

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIMI
Facultad de
Ingeniería Mecánica
e Industrial

Departamento

TRABAJO DE DIPLOMA

Título del trabajo: Determinación de la frecuencia óptima de mantenimiento mediante un análisis costo-riesgo de las enfriadoras en el Hotel Playa Cayo Santa María

Autor del trabajo: Osvaldo Adrián Sáez Gómez

Tutores del trabajo: MSc. Ing. José Ulivis Espinosa Martínez

Dra. C. Ing. Estrella de La Paz Martínez

Santa Clara, junio de 2018
Copyright©UCLV

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

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual



Para cualquier información contacte con:

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

Teléfonos.: +53 01 42281503-141



Pensamiento



Dedicatoria

A mi familia por alumbrar siempre mi camino y llevarme por el buen servir, apoyo incondicional, enseñanza, constancia y amor consagrado hacia todos mis objetivos y metas, por la educación, formación y guía que me brindaron siempre en la vida hasta llegar a lo que soy hoy.



Agradecimientos

El primer agradecimiento quiero hacerlo llegar a los principales impulsores de mis sueños, mis padres, por haber estado siempre presente, dedicándome su apoyo incondicional, por ser mi sostén emocional hacia el avance de mi desarrollo profesional, por quererme tanto y por desear que la vida siempre me sonría. Gracias por creer en mí.

A mis tutores José Ulivis Espinosa Martínez y Estrella de la Paz Martínez por sus esfuerzos, dedicación, motivación y paciencia brindada que han sido fundamentales para el logro de un sueño, mi consolidación como profesional.

A todas las personas y profesores que me brindaron el apoyo, la guía y los ánimos para el desarrollo de esta tesis y mi trayecto hasta este momento.

A todo el personal del área de mantenimiento del hotel Playa Cayo Santa María por la confianza, apoyo y disponibilidad.

A todos los que creyeron, y a los que no también, que pudiera llegar hasta aquí, mil gracias por todo.

Mis agradecimientos y mis respetos.



Resumen

Resumen

El presente trabajo se desarrolla en el Hotel Playa Cayo Santa María, situado en el Cayo del mismo nombre, en el municipio de Caibarién, provincia de Villa Clara, entidad subordinada a la Delegación Territorial Centro de Gaviota S.A, donde se realiza la determinación de la frecuencia óptima mediante un análisis de costo-riesgo, específicamente al sistema de enfriadoras de agua. Se emplea un procedimiento que permita un análisis de factibilidad económica para la determinación del tipo de mantenimiento óptimo para la entidad objeto de estudio, así como su frecuencia. Se tomaron en consideración todos y cada uno de los componentes del modelo Costo – Riesgo.

Como principales resultados de la investigación se arrojó que el procedimiento seleccionado posibilitó la determinación de los costos tanto de mantenimiento como los costos de riesgo en el que se incurre cuando ocurre una falla. Así como la evaluación del desempeño del modelo propuesto mediante la comparación entre los costos del mantenimiento actual y la propuesta desarrollada, logrando obtener un ahorro considerable de estos costos.

Palabras claves: Mantenimiento, Costo - Riesgo, Frecuencia Óptima.

Summary

This work is carried out in the Hotel Playa Cayo Santa María, located in the Cayo of the same name, in the municipality of Caibarién, province of Villa Clara, subordinate entity to the Territorial Delegation Centro de Gaviota SA, where the determination of the optimal frequency through a cost-risk analysis, specifically to the water chiller system. A procedure is used that allows an economic feasibility analysis to determine the type of optimal maintenance for the entity under study, as well as its frequency. All the components of the Cost - Risk model were taken into consideration.

The main results of the investigation showed that the selected procedure made it possible to determine the maintenance costs as well as the risk costs incurred when a failure occurs. As well as the evaluation of the performance of the proposed model by comparing the costs of current maintenance and the proposal developed, achieving considerable savings of these costs.

Keywords: Maintenance, Cost - Risk, Optimal Frequency.



Índice

Contenido

Capítulo 1: Marco teórico referencial de la investigación	19
1.1. Introducción.....	19
1.2. Generalidades del mantenimiento.....	19
1.2.1. Mantenimiento. Definición	20
1.2.2. Mantenimiento. Objetivo	22
1.2.3. Mantenimiento. Evolución.....	23
1.2.4. Mantenimiento. Importancia	25
1.3 Optimización de la frecuencia de mantenimiento.....	26
1.3.1 Riesgo y confiabilidad	26
1.3.2 Costos de mantenimiento	29
1.4 Procedimientos para determinar frecuencia óptima de mantenimiento...	33
1.5. El Mantenimiento en Cuba.....	36
1.5.1. Mantenimiento en el Ministerio del Turismo (MINTUR)	38
1.5.2. Mantenimiento en el Grupo de Turismo Gaviota S.A.....	39
1.6 Costos de mantenimiento en Cuba	40
1.7 Costos de mantenimiento en el Grupo Gaviota S.A.....	41
Conclusiones parciales	43
CAPÍTULO II. Caracterización del Hotel Playa Cayo Santa María, aplicación del procedimiento para la determinar frecuencia óptima seleccionada	45
2.1 Caracterización del Hotel Playa Cayo Santa María	45
2.1.1 Descripción de la Brigada de Servicios Técnicos (SS.TT.).....	46
2.2. Aplicación del procedimiento de Costo-Riesgo seleccionado	49
2.2.1. Descripción del proceso del sistema de enfriadoras.....	49
Conclusiones parciales	71
Conclusiones generales	74
Recomendaciones.....	76
Bibliografía	78
Anexos	86



Introducción

Introducción

Los seres humanos satisfacen gran parte de sus necesidades materiales a través del consumo de bienes y servicios, cuya existencia depende directamente del empleo de una gran cantidad de medios de producción que generalmente se adquieren hoy con una inversión considerable (De la Paz Martínez 1996)

El desarrollo del turismo exige una importante cantidad de activos fijos tales como edificios, instalaciones y equipos. La repercusión directa en la función del hospedaje de cualquier avería o problema de estos activos, afecta de manera inmediata en la satisfacción del cliente lo cual subraya la importancia de su correcto funcionamiento, la rápida resolución de los problemas existentes, un nivel de confort y un máximo nivel de seguridad, garantizado a su vez por el desarrollo de actividades de mantenimiento (Alfonso Llanes 2009, Pérez-González 2016). Dichas actividades en sus inicios solo estaban enfocadas a solucionar fallos, sin embargo, la evolución del mismo demostró que las actividades correctivas permitían no solo solucionar los fallos, también actuar antes que se produzca el fallo, garantizando eficiencia para evitar los costos por averías. El mantenimiento no debe verse como un costo si no como una inversión al estar ligado directamente a la calidad y eficiencia (Espinosa-Fuentes 2013, Dumaguila-Encalada 2014, De la Paz Martínez 2015).

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 las empresas hacia objetivos de prevención de riesgos (Espinosa-Fuentes 2006, Lust, Roux et al. 2009, Cotts 2010).

El análisis de riesgos permite identificar los componentes que más influyen en el riesgo de la instalación, al punto de focalizar en ellos los esfuerzos de inspección, y definir el programa óptimo de inspección, en función de su influencia en el riesgo, determinándose el alcance, la periodicidad y la técnica de mantenimiento. Su aplicación garantiza alto nivel de integridad mecánica de los equipos y reducción de los mecanismos de fallo posibles, esto se consigue tras la identificación de los equipos que poseen un mayor riesgo, a cuyo

mantenimiento se destinan mayores esfuerzos y recursos. Uno de los mayores atractivos del Mantenimiento Basado en Riesgo (MBR), es que permite aumentar la seguridad de las instalaciones reduciendo los costos, tanto directos como indirectos asociados al fallo de equipos. El objetivo final es aumentar la disponibilidad y reducir el costo para mejorar los resultados económicos de la empresa (Martínez-Giraldo 2014, Velazquez-Pérez 2014).

