



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

*Facultad de Ingeniería Industrial y Turismo*  
Departamento de Ingeniería Industrial

**TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO ACADÉMICO DE  
MASTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL.  
MENCIÓN MANTENIMIENTO**

*Título: 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*

Autor: Ing. Yasmany Rodríguez Díaz

Tutores: Dr.C. Ing. Aramis Alfonso Llanes

"Año 56 de la Revolución"

Curso: 2013-2014

**CON SU ENTRAÑABLE TRANSPARENCIA**



*Dedicatória.*

***Dedicatoria:***

*A mis padres Rolando y Maritza, y a mi hermana  
Lisbety, por siempre estar a mi lado.*

*A mi hermano Joan por creer en mí y apoyarme en  
todo momento.*

*A mi esposa Irina por su amor y apoyo  
incondicional.*

*A mis abuelos Elio y María y a mi tía Elena,  
que entregaron todo su cariño  
sin nada a cambio.*

*Agradecimientos.*

*Mis más sinceros agradecimientos a:*

*Alguien que sin él no hubiera podido cumplir mis sueños, Dios  
Mi familia, principalmente a mis padres, mis hermanos y mis abuelos, por  
su amor, dedicación y apoyo en todo momento*

*Mi suegra Fidela y a mi esposa Irina que sin su ayuda no hubiera podido  
empezar la Maestría.*

*Mi tutor Aramis que tan acertadamente supo transmitirme sus  
conocimientos.*

*Mis amistades que de una forma u otra tuvieron que ver con mi tesis  
Mariño por haberme ayudado en todo momento  
Ady por su ayuda en el momento preciso*

*Resumen.*

## RESUMEN

La selección de la política de mantenimiento a aplicar a cada componente del equipamiento de una empresa 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 determinar la mejor alternativa de mantenimiento para los equipos productivos de la UEB “Elpidio Sosa” de la Empresa Electroquímica de Sagua la Grande, Villa Clara, en función de la combinación de los elementos característicos del Análisis de riesgo.

La tesis contiene, además, una revisión bibliográfica que aborda las diversas metodologías que giran en torno al análisis de la criticidad del equipamiento y a la selección del tipo de mantenimiento más apropiado a aplicar consecuente y racionalmente al equipamiento productivo en una organización; así como elementos generales sobre el análisis de riesgo y herramientas para su desarrollo.

Finalmente, la aplicación práctica de la propuesta, en una muestra del equipamiento de la entidad objeto de estudio práctico de la investigación, permitió definir la política de mantenimiento a aplicar para reducir el riesgo asociado a cada fallo, el responsable de su realización y la frecuencia de realización de la misma. Todo ello hace posible la constatación de la hipótesis general de investigación.

*Summary.*

## **SUMMARY**

The maintenance politics's selection to apply to each component of the equipment of a company has been a study topic that has taken a lot of peak at the present time. In this sense, the present Work of Diploma shows a procedure that allows to determine the best maintenance alternative for the productive equipment of UEB "Elpidio Sosa" de la Empresa Electroquímica de Sagua la Grande, Villa Clara, in function of the risks associated to the shortcomings and of the cost of each variant, everything based it on the principle of the continuous improvement.

The thesis contains, also, a bibliographical revision that approaches the diverse methodologies that rotate around the analysis of the criticality of the equipment and to the selection of the type of more appropriate maintenance to apply consequent and rationally to the productive equipment in an organization; as well as general elements on the analysis of risk and tools for their development.

Finally, the practical application of the proposal, in ten machines of the enterprises object of practical study of the investigation, allowed to define the maintenance politics to apply to reduce the risk associated to each failure, the responsible for its realization and the frequency of realization of the same one. Everything becomes possible the verification of the general hypothesis of investigation.

*Índice.*

<b>ÍNDICE</b>	<b>Pág.</b>
<b>Introducción</b> .....	1
<b>Capítulo I. Marco Teórico-Referencial de la investigación</b> .....	6
1.1. La Gestión de Mantenimiento en la empresa.....	7
1.1.1. Generalidades sobre el mantenimiento en la empresa.....	7
1.2. Proceso de administración del mantenimiento.....	11
1.2.1. Políticas de mantenimiento. Sus filosofías.....	13
1.2.2. La selección de la política de mantenimiento a aplicar en la empresa.....	16
1.2.3. Aspectos generales sobre la selección del tipo de mantenimiento en Cuba.....	17
1.3. Generalidades sobre el Análisis de Riesgo.....	18
1.3.1. Análisis de riesgo y definiciones matemáticas.....	20
1.3.2. Técnicas para la identificación y/o evaluación de riesgos.....	21
1.4. Mantenimiento basado en el riesgo.....	28
1.4.1. Mantenimiento basado en el riesgo en Cuba.....	30
1.5. Conclusiones parciales.....	30
<b>Capítulo 2. Procedimiento para la determinación del tipo de mantenimiento basado en elementos de análisis de riesgo</b> .....	32
2.1. Características del procedimiento general para la toma de decisiones vinculada a la selección del tipo de mantenimiento.....	32
2.2. Diseño del procedimiento general para la toma de decisiones vinculada a la selección del tipo de mantenimiento a aplicar en la UEB “Elpidio Sosa” de la Electroquímica de Sagua la Grande, Villa Clara.....	34
2.2.1. Fase 1: Inicio o preparación.....	34
2.2.2. Fase 2. Realizar la jerarquía de la planta.....	35
2.2.3. Fase 3. Realizar el análisis de riesgo.....	37
2.2.4. Fase 4. Evaluación de riesgos.....	40
2.2.5. Fase 5. Planificación del mantenimiento.....	42
2.3. Conclusiones parciales.....	45
<b>Capítulo 3. Aplicación del procedimiento propuesto para la toma de dediciones vinculadas a la selección del tipo de mantenimiento</b> .....	46
3.1. Caracterización de la UEB “Elpidio Sosa”.....	46
3.1.1. Caracterización del área de mantenimiento de la empresa.....	48
3.1.2. Deficiencias principales del sistema de mantenimiento actual.....	51
3.2. Aplicación práctica del procedimiento propuesto.....	51

3.3. Fase 1: Inicio o preparación..... 51

3.4. Fase 2: Realizar la jerarquía de la planta..... 52

3.5. Fase 3: Realizar el análisis de riesgo..... 53

3.6. Fase 4 y 5: Evaluación de riesgos y Determinación del tipo de mantenimiento..... 55

3.7. Conclusiones parciales..... 57

**Conclusiones generales..... 58**

**Recomendaciones..... 59**

**Bibliografía**

**Anexos**

# *Introducción.*

### Introducción

Durante las últimas dos décadas, el mantenimiento ha cambiado quizás más que cualquier otra disciplina gerencial. Dichos 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 [Alfonso Llanes, 2009; Alsyouf, 2009; Kennedy, 2009; Mora Gutiérrez, 2009; Hernández Milia, 2010; Brennan, 2013; Carnero, 2014]. En su desarrollo se observa una creciente toma de conciencia para evaluar hasta qué punto las fallas en los equipos afectan la seguridad y el medio ambiente, la relación entre el mantenimiento y la calidad del producto y la presión por alcanzar una alta disponibilidad en la planta y mantener limitado el costo.

Actualmente, según Batista Rodríguez [2000]; Huerta Mendoza [2001]; Dos Santos Mendes [2002]; Christensen [2006]; Latino, [2009]; León Márquez, [2010]; Parra Márquez y Crespo Márquez, [2012]; Gibbons y Friis, [2013], las actividades de producción o comercialización no son las únicas que agregan valor en la empresa, las actividades de apoyo, especialmente las de mantenimiento, aportan valor en el negocio, mediante las prácticas y filosofías de mantenimiento, herramientas de confiabilidad, costo y riesgo, es la organización y el talento la base que asegura este objetivo.

Es por eso que varios autores [Batista Rodríguez, 2000; Piotrowski, 2001; Swanson, 2001; Wang *et al.*, 2007; Arzuaga Churio, 2011; Li y Ni, 2009], coinciden en que el objetivo del mantenimiento se caracteriza por ser medible y cuantificable; el mismo garantiza la competitividad de la empresa por medio de: asegurar la disponibilidad y confiabilidad planeadas de la función deseada, cumpliendo con los requisitos del sistema de calidad de la empresa y con todas las normas de seguridad y medio ambiente, al óptimo costo-eficaz o máximo beneficio global.

Es un hecho que las operaciones de mantenimiento tienen una correlación muy fuerte con la productividad de los sistemas productivos y de servicios, y que interfieren sobre un grupo de elementos que influyen en la elevación del nivel de desempeño de la organización (disponibilidad de los equipos, calidad, seguridad y economía) [Dos Santos Mendes, 2002; Cardoso de Morais, 2004]. Actualmente es admitido por varios autores [Tavares, 1999; Mora Gutiérrez y Pérez Peral, 2002; Alkaim, 2003; Stefano, 2006; Wang, 2010; Diamantoulaki y Angelides, 2013; Barone y Frangopol, 2014, Zhang y Hu, 2014], que el mantenimiento es uno de los mayores contribuyentes al desempeño lucrativo de los sistemas de producción y servicios. Todo esto viene evidenciado por la participación del costo de mantenimiento en las

pérdidas que se puedan ocasionar en las producciones o prestación de servicios de las organizaciones.

Según Hastings [2010], mantenimiento no es más que un servicio que agrupa una serie de actividades, cuya ejecución permite alcanzar un mayor grado de confiabilidad en los equipos, maquinas, construcciones civiles e instalaciones. Lo anteriormente expuesto muestra la gran relevancia que el mantenimiento tiene en la consecución de unos niveles altos de confiabilidad en una instalación y de hecho en la productividad del capital inmovilizado, sobre todo, cuando las posibilidades de modificar el diseño de los equipos y sistemas son pequeñas o prácticamente nulas.

La naturaleza de los procesos industriales y operacionales, donde se incluye la función de mantenimiento, implican riesgos de accidentes, que deben identificarse y evaluarse para implantar las medidas que eviten la ocurrencia de los mismos o que minimicen las consecuencias asociadas a dichos riesgos. El constante incremento del costo de equipos, primas de seguros, además de posibles pérdidas humanas por incidentes, ha aumentado el ímpetu de la industria hacia objetivos de prevención de riesgos [Espinosa Puentes, 2006; Lust, Roux y Riane, 2009; Cotts, Roper y Payant, 2010].

El análisis de riesgo es uno de los elementos centrales de los sistemas ambientales de las empresas, tomando en consideración que aquí se encuentran tres categorías de riesgos del ambiente laboral: los que pueden desencadenar su acción dañina únicamente en el entorno empresarial, los que además impactan a la comunidad y aquellos que afectan al planeta [Madrigal, 2004; De la Paz Martínez y Espinosa Pedraja, 2006; Philipp Mundt, 2007; Espinosa Puentes, 2009; Zopounidis y Pardalos, 2010; Martínez, 2011; Ortiz Machuca, 2012]. La naturaleza de los procesos industriales y operaciones, implican riesgos de accidentes, que deben identificarse y evaluarse para implantar las medidas que eviten la ocurrencia de los mismos o que minimicen las consecuencias asociadas a dichos riesgos. El constante incremento del costo de equipos, primas de seguros, además de posibles pérdidas humanas por incidentes, ha aumentado el ímpetu de la industria hacia objetivos de prevención de riesgos. En Cuba, tradicionalmente, el mantenimiento ha sido considerado como una actividad auxiliar, postergado a un segundo plano y aislado del resto de las áreas estratégicas de la empresa; además se ha minimizado su efecto decisivo en variables que definen la competitividad empresarial como el costo, el tiempo de entrega y la calidad. El Perfeccionamiento Empresarial ha buscado introducir procesos de cambio en todas las esferas de actuación de las organizaciones y bajo estas condiciones emerge el mantenimiento industrial como un proceso

con potencialidades para influir positivamente en la competitividad de las empresas [Alfonso Llanes, 2009].

A partir del VI Congreso del Partido Comunista de Cuba en Mayo 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, y se proponen como objetivos fundamentales [Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución, 2011]:

- ✓ Priorizar la actividad del mantenimiento en el país
- ✓ Aumentar la disponibilidad del equipamiento industrial y de transporte
- ✓ Aumentar la fabricación y recuperación de piezas de repuesto
- ✓ Potenciar los servicios de reparación y mantenimiento (fomentar la contratación del mantenimiento)
- ✓ Vincular el mantenimiento y las reparaciones con el uso eficiente de la energía.

Acercas del mantenimiento basado en riesgo, en Cuba se ha incursionado muy poco, por lo que las aplicaciones sobre este tema son escasas, 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, por lo que superar esta deficiencia sería de gran importancia para facilitar la toma de decisiones.

Todas las actividades humanas involucran un cierto grado de riesgo, y la Empresa Electroquímica de Sagua 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 Planta Química Ligera, objeto de estudio práctico de la presente investigación, se encuentra ubicada en la UEB “Elpidio Sosa”, perteneciente a la Empresa Electroquímica de Sagua; en la misma se realizan producciones con destino a la industria, la hotelería y los hogares, entre las que se pueden mencionar: lejía, salfumante, detesil, solución electrolítica, sosa envasada, PH-D, clorín-P, desincrustante de baños, lejía tradicional y de pino, entre otras.

La creación de las redes recaudadoras de divisas en todo el país, el aumento vertiginoso de estas tiendas y el crecimiento sostenido que va teniendo la industria turística cubana ha obligado a la Empresa a incluir en sus líneas de desarrollo la inserción rápida y sólida, que son las fuentes de ingresos convertible principales que tiene el país en este momento. La anterior premisa se ve reforzada por la poca disponibilidad de productos nacionales en ambos sectores y la presencia cada vez más creciente de productos de higiene y limpieza provenientes del extranjero, lo que hace que en ambos lugares existan nichos de mercado promisorios.

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

- Incremento de la estadía del equipamiento productivo dado por la existencia de un único sistema de mantenimiento, provocando en el último año como promedio el doble de la afectaciones previstas para un turno de trabajo de 8 horas.
- Debido a la naturaleza de los productos elaborados en la empresa los problemas con el mantenimiento generan riesgos para la salud humana y el medio ambiente. En el último año se han producido 12 accidentes y se han generado ocho escapes de sustancias tóxicas al medio ambiente por encima de los niveles establecidos como consecuencia de fallas en el equipamiento.
- Aumento de los costos de mantenimiento en un 25% con respecto al año anterior debido a la ineficacia del sistema de mantenimiento implantado en la empresa.

Lo anteriormente expuesto caracteriza la **situación problemática** que originó la presente investigación y conduce al **problema científico** a resolver que se manifiesta en la carencia de una herramienta que permita determinar la política de mantenimiento que debe emplearse en cada uno de los equipos de la UEB “Elpidio Sosa”, perteneciente a la Empresa Electroquímica (ELQUIM) de Sagua la Grande, de manera tal que se garantice un desempeño adecuado del proceso productivo.

En correspondencia a lo antes planteado se define la **hipótesis de investigación** siguiente: a partir de la combinación de elementos del Análisis de riesgos se podrá definir el tipo de mantenimiento a aplicar a cada equipo productivo de la empresa objeto de estudio, de manera que se garantice un mejoramiento en el comportamiento del indicador “Número de Prioridad de Riesgo (NPR)”.

El **objetivo general** de la investigación consiste en: definir la política de mantenimiento a emplearse al equipamiento de la UEB “Elpidio Sosa”, perteneciente a la Empresa Electroquímica (ELQUIM) de Sagua la Grande, a partir de la aplicación de la metodología del Análisis de riesgo.

Para lograr el cumplimiento de este objetivo general se proponen los **objetivos específicos** siguientes:

- Desarrollar un procedimiento general para la identificación del tipo de mantenimiento a aplicar al equipamiento productivo de la empresa objeto de estudio, que parta de combinar creativamente los elementos principales sobre Análisis de riesgo y Gestión de mantenimiento, identificados en el marco teórico-referencial de la investigación

- Implementar experimentalmente el procedimiento propuesto para definir la política de mantenimiento en una muestra del equipamiento de la empresa objeto de estudio, con el objetivo de comprobar la hipótesis general de la presente investigación.

Para dar solución al problema científico planteado en la Tesis se acudió a diferentes métodos teóricos y empíricos, además de técnicas y herramientas de la investigación científica, que contribuyeron de una forma sinérgica al desarrollo exitoso de la misma. Entre los métodos aplicados se destacan: los de análisis y síntesis, la dinámica de grupos, el análisis comparativo, las entrevistas, los cuestionarios y herramientas estadísticas, así como el procesamiento computacional de los resultados, sin excluir el análisis lógico, la analogía, la reflexión y otros procesos mentales que también le son inherentes a toda actividad de investigación científica.

El **valor social** de la investigación radica en su contribución al cubrimiento de los compromisos sociales de la empresa (aseguramiento a centros educacionales, instituciones asistenciales de salud y la sociedad en su conjunto), y a la disminución del número de accidentes laborales y de las afectaciones medioambientales resultantes de mantenimientos deficientes realizados al equipamiento. El **aporte práctico** radica en la factibilidad y pertinencia demostrada de poder implementar el procedimiento propuesto, con resultados satisfactorios y de perspectiva alentadora para su continuidad, en el objeto del estudio práctico seleccionado.

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

El trabajo se encuentra estructurado de la forma siguiente: un primer capítulo donde se construye el marco teórico y referencial de la investigación para llegar a una conceptualización de las definiciones, elementos y tendencias principales del campo objeto de estudio; un segundo capítulo que se basa en la búsqueda de la solución del problema científico planteado en la investigación, y un tercer capítulo dedicado a mostrar la comprobación empírica de la hipótesis general de la investigación; además, se incluyen un grupo de conclusiones y recomendaciones que resaltan los principales resultados obtenidos en la investigación, así como aquellos aspectos que el autor considera deben ser extendidos como parte de la continuidad científica de la investigación. Finalmente se expone un grupo de anexos de necesaria inclusión para fundamentar, destacar y facilitar la comprensión de los aspectos de mayor complejidad tratados en el cuerpo del documento.

# *Capítulo 1.*

**Capítulo I. Marco Teórico-Referencial de la investigación**

El presente capítulo muestra una secuencia lógica de cómo se desarrollará el marco teórico referencial de la investigación en proceso, este se sustenta en el hilo conductor que se expone en la figura 1.1 que explica el procedimiento estratégico para la revisión y consulta de las diferentes fuentes bibliográficas lo que permitirá hacer un análisis explícito del estado del arte en la investigación y de la factibilidad de manifestación de la práctica sobre la gestión del mantenimiento. Este capítulo enfatiza el valor y el significado en lo teórico-práctico que tiene la determinación de los sistemas de mantenimiento que se le pueden dar a los diferentes equipamientos de la organización teniendo en cuenta un análisis de los riesgos y fallos.

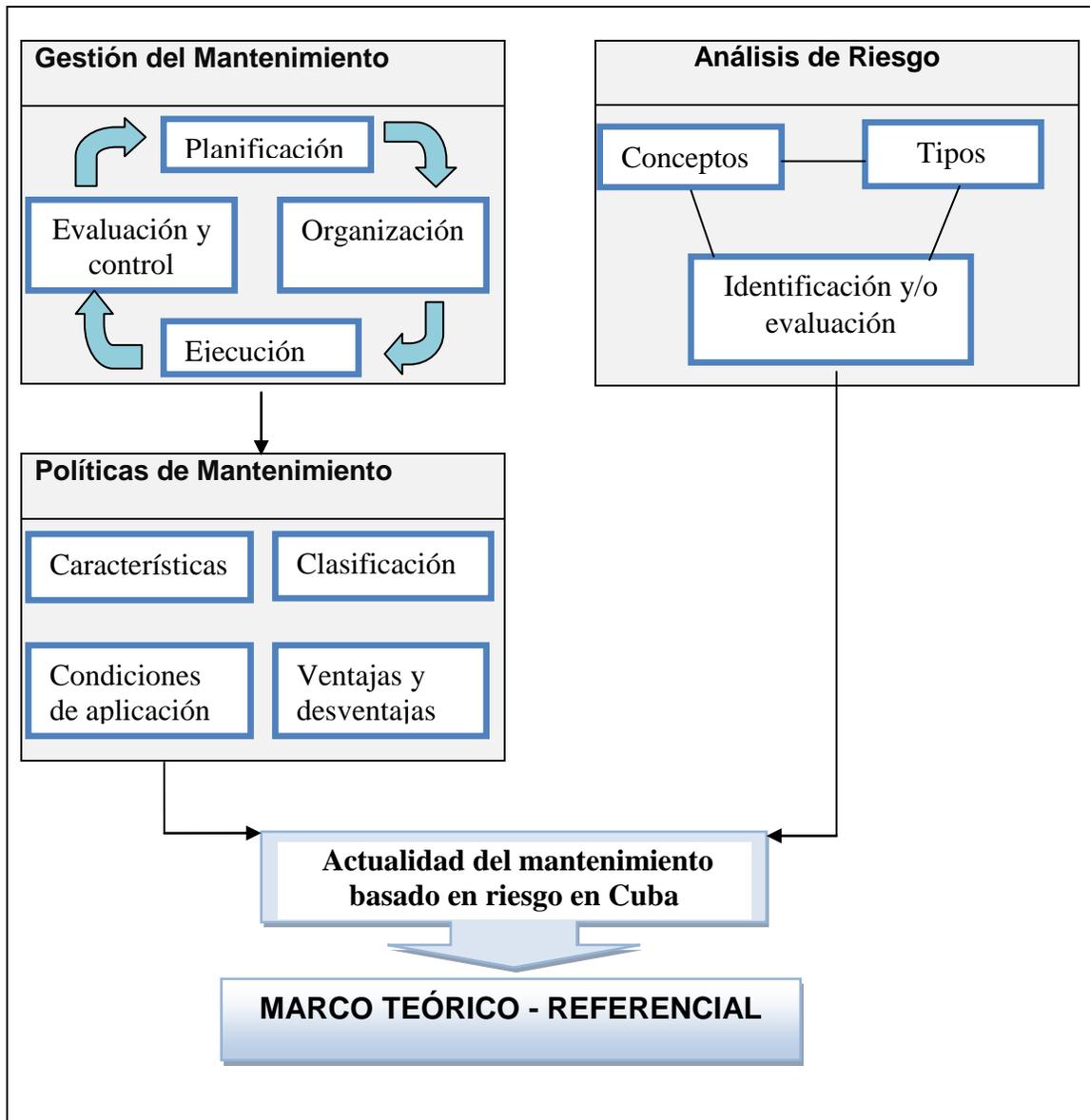


Figura 1.1. Hilo conductor del marco teórico-referencial.

