisis de estos riesgos es el proceso de identificación de sus 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). El diseño e implementación de los sistemas de control y registros de las operaciones empresariales se fundamentan en numerosas decisiones basadas en análisis de riesgos.

El tratamiento de las amenazas, incertidumbres y los riesgos a los que están sometidas todas las actividades de cualquier organización, sin importar su diligencia o tamaño, son conocidas en la actualidad como “Gestión de riesgo”, un término utilizado para referirse específicamente a accidentes operacionales, enfermedades, incendios u catástrofes naturales, entre otros, que pueden afectar la consecución de los objetivos de cualquier empresa y alterar los sistemas de gestión (Haijun Hu, 2009; Luca Marmo 2009; Ioanna Diamantoulaki 2013). Varios autores como Arunraj (2010), Seyedshohadaie (2010), Dickerson (2016), y Kiran (2016) afirman que la Gestión de riesgo es la aplicación sistemática de políticas, procedimientos y prácticas para identificar, analizar, evaluar, tratar y dar seguimiento a los riesgos (Stadnicka et al., 2017; Murillo, 2017).

Para las empresas, la Gestión de riesgos significa planificarse para las desviaciones potenciales de los resultados esperados, es aplicable a todo el entorno, en cualquier fase de un programa, proceso, actividad, proyecto, etc., así como en todos los niveles de la organización, tanto estratégico como operacional, no es un proyecto con vida limitada, que concluye una vez que

se han logrado los objetivos previamente definidos, sino que es parte integral del proceso continuo de gestión empresarial, es una forma de pensar y un patrón para trabajar en toda la organización, que forma parte de todo lo que se hace en la empresa, así como el logro de sus objetivos básicos, incluyendo su desempeño, la rentabilidad y la protección de los recursos; la confiabilidad de los informes financieros; y el cumplimiento de las leyes y regulaciones a las que está sujeta la actividad empresarial en cuestión (Torres, 2016; Franciosi et al., 2017).

El proceso de Gestión de los Riesgos nunca termina, porque los cambios en las empresas son inevitables y estos cambios siempre traen riesgos con ellos. La Gestión de riesgos es eficaz si se lleva a cabo sistemáticamente, pues de lo contrario pudieran no identificarse riesgos que pueden poner en peligro la integridad de la organización (Capelo Guijarro, 2017). Debería establecerse un procedimiento de seguimiento y revisión de todas las etapas del proceso de Gestión de riesgos que asegure que, toda vez que ocurra un cambio o aparezca una nueva fuente de riesgo, tanto interno como externo, exista un mecanismo para su detección (a través de una monitorización sistemática de todos aquellos elementos del contexto, los activos y los riesgos), identificación, análisis y evaluación los riesgos derivados de dicho cambio y se revise el plan de acción (Correa Lozano, 2017).

### **1.3.1. Definiciones matemáticas utilizadas en la Gestión de riesgo**

La ISO 31000 (2015) además de otros autores como Villanueva (2009), Enciso y Casares (2011), y Kamsu-Foguem (2016) plantea 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), semicuantitativa 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 (Villada Duque, 2016).

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 más apropiados (Rodríguez Díaz, 2014; Betancourt Conde, 2016). 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 muestran cómo se calcula el mismo.

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

Dónde:

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:

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

Dónde:

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), y Kiran (2016) disminuir la probabilidad es prevención y disminuir la gravedad de los efectos es protección.

Según 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.

### **1.3.2. Normativas y técnicas para la gestión del riesgo**

La creación de normativas fortifica y orienta a las organizaciones para que estas comprendan y no gestionen el riesgo a diferentes niveles, establecen una serie de principios que se deben satisfacer para que la gestión del riesgo sea eficaz, recomiendan que se desarrollen, implementen y mejoren de manera continuada un marco de trabajo cuyo objetivo sea integrar el proceso de gestión del riesgo a todo el entorno de la organización (Alfonso Llanes, 2009).

La familia de normas ISO presenta una estrategia de reacción y soluciones puntuales para protocolizar y gestionar el riesgo, incluyendo las normas siguientes:

NC-ISO GUÍA 73: 2015 Gestión de riesgos – Vocabulario.

NC-ISO 31 000: 2015 Principios y directrices para la implantación.

NC-ISO/TR 31004: 2016 Orientación para la implementación de la norma NC ISO 31 000

NC-ISO/IEC 31 010: 2015 Gestión de riesgos –Técnicas y evaluación de riesgos.

La NC-ISO GUÍA 73: 2015 proporciona las definiciones de los términos genéricos relativos a la gestión del riesgo. Su objetivo es estimular una comprensión común y homogénea, así como un enfoque coherente, de la descripción de las actividades relativas a la gestión del riesgo, y la utilización de una terminología uniforme de gestión del riesgo en los procesos y los marcos de trabajo que tratan la gestión del riesgo.

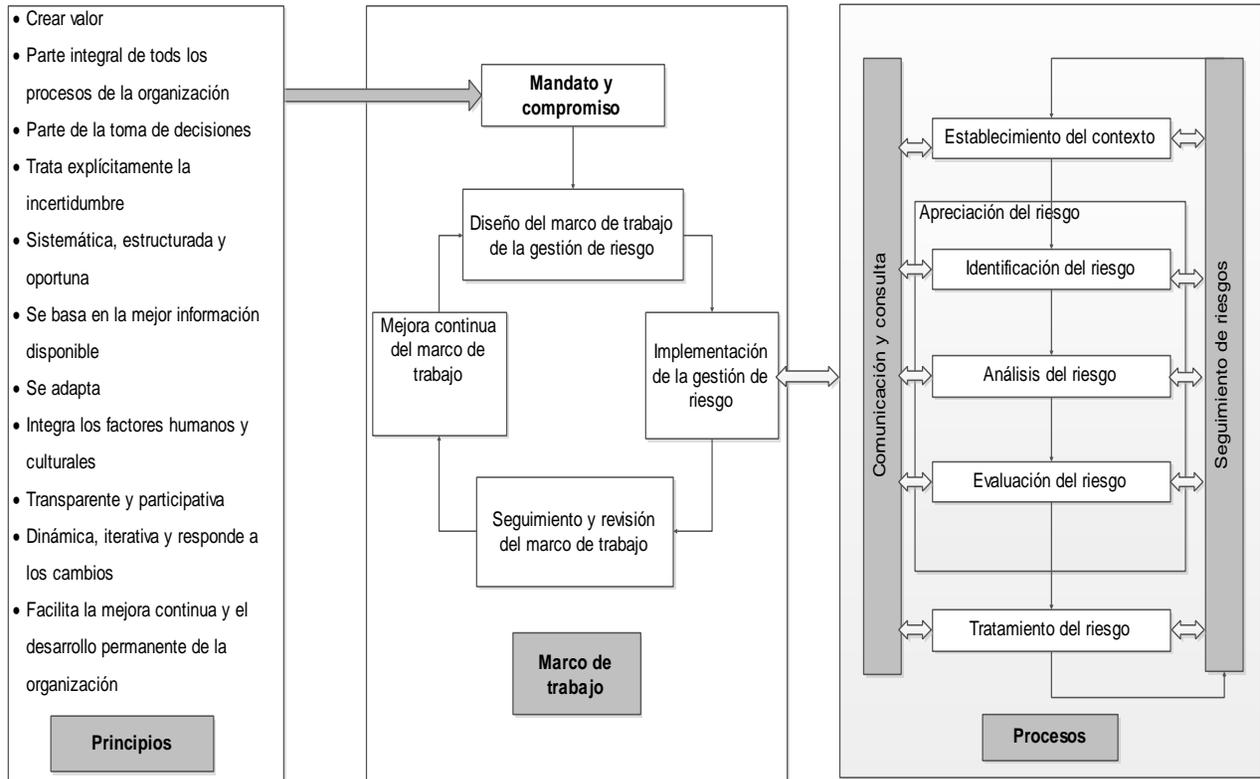
La NC-ISO 31000: 2015 está estructurada en tres elementos clave para una efectiva Gestión de riesgos: los principios para la Gestión de riesgos, la estructura de soporte y el proceso de Gestión de riesgos, los cuales se muestran en la figura 1.2. Los principios buscan establecer el enfoque cultural e 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 la gerencia de riesgos (política de riesgos). El proceso de gerencia de riesgos 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.

La norma NC-ISO 31000: 2015 en general habla sobre la evaluación de riesgos y tiene como finalidad que las organizaciones comprendan los riesgos 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 saber seleccionar las mejores decisiones a través de las buenas prácticas que ofrece.

La NC-ISO/TR 31004: 2016 Este informe técnico está previsto para ayudar a las organizaciones a mejorar la eficacia de sus esfuerzos en gestión del riesgo mediante la alineación de estos con la Norma ISO 31000:2009, la cual presenta un enfoque genérico de gestión del riesgo que pueden aplicar todas las organizaciones para lograr sus objetivos.

La NC-ISO/IEC 31010: 2015 es una norma de apoyo de la NC-ISO 31000, y proporciona directrices para la selección y aplicación de técnicas sistemáticas para la apreciación del riesgo

(Ver anexo 1), también hace referencia específica a otras normas internacionales, donde su concepto y aplicación se describen con mayor detalle.



**Figura 1.2. Relación entre el proceso, los principios y el marco de la Gestión de riesgos.**

**Fuente: ISO 31000 (2015).**

Según la NC-ISO/IEC 31010: 2015 existen diferentes métodos y herramientas que contribuyen a una mejor Gestión de riesgos, donde 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:

- 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.

En el proceso de apreciación del riesgo existen diferentes herramientas y técnicas dentro de las más utilizadas por su alta aplicabilidad durante todo el proceso se encuentran: apreciación de riesgos ambientales, estructura “y si....” Swift, análisis de los modos de fallos y de los efectos (AMFE) y mantenimiento centrado en la fiabilidad, aportando las dos últimas técnicas resultados cuantitativos (ISO 31010, 2015).

Debido al comportamiento de los accidentes asociados a explosiones era imperante definir dos aspectos clave en una nueva filosofía de mantenimiento que permitiera evaluar la probabilidad de falla y el impacto económico o consecuencias de las mismas, a fin de redireccionar los recursos de mantenimiento hacia donde más se necesitaban. Como resultado de esta labor surgen dos publicaciones:

API 580 Risk Based Inspection.

API 581 Base Resource Document Risk Based Inspection.

La API 580 establece los principios mínimos y presenta las directrices generales para el desarrollo de un programa de RBI para equipos estáticos y tuberías. Estos son:

Debe proveer un sistema de gestión para el mantenimiento de la documentación, calificación del personal, requerimiento de datos y el análisis de cambios.

Debe proveer un método documentado para la determinación de la probabilidad de falla.

Debe proporcionar un método documentado para la determinación de la consecuencia de la falla.

Debe proporcionar una metodología documentada para la Gestión de riesgo a través de la inspección y otras actividades de mitigación.

Las directrices también sugieren los resultados esperados como:

Se debe generar una clasificación de riesgo de todos los equipos evaluados.

Se debe generar un plan de inspección detallado de cada ítem incluidos en los métodos de inspección, la cobertura y la periodicidad.

Se debe dar una descripción de las actividades de mitigación de riesgo.

La API 581 proporciona métodos cuantitativos para establecer un programa de inspección basado en riesgo como única herramienta válida para generar planes de inspección confiable y acorde al nivel de riesgo de cada equipo. Profundiza en el análisis de los factores de daños requerido para calcular la probabilidad de falla. Juntos, estos documentos (API 580 y API 581) constituyen un estándar para prácticas de RBI ampliamente reconocido para la industria.

Estándar NORSOK Z-008

El propósito del estándar NORSOK Z-008 (NORSOK STANDARD Z-008 Rev. 2, Nov. 2001), no solo permite establecer las criticidades de los componentes de un sistema de producción, sino

que dentro de la misma norma incluye un procedimiento para la optimización de programas de mantenimiento para facilidades nuevas y en servicio, ubicadas en tierra y costa afuera, considerando los riesgos relacionados con personal, ambiente, pérdida de producción y costos económicos directos (todos los costos aparte de los costos de la pérdida de producción). El objetivo principal de la norma NORSOK es establecer las bases para el diseño y optimización de los programas de mantenimiento para plantas de petróleo, gas nuevos y en servicio, basados en la criticidad de sus componentes.

#### Informe COSO

El Informe COSO, constituye un material de obligada referencia cuando se trata el tema de control interno. La identificación de riesgos, tiene como objeto determinar los aspectos que pueden comprometer la consecución de los objetivos de la entidad, todo ello basado en un grado de seguridad razonable que es la certeza de que la dirección será advertida de la existencia de un peligro (riesgo) que comprometa los objetivos. Una vez identificados estos riesgos se procede a su análisis, el que se basa en la caracterización de los mismos, lo que incluye: la estimación de la pérdida o coste de cada riesgo, su probabilidad de ocurrencia y el establecimiento de las medidas para su gestión. En lo adelante, el informe COSO deja a un lado los métodos de análisis de riesgo presentando un enfoque ambiguo para el estudio de la probabilidad de ocurrencia, un uso de fuentes no precisas para los análisis de las pérdidas y, finalmente, una clasificación cualitativa de los riesgos, para la cual se ofrecen muy pocas aclaraciones adicionales.

#### AS/NZS 4360:1999 Estándar Australiano Administración de Riesgos

Un riesgo es definido por la Norma Australia / Nueva Zelanda para la Gestión de riesgos (AS / NZS 4360) como “la posibilidad de que ocurra algo que impacta en sus objetivos. Es la oportunidad de o bien hacer una ganancia o una pérdida. Se mide en términos de probabilidad y consecuencia” para una pronta referencia, el Proceso de Gestión de riesgos en AS / NZS 4360 consta de tres elementos principales: el flujo de trabajo de Gestión de riesgos, seguimiento y revisión, y, finalmente, la comunicación y la consulta, los dos más tarde interactúan continuamente con los pasos del flujo de trabajo de Gestión de riesgos.

En la práctica, la Gestión de riesgos no es más que una parte de la buena gestión empresarial, a través del reconocimiento de la existencia diversos eventos y planificando la posibilidad de que ocurran. La gestión empresarial incluye el riesgo como un factor más para llevar a cabo la toma de decisiones. La Gestión de riesgos no es un proyecto con vida limitada, que concluye una vez que se han logrado los objetivos previamente definidos, sino que es parte integral del

proceso continuo, es una forma de pensar y un patrón para trabajar en toda la organización, que forma parte de todo lo que se hace en la empresa.