Debido a la importancia de estos pilares en el contexto competitivo actual, Cuba no se encuentra ajeno a dicho planteamiento, manifestándose así, en los objetivos y los procesos de actualización de su modelo económico y social.

En el año 2016 a partir del VII Congreso del PCC, se presentan el Proyecto de Conceptualización del Modelo Económico y Social Cubano de Desarrollo Socialista y el Proyecto Plan Nacional de Desarrollo Económico y Social hasta 2030, en el cual se aborda varios aspectos sobre la gestión del mantenimiento (PCC 2016). Recientemente se da a conocer en la cateta oficial de la republica de cuba del 3 de octubre del 2017, la política de mantenimiento a aplicar en el ministerio de la industrial.

El sector del turismo es considerado el más dinámico de la economía cubana y la segunda fuente de ingresos del país detrás de la venta de servicios profesionales al exterior. Estos son motivos suficientes para que dicho sector este a la par de la aplicación de los lineamientos de la política económica y social del país, abordados anteriormente. Sin embargo, uno de los principales problemas en esta área es el deterioro de la infraestructura física y tecnológica de los servicios, especialmente en los hoteles situación que no es ajena al Hotel Ensenachos Cayo Santa María, situado en el Cayo del mismo nombre, en el municipio de Caibarién, provincia de Villa Clara, entidad subordinada a la Delegación Territorial Centro de Gaviota S.A. Su objetivo es la prestación de servicios hoteleros y turísticos con la finalidad de brindar un producto con calidad al mercado, rigiéndose por las definiciones y principios generales previstos en la Resolución No. 134 de 30 de abril de 2013 del Ministro de Economía y Planificación (González 2016).

La calidad de los servicios en el sector del turismo en Cuba representa un problema significativo para todas las entidades hoteleras, siendo este un denominador común en todos los hoteles subordinados a la Delegación Territorial Centro de Gaviota S.A. Del hotel objeto de estudio, se conoce que en

el último año los resultados de las encuestas (1.98 %) a los clientes arrojaron insatisfacción, también arrojan quejas de los trabajadores que laboran en las áreas cuando fueron encuestados, sobre el área de servicios técnicos y sobre todo al sistema de enfriadoras de agua. Este sistema se encuentra ubicado en el edificio principal, el mismo se encarga de climatizar todas las instalaciones que se encuentran en ese lugar, dígase lobby, buffet, bares, CADECA, tiendas, recepción, oficinas, entre otras. Como una solución a este problema (Cano 2017) propone aplicar Mantenimiento Basado en el Riesgo al sistema de enfriadoras de agua el cual se hace una propuesta de un plan de mejoras enfocadas a mejorar el funcionamiento del sistema de enfriadoras de agua, con el propósito de prevenir los modos de fallos del sistema y de las acciones de mantenimiento preventivo para cada modo de fallo del equipo, pero se necesita calcular con qué frecuencia realizar estas tareas preventivas y la factibilidad económica de las mismas. Los elementos anteriormente expuestos constituyen **la situación problemática** identificada que fundamentó la investigación desarrollada y conlleva al **problema de investigación**: ¿cómo lograr la optimización de la frecuencia de mantenimiento basado en el riesgo a las enfriadoras de agua del Hotel Playa Cayo Santa María?

Objetivo general: determinar la frecuencia óptima de mantenimiento mediante un análisis costo-riesgo a las enfriadoras de agua del Hotel Playa Cayo Santa María.

Objetivos específicos:

1. Seleccionar un procedimiento para la determinación de la frecuencia óptima de mantenimiento mediante un análisis costo-riesgo del sistema de enfriadoras de agua del Hotel Playa Cayo Santa María
2. Implementar el procedimiento seleccionado al sistema de enfriadoras de agua del Hotel Playa Cayo Santa María.

Para cumplir los objetivos trazados, la investigación queda estructurada por dos capítulos. En el capítulo I se realiza una revisión bibliográfica que permite sintetizar los antecedentes teóricos encontrados sobre el tema objeto de estudio, así como los principales conceptos y enfoques utilizados para la determinación de los costos de mantenimiento. El capítulo 2 se refiere a la caracterización del Hotel Playa Cayo Santa María y aplicación del procedimiento para el análisis costo-riesgo seleccionado. Finalmente, el trabajo brinda un conjunto de conclusiones y recomendaciones específicas obtenidas de la investigación realizada, así como la bibliografía que fue consultada y anexos de necesaria inclusión para facilitar y comprender los resultados obtenidos en el cuerpo del documento.



Capítulo 1

Capítulo 1: Marco teórico referencial de la investigación

1.1. Introducción

El presente capítulo persigue como objetivo principal ofrecer el resultado del estudio bibliográfico realizado con el fin de analizar los fundamentos teóricos y prácticos, que constituyen las bases que sustentan teóricamente la investigación, fundamentalmente con todo lo relacionado con la optimización de la frecuencia óptima de mantenimiento basado en el riesgo para la gestión del mantenimiento a equipos. En este sentido se consultó de forma minuciosa la literatura especializada y actualizada tanto nacional como internacional, cuyo hilo conductor se muestra en la Figura 1. 1.

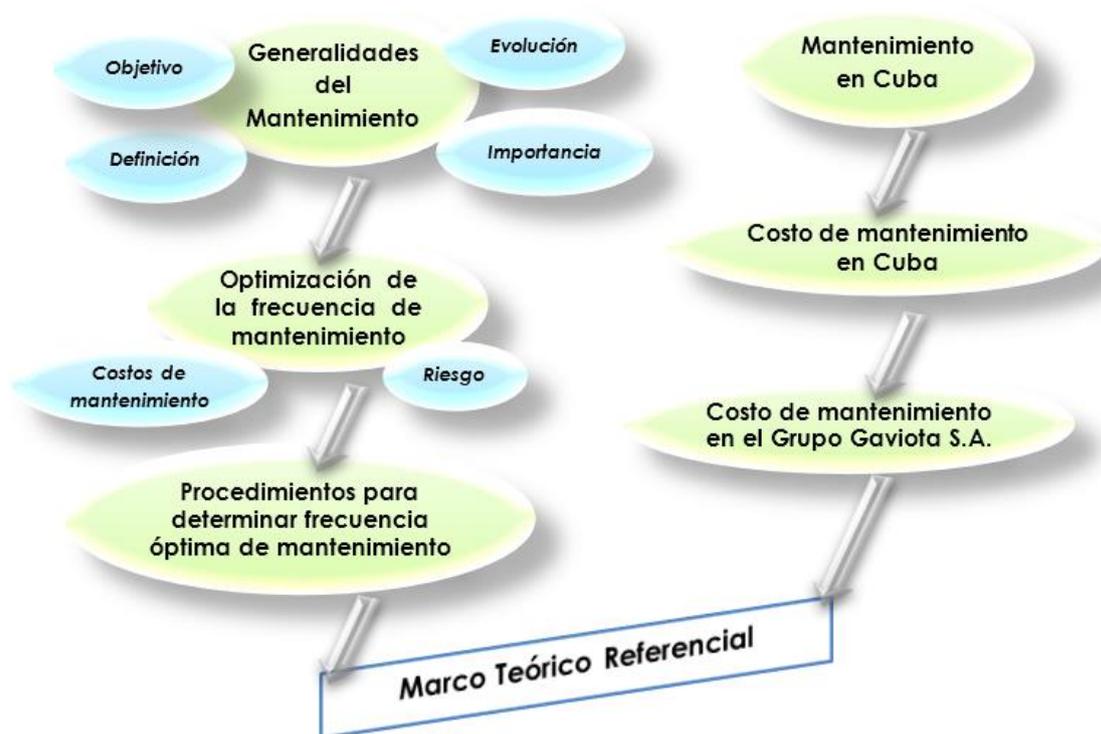


Figura 1.1 Hilo conductor del marco teórico referencial de la investigación.