### 1.1. La Gestión de 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

Las empresas generadoras de bienes y/o servicios que utilizan instalaciones, edificios, máquinas, equipos, herramientas, utensilios, dispositivos, etc., para lograr su objetivo social y empresarial, necesitan que estos activos se mantengan en buen estado de funcionamiento, de confiabilidad, de mantenibilidad y de disponibilidad, acorde con sus necesidades, por lo cuál las organizaciones empresariales deben procurar que la vida útil de sus activos físicos sea la máxima posible al mínimo costo alcanzable; lo cual se logra a través del mantenimiento industrial como una entidad de servicio a la producción. La forma de maximizar la eficacia, la eficiencia, la efectividad y la productividad de los activos, es mediante el conocimiento y la aplicación de las leyes que gobiernan la relación entre producción y mantenimiento [Rodríguez Machado, 2012].

La definición del término mantenimiento ha sido expresada en diferentes libros, revistas y otros documentos con puntos de vista similares y pequeñas diferencias o adaptaciones al caso de la empresa u organización de que se trate. Varios son los estudios realizados [Alfonso Llanes, 2009; Mora Gutiérrez, 2009; León Márquez, 2010; De la Paz Martínez, 2011; Fernández Llanes, 2011; Rodríguez Machado, 2012; Aguilar del Oro, 2012; Mora Gutiérrez, 2012] en los cuales se hace una caracterización del largo camino recorrido en el desarrollo del concepto de mantenimiento, en los que se definen las particularidades y elementos comunes de cada propuesta, así como sus objetivos, tareas y funciones. Independientemente de la definición que se utilice, se percibe que los conceptos citados utilizan las expresiones “mantener”, “restablecer”, “conservar”, “restaurar” o “preservar” la función pretendida del activo hasta el estándar de funcionamiento deseado por sus usuarios.

En la literatura especializada han sido tratados indistintamente los tipos de mantenimiento como políticas, estrategias o filosofías, métodos y sistemas<sup>1</sup> [Borroto Pentón, 2005]. El término “tipo de mantenimiento” estará referido a la forma de ejecutar dicha actividad en un equipo o grupo de ellos, mientras que el término “sistema de mantenimiento” se encuentra vinculado a la filosofía utilizada para gestionar el mantenimiento a nivel de empresa u organización.

La Gestión del Mantenimiento tiene como objetivo fundamental garantizarle al cliente tanto externo como interno, la disponibilidad de los activos fijos cuando lo necesiten, con seguridad

---

<sup>1</sup> En la tesis se tratará indistintamente los términos tipo y política de mantenimiento.

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 [Parra Márquez y Crespo Márquez, 2012; Rodríguez Machado, 2012].

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 [Kennedy, 2009; Mora Gutiérrez, 2009; Wang, 2010]. Se hace necesario el análisis del papel protagónico que desempeña en una organización, incidiendo en diversos factores como costo de producción, calidad del producto o servicio, capacidad operacional, capacidad de la empresa como un ente organizado, seguridad e higiene industrial, calidad de vida del personal y útil del equipo e imagen y seguridad ambiental.

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. Varios autores [Moubray, 1997; Alkaim, 2003; Cardoso de Morais, 2004; Pérez Jaramillo, 2004; Amaris Arias, 2006] 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 [García González-Quijano, 2004 y González Fernández, 2007; referenciados en Alfonso Llanes, 2009] 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; mientras que otros autores [García Garrido, 2010; López García, 2013] ya hablan de una quinta generación. A continuación se detallan las características fundamentales de cada una de las generaciones a través de las cuales se ha venido desarrollando el mantenimiento.

### **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.

### **Segunda generación**

La Segunda Guerra Mundial provocó un fuerte aumento de la demanda de toda clase de bienes. Este cambio, unido al acusado descenso en la oferta de mano de obra que causó la guerra, aceleró el proceso de mecanización de la industria. Conforme aumentaba la mecanización, la industria comenzaba a depender de manera crítica del buen funcionamiento de la maquinaria. Esta dependencia provocó que el mantenimiento se centrara en buscar formas de prevenir los fallos y por tanto, de evitar o reducir los tiempos de parada forzada de las máquinas. Con este nuevo enfoque del mantenimiento, apareció el concepto de mantenimiento preventivo. En la década de los 60, éste consistía fundamentalmente en realizar revisiones periódicas a la maquinaria a intervalos fijos. Además, se comenzaron a implementar sistemas de control y planificación del mantenimiento con el objetivo de controlar el aumento de los costos de mantenimiento y planificar las revisiones a intervalos fijos.

La segunda generación perseguía como objetivos: mayor disponibilidad de la planta, mayor vida de los equipos, y menor costo. Todo ello generó la planificación del mantenimiento, sistemas de control para el mantenimiento y la incorporación de la informática al mantenimiento a través de grandes ordenadores.

### **Tercera generación**

Esta generación se inicia a mediados de la década de los setenta, cuando se aceleraron los cambios, a raíz del avance tecnológico y de las nuevas investigaciones. La mecanización y la automatización siguieron aumentando, se operaba con volúmenes de producción muy elevados, cobraban mucha importancia los tiempos de parada debido a los costos por pérdidas de producción, alcanzó mayor complejidad la maquinaria y aumentó nuestra dependencia de ellas, se exigían productos y servicios de calidad, considerando aspectos de seguridad y medio ambiente y se consolidó el desarrollo del mantenimiento preventivo.

La tercera generación centralizó sus tareas en los objetivos siguientes: mayor disponibilidad y fiabilidad, mayor seguridad, mayor calidad del producto, respeto al medio ambiente, mayor vida de los equipos y eficiencia de costos, dando lugar a técnicas como: monitoreo de condición, diseño basado en fiabilidad y mantenibilidad, estudios de riesgo, utilización de ordenadores

pequeños y rápidos, análisis de los modos de fallos y sus efectos y análisis de los modos de fallos y sus efectos críticos (FMEA y FMECA, respectivamente), sistemas expertos, polivalencia y trabajo en equipo.

#### **Cuarta generación**

En los últimos años se vivió un crecimiento muy importante de nuevos conceptos de mantenimiento y metodologías aplicadas a la gestión del mantenimiento. El nuevo enfoque se centra en la eliminación de fallos utilizando técnicas proactivas. Ya no basta con eliminar las consecuencias del fallo, sino que se debe encontrar la causa de ese fallo para eliminarlo y evitar así que se repita. Así mismo, existe una preocupación creciente de la importancia de la mantenibilidad y fiabilidad de los equipos, de manera que resulta clave tomar en cuenta estas propiedades desde la fase de diseño del proyecto. Otro punto importante es la tendencia a implantar sistemas de mejora continua de los planes de mantenimiento preventivo y predictivo, de la organización y ejecución del mantenimiento.

La cuarta generación tiene definidos como objetivos: mayor disponibilidad y fiabilidad, mayor seguridad, mayor calidad del producto, respeto al medio ambiente, mayor vida de los equipos, eficiencia de costos, mayor mantenibilidad, relación patrones de fallos y eliminación de los fallos. Para sustentar estos objetivos las técnicas utilizadas son las siguientes: monitoreo de condición, utilización de ordenadores pequeños y rápidos, Modos de Fallo y Causas de Fallo (FMEA, FMECA), polivalencia, relación trabajo en equipo y mantenimiento autónomo, estudio de fiabilidad y mantenibilidad durante el proyecto, gestión del riesgo, sistemas de mejora continua, mantenimiento preventivo, mantenimiento predictivo, relación mantenimiento proactivo y eliminación del fallo, grupos de mejora y seguimiento de acciones.

#### **Quinta generación**

Esta 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. 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. Combina experiencia y conocimiento para lograr una visión holística del impacto del mantenimiento sobre la calidad de los elementos que constituyen un proceso de producción, y para producir continuamente mejoras tanto técnicas como económicas.

La quinta generación define como objetivos: plantear las bases y reglas para la creación de un modelo de gestión de mantenimiento orientado por la técnica y la logística integral de los equipos.

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

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

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

**Fuente: García Garrido [2010].**

## 1.2. Proceso de administración del mantenimiento

La administración puede ser considerada como un sistema de toma de decisiones cuyo propósito es dirigir los recursos disponibles hacia el logro del objetivo de la empresa [Mobley, 2008; Mora Gutiérrez, 2009; Leong & Zakuan 2012,]. Según la ISO 9000:2001, la gestión no es más que el conjunto de actividades coordinadas para dirigir y controlar una organización. Según Manzini, Hoang & Ferrari [2010], se puede definir la gestión del mantenimiento como “las actuaciones con las que la dirección de una organización de mantenimiento sigue una política determinada”. Por su parte Wang [2010] plantea que “recientes análisis sobre la efectividad de la gestión del mantenimiento indican que un tercio de todos los costos de mantenimiento se debe a una gestión deficiente”.

Dado que en la actualidad el mantenimiento está destinado a ser el pilar fundamental de toda empresa que considere ser competitiva, se hace necesario utilizar técnicas y métodos para la planificación, organización, ejecución y control de actividades que garanticen el buen desempeño del equipamiento e instalaciones. Lo anterior resulta imposible sin una eficiente estrategia y organización de esta disciplina en cada empresa, sobre todo por la estrecha

relación que existe entre producción y mantenimiento. A continuación se describen las etapas que componen la administración del mantenimiento.

### **Planificación**

La planificación del mantenimiento es el alma de todos los esfuerzos desarrollados en esta función [Tavares, 1999; Tomlison, 2007]. 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; León Márquez, 2010; Fernández Llanes, 2011].

### **Organización**

La organización del mantenimiento debe dar respuesta a las preguntas: ¿qué hacer? y ¿cómo hacerlo? Para ello se vale de dos fases: la fase organizativa donde se determina la estructura de trabajo, las funciones dentro de esta, las relaciones externas e internas, los procedimientos para el flujo y registro de información y documentación; y la fase preparatoria donde se define la preparación de los recursos (materiales y humanos), la documentación y las instalaciones [Hernández Milia, 2010; León Márquez, 2010; Fernández Llanes, 2011].

Es de destacar que en muchas organizaciones, en el contexto empresarial cubano, aunque no dejan de considerarse muchos de los elementos mencionados anteriormente, la planificación y organización del mantenimiento han tendido a depender de la experiencia y la percepción de los operadores y a ser manejada sensorialmente; se ha centrado en inspecciones cualitativas del estado de los equipos, debido a la dificultad para determinar cuantitativamente el nivel de deterioro de los mismos, además de no ser constante el considerable número de información que se ha de procesar [Alfonso Llanes, 2009]. Esto trae consigo un sinnúmero de problemas que se necesitan enfrentar para el mejoramiento de la confiabilidad y eficiencia de los equipos.

### **Ejecución**

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

La ejecución del mantenimiento puede realizarse por medios propios, por contratación de los trabajos a terceros o por la combinación de ambas. La tendencia general es hacia organizaciones de tipo mixto, descentralizadas por sectores [Jeira y Gibson, 2004; Mobley, 2008; Manzini, Hoang & Ferrari, 2010; Norman, 2012]. Para ejecutar el mantenimiento por medios propios la empresa debe disponer de los recursos (materiales y humanos) que se

necesitan para desarrollar las labores y asegurar una adecuada utilización de los mismos [Borroto Pentón, 2005].

### **Evaluación y control**

Cada sistema de mantenimiento incluye un método de control, por lo general expresado en función de tasas, cuotas y razones o índices, para determinar cómo marchan las cosas y por qué marchan, a fin de que permita tomar decisiones [Norman, 2012; Leong & Zakuan, 2012; Brown, 2014; Yssaad, Khiat & Chaker, 2014]. El autor de la presente investigación coincide con Larralde Ledo [1994], referenciado en Alfonso Llanes [2009], 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 valoración del desarrollo mediante control directo, principalmente a través de auditorías.

#### **1.2.1. Políticas de mantenimiento. Sus filosofías**

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

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

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 [Hernández Milia, 2010; Polo Salgado, 2011; Rodríguez Hernández, 2012; Aguilar del Oro, 2012]. Autores como Da Silva Neto y Gonçalves de Lima [2002], Dos Santos Méndez [2002], y Torres [2005] exponen que este tipo de mantenimiento resulta aplicable en sistemas complejos, normalmente componentes electrónicos o en los que es imposible predecir las fallas 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 [Mobley, 2008; Norman, 2012; Rodríguez Machado, 2012].

**Mantenimiento predictivo:** según Mobley [2008], Muchiri [2010] y Rodríguez Machado [2012], 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 Batista Rodríguez [2000], Sotuyo Blanco [2001], Da Silva Neto y Gonçalves de Lima [2002], y Dos Santos Méndez [2002], el mantenimiento predictivo consiste en estudiar la evolución temporal de ciertos parámetros y asociarlos a la evolución de fallos, para así determinar en qué período de tiempo, ese fallo va a tomar una relevancia importante, y así poder planificar todas las intervenciones con tiempo suficiente, para que ese fallo nunca tenga consecuencias graves. Su objetivo se encuentra enfocado a determinar, en todo instante, la condición técnica real de la máquina examinada, mientras esta se encuentre en pleno funcionamiento, para ello se hace uso de un programa sistemático de mediciones de los parámetros más importantes del equipo; y disminuir las paradas por mantenimientos preventivos, y de esta manera minimizar los costos por mantenimiento y por no producción. Las técnicas siguientes son utilizadas para la estimación del mantenimiento predictivo [Mora Gutiérrez, 2009; Polo Salgado, 2011; Rodríguez Hernández, 2012]:

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

**Mantenimiento modificativo:** este tipo de mantenimiento es aquel que se realiza tanto para modificar las características de producción de los equipos, como para mejorar la fiabilidad, mantenibilidad y seguridad de la máquina o instalación. Este mantenimiento también tiene como

objetivo el de realizar una reforma parcial en una máquina, equipo o sistema con el fin de obtener un mejor rendimiento de la misma de acuerdo a los requerimientos del tipo de trabajo que se desea realizar, o bien para obtener un beneficio en la rapidez de reparación [Moubray, 1997; Alfonso Llanes, 2009].

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

**Sistema Alternativo de Mantenimiento (SAM):** es un sistema para la organización, planificación y control del mantenimiento industrial que se caracteriza por integrar armónicamente más de uno de los tipos de mantenimiento conocidos, en calidad de subsistemas del mismo. Estos tipos de mantenimiento serán aplicados a los diferentes equipos individuales o grupos homogéneos de equipos en función de sus características tecnológicas y otros elementos [De la Paz Martínez, Espinosa Martínez y Espinosa Pedraja, 2006; Rodríguez Hernández, 2012; Velazquez Pérez, 2014].

**Mantenimiento Productivo Total (TPM, por sus siglas en inglés):** fue desarrollado por primera vez en 1969 en la empresa japonesa Nippondenso del grupo Toyota, y su implementación se inicia fuera de Japón a partir de los años ochenta [Nakajima, 1991; Mobley, 2008; Kennedy, 2009]. 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 [Popescu y Elsenbach, 2007; Mora Gutiérrez, 2009; Ahuja y Kumar, 2009; Manzini, Hoang y Ferrari 2010].

**Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (MCC):** es una metodología de análisis sistemático, objetivo y documentado, aplicable a cualquier tipo de instalación industrial muy útil para el desarrollo u optimización de un plan eficiente de mantenimiento preventivo en una instalación industrial que contribuya a la mejora de la confiabilidad de la misma y, por consiguiente, al incremento de la rentabilidad de los procesos implicados y del valor de los

activos fijos [Moubray,1997; Salguero Manosalvas, 2010; Nieto González; 2011; Mao & Jia, 2013; Naveen & Babu, 2013]

Actualmente uno de los mayores retos para las personas encargadas en temas de mantenimiento no es sólo aprender todas las técnicas existentes, sino identificar cuáles son las adecuadas para aplicar en su propia organización y cuáles no, tanto desde el punto de vista técnico como económico. Tomando una decisión correcta es posible mejorar el rendimiento de los activos y al mismo tiempo incluso reducir los costos de mantenimiento.

### **1.2.2. La selección de la política de mantenimiento a aplicar 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. En la actualidad muchas organizaciones implementan sistemas de mantenimiento de avanzada; sin embargo, no realizan una valoración objetiva para conocer realmente cuál sistema se ajusta mejor a las características y condiciones que posee la entidad. Varios autores [NI, 2009; Lust, Roux y Riane, 2009; Mora Gutiérrez, 2009], han planteado numerosas opiniones relacionadas con la selección de la filosofía de mantenimiento a ser aplicada a nivel de empresa. Coinciden, en primer lugar, en que el criterio de selección está influenciado por numerosas variables, algunas de las cuales son difíciles de cuantificar, no obstante, los métodos cuantitativos proporcionan una herramienta en la toma de decisiones de este tipo. Un mantenimiento bien diseñado, como principio, debe adecuarse a las características de cada máquina, así como a las particulares de la empresa u organización que decida su implementación. En este sentido se han desarrollado varios procedimientos empleando criterios de selección generalmente a nivel de máquina [Alfonso Llanes, 2009; Hu et al., 2009; Arunraj y Maiti, 2010; Seyedshohadaie, Damjanovic, y Butenko, 2010].

Con el objetivo de decidir sobre el tipo de mantenimiento más apropiado a aplicar a un equipo o máquina, se han presentado disímiles propuestas en la literatura. Estas pueden dividirse en dos tendencias fundamentales. La primera está relacionada con la presentación de metodologías que, al considerar varios factores, permiten decidir directamente la política de mantenimiento a seguir en cada situación. Dentro de estas metodologías se destacan la filosofía RCM [Moubray, 1997; Kennedy, 2009], el análisis multicriterio [Antoniou y Lu, 2007; Pavan,2009; Recchia, et. al., 2011; Duvivier, Meskens y Ahues, 2013], el análisis de riesgo [Hu et al., 2009; Arunraj y Maiti, 2010; Seyedshohadaie, Damjanovic, y Butenko, 2010], las estrategias de selección basadas en elementos económicos [Marín, 1994; Lofsten, 1999; Sondalini, 2002 y Alsyouf, 2004] y el Sistema Alternativo de Mantenimiento (SAM) [De la Paz Martínez, 1996; De la Paz

Martínez y Espinosa Pedraja, 2006; Velazquez Pérez, 2014] utilizado en varias industrias cubanas.

La segunda estrategia, de mucho auge en la actualidad, consiste en la determinación del nivel de criticidad de cada activo dentro del proceso productivo para luego, en función de este, asignar la política de mantenimiento que resulte pertinente. El análisis de criticidad es una metodología que permite establecer la jerarquía o prioridades de procesos, sistemas y equipos, al crear una estructura que facilita la toma de decisiones acertadas y efectivas, que dirige el esfuerzo y los recursos hacia las áreas donde sea más importante y/o necesario mejorar la confiabilidad operacional [Alfonso Llanes, 2009; Mao & Jia, 2013; Yssaad, Khiat & Chaker, 2014].

El método clásico de evaluación de la criticidad de los componentes de un sistema se realiza normalmente mediante la técnica de Análisis de los Modos de Fallo y sus Efectos (FMEA, Failure Mode and Effect Analysis) y, en otros casos, mediante la herramienta de Análisis de Modos de Fallo y Efectos Críticos (FMECA, Failure Modes, Effects and Criticality Analysis) [Alfonso Llanes, 2009; Salguero Manosalvas, 2010; Von Verse, 2012; Muñoz, 2013].

La forma más utilizada para realizar la jerarquización de los elementos dentro de un sistema productivo o de servicios es el empleo de un grupo de factores, criterios o variables que caractericen su contexto operacional y valoren las consecuencias que sobre cada una de ellas genera el modo de fallo que se presente [Borroto Pentón, 2005; Alfonso Llanes, 2009; Hu, 2009; Seyedshohadaie, 2010].

### **1.2.3. Aspectos generales sobre la selección del tipo de mantenimiento en Cuba**

Los tipos de mantenimiento analizados se pueden combinar de forma tal que se obtenga el máximo rendimiento de las instalaciones. Varios autores [De la Paz Martínez, 1996; Rodríguez, 2003; González Sardi y Regueira Vásquez, [2009]; Alfonso Llanes, 2009; Hernández Milia, [2010]; Fernández Llanes, [2011] han coincidido que no es justificable pensar que toda una planta debe estar sujeta a un único tipo de mantenimiento. En el proceso industrial existe diversidad de equipos ocupando una posición desigual y poseedores de características propias que lo hacen diferente del resto, incluso de otros equipos similares.

Para la selección del tipo de mantenimiento, varios autores cubanos han diseñado metodologías con este fin, tal es el caso de Polo Salgado, [2011]; Rodríguez Hernández, [2012] los mismos proponen un algoritmo que incluye el estudio del régimen de explotación y del sistema de mantenimiento existente en la empresa, la clasificación de la industria según sus características de producción, grado de mecanización y régimen de trabajo, la aplicación del proceso de diferenciación de máquinas y definición de la política de mantenimiento hasta nivel

de sistemas; de estos resultados se obtiene el tipo de acción de mantenimiento a acometer y luego de una valoración económica de ser positivo el análisis, se implanta el sistema, el cual puede irse perfeccionando hasta el logro de una gestión de mantenimiento automatizada.

Asimismo, Bevilacqua y Braglia Sexto [2000] y Cabrera [2008] realizan para la selección del tipo de mantenimiento y análisis de las máquinas críticas a partir de un método de categorización basado en 12 puntos: intercambiabilidad, importancia productiva, régimen de operación, nivel de utilización, grado de precisión, mantenibilidad, conservabilidad, automatización, valor de la máquina, factibilidad de aprovisionamiento, seguridad operacional y disponibilidad, aplicando la técnica del criterio de expertos.