Como las empresas tienen cada vez más responsabilidades corporativas con terceras partes (todas las partes interesadas), hoy día es común que se establezcan sistemas de "Control Interno" que incorpora la gestión de los riesgos para: el logro de los objetivos básicos de las empresas, incluyendo su desempeño, la rentabilidad y la protección de los recursos; la confiabilidad de los informes financieros; y el cumplimiento de las leyes y regulaciones a las que está sujeta la actividad empresarial en cuestión.

El contexto de los riesgos La identificación, los criterios para determinar la tolerabilidad y la estrategia a seguir con los riesgos estará determinado por el contexto en que estos se desarrollan, tomando en consideración a todas las partes interesadas en las actividades para las cuales se gestionan los riesgos. Por ello, para cada actividad cuyos riesgos se pretenden gestionar, es necesario establecer claramente cuáles son las expectativas con relación a los riesgos que se tienen en los ámbitos político, social, económico, empresarial, cultural, educacional, organizativo, gubernamental, etc.

#### **1.4. Generalidades sobre el Mantenimiento basado en el riesgo**

Se puede considerar al mantenimiento basado en riesgo (RBM) como la evolución del RCM, el cual está basado en el estado del equipo y en su importancia dentro del sistema, pero está limitado por la dificultad para cuantificar los problemas que el equipo presenta (Arzaghi et al., 2017; Cullum et al., 2018). La capacidad de cuantificar los problemas, además de su mayor sencillez de aplicación, hace que RBM se aplique con éxito en el sector industrial (Seiti et al., 2017; Ratnayake and Antosz, 2017). Según autores como Chemweno et al. (2018) el enfoque de Mantenimiento Basado en el Riesgo (RBM) implica una estrategia para minimizar el riesgo resultante de fallas inesperadas a través de la evaluación del riesgo y la planificación de mantenimiento. Al identificar el riesgo de falla, el mantenimiento puede programarse con el fin de aumentar la confiabilidad del equipo (Baji et al., 2017). En todo momento, la gerencia debe tener un concepto claro de los diferentes riesgos que su organización o sus trabajadores enfrentan cuando algo no funciona bien. Cuando se trata de las operaciones de mantenimiento, los riesgos son amenazas para el funcionamiento entero de una organización. Desafortunadamente, esta información no es siempre compartida con todo el mundo dentro de la organización. Para lograr un ambiente de mantenimiento basado en el riesgo (RBM), esa actitud tiene que cambiar (Amin Moradkhani 2015; Liu et al., 2018).

El RBM implica planificación de mantenimiento, toma de decisiones, reducir la probabilidad de falla del equipo y las consecuencias de esas fallas. Hay dos áreas principales de enfoque

dentro de un entorno de RBM: la vulnerabilidad de la operación en caso de una falla y la probabilidad de falla causada por la baja confiabilidad (Cipollini et al., 2018).

El Mantenimiento Basado en el Riesgo dispone para su implementación en las industrias de procesos o procedimientos de inspección. Requieren la evaluación del sistema de gestión, resultados de inspección y propuesta de acciones correctivas. Evalúa los riesgos asociados a cada uno de los equipos, desarrollando con base en ello, nuevos planes de inspección y mantenimiento de todas las instalaciones (Olde Keizer et al., 2018). La evaluación se realiza a través de estimaciones de frecuencia de falla de equipos como una función directa de los mecanismos de daño que puedan atacar la pared contenedora de éstos. Estima las consecuencias en términos de los daños al personal, la instalación, medio ambiente y pérdidas de producción ocasionadas por una falla. Combina la probabilidad de ocurrencia de las fallas con sus consecuencias (Lei, 2018). Como logro se puede elaborar un programa de inspección y mantenimiento destinado a definir, cuantificar y controlar los riesgos debidos a las fallas en los equipos con prioridades y frecuencias de inspección. Su propósito es definir y realizar aquellas actividades necesarias para detectar el deterioro en servicio de los equipos antes de que se produzcan las fallas. Emplea una metodología capaz de sustentar la toma de decisiones aun cuando se cuenta con datos inciertos o incompletos (Grøntoft, 2018).

El Sistema de Mantenimiento Basado en el Riesgo 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).

La metodología de mantenimiento basado en el riesgo se desarrolla en tres módulos principales: la determinación del riesgo, que consiste en la identificación y estimación del riesgo; la evaluación del riesgo el cual considera los criterios de valoración para la comparación con los criterios de aceptación y por último la planeación del mantenimiento considerando los factores de riesgo. El enfoque de mantenimiento basado en el riesgo complementa una estrategia alternativa para minimizar el impacto resultante de averías o fallas (Chemweno et al., 2018; Yang et al., 2018).

#### **1.4.1. 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 de 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) en la “UEB Elpidio Sosa, Electroquímica” presenta 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, superando así las deficiencias encontradas en investigaciones anteriores. Otros autores como Broche Hernández (2015), Peña Vasconcellos (2015), Pérez González (2016), Machado Cárdenas (2017), Morales Martínez (2017), Curtis Kouassi (2017), y Rodríguez Pérez (2017) realizan aplicaciones de la propuesta de Rodríguez Díaz en diferentes empresas de las provincias centrales del país, abarcando tanto la rama productiva como de servicios.

En el sector del turismo son escasas las investigaciones realizadas, solo se encuentra las desarrolladas por Pérez González (2016), donde propone un mantenimiento basado en riesgo a través de un árbol de fallas en el hotel Playa Cayo Santa María, Hernández Alfonso (2017) el cual realiza su aplicación al equipamiento del sistema de clima del hotel Valentín Perla Blanca, y Moreira Cano (2017) al sistema de enfriadoras de agua en el Hotel Playa Cayo Santa María, lo que motiva a que se realicen nuevos proyectos para la evaluación de nivel de riesgo y disminuir los fallos en los equipos.

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; así como, la relación de técnicas disponibles en la norma ISO 31010 (2015).

#### **1.5 Conclusiones parciales**

1. Actualmente existe un grupo importante de autores que coinciden en que el mantenimiento se ha convertido en un proceso clave para garantizar un desempeño adecuado en la organización, caracterizado por la búsqueda continua de mecanismos que permitan

eliminar o minimizar la ocurrencia de fallos y/o disminuir las consecuencias de los mismos, minimizando los costos incurridos, es decir se juega con los dos factores de riesgo además del factor meramente económico.

2. Los procedimientos 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 DE LAS ACCIONES DE MANTENIMIENTO BASADO EN ELEMENTOS DE GESTIÓN 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 y la caracterización de la entidad objeto de estudio.

### **2.1. Descripción general del procedimiento para la toma de decisiones vinculada a la selección del tipo de mantenimiento basado en elementos de Gestión de riesgo**

En la figura 2.1 se muestra el procedimiento general propuesto por Rodríguez Díaz (2014) y Peña Vasconcellos (2015) 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 una jerarquía de la planta

En esta fase se realiza el levantamiento de los riesgos el 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.

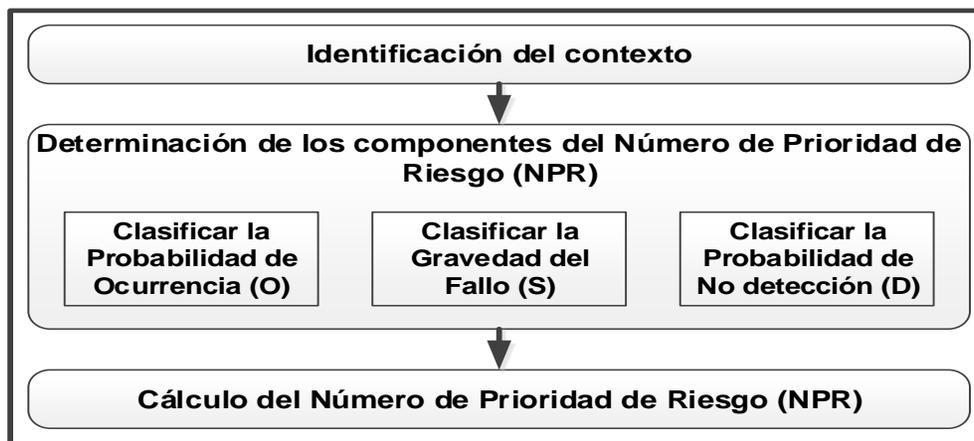


Figura 2.2. Procedimiento específico para la determinación del NPR.

## 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. La definición de los intervalos de valores del NPR característicos de cada nivel de riesgo se recomienda especificarlos en una tabla como la 2.1. 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.

**Tabla 2.1. Niveles de riesgo del fallo**

<b>Niveles de riesgo</b>	<b>Valor del NPR</b>
Muy alto riesgo o inadmisible (M)	
Alto riesgo o inaceptable (I)	
Riesgo tolerable (T)	
Riesgo aceptable (A)	

### **Fase 5. Determinación de las acciones de mantenimiento**

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. Para la presentación de los resultados de la aplicación del procedimiento se propone emplear un modelo como el que se muestra en el anexo 2. Los resultados se encuentran en el anexo 3.

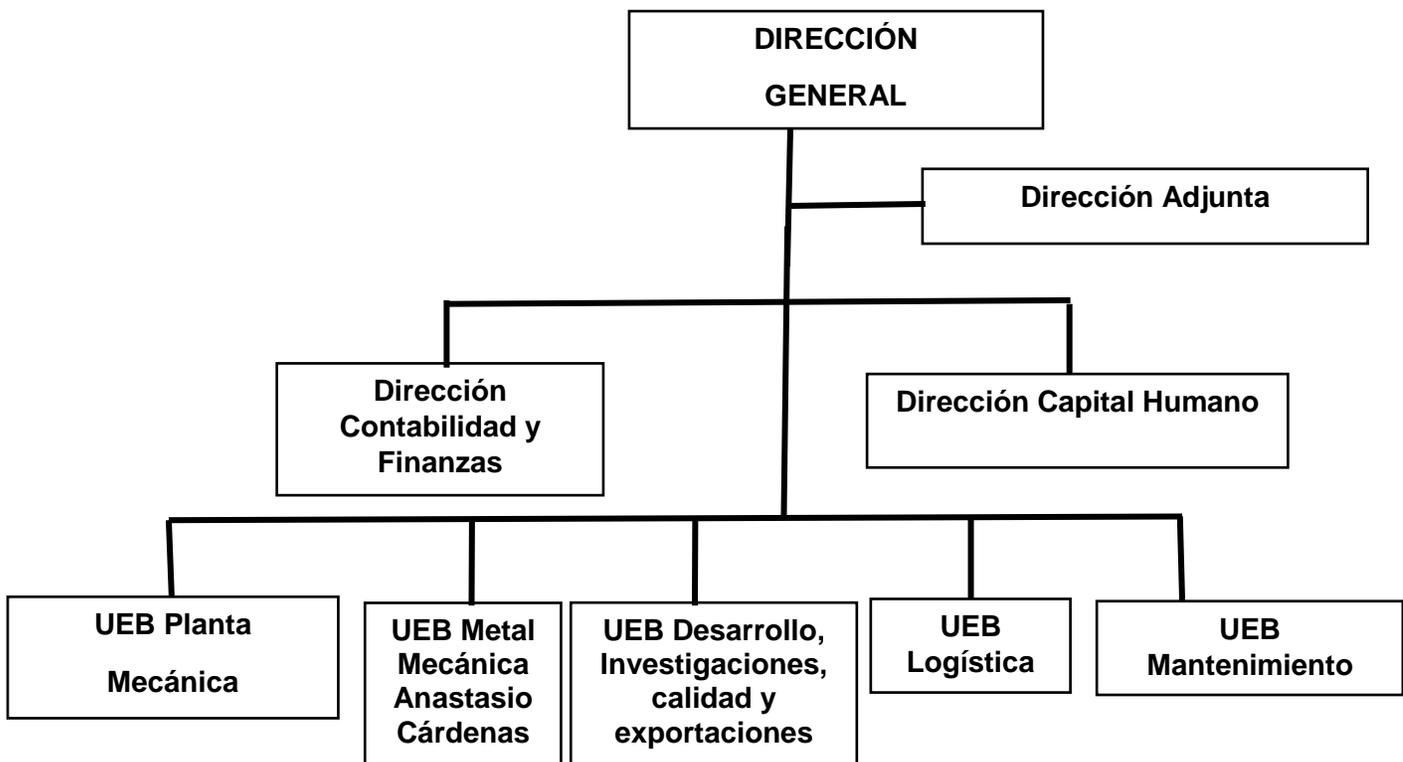
Finalmente se realiza la programación del mantenimiento donde se precisan elementos cruciales para el adecuado desempeño del sistema de mantenimiento. Se definen los intervalos de intervención, o sea, la frecuencia con la cual se debe realizar cada tarea de mantenimiento, y por último se realiza la estimación del número de prioridad de riesgo mejorado (NPRM) que se apoya en el llamado método GOD, 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 adecuados.

### **2.2. Caracterización de la empresa “Planta Mecánica”**

Situada en la Ciudad de Santa Clara, Planta Mecánica se erige como el más importante complejo fabril de construcciones mecánicas en Cuba. Fundada el 3 de mayo de 1964 estableció su producción en el mercado nacional con equipos y piezas de repuesto para la industria azucarera. Años más tarde se consolida, además, como fabricante de maquinaria para las industrias metalúrgica, minera, construcción, química, petroquímica y del transporte. Posee talleres productivos especializados, talleres auxiliares y de servicio, laboratorios y almacenes. Dispone además de un acceso ferroviario industrial enlazado al ferrocarril central. Su potencial tecnológico, la flexibilidad en tecnologías especiales y 45 años de tradición productiva, hacen que la empresa sea hoy una organización capaz de asumir los más diversos proyectos y situar sus productos tanto en el mercado nacional como internacional. Cuenta con personal técnico-ingeniero de alto nivel y especialización que desarrolla los procesos de ingeniería, fabricación,

garantía de calidad, montaje y servicios de post venta de los equipos y piezas que suministra. La capacidad industrial de la empresa, permite además de fabricar una amplia gama de equipos, aceptar trabajos a pedido dada la tecnología propia instalada en sus áreas productivas y de servicios.