Fuente: Elaboración propia.

1.2. Generalidades del mantenimiento

El término mantenimiento ha sido expresada por diversos autores como Knezevic (1996), Policarpo De Olivera (2003), Borroto-Pentón, De la Paz

Martínez et al. (2005), Mora-Gutierrez (2012), García-Garrido (2012), Mostafa, Dumrak et al. (2015) los cuales coinciden en la mayoría de los elementos referidos a continuación. El mantenimiento es el conjunto de actividades dirigidas a conservar los equipos e instalaciones al menor costo posible durante un periodo de tiempo determinado logrando así calidad, eficiencia y seguridad tanto de los trabajadores como del medio ambiente.

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

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

1.2.1. Mantenimiento. Definición

El mantenimiento industrial está definido como el conjunto de actividades encaminadas a garantizar el correcto funcionamiento de las máquinas e instalaciones que conforman un proceso de producción permitiendo que éste alcance su máximo rendimiento (Olarde 2010).

Para Deac (2010) representa un juego de medidas y acciones que aseguran la prevención de un equipo.

El mantenimiento se define como la combinación de actividades mediante las cuales un equipo o un sistema se mantienen, o se restablece a, un estado en el que puede realizar las funciones designadas (Sierra Álvarez 2004).

La función principal del mantenimiento es sostener la funcionalidad y el cuerpo de los equipos; para garantizar el buen estado de las máquinas a través del tiempo para que puedan producir bienes o servicios mediante la correcta utilización de estos activos (Mora Gutiérrez 2012).

Según (Salazar López 2016) el mantenimiento se define como un conjunto de actividades desarrolladas con el fin de asegurar que cualquier activo continúe desempeñando las funciones deseadas o de diseño.

Han sido disímiles las definiciones encontradas del término mantenimiento en la literatura analizada.

Un grupo considerable de autores, entre ellos, De la Paz Martínez (2002), Borroto Pentón (2005), Batista Rodríguez (2008), Alfonso Llanes (2009), los cuales en sus investigaciones han transitado por el desarrollo del concepto de mantenimiento, en los que se pueden apreciar que no existen muchas divergencias respecto al significado de la palabra "Mantenimiento" como "acto o efecto de mantener", "medidas necesarias para la conservación o permanencia de alguna cosa o de una situación". De esta manera se plantea que el mantenimiento son las acciones técnicas, organizativas y económicas encaminadas a conservar o restablecer el buen estado de los activos fijos, a partir de la observancia y reducción de su desgaste y con el fin de alargar su vida útil económica, para lograr una mayor disponibilidad y confiabilidad para cumplir con calidad y eficiencia sus funciones, conservando el ambiente y la seguridad del personal.

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

1.2.2. Mantenimiento. Objetivo

En la literatura consultada Cuartas Pérez (2008) expresa que en cualquier empresa, el mantenimiento debe cumplir con dos objetivos fundamentales: reducir costos de producción y garantizar la seguridad industrial. Cuando se habla de reducir los costos de producción se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Optimizar la disponibilidad de equipos e instalaciones para la producción.
- Se busca reducir los costos de las paradas de producción ocasionadas por deficiencia en el mantenimiento de los equipos, mediante la aplicación de una determinada cantidad de mantenimiento en los momentos más apropiados.
- Incrementar la vida útil de los equipos.

Uno de los objetivos del mantenimiento es el de procurar la utilización de los equipos durante toda su vida útil. La reducción de los factores de desgastes, deterioros y roturas garantiza que los equipos alcancen una mayor vida útil.

- Maximizar el aprovechamiento de los recursos disponibles para la función del mantenimiento.

Es aquí donde se debe analizar la conveniencia o no de continuar prestando el servicio de mantenimiento a una máquina que presenta problemas de funcionamiento o buscar su reemplazo.

- Reducir los costos de operación y reparación de los equipos.

La planificación del mantenimiento reduce los costos de operación y reparación de los equipos. Los programas para la lubricación, limpieza y ajustes de los equipos permiten una reducción notable en el consumo de energía y un aumento en la calidad de los productos terminados. A mayor descuido en la conservación de los equipos, mayor será la producción de baja calidad.

Referente al tema de la seguridad industrial, podemos decir que el objetivo más importante desde el punto humano es garantizar con el mantenimiento la seguridad de operación de los equipos.

Para poder cumplir estos objetivos (Cuartas Pérez 2008) es necesario realizar algunas funciones específicas a través del departamento de mantenimiento tales como:

- Administrar el personal de mantenimiento
- Programar los trabajos de mantenimiento
- Proveer al personal de mantenimiento de la herramienta adecuada para sus funciones
- Mantener actualizadas las listas de repuestos y lubricantes
- Adiestrar al personal de mantenimiento sobre los principios y normas de seguridad industrial.
- Establecer los mecanismos para retirar de la producción aquellos equipos que presentan altos costos de mantenimiento.

Fueron valorados criterios de diversos autores como: Pérez Jaramillo (1992), De la Paz Martínez (1996), Batista Rodríguez (2000), Dhillon (2002), Garrido García (2003), Muñoz Abella (2003), Torres (2005) sobre los objetivos del mantenimiento. Dentro de ellos coinciden: mejorar la disponibilidad de las instalaciones, mejorar la fiabilidad y la calidad del servicio, incrementar la productividad de los recursos, reducir los costos de mantenimiento, aumentar la vida útil económica de los equipos, garantizar la seguridad del personal y de las instalaciones. Como se puede observar, éstos coinciden con los planteados por Cuartas Pérez (2008), los cuales fueron explicados anteriormente.

Para Mobley (2004) expresa que la misión de mantenimiento en una organización es lograr y sostener la disponibilidad óptima.

1.2.3. Mantenimiento. Evolución

La historia del mantenimiento como parte estructural de las empresas, data desde la aparición de las máquinas para la producción de bienes y servicios, inclusive desde cuando el hombre forma parte de la energía de dichos equipos (Mora-Gutiérrez 2014). La actividad de mantenimiento se aplica como una herramienta para mantener los procesos de las empresas en el ámbito de los negocios, con la finalidad de incrementar la vida útil de sus activos y optimizar los recursos favoreciendo la mejora continua (Alfonso Llanes (2009).

El desarrollo vertiginoso de la tecnología ha planteado la necesidad de cambiar las filosofías tradicionales de trabajo y ha propiciado la aparición de una visión que pondera los resultados del mantenimiento en logro de la competitividad empresarial. El desarrollo y evolución histórica del mantenimiento ha sido

fundamentado por los investigadores Moubray (1997), Alkaim (2003), Cardoso de Morais (2004), (García González-Quijano 2004), García Garrido (2010), López-García (2013), Rodríguez-Díaz (2014), Broche-Hernández (2015), Llerena-Morera (2016). Los cambios acontecidos sobre mantenimiento han sido descritos a través de cinco etapas. Las cuales se reflejan a continuación:

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

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

3ª- Etapa: Surge a principios de los años 80. En esta etapa la maquinaria alcanzó mayor complejidad y se aumentó la dependencia de ellas. Aspecto que demandó la exigencia de productos y servicios de calidad (aparecen las certificaciones ISO 9001 e ISO 9002), considerando aspectos de seguridad y medio ambiente. Por lo que se empiezan a realizar estudios causa-efecto para averiguar el origen de los problemas. Es el Mantenimiento Predictivo o detección precoz de síntomas incipientes para actuar antes de que las consecuencias sean catastróficas.