Por otra parte, Alfonso Llanes [2009] propone un algoritmo, a partir de las propuestas presentadas por Torres [1997], Borroto Pentón [2005] y Chistensen [2006], que alcanza este objetivo en dependencia del valor de cada una de las variables que, a su criterio, van a caracterizar el entorno operacional en que se desempeña el equipamiento estudiado, dígame: costo, eficiencia, eficacia, utilidad, disponibilidad y productividad. A partir de las características propias de cada tipo de mantenimiento (ventajas, desventajas y condiciones de aplicación) se deciden las políticas de mantenimiento a considerar, así como su orden de prioridad según la estrategia trazada para cada clase y el tipo de fallo que se presente.

Una metodología pobremente utilizada en Cuba lo constituye el Análisis de Riesgo. En el apartado siguiente se profundiza en su contenido.

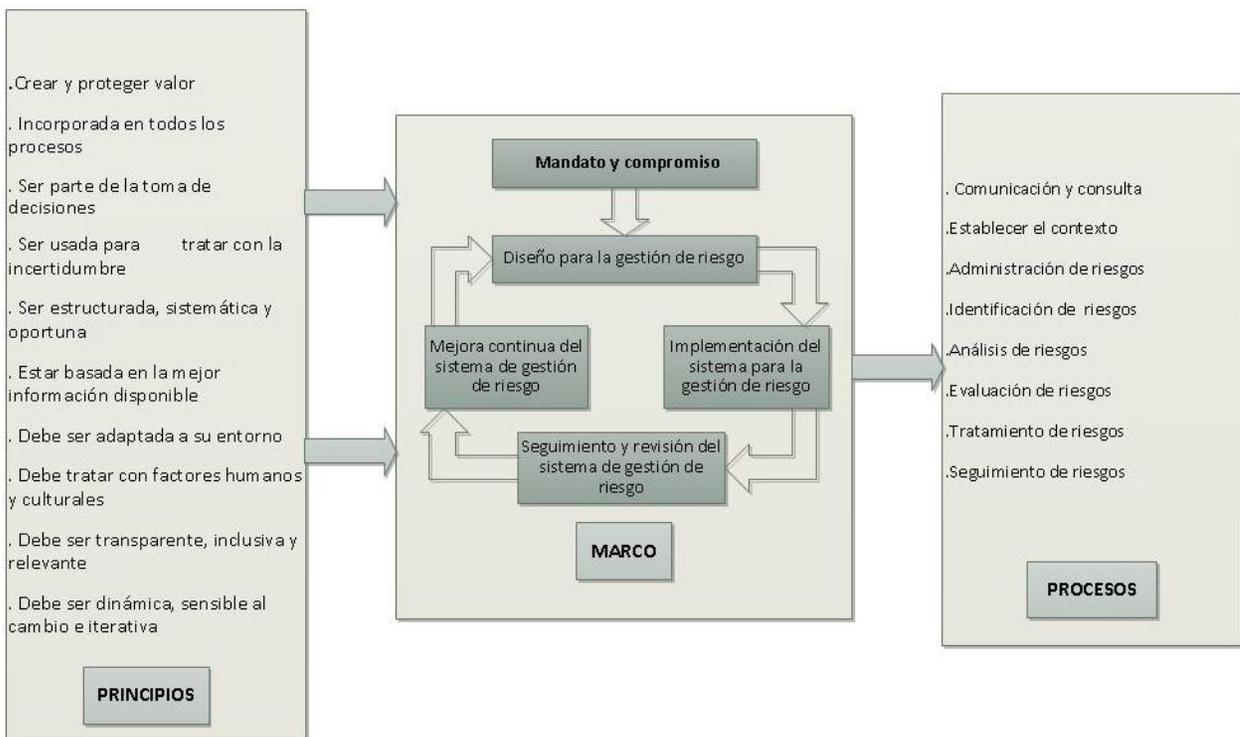
### **1.3. Generalidades sobre el Análisis de Riesgo**

Acerca del término riesgo existen diferentes conceptos y definiciones (Ver anexo 1). En estos estudios se observa la existencia de consenso en utilizar las expresiones fallas, accidentes, sucesos, daños, protección, prevención o costo por dichos daños, relacionados todos con la salud y seguridad de los trabajadores inmiscuidos en las diferentes operaciones, así como del medio ambiente.

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 Borboa Santamaría, [2010]; Seyedshohadaie, [2010]; Ramírez Castro, [2011]; Brennan, [2013]; Diamantoulaki, [2013]; Barone, [2014]. La familia de normas ISO presenta una estrategia de reacción y soluciones puntuales para protocolizar y gestionar el riesgo, incluyendo las normas siguientes:

- ISO/IEC 73: Gestión de riesgos – Vocabulario.
- ISO 31 000: Principios y directrices para la implantación.
- ISO/IEC 31 010: Gestión de riesgos –Técnicas y evaluación de riesgos.

La ISO 31000 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.



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

**Fuente: ISO 31000 (2009).**

Esta norma 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.

Esta norma contiene las respuestas a las preguntas siguientes:

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

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

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

### **1.3.1. Análisis de riesgo y definiciones matemáticas**

El análisis de los riesgos es el proceso de identificación de los efectos potenciales en el funcionamiento empresarial. Un detallado análisis de riesgos estudia el probable efecto de cada riesgo potencial en los activos y recursos de la organización [Kallen, 2009; Seyedshohadaie, Damjanovic y Butenko, 2010; Zhang y Hu, 2014].

En investigaciones realizadas por Smith [2005] y , se selecciona la política de mantenimiento a seguir valorando los riesgos a través de la selección, análisis y evaluación de consecuencia, según Stapelberg [2009], el análisis de riesgo es el procedimiento utilizado por las entidades aseguradoras para lograr un adecuado equilibrio de riesgos. Se concretan en selección de riesgos: aceptación de aquellos riesgos en los que la compañía presume que no le van a originar resultados negativos; ponderación o clasificación de riesgos: la correcta tarificación del riesgo asumido; previsión de riesgos: adopción de las medidas de prevención y protección adecuadas; y control de resultados: medidas que se aplican para obtener el necesario equilibrio técnico (franquicias, anulación de pólizas, exclusión de coberturas, etc.) [Arunraj, 2010; Fernández Llanes, 2011; Borek, Parlikad y Woodall, 2014].

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 y Kuniewski, 2009; Borboa Santamaría, 2010]. Según Madrigal [2004], Masayuki [2009], y Muñoz

[2013] es el resultado de la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de un peligro definido (problema, fallo, accidente, catástrofe natural, fraude, error humano, etc.) y de la severidad o magnitud de las consecuencias de este hecho indeseable en caso de que ocurra. El concepto de riesgo tiene dos elementos, la probabilidad de que algo suceda y las consecuencias en caso de que suceda; en las expresiones 1.1 y 1.2 se muestra como se calcula el mismo.

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

Donde:

P: Probabilidad de ocurrencia

C: Consecuencia o daño Siendo  $0 \leq P \leq 1$

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

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

Donde:

F: Frecuencia de ocurrencia

S: Severidad

Estos efectos se pueden medir en distintas unidades: en términos económicos, en pérdida de vidas humanas, en daños personales, etc. Obviamente, para reducir el riesgo se puede actuar sobre las dos variables, o sea, reducir la probabilidad de ocurrencia o la magnitud esperable del daño, o actuar simultáneamente sobre las dos. Para algunos autores [Franco Romerio, 2000; Ayala-Carcedo, 2001; Borboa, 2010; Fernández Llanes, 2011; Brennan, 2013], disminuir la probabilidad es prevención y disminuir la gravedad de los efectos es protección.

Según los autores Moreno Escudero y Rubiano Sánchez [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. Técnicas para la identificación y/o evaluación de riesgos**

El objetivo de este apartado es describir de forma somera las principales técnicas hoy por hoy disponibles para identificar peligros y/o evaluar riesgos, ya sea bajo una perspectiva cualitativa, ya sea mediante el uso de métodos cuantitativos o semicuantitativos. Al igual que para la identificación de los riesgos, existen técnicas para su análisis.

Según Mariani [2006], los métodos para la identificación de riesgos suelen estar basados en los principios de diseño, listados de verificación, buenas prácticas, experiencia y sentido común, depende en gran medida del grado de conocimiento y experiencia que tenga el grupo evaluador

y la correcta selección de la técnica a usar. Sin embargo, no siempre brindan un grado de exploración suficientemente comprensivo de los escenarios donde existe la potencialidad para la ocurrencia de fallas. También involucra la consideración rigurosa de todas las situaciones en las que potencialmente exista la posibilidad de un daño, seguida por un análisis detallado de la combinación de secuencias de eventos que pueden transformar este potencial en un verdadero accidente.

En el anexo 2 se presenta un resumen de las herramientas utilizadas para la evaluación del riesgo, elaborado por un grupo de trabajo de la Asociación Española de Gerencia de Riesgos y Seguros (AGERS) [2011], sobre la ISO 31000-ISO 31010. En dicho resumen se detalla la aplicabilidad (fuertemente aplicable, aplicable o no se aplica) de cada una de las técnicas a las diferentes etapas del proceso de evaluación del riesgo (identificación, análisis y evaluación).

A continuación se detallan las características generales de un grupo de las técnicas utilizadas para realizar la evaluación del riesgo [Christensen, 2006; Faulin, 2010; AGERS, 2011].

#### Análisis de Modos de Fallos y sus Efectos (FMEA) / Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad (FMEAC)

La confiabilidad de los equipos puede afectar la disponibilidad de una planta industrial, y está directamente relacionada con la performance y la seguridad de la planta. Uno de los procedimientos que involucra la comprensión de fallas potenciales y sus consecuencias sobre activos y sistemas conjuntos es el análisis de modos de falla y efectos FMEA.

El FMEA, es una herramienta de máxima utilidad en el desarrollo del producto que permite, de una forma sistemática, asegurar que han sido tenidos en cuenta y analizados todos los fallos potencialmente concebibles, es decir, permite identificar las variables significativas del proceso/producto para poder determinar y establecer las acciones correctoras necesarias para la prevención del fallo, o la detección del mismo si éste se produce, evitando que productos defectuosos o inadecuados lleguen al cliente.

Por tanto la definición exacta del FMEA es la siguiente:

El FMEA, es un método dirigido a lograr el Aseguramiento de la Calidad, que mediante el análisis sistemático, contribuye a identificar y prevenir los modos de fallo, tanto de un producto como de un proceso, evaluando su gravedad, ocurrencia y detección, mediante los cuales, se calculará el Número de Prioridad de Riesgo, para priorizar las causas, sobre las cuales habrá que actuar para evitar que se presenten dichos modos de fallo.

Se pueden distinguir dos tipos de FMEA, el de diseño, que va dirigido al producto, y el de proceso, que está orientado al proceso de fabricación, es decir, a los medios de producción que se utilizan. A efectos de la presente investigación, todos los análisis estarán enfocados

al FMEA de procesos. Una parte importante del FMEA también incluye analizar la criticidad, involucrando cuán perjudicial son los efectos de los modos de falla sobre la operación del sistema, la cuál se estima con niveles de ocurrencia y severidad de los diferentes efectos de falla.

Cuándo la criticidad es considerada en un FMEA, el nombre es cambiado a Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad FMECA y una sección adicional es añadida en el procedimiento y en el formato tabular del FMEA. Aunque hoy en día la distinción entre ambos términos ha sido empañada y a menudo son usados intercambiamente.

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

#### Análisis de peligros y operabilidad (HAZOP)

Denominado también "Hazard and Operability Análisis" o HAZOP es una técnica de seguridad orientada a identificar circunstancias de peligro y de accidente, siendo la operación (la garantía de funcionamiento) un aspecto secundario. Esencialmente es un método muy similar al FMEA descrito en el apartado anterior. El HAZOP, sin embargo, es un método absolutamente sistemático, porque se controlan todas y cada una de las variables de proceso, en todos y cada uno de los equipos de la planta. Su aplicación se fundamenta en la identificación de todos los parámetros del proceso (presión, temperatura, nivel, caudal, etc.) y sus condiciones de trabajo habituales, analizando de manera sistemática las desviaciones posibles.

Su estudio se inicia identificando los equipos y líneas principales de la planta. Para cada equipo o línea se relacionan todos los parámetros que afectan al sistema y se concretan sus condiciones habituales de proceso. A continuación y ayudados por unas palabras-guía tales como: no, más, menos, contrario, además, parte, diferente; se intenta incentivar la creatividad de los participantes en el estudio para que identifiquen cuáles serían las consecuencias de que la variable estudiada se desviara de la condición de proceso en la forma indicada por la palabra- guía (más temperatura, menos pH, flujo inverso en bomba, etc.). Para cada situación peligrosa identificada se propondrán las medidas correctoras oportunas en el sentido de evitar las desviaciones detectadas.

Este método requiere documentación completa y un conocimiento exhaustivo de la planta, de los productos utilizados y de las condiciones de proceso. Está especialmente adaptado a

plantas relativamente complejas en las que otros métodos serían totalmente anárquicos. En particular, está mejor preparado para ser usado en plantas de trabajo en continuo, aunque se han desarrollado variantes para procesos por lotes. Su aplicación es económicamente costosa, dada la necesidad de involucrar en el estudio a un cierto número de profesionales cualificados que deberán dedicarle un tiempo considerable.

Análisis mediante Árbol de Fallas (FTA) la técnica del Árbol de Fallas es una de las más usadas para estimar la frecuencia de ocurrencia de eventos no deseados en sistemas con varios componentes. Es una técnica en la cual muchos eventos que interactúan para producir otros eventos pueden ser relacionados mediante el uso de simples relaciones lógicas (Y, O, etc.); estas relaciones permiten la construcción de una estructura lógica que permite modelar los modos de falla de un sistema.

El Análisis mediante árboles de fallos (FTA o "Fault Tree Analysis"), según Améndola [1994], es una técnica cuantitativa que permite estimar la probabilidad de ocurrencia de un fallo determinado (suceso capital o "top event") a partir del conocimiento de la frecuencia de ocurrencia de los sucesos iniciadores o causales, mediante la utilización de procesos lógicos inductivos y la confección de una secuencia lógica de sucesos, denominada árbol de fallos.

La utilización de este método de análisis de riesgos permite un conocimiento exhaustivo de las relaciones causa-efecto existente entre los diversos fallos posibles del sistema y genera unas recomendaciones de mejoras muy concretas (e incluso cuantificadas en cuanto a su eficacia). Sin embargo, requiere mucho tiempo y personal especializado, con un conocimiento completo de la planta en sus distintas etapas de proceso (parada, puesta en marcha, operación, emergencia, etc.).

Se recomienda su utilización en instalaciones complejas en las que concurren muchos aparatos, instrumentos, equipo de control y alarma y sistemas de seguridad. Incluso es aplicable para valorar la incidencia del fallo humano en la probabilidad del suceso capital.

La existencia de las técnicas antes mencionadas posibilita establecer los sistemas de mantenimiento basados en el análisis de los riesgos a los que están expuestas las empresas hoy en día y generalmente se seleccionan atendiendo a la política de cada una en particular y los requerimientos de calidad, seguridad y mercado, además de las características del proceso productivo

#### Análisis de riesgo (PHA)

El análisis de riesgo (también conocido como evaluación de riesgo o PHA por sus siglas en inglés: Process Hazards Analysis) es el estudio de las causas de las posibles amenazas, y los daños y consecuencias que éstas puedan producir. Este tipo de análisis es ampliamente

utilizado como herramienta de gestión en estudios financieros y de seguridad para identificar riesgos (métodos cualitativos) y otras para evaluar riesgos (generalmente de naturaleza cuantitativa). El primer paso del análisis es identificar los activos a proteger o evaluar. La evaluación de riesgos involucra comparar el nivel de riesgo detectado durante el proceso de análisis con criterios de riesgo establecidos previamente. La función de la evaluación consiste en ayudar a alcanzar un nivel razonable de consenso en torno a los objetivos en cuestión, y asegurar un nivel mínimo que permita desarrollar indicadores operacionales a partir de los cuales medir y evaluar.

En Cuba, tradicionalmente, se ha aplicado el Sistema de Mantenimiento Preventivo Planificado como parte de una estrategia que se generaliza y extiende a la mayoría de los sectores industriales y empresas del país, lo que ha generado un conjunto de deficiencias que disminuyen la efectividad en la gestión del mantenimiento puesto que no se tiene en cuenta y no se considera el riesgo en la toma de decisiones.

#### Análisis mediante árboles de sucesos o eventos

Mediante el ETA (Event Tree Análisis) se pretende estructurar la secuencia de eventos básicos que desencadena un tipo de accidente concreto, estableciendo también las probabilidades de ocurrencia, si el conocimiento de los sucesos básicos lo permite. Desde un punto de vista abstracto, es similar al análisis de árboles de fallos. Sin embargo, los sucesos básicos en este caso no son fallos de los sistemas (“falla el T-302”) sino alternativas de las diferentes situaciones que pueden darse (“ignición inmediata-ignición retardada”). Para su aplicación se identifican los sucesos básicos o iniciadores y se aplican todas las disyuntivas lógicas que sean procedentes hasta obtener una representación gráfica en forma de árbol horizontal, en la cual quedan representadas todas las posibles evoluciones del sistema según se den o no las diferentes alternativas planteadas, hasta los sucesos accidentales finales (nube de gas, deflagración, dispersión, etc.) Por su especificidad y grado de desarrollo, son aplicables a las mismas instalaciones y bajo las mismas condiciones que los árboles de fallos.

#### Análisis de causas y consecuencias

Permite un análisis cuantitativo de los eventos de fallo en sistemas complejos, partiendo de sucesos capitales y factores condicionantes, con lo que al final se obtiene un árbol de causas/consecuencias. Es una combinación de árboles de fallos y árboles de sucesos por lo que también se utilizan símbolos lógicos y asignación de probabilidades a cada uno. Se elige un suceso principal como origen de la evaluación, se identifican los sucesos condicionantes y se establece la secuencia lógica de acontecimientos incluyendo las disyuntivas existentes. En este árbol se mezclan eventos “fallos” con eventos “sucesos”. Su aplicación requiere conocer muy

bien la instalación y tener experiencia en el desarrollo de este tipo de análisis. Es laborioso y se necesita soporte informático para llevarlo a cabo. Los resultados obtenidos son muy detallados y permiten, como en el caso de los árboles de fallos y de sucesos, cuantificar la utilidad de las medidas correctoras propuestas.

#### Índices de riesgo

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

#### Listas de Verificación (Checklists)

Consiste en contrastar la realidad de la planta con una lista muy detallada de cuestiones relativas a los más diversos ámbitos, tales como condiciones de proceso, seguridad o estado de las instalaciones o servicios. En primer lugar es necesario disponer de listas de comprobación o “checklist” generalistas o específicamente desarrolladas para esa planta en concreto. Cabe también generar estas listas con un planteamiento global o bien por ámbitos (instrumentación, equipos, materias peligrosas, condiciones de trabajo, etc.). Es un procedimiento fácil y controlado. Está especialmente adaptado para garantizar el cumplimiento de normas o reglamentos técnicos y permite la reproducibilidad del análisis de forma periódica, permitiendo estudiar las desviaciones que se producen en el tiempo. No obstante, dependiendo de la calidad de la lista de comprobación o del grado con que se adapte a la planta analizada puede pasar por alto peligros evidentes no contemplados en las listas o incidir excesivamente en puntos que sin lugar a dudas no plantean peligros importantes. En este sentido, no es un método creativo.

#### Análisis "¿Qué pasa si...?"

El objetivo fundamental de este método es la detección y análisis de las desviaciones sobre los procesos y condiciones previstos, intentando evitar aquellos eventos que puedan resultar no deseables. Básicamente consiste en responder cualitativamente a una batería de preguntas del tipo “¿Qué pasa si...?”, en relación con la calidad o la concentración de las materias primas, o en relación con las variables de proceso o los servicios necesarios. Para llevar a cabo este

análisis de forma estructurada se recomienda seguir la línea de proceso, desde la recepción de materiales hasta la entrega del producto terminado. En una primera fase se pide a los participantes que planteen cualquier pregunta del tipo “¿Qué pasa si...?” en relación con cada unidad o etapa del proceso. Una vez recopiladas todas estas cuestiones, se intentará dar respuesta a cada una de ellas, con la participación de especialistas si fuera necesario. Una vez identificados los peligros y sus posibles consecuencias, deben proponerse las medidas disponibles para minimizarlos, tales como alternativas en el proceso o modificaciones de la línea de producción. Resulta un sistema muy creativo y de simple aplicación (y por lo tanto, económico). Sin embargo, aun realizándose de modo estructurado puede pasar por alto algunos peligros menos evidentes pero no por ello menos graves.

#### Análisis histórico de accidentes

Su objetivo primordial es detectar los peligros presentes en una instalación por comparación con otras similares que hayan tenido accidentes registrados en el pasado. Analizando esos antecedentes es posible conocer las fuentes de peligro, estimar el alcance posible de los daños e incluso, si la información es suficiente, estimar la frecuencia de ocurrencia. Para llevar a cabo estos trabajos se dispone de bancos de datos informatizados, recopilaciones bibliográficas de accidentes o incluso de la propia experiencia siniestral de la empresa.

Es una metodología simple y económica, ya que no compromete muchos recursos materiales o humanos. Su gran ventaja es que detecta peligros absolutamente reales, que ya en el pasado se han puesto de manifiesto. Sin embargo, las informaciones recogidas son limitadas dado que sólo se registran los accidentes que acaban en eventos de relativa importancia y se obvian incidentes, potencialmente más peligrosos que los anteriores, pero que por circunstancias fortuitas favorables no desencadenan un gran accidente. Asimismo, las informaciones recogidas no son completas y están afectadas de imprecisiones importantes, lagunas y datos confidenciales desconocidos.

#### Análisis preliminar de peligros

Este método es similar al análisis histórico de accidentes, aunque no se basa en el estudio de siniestros previos sino en la búsqueda bibliográfica de peligros que puedan hallarse presentes en una nueva instalación a partir de la lista de productos químicos presentes. De forma no estricta se le suele denominar también "Análisis preliminar de riesgos".

El procedimiento consiste en obtener información completa sobre materiales, sustancias, reactivos y operaciones previstas, comparar estos procesos con otros de los que se tenga experiencia anterior, adaptar esas semejanzas al caso actual y analizar las operaciones y

equipos previstos desde el punto de vista de los peligros presentes en cada uno (toxicidad, corrosividad, carga energética, etc.).