La empresa Planta Mecánica tiene como misión la profesionalidad y lealtad a sus clientes, ofrece servicios de ingeniería, fabricación, montaje y puesta en marcha de plantas completas, equipos y partes y servicios asociados, orientado al mercado nacional e internacional, distintivo por su calidad, precios y capacidad de reacción. Mientras que su visión es ser líderes productores de equipos, piezas de repuestos y plantas completas para la industria del níquel, cemento, turismo, petróleo, pesca, transporte y la agricultura con servicios industriales asociados, utilizando tecnologías de punta, con competitividad en los mercados nacionales e internacionales.



**Figura 2.3. Estructura organizativa de la empresa**

Con el respaldo de un equipamiento tecnológico se fabrican reductores de gran potencia, basculadores de camiones y de carros de ferrocarril, molinos cañeros, desfibradoras, cribas, molinos de martillo y de rolos, laminadores de tubo, de cabillas y perfiles; así como una amplia línea de equipos para acerías.

Entre los principales clientes y proveedores de la entidad objeto de estudio, se destacan:

Proveedores: DIVEP, ACINOX, BK IMPORT, Comercializadora Escambray, Almacenes Universales, Cubalub.

Clientes: Azumat AZCUBA, Logística hidráulica, ESTEC Cienfuegos, EES Empresa de Cemento Ciguaney, EES Empresa de Cemento José Merceron, Empresa del Vidrio de la Lisa, Empresa de Conductores Eléctricos (ELEKA), Cupet, Empresa de reparaciones ferroviarias José Valdés Reyes.

### **2.3. Aplicación práctica del procedimiento seleccionado**

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 (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. Inicio o preparación**

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 seis especialistas que se muestra a continuación:

Director UEB de mantenimiento

Jefe de la brigada de producción

Especialista principal de mantenimiento

Técnico de mantenimiento industrial

Técnica en documentación

Mecánico A en mantenimiento

Eléctrico A en mantenimiento

#### **2.3.2. Fase 2. Realizar una jerarquía de la planta**

Para la selección de los equipos se tuvo en cuenta la información disponible en el resumen mensual de las órdenes de trabajo y del programa GMI (Gestión de mantenimiento industrial) donde se registran todos los reportes de los imprevistos de los equipos diariamente. Según dicha información los equipos fueron seleccionados por el nivel de rotura, reportes por averías, nivel de consumo energético, la importancia que poseen para brindar el servicio a los clientes y por ser únicos en la entidad. En la tabla 2.2 se muestra un grupo de informaciones sobre el equipamiento seleccionado.

En el anexo 3 se muestra el resultado obtenido después de haber realizado el levantamiento de los riesgos para el equipamiento estudiado.

**Tabla 2.2. Equipamiento seleccionado para la aplicación del análisis de riesgo**

<b>Equipo</b>	<b>Modelo</b>
Desmoldeadora	KWM-6500
Transportador	Criollo
Horno secador de arena	Criollo
Horno de cementación grande	U105A-T
Fresadora paralela	6Y316
Mesa giratoria	Ti1800
Mortajadora Mecánica	7410
Torno vertical	1525
Prensa hidráulica	3236
Jaiba Mecánica	VNB-5

### **2.3.3. Fase 3. Realizar el Análisis de riesgo**

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

#### **Etapas 1. Identificación del contexto operacional**

La entidad objeto de estudio posee un régimen de trabajo de dos turnos de ocho horas diarias por cinco días a la semana. Los trabajadores tienen el mínimo de condiciones garantizadas (vestuario, calzado de trabajo, medios de protección individual, entre otros), y están expuestos a un alto nivel de ruido.

#### **Etapas 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 2.3).

##### **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 2.4, que se muestra a continuación.

**Tabla 2.3. Cuadro de clasificación de la probabilidad de ocurrencia**

<b>Criterio</b>	<b>Contenido</b>	<b>Valor O</b>
<b>A_Alta</b>	El fallo es más frecuente ocurriendo cada tres meses aproximadamente.	10
<b>MA_Media-Alta</b>	El suceso ocurre en un período comprendido entre cuatro y cinco meses.	9-8
<b>M_Media</b>	El fallo tiene un período de ocurrencia entre seis y ocho meses	7-5
<b>MB_Media-Baja</b>	El fallo ocurre en un período de un nueve meses y once meses	4-2
<b>B_Baja</b>	El fallo ocurre cada un año.	1

**Tabla 2.4. Cuadro de clasificación de la gravedad o severidad de fallo**

<b>Criterio</b>	<b>Contenido</b>	<b>Valor S</b>
<b>F_</b> 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
<b>E_</b> 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	9-8
<b>D_</b> 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	7-6
<b>C_</b> 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	5-4
<b>B_</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	3-2
<b>A_</b> Ínfima	No tiene consecuencia para la salud, medio ambiente y el equipamiento	1

### 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 2.5, los resultados obtenidos por el grupo de expertos de las descripciones de los diferentes criterios y su valor de probabilidad.

### Etapa 3. Cálculo del Número de Prioridad de Riesgo (NPR)

El resultado obtenido después de haber realizado el cálculo del Número de Prioridad de Riesgo para los 113 modos de fallos analizados de cada uno de los equipos seleccionados por el grupo de especialistas se puede observar en el anexo 3.

**Tabla 2.5. Cuadro de clasificación de la probabilidad de no detección**

<b>Criterio</b>	<b>Contenido</b>	<b>Valor de D</b>
<b>A_Alta</b>	El fallo es muy difícil de detectar por los controles existentes	10
<b>MA_Media-Alta</b>	El fallo es de naturaleza tal, que su detección es relativamente improbable mediante los controles existentes	9-8
<b>M_Media</b>	El fallo con relativa frecuencia es difícil de detectar por los controles existentes	7-5
<b>MB_Media-Baja</b>	El fallo aunque es obvio y de fácil detección, podría raramente escapar a algún control primario, pero sería detectado posteriormente	4-2
<b>B_Baja</b>	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 de los siete expertos seleccionados, según las características propias del sistema estudiado, el rango de valores del NPR para cada categoría de riesgos. En la tabla 2.6 se muestra el resultado obtenido.

**Tabla 2.6. Rango de valores del NPR para cada nivel de riesgo**

<b>Nivel de riesgo</b>	<b>Valor de NPR</b>
Muy alto riesgo o inadmisible (M)	Más de 90
Alto riesgo o inaceptable (I)	60 a 89
Riesgo tolerable (T)	21 a 59
Riesgo aceptable (A)	1 a 20

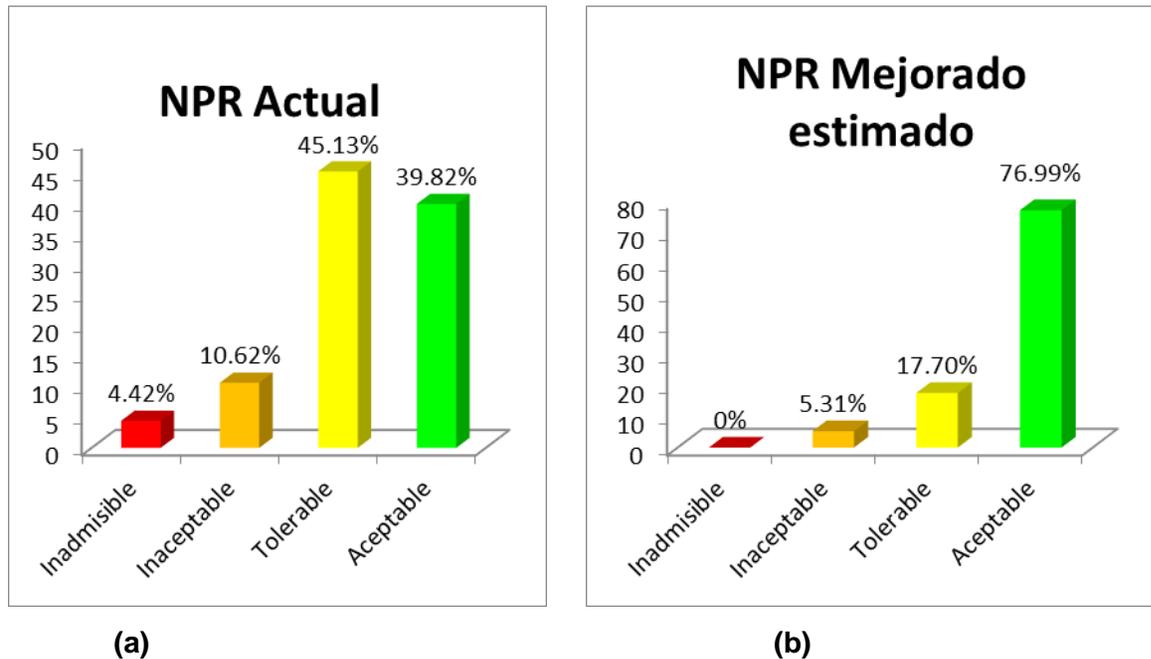
En el anexo 3 se refleja el color del nivel de riesgo actual para cada modo de fallo identificado, a partir de los resultados obtenidos en los apartados anteriores. Al analizar la clasificación de los diferentes niveles de riesgo se puede observar que, de los 113 modos de fallos analizados, la composición de las categorías de riesgo se aprecia de la forma siguiente: riesgo inadmisible en el 4,42% de los modos de fallo, inaceptable en el 10,62%, tolerable en el 45,13% y aceptable en el 39,82% (Ver figura 2.4.a).

El anexo 4 muestra, para cada modo de fallo identificado por encima del nivel riesgo aceptable, las acciones preventivas de mejora a realizar, el responsable de la tarea y el intervalo a efectuarse, así como los NPR mejorados estimados. Al analizar los resultados obtenidos en el anexo 4 se puede observar que:

de los 68 modos de fallo identificados se logró un mejoramiento estimado, en el NPR, de todos ellos luego de propuestas las acciones de mantenimiento a acometer; sin embargo, aún existen 26 modos de fallo cuyo NRP no alcanza un nivel de riesgo aceptable.

el 76,99% de los modos de fallo presentan un nivel de riesgo aceptable, el 17,70% un nivel de riesgo tolerable y el 5,31% un nivel de riesgo inaceptable.

En la figura 2.5 se muestra una comparación de la cantidad de modos de fallos existentes en cada nivel de riesgo, antes y después (estimado) de definidas las acciones de mejora.



**Figura 2.4. Resultados de los niveles de riesgo actual (a) y mejorado (b).**

#### **2.4. Conclusiones parciales**

3. La aplicación del procedimiento seleccionado al caso de estudio práctico, demostró su capacidad de asistir, aún en condiciones de insuficiencia informativa, un proceso decisional en el contexto abordado por la investigación.
4. La puesta en práctica del procedimiento seleccionado, permitió determinar las acciones de mantenimiento más efectivas a aplicar a cada modo de fallo que esté por encima del nivel de riesgo aceptable del equipamiento bajo estudio, y lograr el mejoramiento estimado en la mayoría de ellos.

*Conclusiones*



## **CONCLUSIONES**

1. El análisis de la situación problemática que fundamenta la presente investigación motivó la necesidad de aplicar un procedimiento que facilite la toma de decisiones respecto a las acciones de mantenimiento para cada equipo seleccionado considerando los elementos referentes al análisis de riesgo, dada la cantidad de situaciones riesgosas, desde el punto de vista técnico, que se presentan en la empresa objeto de estudio práctico de la investigación.
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 seleccionado basado en la metodología del análisis de riesgo, al abarcar los elementos, que según las normas ISO: 31000 y 31010 (2015), deben tener en cuenta en todo estudio que se realice sobre el riesgo.
3. La efectividad del procedimiento empleado quedó demostrada mediante su aplicación en la organización objeto de estudio práctico de la investigación. Ello se evidencia en la determinación de los modos de fallo de los equipos 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*

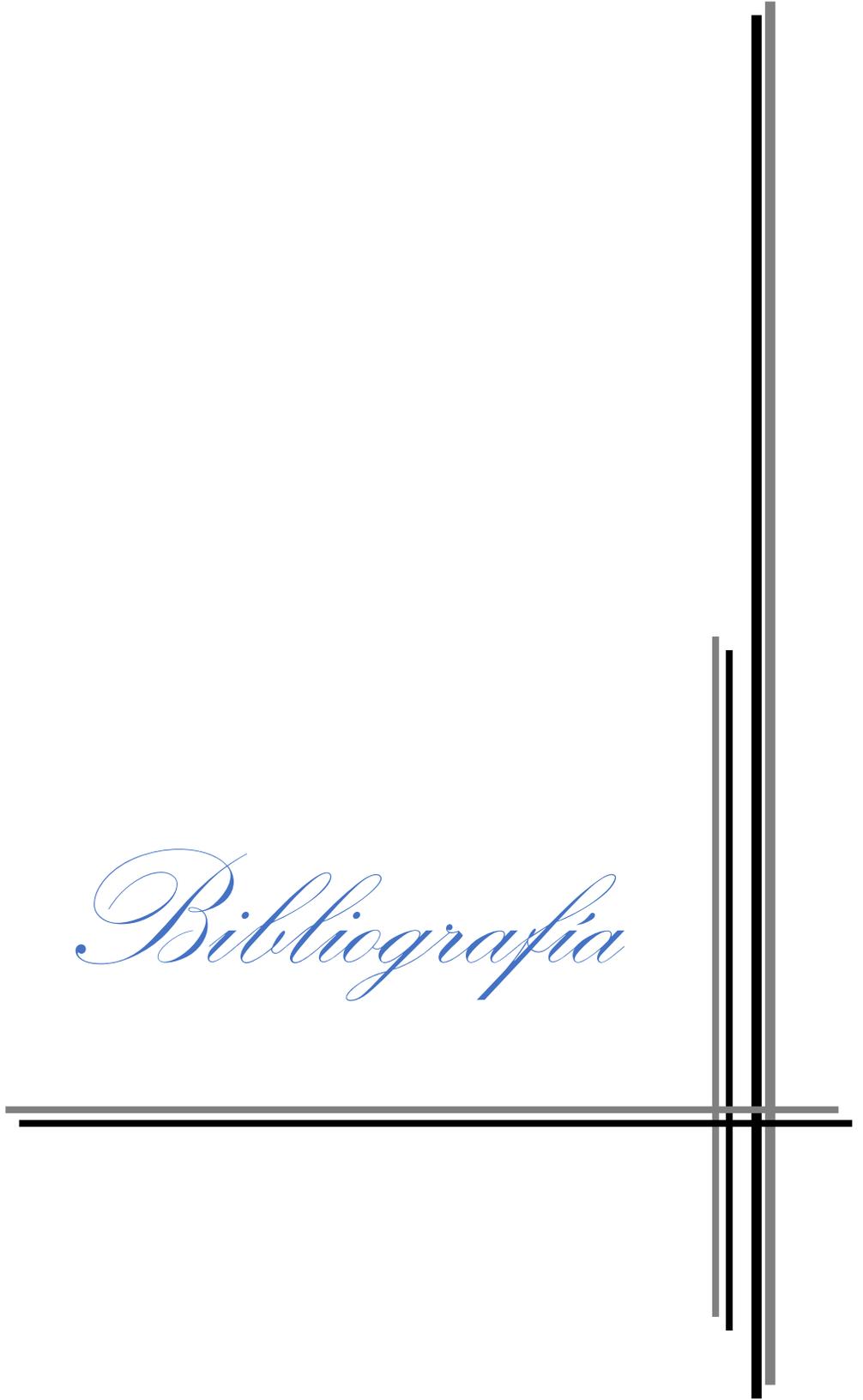


## **RECOMENDACIONES**

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

1. Proponer a la dirección realizar una valoración de las propuestas de mejora presentadas, en aras de ser aplicadas en la empresa.
2. Realizar investigaciones encaminadas a desarrollar las acciones preventivas planteadas en la presente tesis, poniendo especial énfasis en aquellas donde no se logra una disminución del NPR hasta niveles aceptables.
3. Extender la aplicación del procedimiento empleado al resto del equipamiento de la empresa, analizando la factibilidad de su implantación, y considerando las modificaciones que en cada caso pudieran ser necesarias.