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

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

1.2.4. Mantenimiento. Importancia

El mantenimiento es conservar todos los bienes que componen los eslabones del sistema directa e indirectamente afectados a los servicios, en las mejores condiciones de funcionamiento, con un muy buen nivel de confiabilidad, calidad y al menor costo posible.

Mantenimiento no sólo deberá mantener las máquinas sino también las instalaciones de: iluminación, redes de computación, sistemas de energía eléctrica, aire comprimido, agua, aire acondicionado, calles internas, pisos, depósitos. Deberá coordinar con recursos humanos un plan para la capacitación continua del personal ya que es importante mantener al personal actualizado (Torres 2005).

Para Arboleda (2013) la importancia del mantenimiento se encuentra en mantener un artículo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida, para evitar ciertos daños y alargar su ciclo de vida.

1.3 Optimización de la frecuencia de mantenimiento

En un proceso de optimización de la frecuencia de mantenimiento se pueden considerar una o más de las siguientes variables (González Quijano 2004).

1.3.1 Riesgo y confiabilidad

¿Qué es riesgo?

Es “el efecto de la incertidumbre en la consecución de los objetivos” (Serra 2009)

1. Incertidumbre (puede que nunca ocurra).
2. El riesgo importa y debe gestionarse porque tiene un efecto (positivo y negativo).
3. Ese efecto es sobre los objetivos fijados

Woodhouse (2001) define el riesgo como los “egresos o pérdidas probables como consecuencia de la posible ocurrencia de un evento no deseado o falla”.

De forma subjetiva, el riesgo se puede describir como la percepción de un peligro. La forma de percepción que tienen las personas de los peligros influye en la percepción que tienen del riesgo asociado. Así, las personas están dispuestas a aceptar riesgos más elevados cuando ellas mismas tienen control sobre el proceso (González Quijano 2004).

Se define el riesgo, como la esperanza matemática de la pérdida. Si consideramos un suceso con una probabilidad de ocurrencia “P” y un daño o consecuencia “C”, el riesgo vendrá definido por el producto de esta probabilidad por el efecto o magnitud del daño.

$$\text{Riesgo} = P \times C \text{ Siendo } 0 \leq P \leq 1$$

Expresión 1.1

Una definición equivalente se obtiene sustituyendo la probabilidad por la

frecuencia y la consecuencia por la severidad:

$$\text{Riesgo} = F \times S$$

Expresión 1.2

En este caso, “F” representa la esperanza matemática de la pérdida en un determinado periodo de tiempo o lo que es lo mismo, la probabilidad de ocurrencia de la pérdida en dicho periodo (González Quijano 2004).

La confiabilidad se define como la probabilidad de que un sistema, equipo, o dispositivo cumpla su función(es) para la cual fue adquirido durante un periodo de tiempo establecido bajo condiciones operacionales preestablecidas tales como temperatura, presión, caudal, pH entre otras variables de proceso en el contexto operacional definido. El análisis del comportamiento de fallas de una gran cantidad de poblaciones de componentes o equipos observados durante largos períodos de estudio, han mostrado una función tasa de fallas decreciente en el primer período, la primera etapa del período de observación (fenómeno conocido como arranque o mortalidad infantil), seguido por una función tasa de fallas aproximadamente constante (operación normal o aleatoria), y finalmente una función tasa de fallas creciente durante la última etapa del período de observación (envejecimiento o desgaste). A través de un análisis de Weibull estas etapas se determinan a través del factor de forma β , si $\beta < 1$; $\beta = 1$; $\beta > 1$ respectivamente. La figura 1.2 muestra la tradicional curva de la bañera (bath-tub curve) por su forma (Martínez, 2014).

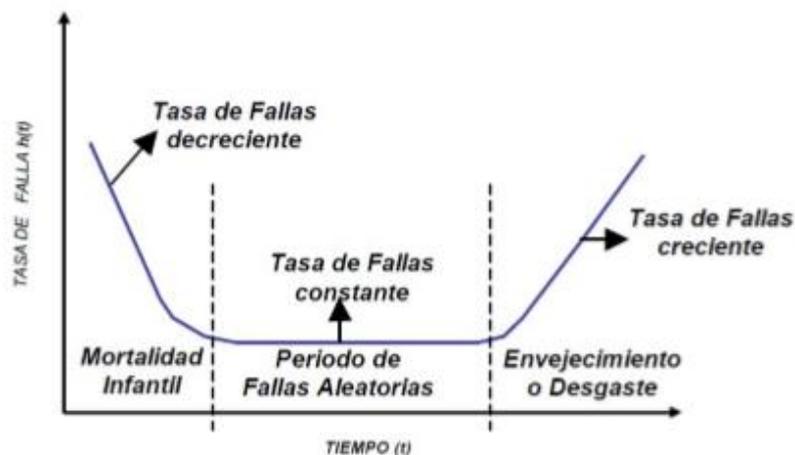


Figura 1.2 Curva de la Bañera. Fuente: Ingeniería de Confiabilidad y Análisis Probabilístico del Riesgo R2M. 2004

Si se dispone de un número significativo de unidades de un mismo componente o equipo, y se les pusiera a operar a partir de un tiempo inicial t_0 , se podría observar el comportamiento en el número de fallas por unidad de tiempo y construir su particular curva de la bañera. Típicamente una población de componentes o equipos en general presenta una tasa de falla alta en el primer periodo de vida que decrece hasta que alcanza un nivel constante por un periodo de tiempo, (conocido como etapa aleatoria), y finalmente por efecto del envejecimiento característico o desgaste de los componentes, comienza a aumentar nuevamente (desgaste). A continuación se muestran otros patrones de falla.

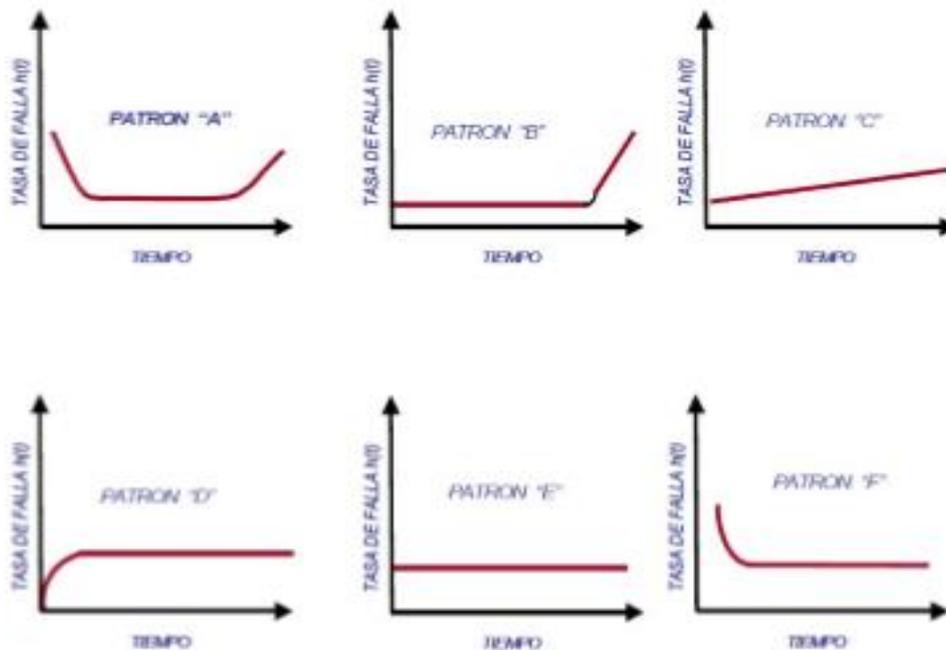


Figura 1.3 Otros Patrones de Falla. Fuente: Ingeniería de Confiabilidad y Análisis Probabilístico del Riesgo R2M. 2004

En la operación de un activo durante la etapa de operación normal o aleatoria pueden ocurrir varios eventos donde se debe decidir si cuando ocurre una falla se debe realizar una tarea de restauración y devolver el activo a su etapa de mortalidad infantil a través de la llamada reseteo del reloj (Resets the clock), o realizar una acción (Patch and Continue) que permita que el equipo pueda continuar operando hasta llegar a su etapa de desgaste. La figura 1.4 muestra la representación de estos dos comportamientos.