Los puntos críticos que se hayan detectado en el paso anterior deben ser objeto de un estudio técnico algo más detallado. Por último, como resulta lógico, deberán proponerse las medidas a adoptar para disminuir o eliminar los peligros detectados.

Este es un procedimiento de análisis simple y económico, aunque no sistemático; es estrictamente cualitativo y depende en exceso de los conocimientos previos de los ejecutantes. Resulta idóneo para instalaciones en fase de anteproyecto o ingeniería básica, cuando aún no se han desarrollado planos detallados de la instalación.

#### Análisis de las funciones

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

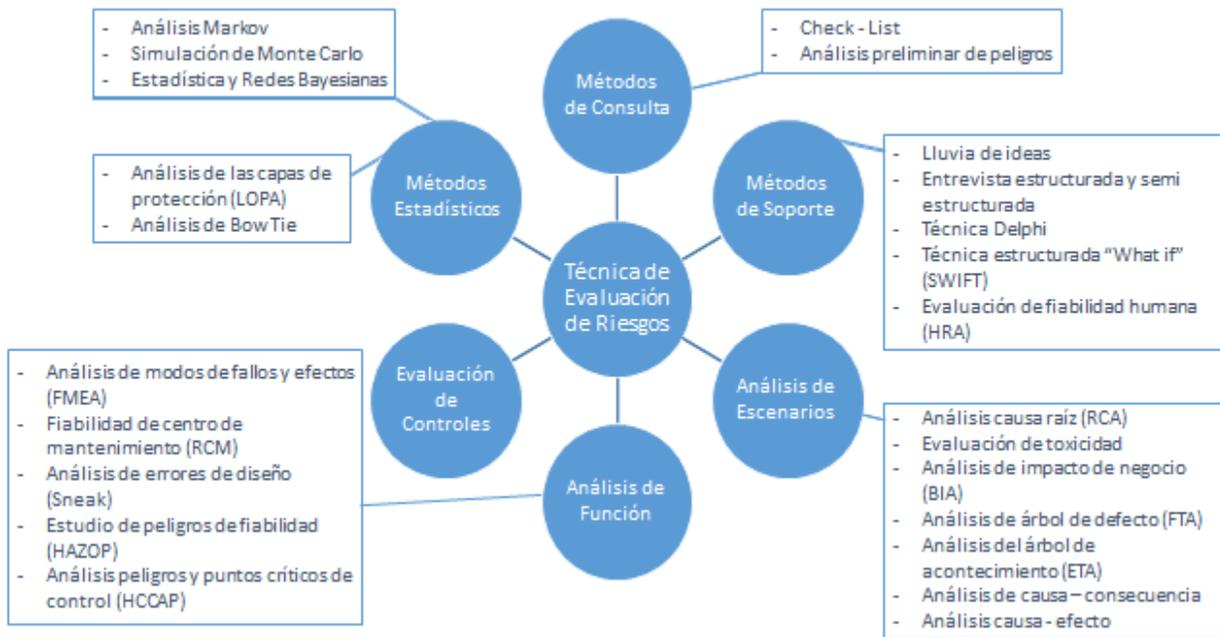
#### Evaluaciones de controles

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

Por su parte Villanueva Chang [2012] agrupa las técnicas utilizadas para la evaluación del riesgo en seis grandes categorías, según se muestra en la figura 1.4.

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

El Sistema de Mantenimiento Basado en el Riesgo o Sistema de Mantenimiento Centrado en el Negocio (BCM, por sus siglas en inglés), provee una metodología para decidir objetivos de mantenimiento, formular los planes de vida de los equipos y la programación de mantenimiento de las plantas, diseñando la organización de mantenimiento y estableciendo un sistema apropiado de documentación y control. Este sistema presenta un marco de referencia sistemático, basado en traducir los objetivos empresariales en objetivos de mantenimiento, que persiguen formular planes de vida de equipos y programas de mantenimiento de planta, diseñar la organización respectiva y establecer los sistemas apropiados de documentación y control [Duarte Herrera, 2006; Herazo Aguas, 2009; Moreno Escudero, 2010; Fernández Llanes, 2011; Diamantoulaki y Angelides, 2013].



**Figura 1.4. Agrupación de las técnicas de evaluación del riesgo. Fuente: Villanueva Chang [2012].**

Esta filosofía defiende una metodología de aproximación terotecnológica orientada a optimizar los costos totales de mantenimiento en el ciclo de vida asociado al equipamiento, en contraposición al proceso de adquisición de activos limitado a consideraciones de performance y costo de capital. Además, usa juicios de ingeniería y experiencia como la base para el análisis de probabilidades y consecuencia de una falla, los resultados son dependientes de la experiencia y conocimientos de los expertos. Los resultados son emitidos en términos como alto, medio, bajo, etc. u otros datos numéricos. Las metodologías como HAZOP o FMECA son ejemplos de análisis cualitativo [Arunraj y Maiti, 2007; Hu et al., 2009; Arunraj y Maiti, 2010; Seyedshohadaie, Damnjanovic y Butenko, 2010; Salguero Manosalvas, 2010; Von Versen, 2012]. Estos autores, al igual que Mora Gutiérrez [2012], definen las características principales del Sistema Basado en el Riesgo, las mismas se muestran a continuación:

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

formular modos de acción conducentes a minimizar costos directos e indirectos de mantenimiento.

De manera general, la formulación y aplicación de este sistema, para una organización, es un problema complejo y comprometido cuya resolución requiere de un enfoque sistemático y pragmático de aproximación. Esta metodología posee un enfoque iterativo para establecer las estrategias de mantenimiento denominado “Top-Down Bottom-Up” [Kennedy, 2009; Mora Gutiérrez, 2009].

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

Acerca del mantenimiento basado en riesgo, en Cuba se ha incursionado muy poco, por lo que las aplicaciones sobre este tema son escasas. Solamente se tienen como referencia las investigaciones desarrolladas por Polo Salgado [2011], Fernández Llanes [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” pertenecientes a la provincia Ciego de Ávila, respectivamente.

Se debe señalar que estas propuestas no tienen en cuenta el cálculo del Número de Prioridad de Riesgo (NPR) para priorizar las causas sobre las cuáles habrá que actuar para evitar que se presenten los modos de fallo, por lo que superar esta deficiencia sería de gran importancia para facilitar la toma de decisiones.

#### **1.5. Conclusiones parciales**

1. En la actualidad, un grupo importante de autores 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. Las metodologías de evaluación de riesgos existentes en la literatura proporcionan una base sólida para la toma de decisiones dentro de un amplio rango de usos para la gestión de los activos y la optimización de las tareas de mantenimiento; sin embargo, las propuestas metodológicas implementadas en el país carecen del cálculo del Número de Prioridad de Riesgo, el cual permite obtener el orden de prioridad para la eliminación de los modos de fallos, lo que motiva al desarrollo de nuevas investigaciones.

# *Capítulo 2.*

## Capítulo II. Procedimiento para la determinación del tipo de mantenimiento basado en elementos de análisis de riesgo

En el presente capítulo, para tributar a la solución del problema científico de esta investigación y como respuesta a lo expuesto en las conclusiones parciales derivadas de la construcción del marco teórico y referencial de la investigación, se expone un procedimiento general, con sus procedimientos específicos asociados, para asistir el proceso de toma de decisiones vinculado a la selección del tipo de mantenimiento en correspondencia con los modos de fallos identificados.

### 2.1. Características del procedimiento general para la toma de decisiones vinculada a la selección del tipo de mantenimiento

El procedimiento propuesto sirve de soporte al proceso de toma de decisiones vinculada a la selección del tipo de mantenimiento teniendo en cuenta el análisis de riesgo, este incorpora, de manera creativa y pertinente, elementos novedosos de la gestión del mantenimiento. El carácter autóctono del procedimiento, así como, el resto de las cualidades de este, se definen, en gran medida, por el objetivo, el conjunto de principios básicos, las premisas y demás características que lo sustentan.

#### Objetivo del procedimiento

El objetivo general del procedimiento lo constituye: apoyar y asistir el proceso de toma de decisiones vinculadas a la selección del tipo de mantenimiento más efectivo a aplicar en la UEB “Elpidio Sosa” de la Electroquímica de Sagua la Grande, Villa Clara, considerando el riesgo existente en la misma.

#### Principios que sustentan el procedimiento

El procedimiento general para asistir el proceso de selección del tipo de mantenimiento, se sustenta en los principios siguientes:

**Mejoramiento continuo:** el procedimiento general contempla en sus objetivos la mejora en la gestión del mantenimiento a partir de la selección e implementación del tipo de mantenimiento más efectivo a aplicar en la UEB “Elpidio Sosa” de la Electroquímica de Sagua la Grande.

**Flexibilidad:** posibilidad que tiene de aplicarse a empresas y organizaciones con características similares y de adaptarse con racionalidad a los cambios internos de la organización, así como, a las amenazas y oportunidades provenientes de un entorno dinámico y complejo.

**Parsimonia:** el diseño y estructuración, consistencia lógica y flexibilidad de las fases y etapas del procedimiento permite abordar un proceso que resulta complejo por su naturaleza debido a la interacción de factores diversos, de una forma sencilla, comprensible y práctica.

**Consistencia lógica:** en el diseño, estructuración y secuencia de los pasos, en correspondencia con la lógica de ejecución de este tipo de estudio.

**Pertinencia:** posibilidad que tiene el procedimiento de ser aplicado en las condiciones actuales de las empresas cubanas, contribuyendo al logro y consecución de los objetivos del mantenimiento en la organización.

**Generalidad:** posibilidad de su extensión como herramienta e instrumento metodológico para ejecutar estos estudios en objetos similares.

**Integrador:** permite la identificación de peligros y riesgos, la evaluación de éstos últimos y el programa de control de riesgos de manera integral, garantizando la participación del personal de varias áreas de la empresa (mantenimiento y los representantes de cada una de las áreas de la empresa), todo ello dentro de un proceso de mejoramiento continuo.

#### **Premisas de construcción**

El diseño y conformación del procedimiento se realizó sobre las premisas siguientes:

1. Participación de la alta dirección como fuente de ideas y de impulso al proyecto.
2. El nivel de compromiso de los trabajadores involucrados en la toma de decisiones.
3. La disponibilidad de especialistas, ya sean internos o externos, con los conocimientos necesarios para efectuar la toma de decisiones.
4. Existencia de la información necesaria para el análisis y procesamiento necesario en cada paso del procedimiento.

#### **Entradas del procedimiento**

Como entradas el procedimiento tiene:

- Hoja técnica del equipamiento.
- Opiniones de los miembros del grupo de expertos sobre la probabilidad de ocurrencia de los fallos, así como las consecuencias de los mismos.
- Los costos de las acciones de mantenimiento.

#### **Salidas del procedimiento**

Las salidas principales del procedimiento son:

- Matriz de riesgos.
- Tipos de mantenimiento a aplicar a cada modo de fallo del equipamiento.
- Periodo de evaluación de cada variante de mantenimiento.
- Programación del tipo de mantenimiento seleccionado.

## 2.2. Diseño del procedimiento general para la toma de decisiones vinculada a la selección del tipo de mantenimiento a aplicar en la UEB “Elpidio Sosa” de la Electroquímica de Sagua la Grande

La concepción del procedimiento ha seguido un proceso lógico en su elaboración, a partir de la revisión y análisis de las fuentes consultadas [García González-Quijano, 2004; Madrigal, 2004; Muñoz, 2013], así como el uso de analogías y la consulta con especialistas en el tema objeto de estudio. El diseño de las fases y etapas obedecen a la lógica general utilizada en la solución de problemas decisionales [García González-Quijano, 2004; Von Verse, 2012; Muñoz, 2013].

En la figura 2.1, se muestra el procedimiento general propuesto para la toma de decisiones vinculada a la selección del tipo de mantenimiento a aplicar en la UEB “Elpidio Sosa” de la Electroquímica de Sagua la Grande, Villa Clara. Seguidamente se describen sus fases y etapas.



Figura 2.1. Procedimiento general para la selección del tipo de mantenimiento basado en el análisis de riesgos.

### 2.2.1. Fase 1: Inicio o preparación

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 conformado por especialistas de la empresa que posean conocimientos generales sobre el tema.

En este espacio, inicialmente, se determina la cantidad necesaria de expertos y se realiza la selección de acuerdo a las competencias necesarias para ejecutar las tareas que le serán asignadas. El grupo debe quedar integrado por personas que posean experiencia y conocimientos profundos en temas vinculados al mantenimiento y análisis de riesgo (teóricamente y en la entidad bajo estudio). Posteriormente se determinan las necesidades de formación y se realizan las actividades formativas de ser necesarias; por último se define el modo de actuación. Para la determinación y selección de los expertos se emplea el procedimiento presentado por Hurtado de Mendoza Fernández [2003].

### **2.2.2. Fase 2. Realizar la jerarquía de la planta**

En esta fase se realiza la jerarquía de la planta la cual facilita la identificación de las funciones, los mecanismos de degradación y los fallos del equipamiento. Este es un prerrequisito para una valoración eficiente del riesgo y para la planificación del mantenimiento y la inspección, ya que en la misma se pueden observar las secciones controlables. El desarrollo de esta fase puede desarrollarse a través de la llamada “Hoja de trabajo del FMEA” (ver tabla 2.1). De manera general este levantamiento debe comprender los elementos que se detallan a continuación.

#### **1. Desglose funcional**

En este apartado el primer paso es definir una jerarquía técnica para los equipos de la planta. La jerarquía técnica es un desglose jerárquico de la planta. El siguiente paso será definir las funciones de cada uno de los elementos dentro de la jerarquía establecida.

Al definir la función en cada nivel en la jerarquía técnica, para el caso del análisis RBM (Risk-Based Maintenance o Mantenimiento Basado en el Riesgo), los niveles más utilizados son Sistema, Subsistema, Equipo, Componente o Elemento. El objetivo operacional de la función también debería ser definido (redundancia, ambiente, material utilizado, etc.). Cada función se describe con un verbo, un complemento, una operación estándar y un nivel de funcionamiento definido por el operador de la función. Si un elemento o componente tiene más de una función, se le podrían asignar subfunciones, las cuales pueden cubrir aspectos como:

- Integridad medioambiental
- Integridad estructural/seguridad
- Control/contenido/confort
- Protección
- Apariencia
- Economía/eficiencia



## **2. Modos de fallo**

Una vez que se ha establecido la jerarquía técnica y que las funciones de cada sistema, subsistema y componente han sido definidas, se deben identificar los modos de fallo. Un modo de fallo significa que un elemento o sistema no satisface o no funciona de acuerdo con la especificación, o simplemente no se obtiene lo que se espera de él; es cualquier estado donde una función definida no puede desarrollar su rendimiento estándar esperado. Una misma función podría tener uno o varios modos de fallo. Si la jerarquía técnica y las funciones han sido bien elegidas resultará sencillo listar los modos de fallo.

## **3. Causas de fallo**

Una causa de fallo es una razón potencial de un modo de fallo. La causa potencial de fallo se define como indicio de una debilidad del diseño o proceso cuya consecuencia es el modo de fallo. En el análisis, para cada modo de fallo, se deben listar todas las posibles causas de fallo. La lista de causas o riesgos de fallo puede estar asociada a modos de fallo incluidos en el programa de mantenimiento actual, a modos de fallo que se han observado en las instalaciones en el pasado o a modos de fallo que no han sido nunca observados en la planta. La identificación de riesgos involucra la consideración rigurosa de todas las situaciones en las que potencialmente exista la posibilidad de un fallo, seguida por un análisis detallado de la combinación de secuencias de eventos que pueden transformar este potencial en un verdadero accidente funcional. Las causas o riesgos relacionados deben ser lo más concisos y completos posibles, de modo que las acciones correctoras y/o preventivas puedan ser orientadas hacia las causas pertinentes.

Se debe tener en cuenta que los fallos más importantes son a menudo aquellos para los que no está preparada una organización. La metodología RBM busca prever estos fallos. La lista de causas o riesgos de fallo deberá incluir todas las causas o riesgos probables para identificar los modos de fallo, incluyendo aspectos como desgaste o deterioro, impacto de los factores humanos, diseño, etc. Los factores humanos son muy importantes ya que la falta de preparación o incluso el desconocimiento son una fuente muy importante de fallos.

La identificación efectiva de riesgos depende en gran medida del grado de conocimiento y experiencia que tenga el grupo evaluador, y el uso de métodos sistemáticos hacen que ese conocimiento y esa experiencia sean adecuadamente aplicadas. En el epígrafe 1.3.2 fueron expuestas las diferentes técnicas que pueden ser utilizadas para realizar la identificación de los riesgos.

#### 4. Efectos del fallo

Suponiendo que el fallo potencial ha ocurrido, en este aspecto se describirán los efectos del mismo. Para cada Modo de Fallo, se deben determinar los efectos que este fallo produciría en el equipo y/o producción.

La descripción de estos efectos debe incluir toda la información necesaria para ayudar en la evaluación de las consecuencias de los fallas. Concretamente, al describir los efectos de una falla, debe hacerse constar lo siguiente:

- La evidencia que se ha producido un fallo.
- La manera en que la falla supone una amenaza para la seguridad o el medio ambiente.
- Las maneras en que afecta a la producción o a las operaciones.
- Los daños físicos causados por la falla.
- Qué debe hacerse para reparar la falla.

Los efectos corresponden a los síntomas, generalmente hacen referencia al rendimiento o prestaciones del sistema. Cuando se analiza una parte o componente se tendrá también en cuenta la repercusión en todo el sistema, lo que ofrecerá una descripción más clara del efecto. Si un modo de fallo tiene muchos efectos, a la hora de evaluar, se elegirá el más grave, para esto los efectos de las fallas deben describirse como si no estuviera haciendo nada para impedirlos. Para la obtención de los efectos se utiliza frecuentemente el "Diagrama Causa-Consecuencia".

#### 2.2.3. Fase 3. Realizar el análisis de riesgo

Para el desarrollo de esta fase se propone el procedimiento específico que se muestra en la figura 2.2. Las etapas que conforman este procedimiento se detallan a continuación.

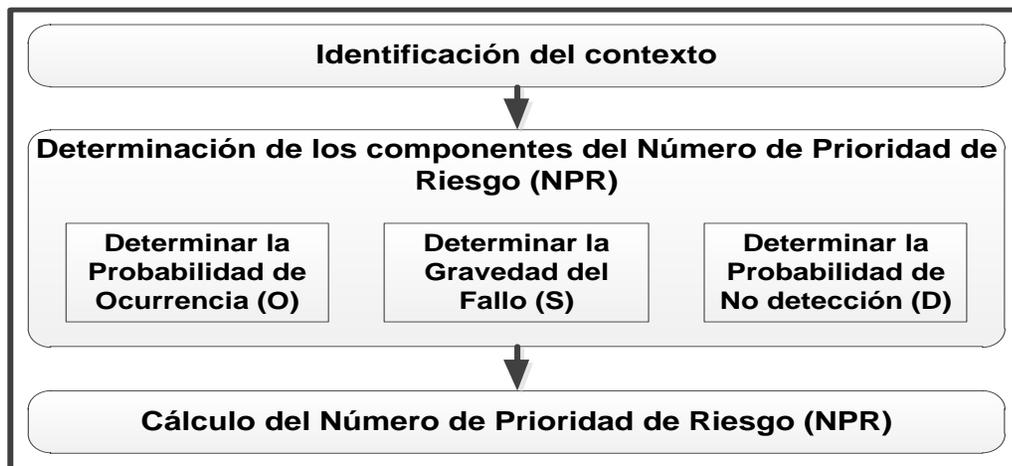


Figura 2.2. Procedimiento específico para la determinación del NPR.

**Etapa 1. Identificación del contexto**

Esta etapa consiste en la identificación del es el entorno donde funciona el equipo, el régimen de operaciones al cual estará sujeto el activo, como primera etapa del análisis de riesgo, dando a conocer algunos de los parámetros básicos dentro de los cuales deben administrarse los riesgos de la entidad, para esto se parte de los resultados obtenidos del grupo de experto en el área. Se realizan además entrevista al personal de la entidad que pueda ofrecer información detallada al respecto, lo cual reviste singular importancia para el resto del proceso.

**Etapa 2. Determinación de los componentes del Número de Prioridad de Riesgo (NPR)**

A partir de los riesgos identificados en la fase 2, en esta etapa se realiza un análisis minucioso de los mismos. A continuación se describen los pasos para realizar este análisis.

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

Ocurrencia se define como la probabilidad de que una causa específica se produzca y dé lugar al modo de fallo. El índice de ocurrencia representa más bien un valor intuitivo más que un dato estadístico matemático, a no ser que se dispongan de datos históricos de fiabilidad o se haya modelado y previsto éstos. En esta columna se pondrá un valor de probabilidad de ocurrencia de la causa específica.

Tal y como se acaba de decir, este índice de frecuencia está íntimamente relacionado con la causa de fallo, y consiste en calcular la probabilidad de ocurrencia en una escala del 1 al 10, la misma se puede clasificar en alta, media-alta, media, media-baja y baja, como se describe en la tabla 2.2 que se puede ver a continuación.

**Tabla 2.2. Cuadro de clasificación de la probabilidad de ocurrencia**

Criterio	Contenido	Valor
Alta		
Media-Alta		
Media		
Media-Baja		
Baja		

Cuando se asigna la clasificación por ocurrencia deben ser consideradas dos probabilidades:

- La probabilidad de que se produzca la causa potencial de fallo. Para esto deben evaluarse todos los controles actuales utilizados para prevenir que se produzca la causa de fallo en el elemento designado.
- La probabilidad de que, una vez ocurrida la causa de fallo, ésta provoque el efecto nocivo (modo) indicado. Para este cálculo debe suponerse que la causa del fallo y de modo de fallo son detectados antes de que el fallo se haga efectivo.

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

La gravedad del fallo está basada únicamente en los efectos del fallo. El índice de gravedad valora el nivel de las consecuencias y tiene como objetivo principal evaluar el impacto de los modos de fallo. Este proceso considera primero las implicaciones ambientales y de seguridad de cada modo de fallo evidente. Un modo de fallo tiene consecuencia para la seguridad si causa una pérdida de función u otros daños que pudiera lesionar o matar a alguien, y ambiental si condujera a la infracción de cualquiera normativa o reglamento ambiental conocido. El valor del índice crece en función de los elementos siguientes:

- La degradación de las prestaciones.
- La rapidez de aparición de la avería.
- El costo de la reparación.