# *Bibliografia*



## **BIBLIOGRAFÍA**

1. AGUILAR DE ORO, Y. 2012. "Procedimiento para la determinación del tipo de mantenimiento a partir del Análisis de Riesgo". Trabajo de Diploma, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Departamento de Ingeniería Industrial. Sana Clara, Cuba.
2. ALFONSO LLANES, A. 2009. "Procedimiento para la asistencia decisional al proceso de tercerización de la ejecución del mantenimiento". Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas., Departamento de Ingeniería Industrial. Universidad Central Marta Abreu de las Villas, Santa Clara. Cuba.
3. ALRABGHI, A. Y. T., ASHUTOSH 2015. "State of the art in simulation-based optimisation for maintenance systems". Computers & Industrial Engineering. Journal. Volume 82, April 2015, Pages 167-182. homepage: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360835214004513>.
4. ALSYOUF, I. 2009. "Maintenance practices in Swedish industries: Survey results". International Journal of Production Economics. Volume 121, Issue 1, September 2009, Pages 212-223. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527309001595>.
5. AMÉNDOLA, L. 2005. "Balanced Scorecard Maintenance .Sistemas Balanceados de Indicadores". Valencia, España. <http://docplayer.es/815781-Sistemas-balanceados-de-indicadores-en-la-gestion-de-activos-maintenace-scorecard.html>.
6. AMIN MORADKHANI , M. R. H., SEYED MOSTAFA ABEDI 2015. Risk-based maintenance scheduling in the presence of reward penalty scheme. Volume 121, April 2015, Pages 126-133. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378779614004453>.
7. ANTONIOU, A. Y. L., W. 2007. "Practical Optimization: Algorithms and Engineering Applications". In: Editorial Springer Science, U. D. V. (ed.). Universidad de Victoria, Canada, p. 669. <https://www.springer.com/la/book/9780387711065>.
8. 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, Volume 61, Issue 1, January–March 2016, Pages 176-201. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0186104215000832>.
9. ARSLANKAYA, S. H. A. 2015. "Maintenance management and lean manufacturing practices in a firm which produces dairy products". International Strategic Management Conference. Volume 207, 20 October 2015, Pages 214-224. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042815052234>.

10. 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>. Consultado en marzo, 5, 2014.
11. ARZAGHI, E., ABAEI, M. M., ABBASSI, R., GARANIYA, V., CHIN, C. & KHAN, F. 2017. Risk-based maintenance planning of subsea pipelines through fatigue crack growth monitoring. *Engineering Failure Analysis*, Volume 79, September 2017, Pages 928-939. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350630717304375>.
12. BAJI, H., LI, C.-Q., SCICLUNA, S. & DAUTH, J. 2017. Risk-cost optimised maintenance strategy for tunnel structures. *Tunnelling and Underground Space Technology*, Volume 69, October 2017, Pages 72-84. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0886779816307453>.
13. BALAM MENA, J. Y. G. C., F. 2015. "Revista Internacional Administración & Finanzas". Forthcoming. Risk Analysis of the Tourism Sector Companies in the South of the State of Yucatan, Vol. 8, pp. 37-53. [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=2500514](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=2500514)
14. BANGALORE, P. P., M. 2018. Analysis of SCADA data for early fault detection, with application to the maintenance management of wind turbines. *Renewable Energy*, Volume 115, January 2018, Pages 521-532. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148117308340>.
15. 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 Diploma, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Departamento de Ingeniería Industrial. Sana Clara, Cuba.
16. 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". Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Industrial., Universidad de Oriente, Venezuela.
17. BRENNAN, F. 2013. "Risk based maintenance for offshore wind structures". *Procedia CIRP*, Vol. 11, pp. 296-300. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827113004940>. Consultado en marzo, 8, 2014.
18. 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". Trabajo de Diploma., Universidad Central "Marta Abreu" de

Las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Departamento de Ingeniería Industrial. Sana Clara, Cuba.

19. BROWN, A. S. 2014. "A Handbook for Clinical and Biomedical Engineers". Primera Edición. USA., p. 435. <https://www.elsevier.com/books/clinical-engineering-handbook/dyro/978-0-12-226570-9>.
20. CAPELO GUIJARRO, R. V. 2017. Elaboración de un modelo de gestión de mantenimiento mediante la Norma "EN 16646", para mejorar la eficiencia del departamento de mantenimiento en la Unidad Oncológica SOLCA–Chimborazo. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/6490>.
21. CASARES, I. 2013. "Proceso de Gestión de Riesgos y Seguros en las empresas". España: Molinuevo, Gráficos, SL. [https://fundacioninade.org/sites/inade.org/files/primer\\_libro\\_isabel\\_casares.pdf](https://fundacioninade.org/sites/inade.org/files/primer_libro_isabel_casares.pdf).
22. CASTELLANOS LÓPEZ, I. 2015. Selección del tipo de mantenimiento a aplicar al equipamiento del Gran Hotel "Los Helechos". Trabajo de Diploma, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Departamento de Ingeniería Industrial. Sana Clara, Cuba.
23. CÉSPEDES HERNÁNDEZ, M. 2016. "Contribución al mejoramiento del mantenimiento en la residencia estudiantil de la Sede Central de la UCLV". Trabajo de Diploma., Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Departamento de Ingeniería Industrial. Sana Clara, Cuba.
24. CIPOLLINI, F., ONETO, L., CORADDU, A., MURPHY, A. J. & ANGUITA, D. 2018. Condition-Based Maintenance of Naval Propulsion Systems with supervised Data Analysis. Ocean Engineering, Volume 149, 1 February 2018, Pages 268-278. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0029801817307242>.
25. CORREA LOZANO, M. C., & RUEDA SANÍN, J. S. 2017. Soluciones integrales de aseo y mantenimiento S&R SAS. Proyecto de emprendimiento para obtener el título de comunicador social. <http://repository.usta.edu.co/handle/11634/3663>.
26. COTTS, D. G., ROPER, O. K. Y PAYANT, R. P. 2010. "The facility management handbook". Tercera Edición. , p. 436. <http://www.gbv.de/dms/zbw/597571104.pdf>.
27. CULLUM, J., BINNS, J., LONSDALE, M., ABBASSI, R. & GARANIYA, V. 2018. Risk-Based Maintenance Scheduling with application to naval vessels and ships. Ocean Engineering, Volume 148, 15 January 2018, Pages 476-485. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0029801817307138>.

28. CURTIS KOUASSI, S. M. 2017. "Mantenimiento Basado en el Riesgo a la caldera de la UEB Recape VC David Díaz Guadarrama". Trabajo de Diploma., Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Departamento de Ingeniería Industrial. Sana Clara, Cuba.
29. CHÁVEZ SALAZAR, H. Y. E. G., RICHARD EDU 2016. "Propuesta de implementación de un plan de mantenimiento preventivo para aumentar la disponibilidad de los equipos de la planta de alimentos de la empresa Minera la Zanja SRL". <http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/7661>.
30. CHEMWENO, P., PINTELON, L., MUCHIRI, P. N. & VAN HORENBEEK, A. 2018. Risk assessment methodologies in maintenance decision making: A review of dependability modelling approaches. *Reliability Engineering & System Safety*, Volume 173, May 2018, Pages 64-77. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832016301934>.
31. 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* Volume 170, Part B, December 2015, Pages 663-676. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527315000857>.
32. CHRISTENSEN, C. 2006. "Criticidad de equipos". <http://www.clubdemantenimiento.com>. Última consulta: 16.11.2008.
33. 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". Tesis en opción al grado científico de Doctora en Ciencias Técnicas. Universidad Central Marta Abreu de las Villas. Santa Clara, Cuba.
34. 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.
35. 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".
36. DIAMANTOULAKI, I. Y. A., D. C. 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> Consultado en marzo, 4, 2014.
37. DÍAZ CAJAS, C. S. Y. Q. V., M. E. . 2008. "Automatización del Análisis de modos de fallas y efectos FMEA en la ingeniería de mantenimiento aplicado para la industria ecuatoriana". Tesis

para optar al Título de: Ingeniero Civil en Obras Civiles., Escuela politécnica nacional. Quito,Ecuador.

38. DÍAZ CONCEPCIÓN, A. 2015. Estudio de confiabilidad operacional como soporte al mantenimiento aeronáutico en Cuba. [https://www.researchgate.net/publication/283720831\\_Estudio\\_de\\_confiabilidad\\_operacional\\_como\\_soporte\\_al\\_mantenimiento\\_aeronautico\\_en\\_Cuba](https://www.researchgate.net/publication/283720831_Estudio_de_confiabilidad_operacional_como_soporte_al_mantenimiento_aeronautico_en_Cuba).
39. 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/>).
40. 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". Trabajo de Diploma para obtener el título de Ingeniería Mecánica., Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca.
41. 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, pp. 753–760. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527313002703>. Consultado en febrero, 21, 2014.
42. ENCISO Y CASARES 2011. "El proceso de gestión de riesgos como componente integral de la gestión empresarial". Boletín de estudios económicos, Vol. 66, Nº 202, 2011, págs. 73-93. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3636068>.
43. ESPINOSA FUENTES, F. 2013. "Análisis de riesgo en planta usando árboles de eventos". Universidad de Talca.
44. ESPINOSA FUENTES, F. 2014. "Desarrollando el modelo RCM". Charlas especiales para la gestión del mantenimiento. Universidad de Talca.
45. EWADH, H. A., ALMUHANNA, R. R. A. & ALASADI, S. J. M. 2018. USING PAVER 6.5.7 AND GIS PROGRAM FOR PAVEMENT MAINTENANCE MANAGEMENT FOR SELECTED ROADS IN KERBALA CITY. Case Studies in Construction Materials. Volume 8, June 2018, Pages 323-332. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214509517301006>.
46. FERNÁNDEZ LLANES, R. 2011. "Procedimiento para determinar el tipo de mantenimiento a partir del Análisis de Riesgo". Trabajo de diploma para optar por el título de Ingeniero Industrial., Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ingeniería Industrial y Turismo Carrera de Ingeniería Industria, Santa Clara,Cuba.
47. FLORIANA, M. Y. D., JOHN 2015. "Planning of operation & maintenance using risk and reliability based methods". Energy Procedia, Vol. 80, pp. 357-364. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215021724>.

48. FRANCIOSI, C., LAMBIASE, A. & MIRANDA, S. 2017. Sustainable Maintenance: a Periodic Preventive Maintenance Model with Sustainable Spare Parts Management. IFAC-PapersOnLine, Volume 50, Issue 1, July 2017, Pages 13692-13697. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896317334584>.
49. GARCÍA GARRIDO, S. 2009. "Auditorías de mantenimiento". Editorial RENOVETEC. Madrid. Email:info@renovetec.com. <http://www.renovetec.com/auditoriasdemantenimiento.pdf>.
50. GARCÍA GARRIDO, S. 2010. "Organización y gestión integral de mantenimiento". SG Garrido - 2010 <https://books.google.com/cu/books?id=PUovBdLi-oMC&printsec=frontcover&dq=Organizaci%C3%B3n+y+gesti%C3%B3n+integral+de+mantenimiento&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwjqtOOfx8DbAhVQjlkKHZw8CFQQ6AEIJTAA#v=onepage&q=Organizaci%C3%B3n%20y%20gesti%C3%B3n%20integral%20de%20mantenimiento&f=false>.
51. 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)". Tesis en opción al grado académico de Master en Gestión Técnica y Económica en el sector eléctrico. , Universidad Pontificia Comillas, Madrid. España.
52. GINTAUTAS, T., DALSGAARD , JOHN AND RINGDALEN, VATNE. 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/>.
53. GONZÁLEZ FERNÁNDEZ, F. J. 2007. "Contratación avanzada del mantenimiento". Ediciones Díaz de Santos, S. A. España., p. 260.
54. GONZÁLEZ ROCHA, Á. M. Y. M. B., LEONARDO. 2006. "Modelo Gerencial de Mantenimiento para la Planta Manufacturas de Cemento S.A." Trabajo de grado para optar por el título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento., Escuela de Ingeniería Mecánica. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga. Colombia.
55. GRØNTOFT, T. 2018. Maintenance costs for European zinc and Portland limestone surfaces due to air pollution since the 1980s. Sustainable Cities and Society, Volume 39, May 2018, Pages 1-15. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670717316736>.
56. GUTIÉRREZ, E., AGUERO, MIGUEL Y CALIXTO, IVANESKA 2007. "Análisis de criticidad integral de activos". Maracaibo – Estado Zulia – Venezuela. <https://es.scribd.com/document/194282627/PT013-Analisis-de-Criticidad-Integral-de-Activos>.
57. GUTIÉRREZ, E., TREJO, EMILIO, MEDINA, ROBINSON, SIBLESZ, PEDRO 2015. "Cuidado Integral de Activos (IAC)". <https://es.scribd.com/document/238817355/PT008-Cuidado-Integral-de-Activos>.