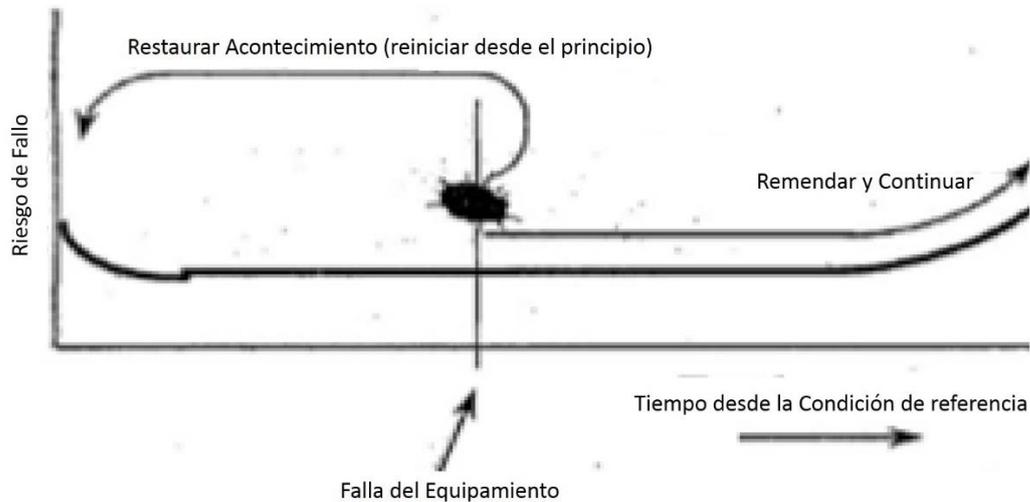


Figura 1.4 Respuesta a la Falla. Fuente: Managing Industrial Risk TWPL. 1993

1.3.2 Costos de mantenimiento

El autor Turmero Astros (2012) hace referencia a los costos en el mantenimiento, donde expresa que este es el precio pagado por concepto de las acciones realizadas para conservar o restaurar un bien o un producto a un estado específico. El sector de mantenimiento en la planta o en la empresa puede ser considerado por algunos gerentes como un gasto, para otros como una inversión en la protección del equipo físico, y para algunos como un seguro de producción. La actitud del gerente pasará a sus empleados (sean mecánicos u operarios) afectando directamente en los resultados.

Vargas Caleño (2003) coincide en que para tomar decisiones basadas en la estructura de costos, y teniendo presente que para un administrador una de sus principales tareas será minimizar los costos, entonces es importante conocer su componentes.

Los costos, en general, se pueden agrupar en dos categorías (Duran 2001):

- Los costos que tienen relación directa con las operaciones de mantenimiento, como ser: costos administrativos, de mano de obra, de materiales, de repuestos, de subcontratación, de almacenamiento y costos de capital.

- Costos por pérdidas de producción a causa de las fallas de los equipos, por disminución de la tasa de producción y pérdidas por fallas en la calidad producto al mal funcionamiento de los equipos. Costo global del mantenimiento.

El costo global de mantenimiento es la suma de cuatro costos (Duran 2001):

Costos Fijos: la característica de este tipo de costos es que estos son independientes del volumen de producción o de ventas de la empresa, estos como su nombre lo dice son fijos, dentro de este tipo de costos podemos destacar la mano de obra directa, los alquileres, seguros, servicios.

Los costos fijos en el mantenimiento están compuestos principalmente por la mano de obra y los materiales necesarios para realizar el mantenimiento preventivo, predictivo, hard time, así como todo gasto originado por el engrase de las máquinas o mantenimiento.

Costos Variables: estos costos tienen la particularidad de ser proporcionales a la producción realizada. Podemos destacar dentro de estos a costos como mano de obra indirecta, materia prima, energía eléctrica, además de los costes variables que incluyen el mantenimiento.

Dentro de los costos variables de mantenimiento se encuentran básicamente con el de la mano de obra y lo materiales necesarios para el mantenimiento correctivo. El mantenimiento correctivo será consecuencia de las averías imprevistas en la maquinaria, como de las reparaciones programadas por otros tipos de mantenimiento a la maquinaria.

Costos Financieros: los costos financieros asociados al mantenimiento se deben tanto al valor de los repuestos de almacén como a las amortizaciones de las máquinas duplicadas para asegurar la producción. El costo que supone los recambios de un almacén para realizar reparaciones, es un desembolso para la empresa que limita su liquidez. Si los recambios son utilizados con cierta frecuencia se encuentran con un mal menor, dado a que esto es una inversión que hace la empresa para mantener la capacidad productiva de la instalación. Sin embargo, cuando los recambios tardan mucho tiempo en ser utilizados, se

está incurriendo en un gasto que, en principio, no genera ningún beneficio para la empresa.

Dentro de estos gastos financieros debe tenerse en cuenta el costo que supone tener ciertas instalaciones o máquinas duplicadas para obtener una mayor disponibilidad. En determinadas circunstancias que se obliga a una disponibilidad total, es necesario montar en paralelo una máquina similar que permita la reparación de una de ellas mientras la otra está en funcionamiento. El costo de esta duplicidad puede olvidarse en el cómputo de los gastos de mantenimiento, pero debe tenerse en cuenta dado que el motivo de su presencia es el aumento de la disponibilidad y este concepto es responsabilidad de mantenimiento.

Costos de Fallo: el costo de fallo se refiere al coste o pérdida de beneficio que la empresa soporta por causas relacionadas directamente con el mantenimiento. En las empresas de producción se debe tener en cuenta este factor, puesto a que se incurre en pérdidas por ventas, en tanto en las empresas de servicio al no existir producción se toma en cuenta las pérdidas de clientes, ambos factores decisivos en la competitividad y rentabilidad dentro del mercado.

Empresas productivas: en las empresas productivas los costos por fallo en los equipos se deben principalmente a:

- Pérdidas de materia prima.
- Descenso de la productividad del personal mientras se realizan las reparaciones.
- Pérdidas energéticas por malas reparaciones o x no realizarlas
- Rechazo de productos por mala calidad
- Producción perdida durante la reparación, menores ventas, menores beneficios
- Averías medioambientales que pueden suponer desembolsos importantes.
- Averías que puedan suponer riesgo para las personas o para la instalación.
- Costos indirectos
- Pérdidas de imagen, ventas

A los costos que pueden generar estos hechos, se debe sumar el importe de las reparaciones para volver a la normalidad.