El índice de gravedad o también llamado de severidad es independiente de la frecuencia y de la detección. Para utilizar unos criterios comunes en la empresa ha de utilizarse una tabla de clasificación de la severidad de cada efecto de fallo (ver tabla 2.3), de forma que se objetivice la asignación de valores de “S”.

**Tabla 2.3. Cuadro de clasificación de la gravedad o severidad de fallo**

Criterio	Contenido	Valor
A _ Ínfima.		
B _ Escasa.		
C _ Baja.		
D _ Moderada.		
E _ Elevada.		
F _ Muy elevada.		

Como la clasificación de la consecuencia está basada únicamente en el efecto del fallo, todas las causas potenciales del fallo para un efecto particular de fallo, recibirán la misma clasificación de gravedad.

**Paso 3. Clasificación de la Probabilidad de no Detección (D)**

Este índice indica la probabilidad de que la causa y/o modo de fallo, supuestamente aparecido, llegue a ocurrir. Se define la "no-detección", para que el índice de prioridad crezca de forma análoga al resto de índices a medida que aumenta el riesgo. Tras lo dicho se puede deducir que este índice está íntimamente relacionado con los controles de detección actuales y la causa, y se puede clasificar en alta, media-alta, media, media-baja y baja, como se describe a continuación en la tabla 2.4.

Es necesario no confundir control y detección, pues una operación de control puede ser eficaz al 100%, pero la detección puede resultar nula si finalmente el fallo llega a ocurrir. Para mejorar este índice será necesario mejorar el sistema de control de detección, aunque por regla general aumentar los controles signifique un aumento del costo, que es el último medio al que se debe recurrir para mejorar la calidad. Algunos cambios en el diseño también pueden favorecer la probabilidad de detección.

**Tabla 2.4. Cuadro de clasificación de la probabilidad de no detección**

Criterio	Contenido	Valor
Alta		
Media-Alta		
Media		
Media-Baja		
Baja		

**Eta 3. Cálculo del Número de Prioridad de Riesgo (NPR)**

El Número de Prioridad del Riesgo (NPR) es una herramienta muy interesante para determinar las acciones prioritarias dentro de un conjunto. Por supuesto, esta herramienta es muy útil para determinar las acciones a realizar en mantenimiento.

Una vez establecidos los modos de fallo y los escenarios, el NPR puede ser evaluado fácilmente, siendo este el producto de la probabilidad de ocurrencia (O), la gravedad (S), y la

probabilidad de no detección (D) (ver expresión 2.1), y debe ser calculado para todas las causas de fallo. El NPR también es denominado IPR (Índice de Prioridad de Riesgo).

$$\text{NPR} = S * O * D \quad (2.1)$$

El valor resultante del cálculo del NPR permitirá priorizar la causa potencial del fallo para posibles acciones preventivas, resultando críticas aquellas con mayores puntuaciones resultantes. Para ello será necesario definir el límite de aceptación del mismo, lo cual es decidido por el grupo de expertos encargado de desarrollar el estudio de riesgo.

#### 2.2.4. Fase 4. Evaluación de riesgos

A partir de los valores del Número de Prioridad del Riesgo obtenidos en la etapa anterior se puede catalogar el riesgo en función del rango donde se encuentre este indicador, según se muestra en la tabla 2.5.

**Tabla 2.5. Niveles de riesgo del fallo**

Nivel de riesgo	Ranking del NPR
Muy alto riesgo: el fallo provoca riesgos a la operación segura del sistema y/o incumplimiento de requisitos legales.	Más de 150
Alto riesgo o no deseable: alto riesgo de que el fallo provoque la insatisfacción del cliente. El sistema se torna inoperable. El fallo no involucra riesgos a la seguridad operacional o incumplimientos de requisitos legales.	60 a 150
Riesgo aceptable: el fallo provoca apenas pequeños trastornos al cliente. Se notarán probablemente leves variaciones en el desempeño del sistema.	40 a 60
Riesgo marginal: el fallo no tendrá efecto real en el sistema; probablemente no se nota el fallo.	1 a 40

**Fuente: trabajo del grupo de expertos.**

En el desarrollo de esta tabla se trabaja de conjunto con personal experimentado, que posee conocimientos sobre la influencia de los fallos en el desempeño operacional del sistema. Para realizar la valoración del riesgo una de las técnicas más empleada en la literatura la constituye la Matriz de Riesgo. Esta se puede utilizar como herramienta de apoyo a la decisión cuando se analiza el riesgo asociado a los diferentes modos de fallo.

En la Matriz de Riesgo la Probabilidad de ocurrencia (O) se dibuja en el eje de las ordenadas y la Gravedad del Fallo (S) en el eje de las abscisas. Si se divide el diagrama de riesgo en una

red mayada, se obtiene una Matriz de Riesgos con niveles de frecuencias de fallos, en el eje de ordenadas y niveles de consecuencias, en el eje de abscisas, como se muestra en la figura 2.3.

		CONSECUENCIAS					
		A	B	C	D	E	F
P R O B A B I L I D A D	Alta						
	Media alta						
	Media						
	Media baja						
	Baja						

Figura 2.3. Matriz de Riesgo resultante del trabajo con expertos.

Sobre la matriz se debe definir el perfil de riesgo que se está dispuesto a aceptar para lo cual se trazará una línea que marcara dicho límite de aceptación. Es común realizar la división de la matriz por colores para su fácil manejo, como se describe a continuación, a través del criterio de los expertos en el área analizada:

- El color rojo (zona H) corresponde a los fallos que tienen consecuencias inadmisibles ya sea por la severidad de las mismas o por la probabilidad de ocurrencia, o sea, zona de muy alto riesgo. Por lo tanto no se permite la ocurrencia de un fallo cuyo riesgo quede en esta zona y debe de eliminarse o disminuir su frecuencia de aparición. Esta zona constituye la zona de mayor prioridad de actuación.
- El color naranja constituye la zona “S” donde están los fallos con un riesgo indeseable y solamente tolerable si no se puede realizar ninguna acción para reducir el riesgo o si el costo de lograrlo es desproporcional a lo que se logre reducir.
- El color amarillo (zona M) representa los fallos con riesgos aceptables debido a que la relación riesgo-costo en esta zona es óptima.
- La zona de color verde (zona L) se corresponde con los fallos de riesgos marginales, donde se está dispuesto a aceptar mayores riesgos dado que, por lo general, estos fallos son imperceptibles.

### 2.2.5. Fase 5. Planificación del mantenimiento

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

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

#### **Etapas 1. Determinación del tipo de mantenimiento a aplicar al componente asociado al modo de fallo correspondiente**

A partir de los resultados obtenidos en la Matriz de Riesgo se podrá proponer el tipo de mantenimiento que se debe aplicar al componente asociado al modo de fallo correspondiente. En la figura 2.4 se presenta el algoritmo propuesto para desarrollar este proceso de toma de decisiones. Los tipos de mantenimiento propuestos deben tener como objetivo descubrir el desarrollo de los fallos lo antes posible con el fin de maximizar el tiempo de respuesta antes de que ocurra el fallo.

Para la presentación de los resultados de la aplicación del procedimiento se propone emplear un modelo como el que se muestra en la figura 2.5. En este modelo se especifica el tipo de mantenimiento a aplicar para cada modo de fallo, en correspondencia con el nivel de riesgo asociado, los responsables de desarrollar este mantenimiento, la frecuencia con que debe desarrollarse; así como, se presentará el valor estimado del nuevo Número de Prioridad de Riesgo que se debe alcanzar luego de aplicada esta acción, analizando si este se encuentra dentro del límite permisible establecido. Esta estimación del NPR mejorado se obtiene según lo especificado en la etapa 4, evaluando cómo influye, en cada uno de los índices que lo componen, la acción de mantenimiento propuesta para el modo de fallo analizado.

#### **Etapas 2. Realizar la programación del mantenimiento**

El objetivo fundamental de esta etapa radica en realizar la programación del tipo de mantenimiento seleccionado. Para llevar a cabo esta programación se agrupan conocimientos y experiencia suficientes para realizar un análisis efectivo sin gastar demasiados recursos ni realizar reuniones innecesarias. La programación del mantenimiento es una etapa cardinal en el procedimiento general ya que en ella se definen elementos cruciales para el adecuado desempeño del sistema de mantenimiento. A continuación se profundiza en los elementos a considerar en esta etapa.

- Se deben describir las tareas de rutina de forma clara y consistente, para que no quede ninguna duda acerca de lo que debe ser hecho. El grado de detalle requerido estará en dependencia de la experiencia y las habilidades generales de las personas involucradas en su realización.

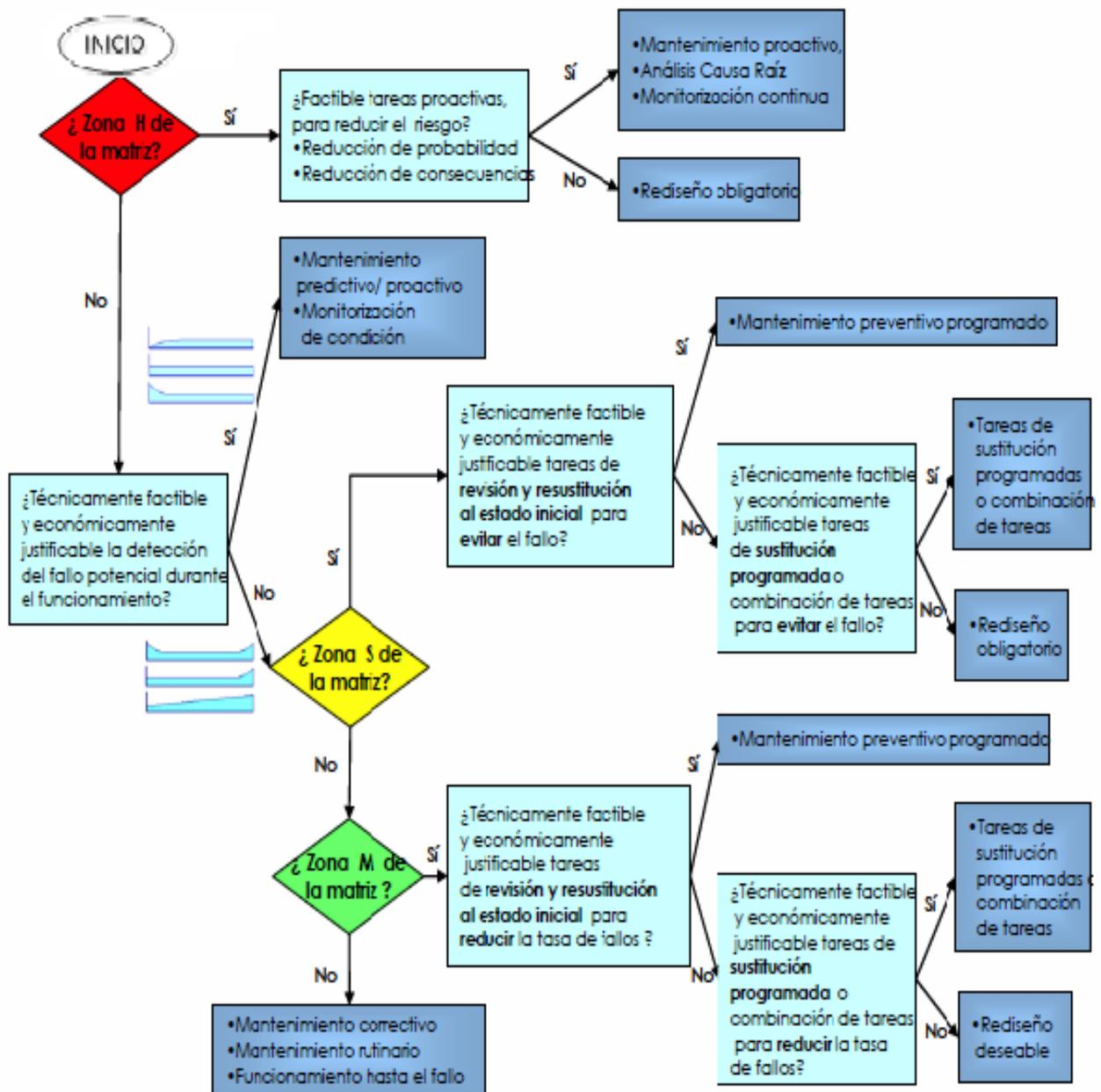


Figura 2.4. Diagrama de decisión para seleccionar el tipo de mantenimiento.

Fuente: adaptado de García González-Quijano, 2004.

		Evaluación														Tipo de mantenimiento	A realizarse por	Intervalo inicial	NPR mejorado			
		Inicial				Seguimiento				Fecha de evaluación												
		Actual				Anterior				Probabilidad		Consecuencia							Evaluación del riesgo			
		A	MA	M	MB	B	A	B	C	D	E	F	L	M	S				H	S	O	D

Figura 2.5. Modelo para presentar los resultados del Análisis de riesgo.

- Se identificarán las acciones de cambios a realizar respecto a la manera de realizar el mantenimiento actualmente en cada equipo analizado.
- Se incorporarán los cambios en las tareas de rutina y en procedimientos operativos en el grupo de tareas apropiado.
- Se especificará quién debe realizar cada tarea; así como, las herramientas y repuestos prescritos.

Se debe asegurar que las tareas se hagan y que cualquier falla potencial que se encuentre sea rectificadas antes que se vuelva una falla funcional; además, que las fallas funcionales ocultas sean rectificadas antes que una falla múltiple tenga posibilidades de ocurrir. Esto significa que toda persona que pudiera descubrir una falla potencial o funcional debe tener acceso irrestricto a un procedimiento que sea simple, confiable y directo para reportarlos de inmediato a quien los deba reparar.

Una vez que los procedimientos de mantenimiento hayan sido completamente especificados, deben ser agrupados de manera que puedan ser programados y organizados sin demasiada dificultad, y se puedan planificar los recursos (humanos y materiales) de manera prolija y compacta.

Al finalizar un análisis de riesgo, por lo general una parte de los modos de falla implican un rediseño, esto implica realizar cambios en alguna de las dos áreas siguientes:

- Un cambio en la configuración física de un activo o un sistema.
- Un cambio en las capacidades de una persona, generalmente por capacitación.

Una vez que se decida realizar estos cambios, deben ser implementados tan rápido y responsablemente como sea posible. Los puntos fundamentales en cada una de estas áreas se detallan a continuación:

#### Cambios en la configuración física:

- *Justificación adecuada.* Estos cambios deben de justificarse en términos de consecuencia. Las modificaciones introducidas para atacar fallas simples o múltiples que tienen consecuencias sobre la seguridad o el medio ambiente deben reducir los riesgos (frecuencia y/o severidad) de las consecuencias a un nivel que sea tolerable.
- *Diseñadas correctamente.* Como regla, no debe intentarse realizar el rediseño del activo durante el proceso, pero se deberá consultar con las personas que realizó el análisis para desarrollar una especificación correctamente enfocada.
- *Implantación adecuada.* Deben seguirse ciertos pasos que aseguren que las modificaciones se están llevando a cabo de la forma en que se proyectaron, en términos de tiempo, costo y

calidad, y que todos los diagramas, manuales y listados de componentes han sido correctamente actualizados.

- *Dirigidos adecuadamente.* Las modificaciones no deben interferir con las actividades esenciales del mantenimiento de rutina en otras partes de la planta, y deben evaluarse e implementarse de manera adecuada los requisitos de mantenimiento de cada uno de los ítems del equipo que se modificó.

#### Cambios en las capacidades de las personas

Estos cambios revelan frecuentemente ciertos modos de falla causados por deslices u omisiones de parte de los operarios o gente de mantenimiento (errores humanos basados en las capacidades). Esto se vuelve visible inmediatamente a cualquier operario o persona de mantenimiento que participa directamente del proceso, haciendo que modifique apropiadamente su comportamiento tan pronto como aprende de qué es lo que está haciendo mal.

De cualquiera forma, también se necesita asegurar que la gente que no participó directamente del proceso adquiera las capacidades pertinentes. En la mayoría de los casos, la forma más eficiente de hacer esto es revisando o extendiendo los programas de capacitación existentes, o directamente desarrollando programas nuevos, de conjunto con el área de Capital Humano de la empresa.

#### **Etapas 3. Definir los intervalos de intervención**

En esta etapa se van a precisar los intervalos de intervención del mantenimiento, o sea, la frecuencia con la cual se debe realizar cada tarea propuesta. Para ello se debe realizar un estudio de la estadística histórica de fallos en aras de decidir los intervalos más idóneos a cada acción planteada, de manera que se garantice un funcionamiento adecuado y un mantenimiento lo más efectivo posible.

Para el procesamiento de los resultados de los intervalos, se pueden utilizar métodos estadísticos o software como el Bestfil, el Ensayed, el RMES, el Raptor, el Blocksim, y el Relex.

#### **Etapas 4. Cálculo del Número de Prioridad de Riesgo Mejorado (NPRM)**

El NPR se apoya en el llamado método GOD (SOD según definiciones), el cual separa las diferentes acciones a realizar según su Gravedad (Severidad), Ocurrencia y posibilidad de Detección. Una vez llevadas a la práctica las acciones preventivas propuestas para cada modo de fallo, se debe revisar el FMEA, simplemente valorar nuevamente la Gravedad, la Ocurrencia y la Detección. Esto debe ofrecer un valor de NPR más bajo y dentro de unos patrones de seguridad, dígame, un valor por debajo de 60.

### 2.3. Conclusiones parciales

1. La metodología propuesta para la toma de decisiones vinculada a la selección del sistema de mantenimiento, permite llevar a cabo los procesos complejos que estos incluyen de forma relativamente sencilla (parsimonia), siendo transparente, inclusiva y relevante.
2. El procedimiento propuesto para el análisis de riesgo constituye una novedad en este campo, al permitir el análisis de los riesgos del sistema de mantenimiento y establecer estrategias para un mejor funcionamiento de los fallos a través del cálculo del NPR.

# *Capítulo 3.*

### **Capítulo III. Aplicación del procedimiento propuesto para la toma de decisiones vinculada a la selección del tipo de mantenimiento**

A partir de la lógica específica con que fue enfocada la solución al problema científico, caracterizado y fundamentado en la introducción de esta Tesis, se decidió orientar la comprobación práctica hacia el análisis detallado de la selección del tipo de mantenimiento a aplicar en la UEB “Elpidio Sosa” de la Electroquímica de Sagua la Grande, Villa Clara.

#### **3.1. Caracterización de la UEB “Elpidio Sosa”**

La planta Química Ligera está ubicada en la UEB Elpidio Sosa, perteneciente a la empresa Electroquímica de Sagua. En esta planta se realizan producciones con destino a la industria, la hotelería y los hogares, entre los que se pueden mencionar la lejía, sulfumante, detesil, solución electrolítica, sosa envasada, PH-D, clorín -P, desincrustante de baños, urinario y multiuso, lejía tradicional y de pino, entre otras.

La creación de las redes recaudadoras de Divisas en todo el país y el aumento vertiginoso de estas tiendas y los crecimientos sostenidos que va teniendo la industria turística cubana ha obligado a la empresa a incluir en sus líneas de desarrollo la inserción rápida y sólida por parte de la institución.

Las producciones de la Química Ligera ocupan un lugar fundamental en los ingresos de la empresa Electroquímica de Sagua. El incremento de las ventas de estas producciones en el mercado de la hotelería y turismo, constituye un objetivo estratégico de la empresa en este año. La inserción en un mercado donde existe una amplia gama de productos competidores requiere obtener niveles de calidad, que igualen o superen los de la competencia.

La Empresa, que desde 1945 se dedica a este tipo de producción, en los últimos años ha potenciado estas producciones dedicadas en mayor medida al mercado interno en moneda nacional y a partir de definirse en años recientes dentro de las líneas de desarrollo del país el lograr que el mayor por ciento de los insumos de la industria hotelera, turística y de recaudación de divisas sea de procedencia nacional, se dio a la tarea de crear una infraestructura que potenciara esta actividad, esto ha permitido pasar de las dos producciones tradicionales, lejía y sulfumante, a la producción de más de 40 productos para distintos tipos de mercado, haciendo especial énfasis en los mercados antes mencionados.

La empresa identifica su misión como planificar, organizar, dirigir y controlar el proceso de producción según la política productiva, tecnológica y de calidad y de seguridad, salud y medio ambiente dictada por la empresa para los productos que produce; mientras que la visión se define como: ser un planta que satisfaga las expectativas de los clientes con productos químicos de calidad y reconocido prestigio, líder en el centro y occidente del país en la química

ligera. Para ello, consolidar a gestión total y la innovación tecnológica como recursos fundamentales de la competitividad y el desarrollo sostenible.

El objeto social de la empresa fue modificado en el año 2005 por medio de la Resolución 2124 del Ministerio de Economía y Planificación, y entre otros aspectos la empresa se dedica desde ese entonces, en lo fundamental, a: producir, transportar, distribuir y comercializar de forma mayorista, ácido clorhídrico, hidróxido de sodio (sosa cáustica), cloro líquido, hipoclorito de sodio, sulfato de aluminio, silicato de sodio sólido y líquidos, sulfato de sodio, hidrógeno y otros productos químicos comprendidos en las clases I, II, III y V, según el Clasificador Internacional de Productos y Servicios en moneda nacional y divisas. Además, se destina algún volumen de varias de las producciones a la exportación a países de Centro América y el Caribe.

A continuación, en la figura 3.1, se puede apreciar el organigrama de la empresa, donde se reflejan las diferentes direcciones y Unidades Empresariales de Base (UEB) encargadas de lograr un correcto funcionamiento de la entidad para cumplir con el objeto social que tiene la misma.

Con la finalidad de realizar sus actividades, la empresa cuenta con 637 trabajadores, de ellos 509 hombres y 128 mujeres. En la tabla 3.1 se muestra la información correspondiente a la plantilla de personal, distribuida por categoría ocupacional, además del número de plazas aprobadas y las que realmente se encuentran cubiertas.