58. HAIJUN HU, G. C., YUN LI, YIPING TANG. 2009. Risk-based maintenance strategy and its applications in a petrochemical reforming reaction system. Volume 22, Issue 4, July 2009, Pages 392-397. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423009000114>.
59. HAMEED, F. A. 2015. A Risk-based Shutdown Inspection and Maintenance Interval considering Human Error". <http://dx.doi.org/doi:10.1016/j.psep.2015.11.011>.
60. HARRIS, R. 2013. HAZOP, FMEA, FMECA criticality assessment etc". Management of reliability, maintenance, safety & risk. [http://seat.massey.ac.nz/143465/Lectures/ManagementOfReliability\\_4\\_3s.pdf](http://seat.massey.ac.nz/143465/Lectures/ManagementOfReliability_4_3s.pdf).
61. HERNÁNDEZ ALFONSO, C. E. 2017. Mantenimiento basado en el riesgo para el equipamiento del sistema de clima en el Hotel Valentín Perla Blanca. Trabajo de Diploma, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Departamento de Ingeniería Industrial. Sana Clara, Cuba.
62. HERNÁNDEZ GÓMEZ, A., ESCOBAR TOLEDO, C., LARIOS PRADO, J. M. Y NORIEGA MORALES, S., 2014. "Factores críticos de éxito para el despliegue del mantenimiento productivo total en plantas de la industria maquiladora para la exportación en Ciudad Juárez: una solución factorial" en Contaduría y Administración. Volume 60, Supplement 1, October–December 2015, Pages 82-106. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0186104215000510>.
63. HERNÁNDEZ MILIA, R. 2010. "Procedimiento para la asistencia decisional al proceso de selección del sistema de mantenimiento". Trabajo de diploma para optar por el título de Ingeniero Industrial., Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ingeniería Industrial y Turismo Carrera de Ingeniería Industria, Santa Clara, Cuba.
64. HU, J. Y. Z., LAIBIN 2014. "Risk based opportunistic maintenance model for complex mechanical systems". Vol. 41, pp. 3105-3115. journal homepage: [www.elsevier.com/locate/eswa](http://www.elsevier.com/locate/eswa).
65. IGBAA, J., ALEMZADEHA, KAZEM, ANYANWU-EBOB, IKE, GIBBONSA, PAUL Y FRIISB, JOHN 2013. "A Systems Approach towards Reliability-Centred Maintenance (RCM) of Wind Turbines". Vol. 16, pp. 814-826. Volume 16, 2013, Pages 814-823 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050913000860>.
66. IOANNA DIAMANTOULAKI , D. C. A. 2013. Risk-based maintenance scheduling using monitoring data for moored floating breakwaters. Volume 41, March 2013, Pages 107-118. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167473012000720>
67. IRONDO, M. R. 2005. Gestión de Mantenimiento en una Refinería. Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica. [http://www.um.edu.uy/\\_upload/\\_descarga/web\\_descarga\\_210\\_Ge](http://www.um.edu.uy/_upload/_descarga/web_descarga_210_Ge)

stinMantenimientoRefinera.-Nmero4.pdf.

68. ISO 9000 2015. "Sistemas de Gestión de la Calidad".
69. ISO 31000 2015. Norma cubana ISO 31000.
70. ISO 31010 2015. Norma cubana ISO 31010. Gestión del riesgo-Técnicas de apreciación del riesgo.
71. 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". Proyecto de grado para optar el título de Ingeniero Mecánico., Facultad de Ingeniería Físico-Mecánico.Universidad Industrial de Santander, Buaramanga.
72. JAMSHIDIA, A., ABBASGHOLIZADEH, SAMIRA, AIT-KADIA, DAOUD, RUIZ, ÁNGEL 2015. "A comprehensive fuzzy risk-based maintenance framework for prioritization of medical devices". Vol. 32, pp. 322-334. journal home page: [www.elsevier.com/locate/elsevier](http://www.elsevier.com/locate/elsevier).
73. KALLEN, M. J. Y. K., S.P. 2009. "Risk and decision analysis in Maintenance Optimization and Flood Management". Editado por IOS Press BV Nieuwe Hemweg, Amsterdam, Holanda. Pages 1 - 20 <http://ebooks.iospress.nl/book/risk-and-decision-analysis-in-maintenance-optimization-and-flood-management>.
74. KAMSU-FOGUEM, B. 2016. "Information structuring and risk-based inspection for the marine oil pipelines". Vol. 56, pp. 132-142. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apor.2016.01.009>.
75. KIRAN, S., PRAJEETH KUMAR, K.P., SREEJITH, B. AND MURALIDHARAN, M. 2016. Reliability evaluation and Risk based maintenance in a process plant. *Procedia Engineering*, Volume 24, 2016, Pages 576-583. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212017316302067>.
76. LARROTA BERNAL, V. L., & VERGEL BLANCO, B. 2017. Planeación y control de mantenimiento en la central de esterilización del Hospital San José. Trabajo de Grado. Universidad Católica de Colombia. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Industrial. Bogotá, Colombia.
77. LECCA, L., & FERNANDO, L. 2017. Mantenimiento proactivo basado en el análisis y Monitoreo de aceite lubricante aplicado a la flota de Tractocamiones freightliner. Fecha: 2017-08-29 <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/9492>.
78. LEI, X. S., PETER A. 2018. Maintenance scheduling based on remaining useful life predictions for wind farms managed using power purchase agreements. *Renewable Energy*, Volume 116, Part B, February 2018, Pages 188-198 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148117302446>

79. LEÓN MÁRQUEZ, O. 2012. "Determinación del tipo de mantenimiento a aplicar al equipamiento productivo de la Unidad Básica de Producciones Metálicas El Vaquerito". Trabajo de diploma para optar por el título de Ingeniero Industrial., Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ingeniería Industrial y Turismo Carrera de Ingeniería Industria, Santa Clara, Cuba.
80. LEONG, T. K. Y. Z., N. 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/S1877042812051701>.
81. LEVESON, N. 2015. "A systems approach to risk management through leading safety indicators". Reliability Engineering & System Safety, Volume 136, April 2015, Pages 17-34. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832014002488>.
82. LI, L. Y. N., 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 en marzo, 8, 2014.
83. LIU, Q., DONG, M. & CHEN, F. F. 2018. Single-machine-based joint optimization of predictive maintenance planning and production scheduling. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Volume 51, June 2018, Pages 238-247. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0736584517300649>.
84. LÓPEZ GARCÍA, J. 2013. "Gestión del Mantenimiento eficiente: Las cinco generaciones del Mantenimiento". [http://www.google scholar.com/articles/las\\_cinco\\_generaciones\\_del\\_mantenimiento.html](http://www.google scholar.com/articles/las_cinco_generaciones_del_mantenimiento.html).
85. LUCA MARMO , V. C., ALESSANDRO STARACE 2009. Recursive Operability Analysis as a decision support tool for Risk-Based Maintenance. Volume 22, Issue 5, September 2009, Pages 557-565. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423009000187>.
86. LUST, T. R., O. 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 en marzo, 10, 2014.
87. LLERENA MORERA, D. 2016. "Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad a equipos más consumidores de energía eléctrica del Hotel Cayo Santa María". Trabajo de Diploma, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Departamento de Ingeniería Industrial. Sana Clara, Cuba.
88. MACHADO CÁRDENAS, R. 2017. Mantenimiento Basado en el Riesgo para el equipamiento de cocina en el Hotel Cayo Santa María de Villa Clara. Trabajo de Diploma, Universidad Central

“Marta Abreu” de Las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Departamento de Ingeniería Industrial. Sana Clara, Cuba.

89. MANZINI, R., HOANG, P. Y FERRARI, E. 2010. "Maintenance for Industrial Systems". Springer Science. Estados Unidos.
90. MAO, S. Y. J., Y. 2013. "Construction of the A ring of halichomycin via a RCM strategy". . Tetrahedron Letters, , Vol. 54, pp. 4343-4345. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040403913009830>. Consultado en febrero, 27, 2014.
91. MARTÍNEZ MONSECO 2013. "Diseño de un plan de mantenimiento para un equipo de alta fiabilidad". Vol. 301, pp. 40-53. <http://www.tecnicaindustrial.es/TIFrontal/a-4303-diseno-plan-mantenimiento-equipo-alta-fiabilidad.aspx>.
92. MARTÍNEZ SILVA, L. A. 2014. "Plan de prevención de riesgos laborales e higiene industrial en el taller de carrocerías marba de la ciudad de baños de agua santa". Tesis de grado., Riobamba–Ecuador.
93. MASAYUKI, M. 2009. "Manufacturing and Service Enterprise with Risk". A Stochastic Management Approach. Springer Science. Japón. <https://www.springer.com/gp/book/9780387848037>.
94. 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: [www.elsevier.com/locate/epsr](http://www.elsevier.com/locate/epsr).
95. 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. [https://www.preventionweb.net/files/38050\\_38050conceptosbsicos.pdf](https://www.preventionweb.net/files/38050_38050conceptosbsicos.pdf).
96. MORA GUTIÉRREZ, A. 2012. "Mantenimiento Industrial Efectivo". Editorial Coidi. Medellín, Colombia. [www.pdfactory.com](http://www.pdfactory.com).
97. MORADKHANI, A., HAGHIFAM, MAHMOUD R. Y MOSTAFA, SEYED ABEDI 2015. "Risk based maintenance scheduling in the presence of reward penalty scheme". Vol. 12, pp. 126-133. Journal home page: [www.elsevier.com/locate/epsr](http://www.elsevier.com/locate/epsr).
98. MORALES MARTÍNEZ , M. 2017. Determinación de acciones de mantenimiento en la UEB: Embotelladora Calabazar de Sagua “Oscar V. Carvajal Calderón” mediante la metodología de Análisis de riesgo. Trabajo de Diploma, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Departamento de Ingeniería Industrial. Sana Clara, Cuba.

99. MOREIRA CANO, C. A. 2017. "Mantenimiento Basado en el Riesgo al sistema de enfriadoras de agua en el Hotel Playa Cayo Santa María". Trabajo de Diploma, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Departamento de Ingeniería Industrial. Sana Clara, Cuba.
100. MORENO ESCUDERO, E. D. Y. R. S., J. I. 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". Monografía de Grado presentada como requisito para optar el título de Especialista en Gerencia de Mantenimiento. Universidad Industrial de Santander Aseduis, Bogotá.
101. MOSTAFA, S., DUMRAK, J. & SOLTAN, H. 2015. "Lean maintenance roadmap". 2nd International Materials, Industrial, and Manufacturing Engineering Conference. Volume 2, 2015, Pages 434-444. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2015.07.076>
102. MOUBRAY, J. 2004. "Mantenimiento Centrado en Confiabilidad". Edición en Español, United Kingdom. Aladon Ltd. <https://es.scribd.com/doc/146193755/02-RCM-II-John-Moubray-Libro-Completo>.
103. 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/>.
104. MURILLO, W. O. 2017. Gestión del mantenimiento, hacia una línea de investigación. Revista CINTEX, vol. 7, p. 65-68. <http://www.pascualbravo.edu.co:5056/cintexpb/index.php/cintex/article/view/191>.
105. NARVÁEZ ROSERO, M. D. P. 2014. "Gestión de riesgos en la fase de diseño para proyectos de construcción utilizando la guía PMBOK". Universidad Militar Nueva Granada. <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/11555/1/Gestion%20de%20Riesgos.pdf>.
106. NIETO MARTÍNEZ, A., VILLALBA, WILSON Y OLMOS, LUIS 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. <http://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/download/253/245/>.
107. NORMAN, T. 2012. "System Management, Maintenance, and Repair". Electronic Access Control., pp. 401-410. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123820280000272>. Consultado en febrero, 24, 2013. Opción al grado científico de Doctor en Filosofía. Universidad de Vaxjo, Suecia.
108. OLDE KEIZER, M. C. A., TEUNTER, R. H., VELDMAN, J. & BABAI, M. Z. 2018. Condition-based maintenance for systems with economic dependence and load sharing. International Journal of Production Economics, Volume 195, January 2018, Pages 319-327. <https://doi.org/10.>

1016/j.ijpe.2017.10.030.

109. OLIVES MASIP, R. 2015. "Mantenimiento preventivo". Dirección General de Relaciones Laborales y Calidad en el Trabajo. Barcelona. [http://treball.gencat.cat/web/.content/09\\_-\\_seguretat\\_i\\_salut\\_laboral/publicacions/imatges/qp\\_manteniment\\_preventiu\\_cast.pdf](http://treball.gencat.cat/web/.content/09_-_seguretat_i_salut_laboral/publicacions/imatges/qp_manteniment_preventiu_cast.pdf).
110. PAREDES RODRÍGUEZ, F. 2005. Lean Maintenance"El nuevo enfoque para optimizar el mantenimiento [En línea]". <http://www.lean-vision.com>.
111. PARRA MARQUEZ, C. A. Y. C. M., A. 2012. "Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos". INGEMAN. Sevilla, España. <https://www.amazon.com/Ingenier%C3%ADa-Mantenimiento-Fiabilidad-Aplicada-Gesti%C3%B3n/dp/8495499673>.
112. PAVAN, M. 2009. "Multicriteria Decision-Making Methods. Chemical and Biochemical Data Analysis". Vol. 1, pp. 591–629. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444527011000387>. Consultado en febrero, 23, 2014.
113. PCC. 2011. "Lineamientos de la política económica y social del partido y la revolución".
114. PCC. 2016. Conceptualización del modelo económico y social cubano de desarrollo socialista.
115. 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". Trabajo de Diploma, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Departamento de Ingeniería Industrial. Sana Clara, Cuba.
116. 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". Trabajo de Diploma, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Departamento de Ingeniería Industrial. Sana Clara, Cuba.
117. 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”. Trabajo de Diploma, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Departamento de Ingeniería Industrial. Sana Clara, Cuba.
118. 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". Trabajo de diploma para optar por el título de Ingeniero Industrial., Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Facultad de Ingeniería Industrial y Turismo Carrera de Ingeniería Industria, Santa Clara, Cuba.
119. RATNAYAKE, R. M. C. & ANTOSZ, K. 2017. Development of a Risk Matrix and Extending the Risk-based Maintenance Analysis with Fuzzy Logic. *Procedia Engineering*, Volume 182, 2017, Pages 602-610. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705817312997>.