Empresas de Servicios: En el caso de las empresas de servicios no existe producción de coste de fallo, por lo tanto esta no será predominante, pero aun así no es menos importante, se relacionara con otros aspectos, como por ejemplo con la pérdida de clientes.

En el caso de las empresas de servicios es difícil cuantificar el coste de fallo, pero se pueden tomar indicadores del tiempo necesario para realizar las reparaciones desde que se conoce de estas hasta la culminación, tomando en cuenta que tipo de falla es para su comparación.

Coste integral: el costo integral es el resultante de la suma de los cuatro costos anteriormente descritos. Este costo da una idea más global de la gestión de mantenimiento que el análisis de cualquiera de los costos que la componen.

Con este costo se pretende relacionar no solo el gasto que el mantenimiento ocasiona a la empresa, sino también los posibles beneficios que pueda generar.

El mantenimiento involucra diferentes costos (Duran 2001): directos, indirectos, generales, de tiempos perdidos y de posponer el mantenimiento.

- **1. Costo de mantenimiento o directos**

Están relacionados con el rendimiento de la empresa y son menores si la conservación de los equipos es mejor, influyen la cantidad de tiempo que se emplea el equipo y la atención que requiere; estos costos son fijados por la cantidad de revisiones, inspecciones y en general las actividades y controles que se realizan a los equipos, comprendiendo: Costo de mano de obra directa, Costos de materiales y repuestos, Costos asociados directamente a la ejecución de trabajos: consumo de energía, alquiler de equipos, Costos de la utilización de herramientas y equipos.

- **2. Costos indirectos**

Son aquellos que no pueden atribuirse de una manera directa a una operación o trabajo específico. En mantenimiento, es el costo que no puede relacionarse a un trabajo específico. Por lo general suelen ser: la supervisión, almacén, instalaciones, servicio de taller, accesorios diversos, administración.

Con el fin de contabilizar los distintos costos de operación del área de mantenimiento, es necesario utilizar alguna forma para prorratarlos entre los diversos trabajos, así se podrá calcular una tasa de consumo general por hora de trabajo directo, dividiendo este costo por el número de horas totales de mano de obra de mantenimiento asignadas.

- **3. Costos de tiempos perdidos**

Son aquellos que aunque no están relacionados directamente con mantenimiento pero si están originados de alguna forma por éste; tales como: Paros de producción, Baja efectividad, Desperdicios de material, Mala calidad, Entregas en tiempos no prefijados (demoras), Pérdidas en ventas.

- **4. Costos generales**

Son los costos en que incurre la empresa para sostener las áreas de apoyo o de funciones no propiamente productivas.

1.4 Procedimientos para determinar frecuencia óptima de mantenimiento

En la bibliografía consultada se encontraron algunos procedimientos para determinar frecuencia óptima de mantenimiento asociado a un análisis de Costo-Riesgo, que han tomado como referencia el modelo de Optimización Costo Riesgo y el modelo para cuantificar las consecuencias de una falla. A continuación se expondrán los principales procedimientos analizados, con el fin de identificar cuál de estos puede ser el más pertinente para la solución del problema presentado en la investigación.

El autor Carroz Urdaneta (2006) construye un modelo, que se presenta en el anexo 1 en el que se tomaron en consideración todos y cada uno de los

componentes del modelo Costo – Riesgo, pero enfocados en el objeto de estudio de su investigación; orientada a la determinación de frecuencias de mantenimiento, donde se hizo necesaria la determinación de los costos tanto de mantenimiento preventivo como los costos de riesgo en el que se incurre cuando ocurre una falla.

Romero Barrios (2016) propone un procedimiento que consta de tres etapas, comenzando por el establecimiento de la curva de riesgo, donde se plantea estimar los riesgos asociados a la ocurrencia de eventos no deseados y su incremento o disminución a través de la ejecución de una actividad de mitigación de mantenimiento o reemplazo y la determinación de la probabilidad de falla de un equipo, así como la estimación de las consecuencias y curva de riesgo. Con esta se deriva el establecimiento de la curva de costo, en la cual se realizan los cálculos de costos de actividades de mantenimiento o reemplazo. Por último, el establecimiento de la curva de impacto total donde se procede a sumar punto a punto de cada curva para obtener la curva de impacto total, correspondiente a cada período de frecuencia establecido en el análisis.

Implementa Reliabilityweb (2017) el procedimiento en tres fases, donde la primera fase va dirigida a definir el sistema o conjunto de equipos a analizar así como sus funciones y localización. Durante esta etapa inicial se realiza una auditoría al sistema de gestión de riesgos destinada a determinar el potencial efecto de la gestión actual sobre la probabilidad de falla de los equipos. Del resultado de la evaluación surgen en forma evidente las primeras acciones de mejoras a implementar. Esta se completa con la elaboración de un ranking de criticidad basado en riesgos de los equipos que componen el sistema, para elaborarlo se emplea primariamente el método cualitativo de análisis de riesgo de API 581. La fase II, va dirigida al desarrollo de Planes de Inspección específicos para cada equipo, donde se realiza un análisis semi-cuantitativo de riesgos para cada uno de los equipos. La fase III, consolidación, donde se deben realizar las inspecciones, analizar sus resultados y realizar las acciones correctivas que surjan de las mismas, finalizando con un análisis costo–beneficio debe ser realizado para lograr la justificación económica de las acciones realizadas.

Autores como Duran (2001) desarrollan un procedimiento basado en tres

etapas. La etapa I: Definición y delimitación del análisis, la etapa II: Resultados Preliminares y la etapa III: Análisis de la incertidumbre. El diseño de este procedimiento está enfocado en mejorar el proceso de toma de decisiones en actividades relacionadas con: frecuencias de mantenimiento e inspección, niveles de inventario, evaluación económica de cambios o proyectos menores (rediseños), evaluaciones de costo de ciclo de vida, y sincronización de actividades. En el anexo 2 se presenta un esquema general que representan los pasos y aspectos considerados.

Según Zaragoza Hijuelos (2013) producto a las relaciones Cuba-Venezuela, en la Universidad de las Ciencias Informáticas (UCI) surge un proyecto llamado “Sistema de Confiabilidad Integral de Activos (SCIA)”, desarrollado por un equipo de la UCI, que se fundamenta en la integración de conocimientos, disciplinas, métodos, procedimientos y herramientas para optimizar el impacto total de costos, desempeño y exposición al riesgo en la vida del negocio, permitiendo homologar metodologías de las diferentes etapas de la confiabilidad operacional, mejorar el proceso de gestión de mantenimiento y realizar análisis probabilístico de riesgo.

A pesar de ello, en Cuba no se han desarrollado investigaciones anteriores con un enfoque de análisis de Costo-Riesgo, encontrándose en un estado incipiente, por lo que se hace necesario la aplicación de un procedimiento que permita el análisis de los mismos.

Todos los procedimientos analizados anteriormente poseen un alto valor práctico-metodológico y son aplicables a distintos escenarios, pero como se pudo apreciar los expuestos en un primer momento consideran todos los componentes del modelo costo-riesgo, los presentados en un segundo momento limita el enfoque al análisis de costos que permitan particularizar el objeto de estudio de esta investigación. El tercer procedimiento presenta un fuerte basamento en el análisis de estos y sus interrelaciones. Finalmente, el cuarto procedimiento propone una estrategia, que permitirá optimizar el uso, la aplicación y la implantación de las técnicas de Optimización Costo-Riesgo, con el fin de generar el máximo valor agregado. Por lo que a fines de esta, el autor considera que se tomará como base el procedimiento general para el análisis de costo-riesgo planteado por Duran (2001) óptimo para guiar el estudio, dado que logra una combinación entre los costos asociados al realizar esta actividad,

tomar decisiones y los beneficios esperados que dichos aspectos generan, considerando el riesgo que involucra la realización o no de tal actividad o inversión, incluyendo en la misma el hecho de disponer o no de los recursos para esta. Además, se le incorporan al mismo, aquellas etapas más representativas de los restantes procedimientos, a las que se le realizan análisis y ajustes pertinentes en cada una según las características propias del hotel objeto de estudio.