**Tabla 3.1. Plantilla de personal de la entidad objeto de estudio**

Categoría	Plantilla de la empresa	
	Aprobada	Cubierta
Dirigente	36	32
Obrero	407	379
Técnicos	136	122
Administrativo	8	8
Auxiliar	96	96
Total	683	637

Dentro de los clientes principales de la empresa se encuentran: Acueductos, Termoeléctricas, Refinerías, Complejos lácteos, Conservas de vegetales, Bebidas y refrescos, Unión cervecera, Empresas del SIME, MINAZ, MINSAP, MINAGRI, MINFAR, MINIT, MINIL, Cadenas hoteleras, Comercializadoras de ITH y países como Guatemala y República Dominicana. Actualmente la empresa rebasa los 600 clientes con contratos.

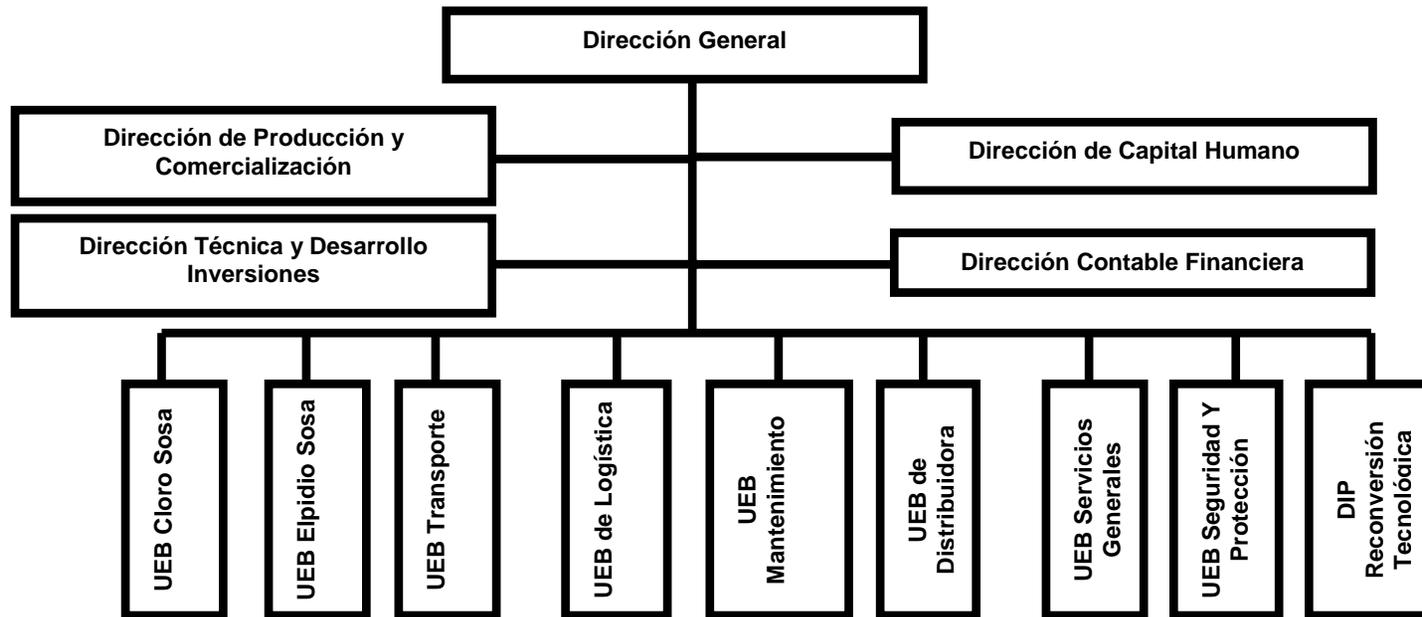


Figura 3.1. Organigrama de la empresa. Fuente: documentación de la entidad

### 3.1.1. Caracterización del área de mantenimiento de la empresa

La UEB de mantenimiento tiene como misión planificar y ejecutar el plan anual al equipamiento industrial, el plan de piezas de repuesto, así como garantizar el mantenimiento, conservación, lubricación y/o brindar un servicio de engomado de las piezas.

La estructura organizativa del área está conformada por los departamentos siguientes:

- Taller de mecánica
- Taller de electricidad
- Taller de instrumentación
- Taller de civil
- Taller de pailería
- Taller de la goma

La UEB cuenta con una plantilla aprobada de 64 trabajadores, la cual, en estos momentos, se encuentra cubierta por 61, según se muestra en la tabla 3.2.

**Tabla 3.2. Plantilla del personal del área de mantenimiento**

Categoría	Plantilla aprobada	Plantilla cubierta
<b>Obreros</b>	50	47
<b>Dirigentes</b>	5	5
<b>Técnicos</b>	9	9
<b>Total</b>	64	61

**Fuente: documentación de la empresa.**

Actualmente la empresa cuenta con el sistema de mantenimiento MPP con el objetivo de establecer las formas de mantenimiento que se ejecutan, así como establecer cómo se debe realizar la elaboración, aprobación, ejecución y control del plan de MPP en la UEB. El Mantenimiento Preventivo Planificado se realiza mediante acciones, a intervalos predeterminados, con el propósito de reducir la posibilidad de que la condición técnica del equipo caiga por debajo de un nivel requerido de aceptabilidad y de seguridad para la integridad del mismo. Este sistema es planificado de dos formas:

**MPP por estadística:** sobre la base del análisis del comportamiento de las roturas (índice de efectividad) se establecen revisiones y reparaciones de equipos, sobre todo para los vinculados directamente a la producción a fin de prevenir posibles averías y roturas a la vez de garantizarles un correcto funcionamiento o conformándose con ellos el Plan Anual de MPP.

**MPP por horas corridas:** de acuerdo con el reporte de horas trabajadas por los equipos fundamentales emitidos por el área de operación y con los ciclos establecidos se decide por los Inspectores de Mantenimiento incorporándolas al Plan Operativo Mensual de MPP.

Una vez definidas la forma de planificar el MPP, los técnicos de las diferentes especialidades, teniendo en cuenta la complejidad, importancia, comportamiento y los resultados de las inspecciones realizadas a los equipos, establecen los periodos en que se le va a dar cada tipo de mantenimiento que consisten en diferentes ciclos:

**Revisiones:** consisten en la observación del equipo en funcionamiento a fin de detectar alteraciones del funcionamiento y corregirlas de ser posible y en caso contrario informarlo al Jefe de los Servicios correspondientes para la toma de una decisión al respecto.

**Mantenimiento pequeño:** se realizan cambios de algunos componentes de corta vida, se cambian lubricantes y se eliminan los defectos detectados durante la operación, como salideros de agua, lubricantes y gases, limpieza de las superficies de calentamiento, revisiones de sistemas de regulación y protección, revisión ligera de partes eléctricas, como interruptores, etc., así como tomar información para próximos mantenimientos.

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

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

**Mantenimiento capitalizable:** está determinado tanto por la fuente de financiamiento (cuando proviene de la amortización del medio básico), como por el alcance del mismo el cual debe restablecer la capacidad y eficiencia del equipamiento. Se realiza de manera integral participando todas las especialidades. Los gastos de esta forma de mantenimiento no gravan el costo de producción.

El propósito fundamental del plan anual de MPP es prever con suficiente antelación los trabajos a realizar, para elaborar los presupuestos de gastos y gestionar los recursos materiales y humanos necesarios para la ejecución del mismo. Los planes de MPP están dirigidos a garantizar:

- Satisfacer las necesidades del plan de producción.
- Las necesidades técnicas reales que presentan los equipos.

- Las normas técnicas de tiempo y de recursos establecidos.
- Los volúmenes reales de trabajo necesarios a realizar.
- Las acciones para eliminar las principales causas que provocan los tiempos perdidos en la producción, la baja calidad inservible o rechazada de los productos, así como los desperdicios de materias primas, materiales, energéticos y afectación al medio ambiente provocado por equipos defectuosos.

Para la ejecución del plan de MPP los jefes de brigadas son los máximos responsables de que los operarios ejecuten en cada MPP todas las acciones que se establecen en las Instrucciones Técnicas de Mantenimiento de los equipos así como que se cumpla con lo establecido en el procedimiento.

Para la elaboración del Plan de Mantenimiento Mensual Operativo se estructura y organiza para brindar la respuesta adecuada a las necesidades de las diferentes áreas, fundamentalmente la productiva. Para su elaboración se tiene en cuenta lo siguiente:

- Plan de MPP.
- Solicitudes de trabajo de las diferentes áreas.
- Plan de piezas de repuesto.
- Planes o mejoras.
- Plan de conservación.
- Plan de desarrollo técnico.
- Plan de inversiones.
- Planes de medidas de las inspecciones de los diferentes niveles y órganos rectores, auditorías internas, técnica y de certificación, etc.
- Los inventarios de riesgos de las diferentes áreas.
- Los señalamientos de los inspectores de mantenimiento.

De estos planes se extraen las actividades a ejecutar en el periodo en cuestión y se les da un tratamiento similar al Plan Anual de MPP. Las solicitudes de trabajo de las diferentes áreas o unidades organizativas son entregadas por los directores de las UEB y recepcionadas por el director de la UEB Mantenimiento. Las solicitudes se evalúan por el personal técnico, estableciéndose los volúmenes de trabajo, materiales, mano de obra a utilizar y se definen los trabajos previos o preparatorios a realizar de ser necesarios. Una vez que se cuente con los recursos para acometer el trabajo se debe incluir este en los planes de trabajo de las áreas implicadas y proponer su fecha de cumplimiento. En caso de incumplir con esta fecha se da a conocer al área implicada el motivo del incumplimiento.

El director de mantenimiento en coordinación con los jefes de áreas de mantenimiento sobre la base anterior determina las actividades a ejecutar en el mes próximo y las informa a los jefes de talleres antes del día 20 de cada mes, sobre esta base y tomando en cuenta las actividades que los mismos puedan tener pendientes de ejecutar así como los señalamientos de los inspectores de mantenimiento de los defectos a corregir en los equipo e instalaciones que fueron sometidos a inspección en el mes anterior, los inventario de riesgos, etc.

### **3.1.2. Deficiencias principales del sistema de mantenimiento actual**

El empleo del sistema de mantenimiento utilizado actualmente en la entidad ha arrojado la existencia de varias deficiencias, las cuales son especificadas a continuación MINDUS [2013]:

- En ocasiones el mantenimiento no se realiza con la mejor calidad.
- Bajo incumplimiento de la planificación de la demanda de las piezas de repuesto, provocando ruptura de stocks dando como consigo que no se encuentre en el momento necesario.
- Irregularidades en la existencias y llegada a tiempo de la piezas de repuesto que provienen del exterior, debido principalmente a una gestión de compras deficientes y a la falta de financiamiento en determinadas ocasiones.
- No se realizan diagnósticos acertados de los fallos debido a la carencia de equipos de inspección
- Elevados costos de mantenimiento

### **3.2. Aplicación práctica del procedimiento propuesto**

Como ya fue expresado anteriormente, a continuación se presentan los principales resultados de la aplicación del procedimiento general y el procedimiento específico elaborado para facilitar el procedimiento de toma de decisiones para el análisis de riesgo, partiendo de que este personal debe tener experiencia y conocimiento sobre el tema que se está investigando. Para alcanzar el objetivo de esta etapa es necesario utilizar técnicas de trabajo en grupos, siendo la tormenta de ideas o Brainstorming una de las más usadas, participando en él un grupo de expertos. Las actividades planificadas fueron: entrevistas, revisión de documentos de la entidad y reuniones del equipo.

### **3.3. 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 los seis especialistas que se muestra en la tabla 3.3.

**Tabla 3.3. Grupo de expertos involucrados en el estudio**

Cargo que ocupa	Años de experiencia
Especialista B en Mantenimiento Industrial	11
Especialista en PHT	24
Jefe Mantenimiento	14
Mecánico A	22
Electricista B	18
Jefe de Producción	22

### 3.4. Fase 2: Realizar la 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 (en el anexo 3 se muestra el modelo utilizado en la empresa para realizar dicho resumen), donde se especifican los imprevistos presentados en el período. En el anexo 4 se muestra el resultado obtenido después de haber realizado la jerarquía de la planta para una muestra de los equipos seleccionados por el grupo de especialistas. En la tabla 3.4, se muestra el equipamiento seleccionado y el estado técnico de su equipamiento según el resultado obtenido en el diagnóstico de la Gestión de mantenimiento realizado siguiendo la metodología sugerida por el MINDUS [2013].

### 3.5. Fase 3: Realizar el análisis de riesgo

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

#### Etapa 1. Identificación del contexto

La entidad objeto de estudio posee un régimen de trabajo de un turno de ocho horas diarias por seis días la semana. Los trabajadores tienen el mínimo de condiciones garantizadas: merienda, almuerzo, ropa y calzado de trabajo, medios de protección individual, entre otros. De manera general, el equipamiento está expuesto a un ambiente corrosivo.

#### Etapa 2. Determinación de los componentes del análisis de riesgos

A partir de los riesgos identificados en la fase 2, se realiza un análisis minucioso de los mismos. A continuación se muestran los resultados obtenidos en los pasos de esta etapa.

Tabla 3.4. Equipamiento seleccionado para la aplicación del análisis de riesgo

Equipo	Cantidad	Modelo	Estado técnico
Bomba de hipoclorito	1	Vicarb	Regular
Etiqueteadora	1	SD-711	Regular
Maq. Llenado Rotatoria	1	MCS-502	Regular
Reactor Inoxidable	1	Criollo	Regular
Bomba de Diafragma	1	Vicarb	Regular
Mesa- estera de embotelladora	1	RT-717	Regular
Retractiladora	1	Easy-700	Regular
Reductor	1	X-100	Regular
Bomba de Sosa	1	P-220	Regular

### Paso 1. Determinación de la Probabilidad de Ocurrencia (O)

Los resultados obtenidos a través de la definición de los diferentes criterios y valor de probabilidad de la tabla 2.2 del capítulo II, muestran la evaluación hecha, en este caso, por el grupo de expertos previamente seleccionados (ver tabla 3.5).

Tabla 3.5. Cuadro de clasificación de la probabilidad de ocurrencia

Criterio	Contenido	Valor
<b>A</b> _Alta	El fallo es más frecuente ocurriendo cada tres meses aproximadamente.	10
<b>MA</b> _Media-Alta	El suceso ocurre en un período comprendido entre tres y cinco meses.	8-9
<b>M</b> _Media	El fallo tiene un período de ocurrencia de cinco a nueve meses.	5-7
<b>MB</b> _Media-Baja	El fallo ocurre en un período de nueve meses a un año.	2-4
<b>B</b> _Baja	El fallo ocurre una vez al año.	1

### Paso 2. Determinación 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 3.6, que se muestra a continuación.

Tabla 3.6. Cuadro de clasificación de la gravedad o severidad de fallo

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

### Paso 3. Determinación de la Probabilidad de No Detección

Al igual que en el paso 1 y 2, a continuación se muestran, en la tabla 3.7, los resultados obtenidos por el grupo de expertos de las descripciones de los diferentes criterios y su valor de probabilidad.

Tabla 3.7. Cuadro de clasificación de la probabilidad de no detección

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

### 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 todos los modos de fallo de cada uno de los equipos seleccionados por el grupo de especialistas se puede observar, junto con la jerarquía de la planta, en el anexo 4.

### 3.6. Fases 4 y 5: Evaluación de riesgos y determinación del tipo de mantenimiento

Una vez establecidos los modos de fallo y los escenarios, el riesgo se puede evaluar fácilmente. Para realizar la valoración del riesgo una de las técnicas más empleada en la literatura la constituye la Matriz de Riesgo. El anexo 5 muestra el resultado obtenido después de haber utilizado las figuras 2.4 y 2.5 respectivamente del capítulo II, este refleja la zona asociada a cada probabilidad y consecuencia de la matriz de riesgo obtenida a partir de los resultados obtenidos en los apartados anteriores, así como los resultados de la aplicación.

Al analizar los resultados obtenidos en el anexo 5 se puede observar que el 71% de los modos de fallo se le recomienda la aplicación del mantenimiento preventivo programado, el 10% un mantenimiento correctivo, el 13% un mantenimiento proactivo y el 6% predictivo. Para ello se procesaron los resultados haciendo uso de la herramienta Microsoft Excel (figura 3.2). Los resultados obtenidos se analizan a continuación:

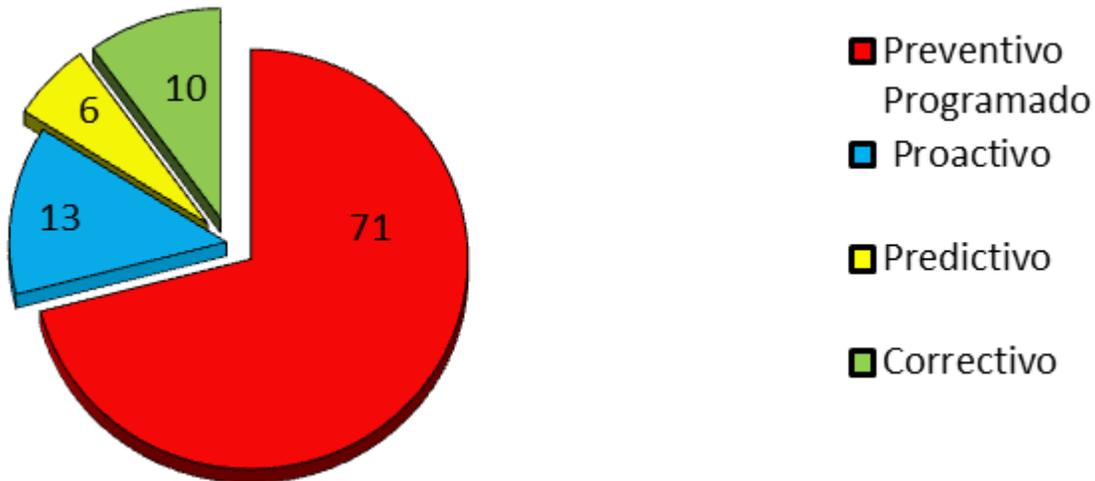


Figura 3.2. Distribución de los resultados obtenidos sobre el tipo de mantenimiento (%).

### Etapa 2. Realizar el programa de mantenimiento

Para realizar un programa de mantenimiento a un equipo es vital el disponer de un grupo de personas que cuenten con experiencia contrastada con este equipo, tanto en su mantenimiento como en su funcionalidad, para esto es importante disponer de un coordinador del grupo, que

se encargue de establecer los objetivos y que defina los pasos a seguir. Para este estudio se ha elegido la retractiladora ya que es el equipo de mayor número de averías mecánicas y eléctricas. A continuación se detallan una serie de características que posee el mismo:

La retractiladora es un equipo de vital importancia para la producción y clasificándose el mismo como un equipo fundamental, el cual puede ser reparable, cuenta con otros sistemas como motores, resistencia, etc. En cuanto al consumo de energía gasta 2.6 MW/mes representando el 4% del consumo general de la UEB.

Después de identificados los tipos de mantenimientos de los equipos, se propone un plan de mantenimiento a la retractiladora, que se presenta a continuación:

#### **Sistema de desbobinaje y tensión del film**

- Revisar el reductor del rodillo motriz del desbobinaje del Film.
- Revisar el estado del rodillo motriz del sistema de desbobinaje superior.
- Revisar el estado de los rodamientos del rodillo loco de apoyo de la bobina de Nylon.
- Revisar el estado del mecanismo de tensión del Nylon.
- Revisar el estado de los rodillos que orientan el Nylon en la vertical.

#### **Sistema de empuje del paquete**

- Revisar el estado de las barras guías y su fijación.
- Revisar el estado de los bujes de teflón y del cuerpo así como su fijación.

#### **Sistema del movimiento de los paquetes por el túnel**

- Revisar el estado de la malla transportadora.
- Revisar el estado del rodillo motriz y de los rodamientos de apoyo del mismo .
- Revisar el estado del rodillo conducido.
- Revisar el estado del motorreductor de la malla Transportadora.
- Revisar el estado de las guías de teflón de la malla transportadora.

#### **Sistema de corte y soldadura del Nylon**

- Revisar el estado de las barras guías de acero cromado.
- Revisar el estado de los bujes guías de teflón y del cuerpo.
- Revisión del estado de la contrabarra y sustituirla en caso de ser necesario.

#### **Túnel de calentamiento**

- Revisar el estado y orientación de los deflectores guías de aire en el túnel de calentamiento.
- Revisar el estado de las cortinas a la entrada y salida del túnel de calentamiento y cambiarlos en caso de ser necesario.

- Detectar ruidos y vibraciones anormales en el funcionamiento del ventilador centrífugo.

### **Etapas 3. Definir los intervalos de intervención**

Para la certificación de los ciclos de mantenimiento de los equipos se realizó un análisis de la confiabilidad, para esto se utilizaron diferentes herramientas como los software Bestfil y Elsayed. Al analizar las horas de trabajo sin fallo del equipo (h/sin fallo) a través del Bestfil se obtiene que esta variable sigue una distribución Exponencial, resultado validado a través de la prueba de Kolmogorov- Smirnov como se muestra en el anexo 6. Los resultados del análisis de la confiabilidad a partir de las horas de trabajo sin fallo del equipo se muestran en el anexo 7. A partir de estos resultados, con un parámetro de 0.00234 y un 85% de confiabilidad, se obtiene que la cantidad aproximada de horas sin interrupciones por parte del equipo sea de 70; además, se muestran los intervalos de confianza, los gráficos de la distribución y la validación de la misma.

### **Etapas 4. Cálculo del Número de Prioridad de Riesgo Mejorado (NPRM)**

En el anexo 5 se muestra el NPRM, calculado a partir de la estimación realizada por los expertos de la influencia que debe tener cada acción de mantenimiento propuesta en cada uno de los índices que conforman el NPR. Para analizar si el número de prioridad de riesgo mejoró o no, una vez aplicada la alternativa propuesta en el procedimiento, se comparan los resultados del NPRM con el NPR.

### **3.7. Conclusiones parciales**

1. La aplicación del procedimiento general 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.
2. La puesta en práctica del procedimiento propuesto permitió determinar los tipos de mantenimiento más efectivos a aplicar a cada equipo, incluyendo los componentes principales que lo componen.