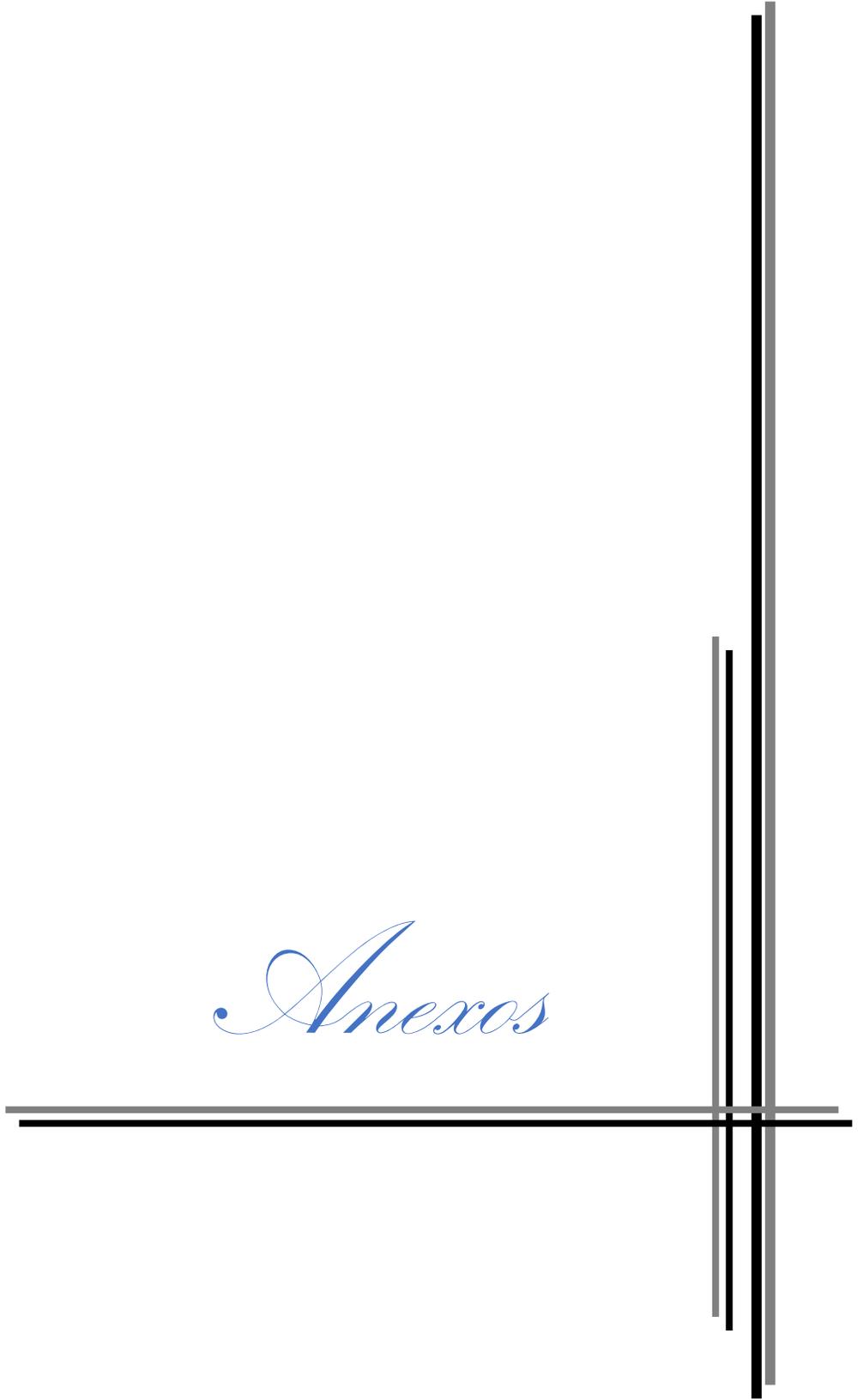
120. RECCHIA , L. 2011. "Multicriteria Analysis and LCA Techniques". Springer Science, Inglaterra.  
[https://books.google.com.cu/books?hl=es&lr=&id=RU-mF-lqgzC&oi=fnd&pg=PR4&dq=%22Multicriteria+Analysis+and+LCA+Techniques%22.&ots=l7D6-8TDHs&sig=wsc-n\\_UHR\\_9IWvzadUdNh\\_mG\\_w&redir\\_esc=y#v=onepage&q=%22Multicriteria%20Analysis%20and%20LCA%20Techniques%22.&f=false](https://books.google.com.cu/books?hl=es&lr=&id=RU-mF-lqgzC&oi=fnd&pg=PR4&dq=%22Multicriteria+Analysis+and+LCA+Techniques%22.&ots=l7D6-8TDHs&sig=wsc-n_UHR_9IWvzadUdNh_mG_w&redir_esc=y#v=onepage&q=%22Multicriteria%20Analysis%20and%20LCA%20Techniques%22.&f=false).
121. RIVERO RODRIGUEZ, L. D. 2016. "Herramienta informática para la gestión de mantenimiento en el hotel Meliá Las Dunas". Trabajo de Diploma, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Departamento de Ingeniería Industrial. Sana Clara, Cuba.
122. 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". Trabajo de Diploma, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Departamento de Ingeniería Industrial. Sana Clara, Cuba.
123. 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". Trabajo de diploma para optar por el título de Ingeniero Industrial., Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ingeniería Industrial y Turismo Carrera de Ingeniería Industria, Santa Clara,Cuba.
124. RODRÍGUEZ MACHADO, A. 2012. "Manual de Gestión del Mantenimiento". Trabajo de diploma para optar por el título de Ingeniero Industrial., Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ingeniería Industrial y Turismo Carrera de Ingeniería Industria, Santa Clara,Cuba.
125. RODRÍGUEZ PÉREZ, C. 2017. Mantenimiento Basado en Riesgos para el motor de tecnología MAN B&W Diesel de la Central Eléctrica Sancti Spíritus. Trabajo de Diploma, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Departamento de Ingeniería Industrial. Sana Clara, Cuba.
126. ROMERAL, L. M. Y. T. G., Á. 2008. "Gestión de los riesgos tecnológicos". . Revista de Procesos y Métricas de las tecnologías de la información, Vol. 5, pp. 15-23.  
[https://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:-0Qt88MrDVWJ:scholar.google.com/&hl=es&as\\_sdt=0,5](https://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:-0Qt88MrDVWJ:scholar.google.com/&hl=es&as_sdt=0,5).
127. ROMERIO, F. 2000. "Les Risques Liés a la Libéralisation du Marché de L'électricité: Problématique et Solutions. Universidad de Genova". <https://www.unine.ch/files/live/sites/irene/files/shared/documents/cahier0101.pdf>.

128. 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>.
129. 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. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/2418>.
130. SANTOS RUBIO, R. M. G., R. MUÑOZ DE LA CORTE, M.D. VELÁZQUEZ-LÓPEZ, M.V. GIL-NAVARRO, F.J. BAUTISTA-PALOMA 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>.
131. SEITI, H., HAFEZALKOTOB, A. & FATTAHI, R. 2017. Extending a pessimistic–optimistic fuzzy information axiom based approach considering acceptable risk: Application in the selection of maintenance strategy. *Applied Soft Computing*. Volume 67, June 2018, Pages 895-909. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2017.11.017>.
132. SEYEDSHOHADAIE, S. R., DAMNJANOVIC, 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. <http://journals.sagepub.com/doi/10.3141/2409-01>.
133. SHEN, C. 2015. "Discussion on key successful factors of TPM in enterprises" en *Journal of Applied Research and Technology*. Volume 13, Issue 3, June 2015, Pages 425-427. <https://doi.org/10.1016/j.jart.2015.05.002>
134. SIDIBE, I. B., KHATAB,A., DIALLO, C., KASSAMBARA, A. 2016. "Preventive maintenance optimization for a stochastically degrading system with a random initial age". *Reliability Engineering and System Safety*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2016.11.018>.
135. 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: [www.elsevier.com/locate/rser](http://www.elsevier.com/locate/rser).
136. SONDALINI, M. 2009. "Plant and Equipment Wellness. Equipment Reliability and Maximum Life Cycle Profits,Engineers Media".[http://www.lifetime-reliability.com/home\\_pdfs/Plant-Wellness-Edn1-PDF-Book.pdf](http://www.lifetime-reliability.com/home_pdfs/Plant-Wellness-Edn1-PDF-Book.pdf).
137. SOSA MARTÍNEZ, D. A. 2016. "Selección del tipo de mantenimiento a aplicar en los sistemas tecnológicos y equipos del Kurhotel Escambray". Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Industrial., Universidad Central Marta Abreu de Las Villas. Santa Clara, Cuba.

138. STADNICKA, D., ARKHIPOV, D., BATAÏA, O. & RATNAYAKE, R. M. C. 2017. Skills management in the optimization of aircraft maintenance processes. IFAC-PapersOnLine, Volume 50, Issue 1, July 2017, Pages 6912-6917. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.1216>.
139. SYED, F., HASSAN, USAMA, PERWEZ, ATTIQUE, SAJID 2015. "Free Cooling Investigation of RCMS Data Center" en Elsevier". Volume 75, August 2015, Pages 1249-1254. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.175>.
140. TAVARES, L. A. 2006. "Administración Moderna de Mantenimiento". Novo Polo Publicacoes. Brasil. <https://es.slideshare.net/CarlosAlbertoZiga/administracion-moderna-de-mantenimiento-lourival-tavares>
141. TOMLINGSON, P. D. 2010. "Equipment Management. Key to Equipment Reliability and Productivity in Mining". Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. (SME). Estados Unidos. <https://www.amazon.com/Equipment-Management-Second-Reliability-Productivity/dp/0873353153>
142. TORRES, L. 2016. Gestión integral de activos físicos y mantenimiento. Alfaomega. <https://www.alfaomega.com.mx/default/catalogo/profesional/gestion-integral-de-activos-fisicos-y-mantenimiento.html>.
143. TORRES, L. D. 2005. "Mantenimiento. Su Implementación y Gestión". Datastream Systems, Inc., Argentina. <https://es.scribd.com/doc/136615587/Mantenimiento-su-implementacion-y-su-gestion>
144. TORRES RODRÍGUEZ, M. 2008. "Tecnología para la Gestión de los Servicios Técnicos en Hoteles de sol y playa. Aplicación en hoteles del Polo Turístico de Guardalavaca". Tesis presentada en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas., Holguín, Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya".
145. 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>.
146. URIBE ZAPATA, Z. T., REYES, V., & SALOMON, G. . 2017. Propuesta de implementación de un plan de mantenimiento y gestión de inventarios para reducir los costos en la empresa de transporte Bulltra SAC. <http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/12087>.
147. VELÁZQUEZ PÉREZ, E. 2014. "Implementación del sistema alternativo de Mantenimiento en la Empresa Gráfica de Villa Clara". Tesis presentada en opción al título académico de master en ingeniería industrial mención mantenimiento.

148. VERDECIA FUSTÉ, Y. 2010. "Aplicación del Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC) a equipos del Combinado Lácteo de Morón, Ciego de Ávila". Trabajo de diploma para optar por el título de Ingeniero Industrial., Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ingeniería Industrial y Turismo Carrera de Ingeniería Industria, Santa Clara, Cuba.
149. VILLADA DUQUE, F. 2016. "El mantenimiento como estrategia competitiva". Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
150. 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.
151. WILLMOTT, P. Y. M., D. 2001. "TPM -A Route to World-Class Performance". Delhi, India Butterworth-Heinemann. <https://www.sciencedirect.com/science/book/9780750644471>.
152. 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>.
153. YANG, Q., CHIN, K.-S. & LI, Y.-L. 2018. A quality function deployment-based framework for the risk management of hazardous material transportation process. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, Volume 52, March 2018, Pages 81-92. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2018.02.001>.
154. 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>.
155. ZHANG, J., HUANG, XIAOYAN, FANG, YOUTONG, & ZHOU, J., ZHANG, HE, LI, JING 2016. "Optimal Inspection-based Preventive maintenance policy for three-state mechanical components under competing failure modes". <http://dx.doi.org/10.1016/j.ress.2016.02.007>.