1.5. El Mantenimiento en Cuba

La cultura de mantenimiento no existía en Cuba antes de 1959 en la mayoría de las industrias y no fue sino hasta 1961 cuando comenzó a iniciarse esta actividad, a partir de la introducción del Mantenimiento Preventivo Planificado en el Ministerio de Industrias (Martínez 2014).

En 1976, se aprueba la Ley No. 1323, de Organización de la Administración Central del Estado, en la cual se estableció entre las atribuciones y funciones principales del Ministerio de la Industria Sidero-Mecánica, "... la elaboración de Normas de Mantenimiento y Explotación para las Máquinas-Herramienta del País", constituyéndose así el Sistema de Mantenimiento Preventivo Planificado (MPP) para las Máquinas-Herramienta de Arranque de Virutas, Conformado de Metales, Elaboración de Madera, Equipos de Fundición, Equipos de Izaje y Transportación, integrado por normas y procedimientos de gran importancia técnica y económica, lo cual fue implantado en todas las empresas del Ministerio mencionado.

En el año 1981 se estableció, como un lineamiento para el desarrollo de la industria: "Ejecutar una política sistemática de mantenimiento y reparaciones generales que permitan garantizar o restituir las capacidades potenciales a las unidades..." y, a partir de la política la mayoría de las empresas cubanas asumieron el Sistema de Mantenimiento Preventivo Planificado, conocido por las siglas MPP, adaptándolo a las características de cada organización y sus maquinarias.

Después en 1985, el Ministerio de la Industria Básica (MINBAS) aprobó una nueva política de mantenimiento, que cambió la óptica del sistema de MPP a sistemas más adecuados a las características de las mismas, en particular se implementó el Sistema de Mantenimiento por Diagnóstico (MINBAS, 1986).

La adaptación del MPP de las máquinas-herramienta a equipos de otro tipo se realizó muchas veces a base de conocimientos empíricos y no científicos (estudios de modos de fallo o de fiabilidad) como era menester, pero el progreso científico-técnico ha demostrado que esa adaptación y la adopción de un sistema único de mantenimiento para toda la industria no es una opción justificable técnica ni económicamente pues no obstante a sus múltiples ventajas, el Sistema de MPP, que es el más extendido en Cuba, tiene también grandes desventajas entre las que se destacan (Martínez 2014):

1. Los ciclos que se planifican no siempre son los más adecuados para cada equipo y se requiere su revisión periódicamente;
2. Muchas veces se desarman equipos sin necesidad real y entre el desarme y arme posterior se corren riesgos de roturas y errores que pueden ser de gran envergadura;
3. El gasto de piezas, materiales y otros recursos en que se incurre es considerable y en ocasiones no responde a las necesidades reales.

Durante los años 90, la economía cubana pasa por un profundo proceso de reconversión, debido a los cambios necesarios para salir adelante con una producción de calidad y al menor costo posible. Dentro de los ingentes esfuerzos por la producción, muchos no recordaron la importancia que tiene la actividad integral de mantenimiento para el logro de ese objetivo cardinal, surgiendo con frecuencia innumerables contradicciones entre mantenimiento y producción. Es que también tenía que producirse la reconversión en el mantenimiento, comenzando por entender que el sistema de MPP establecido y casi generalizado, presenta importantes problemas que lo hacen difícil de ejecutar y altamente costoso, además de que los procedimientos normados para su ejecución se violan continuamente al ser impracticables y que en definitiva, la actividad integral de mantenimiento es ineficiente, pues parte de un sistema que ya se ha vuelto caduco en su concepción original, ante las

nuevas exigencias y reglas de la producción en entornos competitivos (Martínez 2014).

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

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

La política a formular reviste una importancia cardinal para la eficiencia y competitividad futura de la industria cubana, constituye un imprescindible punto de partida para la elaboración de una política mantenimiento efectiva y su impacto será determinante para el éxito y la sostenibilidad de la misma. Su magnitud y complejidad demanda una especial atención de los cuadros, los especialistas y el apoyo del sector académico, atendiendo al origen multicausal de los problemas a enfrentar (Martínez 2014).

1.5.1. Mantenimiento en el Ministerio del Turismo (MINTUR)

A diferencia de otras ramas de la industria, las instalaciones hoteleras se caracterizan por mantenerse dando servicio todos los días del año, sus 24 horas, y el cliente siempre está recibiendo el servicio en tiempo real, lo que cualquier insuficiencia en equipos, sistemas e inmuebles, se convierte inmediatamente en una insatisfacción (González 2016).

El mantenimiento en las instalaciones hoteleras constituye una de las bases fundamentales para el mejor desempeño de la actividad del turismo, por cuanto un hotel con un mantenimiento adecuado se convierte en una fuente de satisfacción del cliente y contribuye a que disfrute en toda su plenitud de las oportunidades que el mismo ofrece a la vez que propicia que sus visitas al lugar se repitan una y otra vez (González 2016).

El mantenimiento que se aplica en el MINTUR se rige por un manual que tiene como base el Mantenimiento Preventivo Planificado (MPP), el cual es aplicado por las áreas de Servicios Técnicos (SST) de las instalaciones pertenecientes a este ministerio, pero a partir del año 2010 entra en vigor la resolución 150 " Política de Mantenimiento en el MINTUR ", la cual establece que las áreas no se llamen SST, sino áreas de mantenimientos, pero aplicando el mismo sistema de MPP (González 2016).

1.5.2. Mantenimiento en el Grupo de Turismo Gaviota S.A

El mantenimiento en las instalaciones del Grupo de Turismo Gaviota S.A., se basa en la actualidad en dos tipos de mantenimiento: el correctivo o reactivo y el preventivo a plazo fijo, los cuales son ejecutados con la propia brigada de los hoteles, con la brigada de manteniendo territorial de Gaviota o con terceros. Al hacer el análisis de todas las acciones de mantenimiento diarias que se realizan en la instalación que son reflejadas en las ordenes de trabajo, se aprecia que predominan las correctivas por sobre las preventivas. Por la estructura de la plantilla y la forma en que está organizada, se crean las condiciones para que esto suceda. La tendencia es en la mayoría de los casos a la improvisación o sea el llamado "apaga fuegos". El Grupo de Turismo Gaviota S.A. cuenta con una brigada de mantenimiento, la cuales son UEB, subordinadas a cada delegado territorial. Tiene incluido en sus seis servicios el mantenimiento y reparación a los sistemas de clima centralizados y por expansión directa, sistemas de ventilación, bombeo de agua helada, caliente, ATA, equipos de lavandería y de comunicaciones. Estas UEB actúan como terceros y tienen a su cargo las acciones de mantenimiento correctivo y preventivo de estos equipos y sistemas (Manual de Servicios Técnicos 2011).

Los Departamentos de Mantenimiento no son solamente responsables del buen funcionamiento de los servicios, sino que además han de realizar la planificación de los trabajos, con las menores paradas posibles y en los momentos adecuados, han de realizar también una administración de los recursos humanos y una gestión técnico económico de la subcontratación, confeccionar presupuestos y gestionar repuestos, ser capaces de analizar la obsolescencia de activos, basándose en históricos de funcionamiento y costos, y tener en cuenta los requisitos legales de inspecciones reglamentarias de determinados activos, así como los requisitos de control de calidad y medioambiental, sujetos a normativas nacionales e internacionales.