*Conclusiones.*

## Conclusiones

Como resultado de la presente investigación se pudo arribar a las siguientes conclusiones generales:

1. El análisis del estado del arte confirma la presencia de una amplia base conceptual vinculada a los tipos de mantenimiento y su filosofía; sin embargo, quedó evidenciada la carencia de herramientas metodológicas que apoyen y guíen el proceso para la selección del tipo de mantenimiento más efectivo a implementar a partir de análisis de riesgos asociados a la ocurrencia de los fallos.
2. El análisis de la situación problemática que fundamenta la presente investigación motivó la necesidad de desarrollar un procedimiento general para la toma de decisiones respecto al tipo de mantenimiento más adecuado para cada equipo que considere los elementos referentes al análisis de riesgo, dada la naturaleza de los productos que se manufacturan en la empresa objeto de estudio práctico de la investigación.
3. El procedimiento desarrollado como soporte al proceso de toma de decisiones relativo a la selección de la política de mantenimiento a aplicar al equipamiento productivo de la empresa objeto de estudio, a partir de la evaluación del Análisis de riesgo, conforma un cuerpo de elementos coherentes desde la perspectiva teórico-metodológica desarrollada por el autor para dar solución al problema científico planteado; a la vez que constituye un instrumento de gran valor que permite a los empresarios adoptar, desarrollar adecuadamente este proceso y potenciar competitivamente el conjunto de sus recursos y capacidades alrededor de la función de mantenimiento en la empresa.
4. La efectividad del procedimiento elaborado quedó demostrada mediante su aplicación en la organización objeto de estudio práctico de la investigación. Ello se evidencia en la definición del nivel de criticidad de los modos funcionales de los equipos a partir de la Matriz de Riesgo, la determinación de la política de mantenimiento a aplicar a cada uno de ellos en aras de disminuir los niveles de riesgos de fallo en los equipos de la planta, y logrando un mejoramiento del Nivel de Prioridad del Riesgo, quedando con ello comprobada la hipótesis general de la investigación.

*Recomendaciones.*

## RECOMENDACIONES

Con la intención de promover la realización de futuros trabajos, que atesoren el resultado de la presente investigación, se plantean las siguientes recomendaciones:

1. Propagar el procedimiento propuesto al resto de la empresa, analizando la factibilidad de su implantación, considerando las modificaciones que en cada caso pudieran ser necesarias.
2. Implementar un sistema de recopilación de la información relativo a los riesgos asociados a cada equipo y sus efectos, que potencie la eficacia del proceso de toma de decisiones.

# *Bibliografía.*

**BIBLIOGRAFÍA**

1. Aguilar del Oro, Y. [2012] "Procedimiento para la determinación del tipo de mantenimiento a partir del Análisis de Riesgo. Aplicación en la empresa mecánica Indalecio Montejo de Ciego de Ávila". Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de: Ingeniero Industrial, UCLV. Santa Clara, Cuba.
2. Ahuja, I.P.S y Kumar, P. [2009] "A case study of total productive maintenance implementation at precision tube mills". Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 15, No. 3, pp. 241–258. <http://www.emeraldinsight.com/journals.htm?articleid=1810638&show=pdf>. Consultado en febrero, 23, 2014.
3. Alfonso Llanes, A. [2009] "Procedimiento para la asistencia decisional al proceso de tercerización de la ejecución del mantenimiento". Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. UCLV. Santa Clara, Cuba.
4. Alkaim, J. L. [2003] "Metodologia para incorporar conhecimento intensivo às tarefas de Manutenção Centrada na Confiabilidade aplicada em ativos de sistemas elétricos". Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ingeniería de Producción. Universidad Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Brasil.
5. Alsyouf, I. [2004] "Cost Effective Maintenance for Competitive Advantages". Tesis en opción al grado científico de Doctor en Filosofía. Universidad de Vaxjo, Suecia.
6. Alsyouf, I. [2009] "Maintenance practices in Swedish industries: Survey results". International Journal of Production Economics. Vol. 121, No. 1, pp. 212–223. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527309001595>. Consultado en marzo, 2, 2014.
7. Amaris Arias, J. B. [2006] "Un modelo de gestión de mantenimiento hacia la excelencia". Ponencia presentada en el V Congreso Cubano de Mantenimiento. III CIMEI. Santa Clara, Cuba.
8. Antoniou, A. y Lu, W. [2007] "Practical Optimization: Algorithms and Engineering Applications". Editorial Springer Science, Universidad de Victoria, Canada. 669 p.
9. Arunraj, N.S y Maiti, J. [2010] "Risk-based maintenance policy selection using AHP and goal programming". Safety Science. Vol. 48, No. 2, pp. 238–247. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925753509001684>. Consultado en marzo, 5, 2014.
10. Arzuaga Churio, J.E. [2011] "Modelo de mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en la flota de equipos de oruga D11N de la empresa minera Drummond LTD". Tesis para optar por el título de especialista de gerencia de mantenimiento. Universidad de Santander. Australia.

11. Barone, G., Frangopol, D. M. [2014] "Reliability, risk and lifetime distributions as performance indicators for life-cycle maintenance of deteriorating structures". Reliability Engineering & System Safety. Vol. 123, pp. 21–37. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832013002706>. Consultado en febrero, 25, 2014.
12. Batista Rodríguez, C. [2000] "Contribución al diseño de un sistema de gestión de mantenimiento para los centrales azucareros cubanos". Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas. Universidad de Holguín. Cuba.
13. Bevilacqua, M.y Braglia, M. [2000] "The analytic hierarchy process applied to maintenance strategy selection". Reliability Engineering and System Safety, No. 70. pp. 71-83.
14. 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.
15. Borek, A., Parlikad, A. K., Webb, J., Woodall, P. [2014] "Introduction to Enterprise Risk Management". Total Information Risk Management". pp. 47–56. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780124055476000043>
16. Borroto Pentón, Y. [2005] "Contribución al mejoramiento de la gestión del mantenimiento en hospitales en Cuba. Aplicación en hospitales de la provincia Villa Clara". Tesis en opción al grado científico de Doctora en Ciencias Técnicas. UCLV. Santa Clara, Cuba.
17. Brennan, F. [2013] "Risk Based Maintenance for Offshore Wind Structures". 2nd International Through-life Engineering Services Conference (Procedia CIRP), Vol. 11, pp. 296-300. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212827113004940>. Consultado en marzo, 8, 2014.
18. Brown, A. S. [2014] "A Handbook for Clinical and Biomedical Engineers". Primera Edición. Elsevier. USA. 435 p.
19. Cardoso de Moraes, V. [2004] "Metodologia de priorização de equipamentos médico-hospitalares em programas de manutenção preventiva". Tesis en opción al grado académico de Máster en Ingeniería Biomédica. Universidad de Campiñas. Brasil.
20. Carnero, M. C. [2014] "Multicriteria model for maintenance benchmarking". Journal of Manufacturing Systems. Vol. 33, No. 2, pp. 303–321. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278612513001295>. Consultado en marzo, 4, 2014.
21. Christensen, C [2006] "Críticidad de equipos". [www.clubdemantenimiento.com.ar](http://www.clubdemantenimiento.com.ar) Última consulta: 16.11.2008.

22. Cotts, D. G., Roper, O. K., y Payant. R. P. (2010). "The facility management handbook". Tercera Edición. Business & Economics. USA. 436 p.
23. Da Silva Neto, J. C. y Gonçalves de Lima, A. M. [2002] "Implantação do Controle de Manutenção". Revista Club de Mantenimiento. No.10, Septiembre, 2002. [http://www.clubdemantenimiento.com.ar/r11t6\\_controle.htm](http://www.clubdemantenimiento.com.ar/r11t6_controle.htm). Consultado en marzo, 4, 2014
24. De la Paz Martínez, E. [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. UCLV. Santa Clara, Cuba.
25. De la Paz Martínez, E., [2011] "Estrategias y criterios en la función mantenimiento". Material del curso del mismo nombre. Especialidad Gestión de los Servicios Técnicos del Turismo. UCLV, Cuba.
26. De la Paz Martínez, E. y Espinosa Pedraja, R. [2006] "Desarrollo de un Sistema Integral de Mantenimiento en la Planta de Producción del Centro de Bioactivos Químicos de la UCLV". Ponencia presentada en el V Congreso Cubano de Mantenimiento. III CIMEI. Santa Clara, Cuba.
27. Diamantoulaki, I. y Angelides, 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
28. Dos Santos Mendes, A. L. [2002] "Gestão do valor nas operações de manutenção". Tesis en opción al grado académico de Master en Ingeniería de Producción. Universidad Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Brasil.
29. Duarte Herrera, A. [2006] "Estructuración del programa de confiabilidad para líneas de proceso conforme a la metodología de inspección basado en riesgo (RBI)". Trabajo de Diploma. Universidad Industrial De Santander.
30. Duvivier, D., Meskens, N., 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.
31. Espinosa Fuentes, F. F. [2006] "Metodología para inovação da gestão de manutenção industrial". Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ingeniería Mecánica. Universidad Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Brasil.

32. Faulin, J., Angel A. J., Sebastian, S. [2010]. "Simulation Methods for Reliability and Availability of Complex Systems". Springer Series in Reliability Engineering. New York. 316 p.
33. Fernández Llanes, R. [2011] "Procedimiento para determinar el tipo de mantenimiento a partir del Análisis de Riesgo". Trabajo de Diploma. UCLV. Santa Clara, Cuba.
34. Franco Romerio, Universidad de Genova. Les Risques Liés a la Libéralisation du Marché de L'électricité: Problématique et Solutions, 2000.
35. 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.
36. González Fernández, F. J. [2007] "Contratación avanzada del mantenimiento". Editorial Díaz de Santos, S. A. España. 260 p.
37. González Sardi, B. N. y Regueira Vásquez, P. H. [2009] "Nuevas técnicas de mantenimiento y revisión con equipos en servicio". XIII Encuentro Regional Iberoamericano de Cigré (ERIAC). Puerto Iguazú, Argentina.
38. Hastings, N. A. J. [2012] "Physical Asset Management". Springer Science. Australia. 370 p.
39. Herazo Aguas, Mauricio [2009] "Programa de Inspección Basado en el Riesgo (RBI) del sistema de tubería de la unidad de generación de Hidrógeno de la planta de Parafinas de la GRB-ECOPETROL S.A ". Trabajo de Diploma. Universidad Industrial De Santander.
40. 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, Cuba.
41. Hu, H. el al. [2009] "Risk-based maintenance strategy and its applications in a petrochemical". Journal of Loss Prevention in the Process Industries. Vol. 22, No. 4, pp. 392–397. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0950423009000114>. Consultado en febrero, 20, 2014.
42. Huerta Mendoza, R [2001] "El análisis de criticidad, una metodología para mejorar la Confiabilidad Operacional". Revista Club de Mantenimiento, No. 6. Consultado en febrero, 10, 2011 en [http://www.confiabilidad.net/art\\_05/RCM/rcm\\_8.pdf](http://www.confiabilidad.net/art_05/RCM/rcm_8.pdf).
43. Hurtado de Mendoza Fernández, S. [2003] "Criterio de expertos. Su procesamiento a través del método Delphy". <http://www.ub.es/histodidactica/Epistemolog%EDa/Delphy.htm> Última consulta: 21.01.2009.

44. Igba, J., Gibbons, P., Friis, J. [2013] "A Systems Approach towards Reliability-Centred Maintenance (RCM) of Wind Turbines". *Procedia Computer Science*, 2013 Conference on Systems Engineering Research. Vol.16, pp. 814 - 823. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877050913000860>. Consultado en febrero, 20, 2014.
45. ISO 9001 [2008] "Sistemas de gestión de la calidad — Requisitos". Suiza. Disponible en [www.iso.org](http://www.iso.org)
46. ISO 31 000 [2009] "Risk management — Principles and Guidelines". Suiza. Disponible en [www.iso.org](http://www.iso.org)
47. Jeira, C. y Gibson, P. [2004] "Las tendencias del mercado moderno. Outsourcing". KPMG Auditores Consultores Ltda. [http://www.kpmg.cl/documentos/Final\\_Presentacion\\_BPO\\_July\\_2004.pdf](http://www.kpmg.cl/documentos/Final_Presentacion_BPO_July_2004.pdf). Última consulta: 12.10.2005.
48. Kallen M.J., Kuniewski S.P. [2009] "Risk and decision analysis in Maintenance Optimization and Flood Management". Editado por IOS Press BV NieuweHemweg, Amsterdam, Holanda.
49. Kennedy, R. [2009] "Examen de los procesos de RCM y TPM". [www.mantenimientomundial.com/sites/mmnew/bib/notas/oim.asp](http://www.mantenimientomundial.com/sites/mmnew/bib/notas/oim.asp). Consultado en marzo 4, 2014.
50. Latino, R. J. [2009]. "Patient safety. The proact root cause analysis approach". CRC Press. Estado Unidos.
51. León Márquez, O. [2010] "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, Cuba.
52. Leong, T. K., Zakuan, N. [2012] "Quality Management Maintenance and Practices- Technical and Non-Technical Approaches". *International Congress on Interdisciplinary Business and Social Science 2012*. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol. 65, pp. 688 - 696. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877042812051701>. Consultado en marzo, 8, 2014.
53. Li, L. y Ni, J. [2009] "Short-term decision support system for maintenance task prioritization". *International Journal of Production Economics*. Vol. 121, No. 1, pp. 195–202. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527309001571>. Consultado en marzo, 8, 2014.

- 
54. Lofsten, H. [1999] "Management of industrial maintenance – economic evaluation of maintenance policies. *International Journal of Operations & Production Management*. Vol. 19, No 7 1999, pp. 716-737.
  55. Lust, T., Roux, O. y Riane, F. [2009] "Exact and heuristic methods for the selective maintenance problem". *European Journal of Operational Research*. Vol. 197, No. 3, pp. 1166–1177. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221708003081>. Consultado en marzo, 10, 2014.
  56. Madrigal J. B. [2014] *Introducción a la gestión de Riesgos Empresariales* Habana.
  57. Manzini. R., R. A., Hoang .P., Ferrari.E. [2010] "Maintenance for Industrial Systems". Springer Science. Estados Unidos.
  58. Mao, S., Jia, Y. [2013] "Construction of the A ring of halichomycin via a RCM strategy". *Tetrahedron Letters*. Vol. 54, No. 32, pp. 4343–4345. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040403913009830>. Consultado en febrero, 27, 2014.
  59. Martínez, I., Casares, M.I. [2011] "El proceso de gestión de riesgos como componente integral de la gestión empresarial". *DOSSIER, Boletín de Estudios Económicos*. Vol. LXVI - N.202, pp. 73-93, Universidad Autónoma de Madrid, España.
  60. Masayuki, M. [2009] "Manufacturing and Service Enterprise with Risk". *A Stochastic Management Approach*. Springer Science. Japón.
  61. Mindus, (2013) "Auditoría y Evaluación de la Gestión de la Calidad en el Mantenimiento Empresa "Electroquímica de Sagua". Cuba, abril 2013.
  62. Mobley, R. K. (2008). "Maintenance Engineering Handbook". The McGraw-Hill Companies. Séptima Edición. Estados Unidos.
  63. Mora Gutiérrez, L. A. y Pérez Peral, A. [2002]. "Control y medición internacional estandarizadas de la gestión y operación de mantenimiento industrial bajo la metodología terotecnológica RAM". Ponencia en el 2do Congreso Internacional de Mantenimiento ACIEM. Bogota. Colombia.
  64. Mora Gutiérrez, A. [2009] "Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios. Enfoque Sistemático Kantiano". Editorial AMG. Medellín. Colombia
  65. Moreno Escudero, E. D., Rubiano Sánchez, 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

- 
66. Moubray, J. M. [1997] "RCM II. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad". Segunda Edición. Ellmann, Sueiro y Asociados. España. 433 p.
  67. Muchiri, P., et al., [2010] "Development of maintenance function performance measurement framework and indicators". International Journal of Production Economics. Vol. 131, No. 1, pp. 295–302. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527310001726>. Consultado en febrero, 04,
  68. 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/>. Consultado en febrero, 24, 2014.
  69. Nakajima, S. [1991] "Programa de desarrollo del TPM. Implantación del Mantenimiento Productivo Total". Tecnologías de Gerencia y Producción, S. A. España. 423 p.
  70. Naveen, R. P., Babu, S. A. [2013] "RCM strategy-based entry into new crown ether/polyether macrocyclic systems derived from hydroxybenzaldehydes". Tetrahedron Letters. Vol. 54, no. 18, pp. 2255–2260. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040403913003225>. Consultado en febrero, 24, 2014.
  71. Nieto González, H. [2011] "Modelo de optimización para el mantenimiento proactivo de los equipos críticos de un tren de laminación en frío basado en RCM". Monografía para optar por el título de Especialista de Gerencia de Mantenimiento. Universidad de Santander.
  72. 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.
  73. Ortiz Machuca, C. [2012] "Identificación de riesgos ocupacionales para las actividades de mantenimiento y operación en los procesos de distribución de energía en el sector eléctrico". Trabajo de Diploma. Universidad Industrial De Santander.
  74. Parra Márquez, C. A., Crespo Márquez, A [2012]. "Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos. Desarrollo y aplicación práctica de un modelo de gestión del mantenimiento". España, INGEMAN.
  75. 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.
  76. Pérez Jaramillo, C. M. [2004] "El futuro del mantenimiento de la ingeniería de manufactura". Soporte y Cía. Ltda. <http://www.soporteycia.com.co/documentos/mtopasado1.doc>. Consultado en febrero, 12, 2014.

- 
77. Philipp Mundt, A. [2007] "Dynamic risk management with Markov decision processes". Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Matemáticas. Universität Karlsruhe. Karlsruhe, Alemania.
  78. Polo Salgado, L. [2011] "Procedimiento para determinar el tipo de mantenimiento a partir del Análisis de Riesgo. Aplicación en el Combinado de Productos Lácteos de Ciego de Ávila". Trabajo de Diploma. UCLV. Santa Clara, Cuba.
  79. Popescu, C., Eisenbach, J. [2007] "The Total Productive Maintenance concept and our concern". Proceedings of the 5th International Conference ICAMaT, pp. 313-316, Sibiu, Romania.
  80. Ramírez Castro, A, Ortiz Bayona, Z. [2011] "Gestión de Riegos tecnológicos basado en ISO 31000 e ISO 27005 y su aporte a la continuidad de negocios". Ingeniería, Vol.16, No.2, pág. 56-66.
  81. Recchia, L., et. al. [2011] "Multicriteria Analysis and LCA Techniques". Springer Science, Inglaterra.
  82. Rodríguez, M. [2003] "Manutencao industrial em Curitiba e cidades circunvizinhas: un diagnóstico atual". Tesis en opción al grado académico de Master en Tecnología. Centro Federal de Educacao tecnológica do Paraná. Curitiba. Brasil.
  83. 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 Bioactivos Químicos". Trabajo de diploma para optar por el título de Ingeniero Industrial. Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, Cuba.
  84. Rodríguez Machado, A., (2012) Manual de Gestión de Mantenimiento. A. Rodríguez Machado, A., Y. Borroto Pentón, y A. Alfonso Yanes/ UCLV, Cuba.
  85. 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.". Francisco de Orellana. Segunda Escuela Politécnica del Ejército. Sangolquí.
  86. Sexto, L.F. [2008] "La evaluación de tareas en un proceso de mantenimiento centrado en la confiabilidad". <http://www.mantenimientomundial.com> & blog Sostenibilidad & Mantenimiento <http://luisfelipesexto.blogia.com>.
  87. Sexto Congreso del P.C.C., (2011) Lineamientos de la Política Económica y Social del Partido y la Revolución. La Habana, Cuba.
  88. Seyedshohadaie, 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, No. 4, pp. 236–248. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0965856410000157>. Consultado en 6 de marzo, 2014.
89. Smith, David J. (2005). "Reliability Maintainability and Risk". Elsevier. Séptima Edición. 464p.
  90. Sondalini, M. [2002] "Win Production and manufacturing over to doing better maintenance with this new equipment criticality rating method that uses the real costs of production loss". Lifetime Reliability Solutions. 7 p. <http://www.lifetime-reliability.com/ABC%20Based%20Equipment%20Criticality.pdf> Última consulta: 18.01.2009.
  91. Sotuyo Blanco, S. [2001] "Optimización Integral de Mantenimiento (OIM)". Ellmann, Sueiro y Asociados. <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mmnew/bib/notas/oim.asp> Última consulta: 18.01.2009.
  92. Stapelberg, R. F. [2009]. "Handbook of Reliability, Availability, Maintainability and Safety in Engineering Design". Springer Science. Australia. 827 p.
  93. Stefano, L. [2006] "Maintenance global service contracts: a guide to develop maintenance management strategies and performance indicators". Tesis en opción al grado de Especialista en Administración de la Ingeniería. Universidad de Pisa. Italia.
  94. Swanson, L., [2001]. Linking maintenance strategies to performance. International Journal of Production Economics 70, 237–244.
  95. Tavares, L. A. [1999] "Administración Moderna de Mantenimiento". Edición primera. Editorial Novo Polo Publicações. Brasil.
  96. Tomlinsong, P. D. [2010]. "Equipment Management. Key to Equipment Reliability and Productivity in Mining". Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. (SME). Estados Unidos.
  97. Torres, J. [1997] "A MCC-Manutenção Centrada na Confiabilidade e o Capítulo-4 do Manual de directrizes da linha seg: Uma proposta para racionalização das tarefas e redução do custo de manutenção". II Seminario de Manutenção CEMAN, Brasil.
  98. Torres, L. (2005) El mantenimiento. Su implementación y Gestión. Edición segunda. Editorial Universitas. Córdoba, España.
  99. Velázquez Pérez, E. [2014] "Implementación del Sistema Alternativo de Mantenimiento en la empresa gráfica de Villa Clara". Tesis en opción al grado académico de Máster en Ingeniería Industrial. Santa Clara, Cuba.