*Anexos*



## Anexos

### Anexo 1. Herramientas utilizadas para la evaluación de riesgo

Herramientas y técnicas	Proceso de evaluación del riesgo				
	Identificación del riesgo	Análisis del riesgo			Evaluación 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



Anexo 3. Resultado obtenidos de la hoja de trabajo del AMFE

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Desmoldeadora (KWM-6500) #		Realizado por:		FECHA		HOJA			
		COMPONENTE: Desmoldeadora		REF		FECHA		DE			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS		S	O	D	NPR
1	Eliminar el excedente de arena de la pieza moldeada	A	No elimina la arena de la pieza moldeada	1	No vibra la parrilla desmoldeadora	La pieza no puede ser utilizada para sus futuras funciones	2	5	1	10	
				2	Rotura de los rodamientos del eje desbalanceador (Es un eje excéntrico que balancea para vibrar la máquina)	Deja de funcionar con toda la fuerza el equipo y demora en quitar la arena del molde	2	9	3	54	
				3	Rotura de los resortes de la base de la máquina	Deja de funcionar el equipo, quedando la pieza inutilizable	3	8	1	24	
				4	No funciona el moto vibrador (Esta acoplado al eje)	Deja de funcionar el equipo, quedando la pieza inutilizable	3	10	1	30	
		B	Elimina la arena pero no completamente	1	La parrilla no soporta el molde	El moto vibrador no funciona con la potencia requerida para eliminar completamente la arena del molde	2	10	1	20	

Anexo 3. Resultado obtenidos de la hoja de trabajo del AMFE

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Transportador Criollo		#	Realizado por:	FECHA			HOJA			
HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		COMPONENTE: Banda transportadora		REF	Revisado por:	FECHA			DE			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS			S	O	D	NPR
1	Transportar la arena	A	No se transporta la arena	1	Se parta la banda transportadora	No transporta la arena			4	6	1	24
				2	Rotura de un eslabón de la cadena transmisora (Transmite el movimiento del reductor al tambor)	Deja de transmitir movimiento a la estera			3	7	1	21
				3	Rotura de las bobinas del motor de la banda transportadora por exceso de calor	No funciona el motor, dejando de funcionar la banda			2	1	1	2
				4	Rotura del reductor de velocidad (Reducir la velocidad del motor a la estera)	Deja de funcionar el equipo			2	4	1	8
		B	Se transporta la arena pero con pérdida	1	Perforación de la estera por la cabilla del molde	No se transporta completamente la arena			2	8	4	64

Anexo 3. Resultado obtenidos de la hoja de trabajo del AMFE

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Transportador Criollo		#	Realizado por:	FECHA			HOJA			
		COMPONENTE: Motor		REF	Revisado por:	FECHA			DE			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS			S	O	D	NPR
1	Poner en movimiento la estera	A	No se mueve la estera	1	Rotura de los alambres de la bobina del motor por exceso de calor (Derrite el barniz de la bobina)	Se quema el motor, no se mueve la estera			2	1	1	2
				2	Sobrecarga de arena en la estera (Problemas en el distribuidor)	Disminuye la velocidad de la estera al punto de detenerse			2	7	6	84
				3	Rotura de un eslabón de la cadena trasmisora	Deja de transmitir movimientos a la estera			3	7	1	21
				4	Rotura de los piñones del reductor (Disminuir la velocidad del motor a la estera)	Se disminuye la velocidad de la estera hasta detenerse			2	7	7	98
		B	Se mueve la estera pero no de forma continua	1	Leve sobrecalentamiento del motor	Olor a quemado y se para el equipo para evitar males mayores			2	7	4	56

Anexo 3. Resultado obtenidos de la hoja de trabajo del AMFE

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Transportador Criollo		#	Realizado por:	FECHA			HOJA		
HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		COMPONENTE: Rodillo		REF	Revisado por:	FECHA			DE		
FUNCIÓN	FALLO FUNCIÓN	MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS			S	O	D	NPR	
1	Deslizar la banda transportadora	A	No se desliza la banda	1	Rotura mecanismo de soporte de rodillos	en de los	Dejan de funcionar los rodillos por la banda transportadora no funciona	3	5	6	90
				1	Rotura del eje de apoyo de los rodillos		Deja de girar el rodillo y provoca una leve parada al pasar por encima de estos	3	3	6	54
		B	Se desliza pero no de forma continua	2	Se tranque o se parte los rodamientos de rodillos		Los rodillos no entran en movimiento y provoca una leve parada al pasar por encima de estos	2	5	7	70
				3	Desgaste del exterior de los rodillos		Se desliza la banda transportadora pero con interferencias y pequeñas paradas en el movimiento	2	6	7	84

Anexo 3. Resultado obtenidos de la hoja de trabajo del AMFE

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Horno secador de arena		#	Realizado por:	FECHA			HOJA			
HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		COMPONENTE: Mecanismo de giro		REF	Revisado por:	FECHA			DE			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS			S	O	D	NPR
1	Girar el horno rotatorio para secar la arena uniforme	A	No gira el horno rotatorio	1	Rotura de las bobinas del motor por sobrecalentamiento (Se derrite el barniz de las bobinas)	No sale arena, deja de girar el rotor y se para el equipo			2	1	1	2
				2	Rotura de los apoyos del mecanismo de giro (Son rodillos exteriores del horno)	No funciona el mecanismo de giro			3	7	1	21
				3	Rotura de los piñones del reductor	No funciona el mecanismo de giro, no se seca la arena uniforme			2	7	7	98
				4	Rotura de un eslabón de la cadena transmisora	No funciona el mecanismo de giro, no se seca la arena uniforme			3	7	1	21

Anexo 3. Resultado obtenidos de la hoja de trabajo del AMFE

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Horno secador de arena		#	Realizado por:	FECHA			HOJA			
		COMPONENTE: Quemador		REF	Revisado por:	FECHA			DE			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS			S	O	D	NPR
1	Producir la llama para secar la arena	A	No produce la llama	1	Insuficiente combustible	No hay fuente de calor para secar la arena			2	4	1	8
		B	Produce poca llama	2	Tupición del quemador (por contaminación del petróleo por basura)	No se seca totalmente la arena			2	6	5	60

Anexo 3. Resultado obtenidos de la hoja de trabajo del AMFE

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Horno de cementación grande(U105A-T)		#	Realizado por:	FECHA			HOJA			
		COMPONENTE: Horno de cementación grande(U105A-T)		REF	Revisado por:	FECHA			DE			
FUNCIÓN	FALLO FUNCIÓN	MODO DE FALLO	EFECTOS DE LOS FALLOS			S	O	D	NPR			
1	Realizar la cementación de la pieza (Modifica las propiedades de la pieza)	A	No transmite la temperatura	1	Rotura de la resistencia eléctrica dentro del tanque	No se transmite la temperatura, por lo que no se puede modificar las propiedades de la pieza			2	7	6	84
			B	Transmite la temperatura pero no de forma homogénea	1	Falla del enrollado de las bobinas del motor del difusor de aire por sobrecalentamiento	Sobrecalentamiento de la parte superior del horno			2	3	5
		2			Rotura del eje del difusor del aire	No es uniforme la capa de carbono repartida, no circula el aire			2	3	4	24
		3			Rotura de la veleta del difusor de aire	Calentamiento no uniforme del horno, no circula el aire			2	3	4	24
	C	No se realiza la cementación de la pieza	1	Rotura de los anillos y estructura metálica del tanque	No se soporta la estructura del horno			3	1	1	3	

Anexo 3. Resultado obtenidos de la hoja de trabajo del AMFE

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Fresadora Paralela #		Realizado por:		FECHA		HOJA			
		COMPONENTE: Travesaño		REF		Revisado por:		FECHA DE			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS		S	O	D	NPR
1	Movimiento de los cabezales verticales	A	No se mueven los cabezales verticales	1	Rotura o desajuste del engranaje de la caja de avance (Por una mayor profundidad en el corte de la pieza)	Paralización de la herramienta de corte		2	5	7	70
				2	Rotura de los husillos de avance del cabezal(Transmitir el movimiento de avance del cabezal)	Se paraliza el movimiento del travesaño		2	2	6	24
				3	Rotura o desprendimiento de la tuerca del husillo del mecanismo de avance	Se para el movimiento del travesaño		2	2	7	28
				4	Rotura del embrague o cloche( interrumpir o conectar el movimiento del husillo)	No se puede maquinar la pieza por falta de movimiento		2	2	7	28

Anexo 3. Resultado obtenidos de la hoja de trabajo del AMFE

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Fresadora Paralela # (6Y316)		Realizado por:	FECHA			HOJA				
		COMPONENTE: Cabezal Vertical y horizontal		REF	Revisado por:	FECHA			DE			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS			S	O	D	NPR
1	Maquinar la pieza	A	No se maquina la pieza	1	Rotura de piñones de los cabezales (Transmitir el movimiento para el maquinado de la pieza)	No se accionan los cabezales			2	7	7	98
				2	Rotura de las bobinas del motor por sobrecalentamiento	Se siente olor a quemado en el motor, se para el equipo rápidamente			2	1	1	2
				3	Roturas de las barras de desplazamiento de los cabezales	No se maquina la pieza			2	2	6	24
				4	Rotura de los husillos y tuercas del cabezal	No se maquina la pieza			2	2	7	28
				5	Rotura en el engranaje de la caja de avance	Paralización del desplazamiento de la herramienta de corte			2	5	6	60
				6	Rotura de un eje dentro de la caja de velocidad(Soportar los piñones)	Pérdida del movimiento necesario para maquina la pieza			2	7	6	84

				7	Falla eléctrica de fusibles (Proteger el motor de sobrecalentamiento)	No se maquina la pieza	2	8	5	80
				8	Falla eléctrica de los tiristores (Variadores de velocidad en tarjetas electrónicas)	No se maquina la pieza	2	2	2	8
		<b>B</b>	Se maquina la pieza pero no con precisión	1	Fallas del mecanismo de cambio	Velocidad incorrecta para el maquinado de la pieza	2	2	3	12
				2	Rodamientos del husillo principal con desgastes	Mal funcionamiento de la caja de velocidad	2	2	3	12
				3	Falta de aceite en la caja de avance	Calentamiento en el reductor	2	6	4	48

Anexo 3. Resultado obtenidos de la hoja de trabajo del AMFE

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Fresadora Paralela # (6Y316)		Realizado por:	FECHA			HOJA				
		COMPONENTE: Mesa		REF	Revisado por:	FECHA			DE			
FUNCIÓN	FALLO FUNCIÓN	MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS			S	O	D	NPR		
1	Desplazamiento de la pieza	A	No se desplaza la pieza	1	Rotura en el sistema hidráulico( Poner en movimiento la mesa)	No funciona la mesa, dejando de desplazar la pieza			3	1	1	3
				2	Falta de lubricación en las guías de la mesa(Por donde se desplaza la mesa)	No se desplaza la mesa y por ende la pieza			2	6	3	36
				3	Rotura de la bomba del sistema hidráulico	No se desplaza la mesa y por ende la pieza			3	1	1	3
				4	Rotura del coppling intermotor(Esta entre el motor y la bomba)	Deja de funcionar la mesa			3	4	2	24
				5	Falla eléctrica de los fusibles	No funciona la mesa, dejando de desplazar la pieza			2	8	5	80

		<b>B</b>	Desplazamiento de la pieza de forma discontinua	1	Salidero de aceite en la tubería del sistema hidráulico	La pieza no se desplaza con facilidad	3	4	2	24
--	--	----------	---	---	---	---------------------------------------	---	---	---	----

Anexo 3. Resultado obtenidos de la hoja de trabajo del AMFE

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Mesa giratoria (Ti1800)		#	Realizado por:	FECHA			HOJA			
		COMPONENTE: Mesa giratoria		REF	Revisado por:	FECHA			DE			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS			S	O	D	NPR
1	Girar y fijar la pieza	A	No fija la pieza	1	Rotura de la ranura en T	La pieza no se fija a la mesa, imposibilitando operar la pieza			2	1	1	2
				2	Bridas en mal estado	La pieza no se fija a la mesa, imposibilitando operar la pieza			2	1	1	2
				3	Mordazas rotas	La pieza no se fija a la mesa, imposibilitando operar la pieza			2	1	1	2
		B	Se fija la pieza pero no con firmeza	1	Desgaste de la ranura en T	Vibración y falta de fijación de la pieza			2	5	4	40
				2	Desgastes de las bridas	Vibración y falta de fijación de la pieza			2	4	3	24

				3	Desgaste de las mordazas	Vibración y falta de fijación de la pieza	2	4	4	32	
			C	No realiza el giro de la pieza de forma continua	1	Cadena cinemática rota	Imposibilita el movimiento de forma continua de la pieza	2	1	1	2
					2	Fallas o desajustes de los piñones de la cadena cinemática	Imposibilita el movimiento de forma continua de la pieza	2	5	5	50

Anexo 3. Resultado obtenidos de la hoja de trabajo del AMFE

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Mortajadora Mecánica #		Realizado por:		FECHA		HOJA			
		COMPONENTE: Estación hidráulica		REF		Revisado por:		FECHA			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS		S	O	D	NPR
1	Movimiento del cabezal mortajador	A	No se desplaza el cabezal mortajador	1	Rotura en las bobinas del motor por sobrecalentamiento	No funciona el cabezal mortajador, deja de funcionar el equipo		3	1	1	2
				2	Rotura de la bomba del sistema hidráulico	No funciona el cabezal mortajador, deja de funcionar el equipo		2	1	1	2
		B	Dificultad en el desplazamiento del cabezal mortajador	1	Averías en las tuberías del sistema hidráulico	Ralentiza el movimiento del cabezal mortajador y lo realiza de forma discontinua.		3	5	2	30
				2	Orificios de las mangueras del sistema hidráulico	Ralentiza el movimiento del cabezal mortajador y lo realiza de forma discontinua.		3	4	2	24

Anexo 3. Resultado obtenidos de la hoja de trabajo del AMFE

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Mortajadora Mecánica #		Realizado por:		FECHA		HOJA			
		COMPONENTE: Mesa		REF		Revisado por:		FECHA			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS		S	O	D	NPR
1	Girar y fijar la pieza  (Se puede montar en diferente máquinas)	A	No fija la pieza	1	Rotura de la ranura en T	La pieza no se fija a la mesa, imposibilitando operar la pieza		2	1	1	2
				2	Bridas en mal estado	La pieza no se fija a la mesa, imposibilitando operar la pieza		2	1	1	2
				3	Mordazas rotas	La pieza no se fija a la mesa, imposibilitando operar la pieza		2	1	1	2
		B	Se fija la pieza pero no con firmeza	1	Desgaste de la ranura en T	Vibración y falta de fijación de la pieza		2	5	4	40
				2	Desgastes de las bridas	Vibración y falta de fijación de la pieza		2	4	3	24



Anexo 3. Resultado obtenidos de la hoja de trabajo del AMFE

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Mortajadora Mecánica #		Realizado por:		FECHA		HOJA			
		COMPONENTE: Cabezal Mortajador		REF		Revisado por:		FECHA			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS		S	O	D	NPR
1	Desplazamiento de la herramienta de corte	A	No se desplaza la herramienta	1	Rotura del sistema hidráulico	No se desplaza la herramienta		2	1	1	2
				B	Se desplaza la herramienta pero no de forma precisa	1	Cuñas de ajustes del cabezal con desgastes(Evitar que el cabezal se mueva)	No realiza su movimiento perpendicular a la pieza		2	5
		2	Ranuras en T en mal estado(Sujeción de la herramienta de corte)			No se mueve parejo la pieza		2	5	4	40
		3	Bridas en mal estado técnico			No tiene desplazamiento suave que se necesita		2	4	3	24
		4	Desgastes de los tornillos para fijar la herramienta	No tiene desplazamiento suave que se necesita		2	5	3	30		