- 
100. Villanueva Chang, J. [2012] "Impacto a la Norma ISO 31000 sobre técnicas para la evaluación efectiva de riesgos". Congreso Internacional de Finanzas y Auditoría -VII CIFA. Punta Cana, República Dominicana.
  101. Von Versen, P. [2012] "Manual de FMEA". <http://www.monografias.com/trabajos27/modos-fallo/modos-fallo.shtml>. Consultado en febrero, 24, 2014.
  102. Wang, L., Chu, J. y Wu, J. [2007] "Selection of optimum maintenance strategies based". International Journal of Production Economics. Vol. 107, No. 1, pp. 151–163. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527306002180>. Consultado en febrero, 24, 2014.
  103. Wang, W. [2010] "A model for maintenance service contract design, negotiation and optimization". European Journal of Operational Research. Vol. 201, No. 1, pp. 239–246. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221709001131>. Consultado en febrero, 25, 2014.
  104. Yssaad, B., Khiat, M., Chaker, A. [2014] "Reliability centered maintenance optimization for power distribution systems". International Journal of Electrical Power & Energy Systems. Vol. 55, pp. 108–115. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142061513003669>. Consultado en 6 de marzo, 2014.
  105. Zhang, L., J Hu, J. [2014] "Risk based opportunistic maintenance model for complex mechanical systems". Expert Systems with Applications. Vol. 41, No. 6, pp.3105–3115. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957417413008580>. Consultado en 6 de marzo, 2014.
  106. Zopounidis, C. y Pardalos, P. [2010] "Handbook of multicriterio analysis". Springer Science. Germany. 455 p.

*News.*

### Anexo 1. Definiciones de riesgos según varios autores

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

## Anexo 2. Continuación...

Universidad Nacional de Colombia	2001	Posibilidad de ocurrencia de aquella situación que pueda entorpecer el normal desarrollo de las funciones de la entidad y le impidan el logro de sus objetivos.
Fragoso	2002	Potencial de pérdidas que existe asociado a una operación productiva, cuando cambian en forma no planeada las condiciones definidas como estándares para garantizar el funcionamiento de un proceso o del sistema productivo en su conjunto.
Rodríguez, Frías C & Souquetc	2002	Probabilidad de que los precios de los activos que se tengan en un portafolio se muevan adversamente ante cambios en las variables macroeconómicas que los determinan.
Quirós	2003	El riesgo no es más que la probabilidad de ocurrencia de hechos y fenómenos internos y externos que pueden afectar el cumplimiento de los objetivos en la organización.
Federation of European Risk Management Associations (FERMA)	2003	El riesgo se puede definir como la combinación de la probabilidad de un suceso y sus consecuencias).
De la Fuente	2003	El riesgo es la incertidumbre acerca de un evento futuro asociado tanto a un resultado favorable como a un resultado adverso. Desde el punto de vista del análisis financiero, el interés es observar aquellos eventos que como resultado de la incertidumbre, producen pérdidas a una institución.
Universidad Nacional de Colombia	2004	El riesgo es una medida de incertidumbre que refleja hechos presentes o futuros que pueden ocasionar una ruptura en el flujo de información o incumplimiento en el logro de los objetivos organizacionales.
Dorta	2004	El riesgo es una posibilidad de sufrir una pérdida o no.

**Anexo 2. Continuación...**

Gonzalo Alonso	2005	Desde el punto de vista estadístico, el riesgo se define como la esperanza matemática de la pérdida.
Edwin Gutiérrez	2007	El riesgo es un término de naturaleza probabilística, que se define como “egresos o pérdidas probables consecuencia de la probable ocurrencia de un evento no deseado o falla”.
Hurtado Turiño	2007	Entiéndase por riesgo la existencia de contextos con resultados diferentes a los previstos, debido a la ocurrencia de un acontecimiento fortuito e incierto que en un momento dado podrá interponerse en el cumplimiento de las metas y objetivos trazados por la organización y que tendrá su origen en la interrelación de tres componentes esenciales: Severidad o magnitud. Frecuencia o incertidumbre de ocurrencia. Nivel de Riesgos.
Prieto Pérez	2008	El riesgo en si lleva la idea de Posibilidad de pérdida que implica posibilidades de pérdidas no compensadas con posibilidades de ganancias
Guillermo Cabanellas	2008	El riesgo es la contingencia, probabilidad, proximidad de un daño. Peligro.
Mejía Correa	2009	El riesgo es la combinación de la probabilidad de algún evento que ocurre durante un periodo de tiempo de interés y las consecuencias (generalmente negativas) asociadas con el evento
Meriño Amador	2011	El riesgo es valorado por una medida subjetiva de la gravedad de los efectos y una estimación de la probabilidad de ocurrencia por un periodo de tiempo predeterminado.
Romero Sánchez	2012	Es la probabilidad de ocurrencia de un suceso no deseado que puede ocasionar daños o perdidas.

**Fuente:** adaptado de Aguilar del Oro [2012].

## Anexo 2. Herramientas utilizadas para la evaluación del riesgo

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

Herramientas y técnicas	Proceso de evaluación del riesgo				
	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

Fuente: Elaborado por el Grupo de Trabajo sobre la ISO 31000-ISO 31010 de AGERS (Asociación Española de Gerencia de Riesgos y Seguros), 2011.



## Anexo 4. Resultados obtenidos de la Hoja de Trabajo del FMEA

HOJA DE TRABAJO DEL FMEA		ELEMENTO: Retractiladora		#	Realizado Por	FECHA			HOJA			
		COMPONENTE:		REF	Revisado Por	FECHA			DE			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS			S	O	D	NPR
1	El retractilado de una cantidad " X" de pomos y galones	A	Que no retractile	1	Fallo en el control de temperatura	Mal sellado del envase de plástico	7	7	6	294		
				2	Ruptura en una de las resistencias	Que se queme el nylon o el envase	6	5	3	90		
				3	Parada de estera	Que no se pueda desplazar el embase por la estera	6	6	3	108		
		B	Que retractile con baja calidad	1	Que se bloquee el sistema de seguridad	La parada de la retractiladora	7	8	7	392		

## Anexo 4. Continuación...

HOJA DE TRABAJO DEL FMEA		ELEMENTO: Bomba de hipoclorito		#	Realizado por:	FECHA			HOJA	
		COMPONENTE:		REF	Revisado por:	FECHA			DE	
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS				
						S	O	D	NPR	
1	Abastecer de Hipoclorito Química Ligera	A	No succiona hipoclorito	1	Que haga vacío la bomba	No descarga de hipoclorito	8	7	2	112
				2	Rotura del impelente	Que no succione Hipoclorito	8	6	4	192
				3	Disparo por sobre-consumo	Que no encienda el motor	7	4	5	140
				4	Motor quemado	Que no encienda el motor	7	3	4	84
				5	Ruido en cojinetes	Que pasada 2 horas se pueda parar el equipo	5	4	5	100

## Anexo 4. Continuación...

HOJA DE TRABAJO DEL FMEA		ELEMENTO: Etiquetadora		#	Realizado por:	FECHA		HOJA			
		COMPONENTE:		REF	Revisado por:	FECHA		DE			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS		S	O	D	NPR
1	El etiquetado de una " X" cantidad de pomos y de galones	A	Que se Etiquete con mala calidad los paquetes	1	Problemas en la estera	Que el paquete no se pueda desplazar al tope		6	4	2	48
				2	Falta de aceite en el cojinete del rodillo motriz	Que pasado una " X" cantidad de horas se rompa el rodillo		4	3	3	36
				3	Falta de aceite en los rodillos de soporte de la estera	Que pasado una " X" cantidad de horas se rompa el rodillo		4	4	3	48
		B	Que no se pueda Etiquetar	1	Que se bloquee el sistema de seguridad	La parada del sistema		7	5	7	245
				2	Rotura del reductor	La parada del sistema		7	5	3	105

## Anexo 4. Continuación...

HOJA DE TRABAJO DEL FMEA		ELEMENTO: Maquina de Llenado #		Realizado por:		FECHA		HOJA		
		Rotatoria		REF		Revisado por:		FECHA DE		
COMPONENTE:		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS				
FUNCIÓN						S	O	D	NPR	
1	Encargada del llenado de una cantidad " X" de pomos	A	Mal llenado de envases	1	Salidero de aire por el colector	Falta de productos en el envases	5	7	2	70
				2	Salidero de productos por el colector	Que no se desplaza el envases por la estera	6	7	2	84
				3	Tupición del filtro de entrada	Bajo rendimiento en la jornada productiva	7	5	4	140
				4	Rotura en el vástago	Que afecta a la jornada productiva	8	6	4	192
				5	Desgastes de oring	Que se deje de llenar producto por un vaso llenador	8	7	5	280
		B	No envases productos	1	Rotura en el reductor	La parada del mecanismo completo	9	5	3	135

Anexo 4. Continuación...

HOJA DE TRABAJO DEL FMEA		ELEMENTO: Reactor inoxidable		#	Realizado por:	FECHA		HOJA			
		COMPONENTE:		REF	Revisado por:	FECHA		DE			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS		S	O	D	NPR
1	Mezclado de productos con texoactivos	A	No se puede mezclar las materias primas con texoactivos	1	Problema en la empaquetadura	Que pasado un tiempo " X" haya que cambiarla		7	3	2	42
				2	Tupición de válvula de entrada y salida	Que demora el tiempo de preparación del producto		6	4	3	72
				3	Salidero por bridas y juntas de acople	Que pasado un tiempo " X" haya que cambiarla		7	4	2	56
				4	Problema en la celdas de pesos	Demora en el proceso productivo por la calibración del mismo		6	6	2	72

## Anexo 4. Continuación...

HOJA DE TRABAJO DEL FMEA		ELEMENTO: Bomba de diafragma		#	Realizado por:	FECHA	HOJA						
		COMPONENTE:		REF	Revisado por:	FECHA	DE						
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS				S	O	D	NPR
1	Abastecer de materias primas a la planta	A	Que no impulse el producto a planta	1	Fugas en la junta y conexiones	Que pasado un tiempo " X" no pueda bombear	6	5	4	120			
				2	Rajadura en mangueras y conectores	Que provoque vacíos en el sistema y no logre la descarga	6	4	2	48			
				3	Problemas en el sello de la bomba	Que no succione materias primas	6	3	4	72			
				4	Tupición en la válvula distribuidora neumática	La parada del sistema	8	4	8	384			

## Anexo 4. Continuación...

HOJA DE TRABAJO DEL FMEA		ELEMENTO: Mesa- estera de #		Realizado por:		FECHA		HOJA			
		COMPONENTE:		REF		Revisado por:		FECHA DE			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS		S	O	D	NPR
1	Encargada de transportar y embotellar los envases	A	Que no se pueda transportar	1	Problema en la estera	Mal funcionamiento en el desplazamiento	5	6	4	120	
				2	Problema en el pedestal	Que pasada una " X" cantidad de horas se provoque la parada del sistema	5	3	3	45	
				3	Rotura en el sistema de transmisión de la cadena y el sprocks	La parada del sistema	7	4	3	84	
				4	Desperfecto en la guía de la banda transportadora	Que se desplace con dificultades	6	4	3	72	
				5	Problema con el espesor de la mesa	La reparación de la mesa una vez al año	4	4	2	32	

## Anexo 4. Continuación...

HOJA DE TRABAJO DEL FMEA		ELEMENTO: Reductor		#	Realizado por:	FECHA		HOJA			
		COMPONENTE:		REF	Revisado por:	FECHA		DE			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS		S	O	D	NPR
1	Transmitir la energía mecánica y reducir la velocidad	A	Que no pueda reducir la velocidad	1	Rotura en el copling	Que se desalinea con respecto al motor y a la vez no succione ácido	6	5	5	150	
				2	Rotura del motor eléctrico	Que no funcione el equipo	7	4	4	112	
				3	Rotura de las ruedas dentadas	La parada del equipo	7	3	4	84	
				4	Falta de aceite	Ruido y que pasada " X" cantidad de horas se provoque la parada del sistema	6	4	3	72	
				5	Problemas en los rodamientos, en el sello retenedor o la junta	Que aspire aire y no pueda bombear pasada una cantidad " X" de horas trabajando	9	7	5	315	

## Anexo 4. Continuación...

HOJA DE TRABAJO DEL FMEA		ELEMENTO: Bomba de Sosa		#	Realizado por:	FECHA	HOJA						
		COMPONENTE:		REF	Revisado por:	FECHA	DE						
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS				S	O	D	NPR
1	Abastecer de sosa al reactor	1	Que no succione sosa	A	Que haga vacío la bomba	Mal funcionamiento del equipo y que no pueda bombear sosa	8	7	2	112			
					Rotura del impelente	Que no succione sosa	8	6	4	192			
					Disparo por sobre-consumo.	Que no encienda el motor	7	4	5	140			
					Motor quemado	Que no encienda el motor	7	3	4	84			
					Ruido en cojinetes	Que pasada 2 horas se pueda parar el equipo	5	6	4	120			

## Anexo 4. Continuación...

HOJA DE TRABAJO DEL FMEA		ELEMENTO: Agitador		#	Realizado por:	FECHA		HOJA			
		COMPONENTE:		REF	Revisado por:	FECHA		DE			
FUNCIÓN		FALLO FUNCIÓN		MODO DE FALLO		EFECTOS DE LOS FALLOS		S	O	D	NPR
1	Mezclar una cantidad " X" de una serie de materias primas	A	Que no se logre mezclar	1	Desgaste de la correa	Que el equipo se para completamente		6	5	2	60
				2	Vibraciones en el sistema de anclaje	Pérdida de fuerza del equipo, se pare el mismo para evitar males mayores		6	5	4	120
				3	Rotura del enrollado del motor	La parada del sistema por mal funcionamiento		7	4	5	120
		B	Que se mezcle con baja calidad	1	Rotura de los rodamientos	La paralización del equipo, por pérdidas de fuerza		6	6	4	144
				2	Problema en el ebonitado del eje y la hélice	Que contamine la templa de producción, provocando afectación		8	3	8	192







**Anexo 5. Resultados recogidos de la aplicación del procedimiento. Máquina de llenado rotatoria**

		EVALUACIÓN														Tipo de mantenimiento	A realizarse por	Intervalo inicial	NPR mejorado				
		Inicial				Seguimiento				FECHA DE EVALUACIÓN									S	O	D	NPR	
		Actual				Anterior				EVALUACIÓN DEL RIESGO													
		PROBABILIDAD					CONSECUENCIA					EVALUACIÓN DEL RIESGO											
No.	Modo de Fallo	A	MA	M	MB	B	A	B	C	D	E	F	L	M	S	H	S	O	D	NPR			
1	Salidero de aire por el colector			X					X						X		Mantenimiento preventivo programado	Mecánico "A" de Mantenimiento Industrial	3 meses	3	2	2	12
2	Salidero de productos por el colector			X						X					X		Mantenimiento preventivo programado	Mecánico "A" de Mantenimiento Industrial	3 meses	2	3	2	12
3	Tupición del filtro de entrada			X						X					X		Mantenimiento preventivo programado	Mecánico "A" de Mantenimiento Industrial	4 meses	2	3	3	18
4	Rotura en el reductor			X							X					X	Mantenimiento Proactivo	Mecánico "A" de Mantenimiento Industrial	5 meses	3	2	4	24
5	Rotura en el vástago			X							X					X	Mantenimiento Proactivo	Mecánico "A" de Mantenimiento Industrial	3 meses	4	2	4	32
6	Desgastes de oring			X							X					X	Mantenimiento Predictivo	Instrumentista "A" mantenimiento Industrial	6 meses	5	2	2	20











5. Resultados recogidos de la aplicación del procedimiento. Agitador

		EVALUACIÓN														Tipo de mantenimiento	A realizarse por	Intervalo inicial	NPR mejorado							
		Inicial				Seguimiento				FECHA DE EVALUACIÓN																
		Actual				Anterior				PROBABILIDAD		CONSECUENCIA							EVALUACIÓN DEL RIESGO							
		A	MA	M	MB	B	A	B	C	D	E	F	L	M	S				H	S	O	D	NPR			
1	Desgaste de la correa			X									X							Mantenimiento preventivo programado	Mecánico "A" de Mantenimiento Industrial	4 meses	3	2	2	12
2	Vibraciones en el sistema de anclaje			X									X							Mantenimiento preventivo programado	Mecánico "A" de Mantenimiento Industrial	4 meses	3	3	4	36
3	Rotura del enrollado del motor				X								X							Mantenimiento preventivo programado	Electricista "A" de Mantenimiento Industrial	4 meses	4	2	4	32
4	Rotura de los rodamientos			X									X							Mantenimiento preventivo programado	Mecánico "A" de Mantenimiento Industrial	3 meses	5	3	2	30
5	Problema en el ebonitado del eje y la hélice				X								X							Mantenimiento preventivo programado	Mecánico "A" de Mantenimiento Industrial	5 meses	4	2	6	48

### Anexo 6. Resultados obtenidos del Bestfit

**BestFit** File Edit Input Execute Graph Statistics Window Help

New Open Save Print AutoFit Wizard Results Stats Help Copy RiskView

UNTITLED

Input Data Type:  
 Sample  Density  Cumulative

#Classes= 9

	A
1	68
2	86
3	92
4	164
5	292
6	309
7	396
8	529
9	696
10	741
11	831
12	930

Statistics UNTITLED

Rank/Distribution	Chi-Square	Kolmogorov-Smirnov	Anderson-Darling
5. PearsonVI	11,27905	0,147528	0,435781
6. ExtremeValue	9,162881	0,164316	0,431858
7. Expon	9,213033	0,161319	0,459787
8. Lognorm	10,922037	0,158386	0,498454

	PearsonVI	ExtremeValue	Expon	Lognorm
Parameter 1	2,662356	288,308728	427,833333	459,140077
Parameter 2	2,295556	241,722433		514,682715
Parameter 3	261,870731			
Formula	PearsonVI(2,66;2,30;2,6	ExtremeValue(2,88e+2;2,	Expon(4,28e+2)	Lognorm(4,59e+2;5,15e-
Minimum				
Maximum				
Mean	538,141911	427,833333	427,833333	459,140077
Mode	132,093761	288,308728	0,0	135,44727
Median	310,316822	376,903123	296,551469	305,647059
Standard Deviation	1206,915028	310,021065	427,833333	514,682715
Variance	1,456644e+6	9,611306e+4	1,830414e+5	2,648983e+5
Skewness	4,039013	1,139547	2,0	4,771498
Kurtosis	24,34551	5,4	9,0	61,187827
Histogram				
Minimum	68,0	68,0	68,0	68,0
Maximum	930,0	930,0	930,0	930,0
P1	2,376136	1,260787	2,048955	2,460934
P2	2,10959	1,653873	1,637978	2,210104
P3	1,574215	1,743849	1,309435	1,653135
P4	1,143002	1,587425	1,04679	1,202428
P5	0,836035	1,308984	0,836827	0,878771
P6	0,621863	1,009906	0,668977	0,650831
P7	0,471283	0,745051	0,534795	0,489364
P8	0,36369	0,533347	0,427526	0,373448
P9	0,285392	0,374138	0,341774	0,288996
#Classes				
Interval Width				
Results				
Chi-Square				
Test Value	11,27905	9,162881	9,213033	10,922037
Confidence	>0,18	>0,32	>0,32	>0,2
Rank	12	6	7	10
Kolmogorov-Smirnov				
Test Value	0,147528	0,164316	0,161319	0,158386
Confidence	>0,15 *	>0,1	>0,15	>0,15 *
Rank	2	9	8	6
Anderson-Darling				

Results

Rank/Distribution:  
 1. Beta  
 2. PearsonVI  
 3. Normal  
 4. Gamma  
 5. Weibull  
 6. Lognorm  
 7. Lognorm2  
 8. Expon  
 9. ExtremeValue  
 10. Logistic

Display:  
 Comparison  
 Difference  
 P-P  
 Q-Q  
 Chi-Square  
 K-S Test  
 A-D Test

Rank By:  
 Chi-Square  
 K-S Test  
 A-D Test

Select All

Graph Cancel

Expon: 1

Comparison of Input Distribution and Expon(4,28e+2)

Legend: Input (green bar), Expon (red line)

Anexo 7. Resultados obtenidos del Ensayed

**Reltest - Reliability Estimation**

File Edit Analysis Window ?

Data file: untitled.rel Model: Exponential

---

Time to Failure	Without Location	Time Interval
68	68	68
86	86	18
92	92	6
164	164	72
292	292	128
309	309	17
396	396	87
529	529	133
696	696	167
741	741	45
831	831	90
930	930	99

**Exponential Without Censoring** Close

Location Parameter = 0  
 $\lambda = 0,00234$   
 Mean = 427,833

Confidence Interval: (Low) (Up)  
 for  $\lambda = 0,00135; 0,00355$   
 for Mean = 281,97; 741,523

Confidence Interval: 90% Change

Chi-SQ(0.05, 11 dof) = 4.58  
 Chi-SQ(0.95, 11 dof) = 19.67 Bartlett value (B) = 6.72  
 The hypothesis of Exponential distribution can not be rejected.

Test for abnormally short/long failure times:  
 Fcal (short- data: 1) = 1,15 Significance level = 0,5662  
 Fcal (long- data: 12) = 1,31 Significance level = 0,2899

**Bar Graphs**

**Frequency**

**Reliability**

**Hazard Rate**

**Cumulative Prob. of F**

**Characteristics Times**

Required Reliability	Estimated Time
99%	4.2
95%	21
90%	45
75%	12
50%	296
25%	593
10%	985
5%	1.28
1%	1.97

**Goodness of Fit Tests**

**Chi-square Test ( $\chi^2$ ):**

Lower Limit	Upper Limit	Observed Frequency
24.9	261.95	4
261.95	499	3
499	736.05	2
736.05	above	3

Chi-square = 0,87 with 2 d.f.  
 Significance level = 0,6473

**Kolmogorov-Smirnov Test (K-S):**  
 Estimated Kolmogorov DN = 0,16132  
 Approximate significance level = 0,2497

**Probability plots**

**Exponential Probability Plot**

Slope (Lambda) = 0,00232

**Extended Calculation**

**Model Option**

Exponential  Linear Exponential  
 Weibull  Lognormal  
 Gamma

**Fitted Parameters and Model** X

**Parameters**

Location Parameter: 0  
 Parameter  $\lambda$ : 2.3374 E-3

**Calc** **Graph** **Times** **Close**

R(t) 0.85  $\Rightarrow$  t = 69.53  
 t 100  $\Rightarrow$  R(t) = 0.79157  
 h(t) = 0.00234

**Expected Values**

Mean time to failure = 427.826  
 Standard deviation = 427.826