Anexo 3. Resultado obtenidos de la hoja de trabajo del AMFE

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Torno vertical (1525)		#	Realizado por:	FECHA			HOJA			
		COMPONENTE: Plato		REF	Revisado por:	FECHA			DE			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS			S	O	D	NPR
1	Encargado de la fijación de la pieza	A	No se fija la pieza	1	Roturas de las ranuras en T del plano superior (Donde se sujetan los elementos de fijación)	No se sujeta la pieza			2	1	1	2
				2	Falla del sistema hidráulico	No se sujeta la pieza			2	1	2	4
		B	Se fija la pieza pero no con firmeza	1	Las mordazas no están perpendiculares a la superficie del plato	La pieza queda fijada débilmente			2	4	5	40
				2	Mordazas con débil agarre	Vibración de la pieza, provocando mal dimensionamiento de esta			2	4	4	32
				3	Bridas y tornillos fijados débilmente	Vibración de la pieza, provocando mal dimensionamiento de esta			2	5	3	30

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Torno vertical (1525)		#	Realizado por:	FECHA		HOJA			
		COMPONENTE: Soporte vertical derecho e izquierdo		REF	Revisado por:	FECHA		DE			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS		S	O	D	NPR
1	Soportar el montaje de la herramienta de corte	A	No se soporta la herramienta de corte	1	Rotura de la superficie del porta herramienta	No se soporta la herramienta, imposibilitando barrenar la pieza		2	1	1	2
				2	Rotura de la caja de avance	No se puede sujetar la pieza, por lo que no se puede maquinar la pieza		2	1	1	2
				3	Rotura de la bobina del motor por sobrecalentamiento	Se para el equipo		2	1	1	2
		B	Se soporta la herramienta de corte pero no firmemente	1	Guías de los brazos de soporte en mal estado técnico	Débil soporte de la herramienta de corte, trayendo consigo mal dimensionamiento de la pieza		2	4	3	24
				2	Tuercas, husillos y cuñas en mal estado	Débil soporte de la herramienta de corte, lo que provoca mala calidad del producto final		2	4	4	32

Anexo 3 Resultados obtenidos de la hoja de trabajo AMFE

Anexo 3 Resultados obtenidos de la hoja de trabajo AMFE

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Torno vertical (1525)		#	Realizado por:	FECHA			HOJA	
HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		COMPONENTE: Mecanismo de desplazamiento del travesaño		REF	Revisado por:	FECHA			DE	
FUNCIÓN	FALLO FUNCIÓN	MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS			S	O	D	NPR
1	Soporte y desplazamiento de los brazos	A	No se desplazan los brazos	1	Rotura de los husillos y tuerca	Imposibilita el desplazamiento de los brazos	2	1	3	6
				2	Rotura de las bobinas del motor por sobrecalentamiento	El equipo se para rápidamente Soporte y desplazamiento de los brazos	2	1	1	2
						Imposibilita el desplazamiento de los brazos	2	1	1	2
	Desplazamiento de los brazos con interrupciones	B		1	Desgastes de las tuercas y los husillos	No se puede cilindrar la pieza de la forma deseada	2	4	4	32
				2	Funcionamiento del motor con interrupciones	Incorrecto enclavamiento del travesaño	2	3	4	24
						No mantiene la velocidad constante de corte sobre el refrentado				

Anexo 3. Resultados obtenidos de la hoja de trabajo AMFE

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Prensa hidráulica (3236)		#	Realizado por:	FECHA			HOJA			
		COMPONENTE: Sistema hidráulico		REF	Revisado por:	FECHA			DE			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS			S	O	D	NPR
1	Ejercer presión entre (105-200 kg/cm <sup>2</sup> ) sobre los pistones, mantener una presión de aceite de 2200 l y enviarlo de la bomba al pistón	A	No ejerza presión sobre los pistones	1	Rotura de la bomba hidráulica	No funciona el sistema hidráulico			3	2	1	6
				2	Rotura de la tubería por la que circula el aceite	Se para el equipo			3	1	1	3
		B	Ejerce presión sobre los pistones pero por debajo de 105 kg/cm <sup>2</sup>	1	Deficiente estado técnico de la bomba hidráulica	La presión que ejerce no es suficiente para trabajar con la máquina			3	6	5	90
				2	Salidero de aceite por la válvula del sistema hidráulico	No llega la presión necesaria a los pistones			3	5	4	60
		C	No mantiene el aceite	1	Rotura en las tuberías del sistema hidráulico	No funciona el sistema hidráulico			3	1	1	3

		D	Mantiene el aceite pero por debajo de lo ideal 2200l	1	Orificios en las tuberías del sistema hidráulico	Salideros de aceite, no llega la presión necesaria a los pistones	3	3	3	27
				2	Débil acoplamiento de las tuberías de aceite	Salideros de aceite, no llega la presión necesaria a los pistones	3	4	3	36
		E	No se transmite el aceite de la bomba al pistón	1	Rotura en las tuberías del sistema hidráulico	Fuga del aceite por las tuberías	3	2	1	6
				2	Rotura del acoplamiento	Fuga del aceite por los acoplamientos	3	1	1	3
		F	Se transmite el aceite de la bomba al pistón pero con fallas	1	Orificios en las tuberías del sistema hidráulico	Insuficiente flujo de aceite, disminuye la presión	3	3	3	27
				2	Desajustes en los acoplamientos	Disminuye el flujo de aceite y la presión por salideros	3	4	3	36

Anexo 3. Resultado obtenidos de la hoja de trabajo del AMFE

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Prensa hidráulica (3236)		#	Realizado por:	FECHA			HOJA			
		COMPONENTE: Pistones		REF	Revisado por:	FECHA			DE			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS			S	O	D	NPR
1	Ejercer una presión de 400 t sobre la pieza	A	No ejerce presión sobre la pieza	1	Rotura de los sellos de los pistones(Evitar el salideros de aceite)	Provocan gran salidero de aceites imposibilitando ejercer presión			3	2	2	12
				2	Rotura de los cilindros	Deja de funcionar el equipo			2	1	1	2
		B	Ejerce la presión por debajo de 400 t	1	Desgastes de los sellos	Disminuye la presión			3	3	5	45
				2	Desgaste de los cilindros	Disminuye la presión			3	3	5	45

Anexo 3. Resultados obtenidos de la hoja de trabajo AMFE

HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		ELEMENTO: Jaiba Mecánica (VNB-5)		#	Realizado por:	FECHA			HOJA			
HOJA DE TRABAJO DEL AMFE		COMPONENTE: Jaiba Mecánica		REF	Revisado por:	FECHA			DE			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS			S	O	D	NPR
1	Transportar la arena	A	No transporta la arena	1	Rotura de los apoyos en cada extremo de las mandíbulas	No puede transportar la arena al desengancharse la mandíbula pudiendo provocar un accidente			3	1	1	3
				2	Polea en mal estado técnico	No cierra la mandíbula, dejando de cargar la arena			2	3	2	12
				3	Mal enrollado del cable en la polea	No cierra la mandíbula, dejando de cargar la arena			2	4	2	16
				4	Rotura del eje de la polea	No cierra la mandíbula, dejando de cargar la arena			2	2	1	4
				5	Rotura en las ranuras del enrollado (Ranuras del diferencial donde se enrolla el cable)	Se traba y se parte el cable que le da el movimiento a las mandíbulas			2	1	1	2

				6	Rotura de los piñones diferencial eléctrico del motor	No se puede abrir ni cerrar las mandíbulas para la carga de arena	2	3	5	30
		<b>B</b>	Transporta la arena pero con pérdida de la misma	1	Mandíbulas con desgastes	Provoca salideros de la arena	3	5	3	45

**Anexo 4. Resultados de la aplicación del procedimiento propuesto Desmoldeadora (KWM-6500). Desmoldeadora**

		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	A	T	I	M							
1 A 2	Rotura de los rodamientos del eje desbalanceador			x				x									x		x			Sustitución de los rodamientos del eje desbalanceador	Mecánico A	Mensual	2	6	2	24
1 A 3	Rotura de los resortes de la base de la máquina		x					x									x		x			Cambiar los resortes de la base	Brigada de reparación mecánico A	Cada cuatro meses	3	6	1	18
1 A 4	No funciona el moto vibrador	x						x									x		x			Revisión y sustitución de las piezas dañadas	Mecánico A	Mensual	3	4	1	12



**Anexo 4. Resultados de la aplicación del procedimiento propuesto Transportador Criollo. Motor**

#		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	NPR											
				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	A	T	I	M											
1 A 2	Sobrecarga de arena en la estera				x										x				x					Regular la entrada de arena al distribuidor	Operador de la máquina	Permanente	2	4	3	24
1 A 3	Rotura de un eslabón de la cadena trasmisora				x										x				x					Cambiar el eslabón de la cadena trasmisora	Mecánico A	Cada cuatro meses	3	4	1	12
1 A 4	Rotura de los piñones del reductor				x										x								x	Cambiar los piñones del reductor	Mecánico A	Cada cinco meses	2	5	6	60
1 B 1	Leve sobrecalentamiento del motor				x														x					Revisar el motor y regular el sistema eléctrico	Mecánico A	Cada cuatro meses	2	4	3	24







**Anexo 4. Resultados de la aplicación del procedimiento propuesto Horno de cementación grande (U105A-T). Horno de cementación grande (U105A-T)**

		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 <sub>A</sub>	M	M <sub>B</sub>	B	A	B	C	D	E	F	A	M <sub>A</sub>	M	M <sub>B</sub>	B	A	T	I	M							
1 A 1	Rotura de la resistencia eléctrica dentro del tanque			x			x							x						x		Empatar por soldadura la resistencia dentro del tanque	Eléctrico A	Cada cinco meses	2	5	4	40
1 B 1	Falla del enrollado de las bobinas del motor del difusor de aire por sobrecalentamiento				x		x							x					x			Revisar el motor y sustituir el enrollado del motor	Mecánico A	Cada diez meses	2	2	3	12
1 B 2	Rotura del eje del difusor del aire				x		x								x				x			Sustitución del eje del difusor de aire	Mecánico A	Cada diez meses	2	2	2	8
1 B 3	Rotura de la veleta del difusor de aire				x		x								x				x			Sustitución de la veleta del difusor de aire	Mecánico A	Cada diez meses	2	2	2	8

**Anexo 4. Resultados de la aplicación del procedimiento propuesto Fresadora Paralela (6Y316). Travesaño**

		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	A	T	I	M							
1 A 1	Rotura o desajuste del engranaje de la caja de avance			x				x							x							Ajustar o reparar el engranaje de la caja de avance	Mecánico A	Cada seis meses	2	3	5	30
1 A 2	Rotura de los husillos de avance del cabezal				x			x							x						x	Cambiar los husillos de avance del cabezal	Mecánico A	Cada nueve meses	2	1	4	8
1 A 3	Rotura o desprendimiento de la tuerca del husillo del mecanismo de avance				x			x							x						x	Cambio o ajuste de la tuerca del husillo del mecanismo de avance	Mecánico A	Cada nueve meses	2	1	5	10
1 A 4	Rotura del embrague o cloche				x			x							x						x	Reparación del embrague o cloche	Mecánico	Nueve meses	2	1	4	8



**Anexo 4. Resultados de la aplicación del procedimiento propuesto Fresadora Paralela (6Y316). Mesa**

		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	A	T								I
1 A 2	Falta de lubricación en las guías de la mesa			x			x									x		x			Rellenar de aceite las guías de la mesa	Lubricador	Cada cuatro meses	2	4	2	16
1 A 4	Rotura del coppling intermotor				x		x									x		x			Sustitución del coppling intermotor	Mecánico A	Cada siete meses	3	3	1	9
1 A 5	Falla eléctrica de los fusibles		x				x							x					x		Sustitución de los fusibles	Eléctrico A	Cada tres meses	2	5	3	30
1 B 1	Salidero de aceite en la tubería del sistema hidráulico					x	x									x		x			Revisión o sustitución de las tuberías	Operador de la maquina	Cada siete meses	3	3	1	9

**Anexo 4. Resultados de la aplicación del procedimiento propuesto Mesa giratoria (Ti1800). Mesa giratoria**

		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	A	T								I	M	
1 B 1	Desgaste de la ranura en T			x				x								x							Sustituir las ranuras en T	Mecánico A	Cada siete meses	2	4	3	24
1 B 2	Desgastes de las bridas					x	x									x	x						Sustituir las bridas	Mecánico A	Cada ocho meses	2	3	2	12
1 B 3	Desgaste de las mordazas					x	x									x	x						Sustituir las mordazas	Mecánico A	Cada ocho meses	2	3	2	12
1 C 2	Fallas o desajustes de los piñones de la cadena cinemática					x	x									x	x						Ajustar o sustituir los piñones de la cadena cinemática	Mecánico A	Cada siete meses	2	4	4	32







**Anexo 4. Resultados de la aplicación del procedimiento propuesto Torno vertical (1525). Plato**

		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	A	T	I	M											
																						S	O	D	NPR							
1 B 1	Las mordazas no están perpendiculares a la superficie del plato			x				x														x				Fijar y alinear las mordazas	Mecánico A	Cada seis meses	2	2	3	12
1 B 2	Mordazas con débil agarre			x				x																	x	Sustituir las mordazas	Mecánico A	Cada seis meses	2	2	2	8
1 B 3	Bridas y tornillos fijados débilmente			x				x																	x	Sustituir las y bridas y tornillos	Mecánico A	Cada seis meses	2	3	1	6





**Anexo 4. Resultados de la aplicación del procedimiento propuesto Prensa hidráulica (3236). Sistema hidráulico**

		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	M	M	B	A	B	C	D	E	F	A	M	M	M	B	A	T	I	M	S	O	D	NPR					
1 B 1	Deficiente estado técnico de la bomba hidráulica			x				x																Reparar los elementos dañados de la bomba	Mecánico A	Cada cinco meses	3	4	4	48
1 B 2	Salidero de aceite por la válvula del sistema hidráulico			x				x												x				Reparar la válvula o sustituir la junta	Mecánico A	Cada siete meses	3	4	3	36
1 D 1	Orificios en las tuberías del sistema hidráulico				x			x												x				Reparar las tuberías o sustituirlas	Mecánico A	Cada nueve meses	3	2	2	12
1 D 2	Débil acoplamiento de las tuberías de aceite				x			x												x		x		Ajustar las tuberías	Mecánico A	Cada siete meses	3	3	2	18
1 F 1	Orificios en las tuberías del sistema hidráulico				x			x												x		x		Reparar las tuberías o sustituirlas	Mecánico A	Cada nueve meses	3	2	2	12
1 F 2	Desajustes en los acoplamientos				x			x												x		x		Ajustar los acoplamientos	Mecánico A	Cada siete meses	3	3	2	18