1.6 Costos de mantenimiento en Cuba

En la bibliografía consultada se encontraron algunos procedimientos para el cálculo de costos asociados a la actividad de mantenimiento. Estos procedimientos son por los cuales se rige el Manual de Servicios Técnicos (Manual de Servicios Técnicos 2011), para el cálculo de los costos de mantenimiento. A continuación se expondrán los principales procedimientos analizados: **Tabla 1.1** Procedimientos para el cálculo de costos de mantenimiento

Autores	Procedimientos
(Garzón Wilson 2007)	Etapa I: Decidir el sistema de costo que se debe establecer. Etapa II: Establecer las principales cuentas controles del costo Etapa III: Realizar la clasificación de los gastos Etapa IV: Establecer las áreas de responsabilidad Etapa V: Elaborar las Fichas de costo Etapa VI: Establecer modelos y registros para el control del costo.
(Chaviano Duarte 2009)	Etapa I: Clasificación de los equipos de planta Etapa II: Determinar el costo por energía indisponible Etapa III: Determinación del costo total de mantenimiento

Fuente: Elaboración propia

1.7 Costos de mantenimiento en el Grupo Gaviota S.A

Sobre este aspecto, el Manual de Servicios Técnicos plantea una metodología para el estimado del presupuesto de equipos, sistemas y edificaciones, según su valor de adquisición y su estado técnico como se muestra a continuación(Manual de Servicios Técnicos 2011):

Datos iniciales:

Valor de Adquisición del medio: **VA**

Estado Técnico: Bueno (B), Regular (R) o Malo (M)

Tablas de coeficientes del Estado Técnico: **XM, XT, XS, XA**

Tabla 1.2 Tablas de coeficientes del Estado Técnico

ESTADO TECNICO	MENSUAL	TIMESTRAL	SEMESTRAL	ANUAL
BUENO	XM 0.005	XT 0.015	XS 0.025	XA 0.035
REGULAR	0.008	0.018	0.028	0.038
MALO	0.010	0.020	0.030	0.040

Probabilidad estimada para que ocurra una avería para un número determinado de equipos iguales: **PT**

Nota: Se recomienda tener en cuenta dos elementos los cuales son el estado técnico del propio medio y la cantidad que existe en explotación. Por lo general se sugiere trabajar entre 25% (0.25) y 30% (0.30).

Por ciento del valor de adquisición estimado para la reparación: **XR**

Tabla 1.3 Por ciento del valor de adquisición estimado para la reparación

ESTADO TECNICO	REPARACIÓN
BUENO	XR 0.05
REGULAR	0.10
MALO	0.15

Cantidad de actividades: **CA**

Tabla 1.4 Cantidad de actividades

Actividades	1	2	3	4
MENSUAL	X			
TRIMESTRAL		X		
SEMESTRAL			X	
ANUAL				X
CA	12	4	2	1

Nota: La marca significa que cuando aparezca como actividad de más frecuencia es la que marca la cantidad total.

Para el cálculo del gasto total en el año, se debe conocer las cantidades de actividades:

Actividades mensuales: **AM**, Actividades trimestrales: **AT**, Actividades semestrales: **AS**, Actividades anuales: **AA**

Tabla 1.5 Cálculo de gastos

Gasto de reparación por equipos: <u>GR</u>	
$GR = ((XR * PT) / CA) * VA$	
Gasto mantenimiento mensual: <u>GMM</u> GMM = (XM) * VA	Gasto mantenimiento mensual + Reparación : <u>GMMR</u> GMMR = (XM + (XR * PT / CA)) * VA
Gasto mantenimiento trimestral: <u>GMT</u> GMT = (XT) * VA	Gasto mantenimiento trimestral + Reparación : <u>GMTR</u> GMTR = (XT + (XR * PT / CA)) * VA
Gasto mantenimiento semestral: <u>GMS</u> GMS = (XS) * VA	Gasto mantenimiento semestral + Reparación : <u>GMSR</u> GMSR = (XS + (XR * PT / CA)) * VA
Gasto mantenimiento anual: <u>GMA</u> GMA = (XA) * VA	Gasto mantenimiento anual + Reparación: <u>GMAR</u> GMAR = (XA + (XR * PT / CA)) * VA

Por lo que la ecuación general para el cálculo del gasto de mantenimiento y reparación anual por tipo de equipo es la siguiente:

$$\text{GMR} = ((\text{XM} * \text{AM} + \text{XT} * \text{AT} + \text{XS} * \text{AS} + \text{XA} * \text{AA}) + (\text{XR} * \text{PT} / \text{CA})) * \text{VA}$$

Expresión 1.3

Conclusiones parciales

1. Las consultas bibliográficas permiten reconocer la utilidad del mantenimiento y particularmente de los costos del mantenimiento, como valioso instrumento que proporciona información que capacita a la Administración para que tome decisiones más informadas a efectos de que ésta pueda ejercer la planeación, el control y la evaluación de recursos.
2. Se analizaron varios procedimientos para el análisis costo- riesgo del mantenimiento. En este sentido, se toma como base el desarrollado por Duran (2001) en conjunto con etapas de los restantes procedimientos logrando una combinación óptima entre los costos asociados al realizar esta actividad y el riesgo que involucra la realización de la misma.



Capítulo 2

CAPÍTULO II. Caracterización del Hotel Playa Cayo Santa María, aplicación del procedimiento para la determinar frecuencia óptima seleccionada

Para dar solución al problema de investigación planteado y como respuesta a las conclusiones parciales arribadas en el Capítulo I, se definen en este capítulo la caracterización de la entidad objeto de estudio y la aplicación del procedimiento de costo-riesgo seleccionado.

2.1 Caracterización del Hotel Playa Cayo Santa María

El Hotel Playa Cayo Santa María se fundó el 24 de diciembre de 2011 desde entonces se encuentra situado en el cayo del mismo nombre, en el municipio de Caibarién, provincia de Villa Clara, entidad subordinada a la Delegación Territorial Centro de Gaviota S.A. Es uno de los hoteles que existen en Cuba del tipo marca propia, es decir no presenta dirección extranjera. Cuenta con una plantilla aprobada de 372 trabajadores, una plantilla cubierta de 354 trabajadores como promedio de ellos: 110 obreros, 175 de servicio, 5 administrativos, 57 técnicos y 7 cuadros; actualmente la plantilla tiene un total de 605 trabajadores de los cuales 233 son subcontratación. La composición por sexo es de 273 mujeres y 332 hombres.

La instalación está diseñada para brindar servicios hoteleros y turísticos, con una modalidad de un servicio todo incluido (All Inclusive), siendo este nuestro servicio principal, también contamos con otros servicios fuera del paquete incluido y que consideramos ventas extras, los cuales el cliente deberá pagar en efectivo, formando de esta forma los servicios secundarios de la instalación como son:

- servicio de lavandería.
- servicio de masajes, peluquería y sauna (SPA)
- servicios de ventas de tabacos y bebidas extra cartas.
- servicios de telefonía hacia distintos países o regiones del mundo.
- servicios de casas de cambio (CADECA)
- servicios de ventas de excursiones hacia distintos puntos de la provincia y la cayería.

Objeto social

Está diseñado para brindar un producto turístico de óptima calidad a través de una amplia gama de ofertas turísticas orientadas a la satisfacción de las necesidades, gustos y exigencias de sus clientes, con el objetivo de obtener elevados ingresos y utilidades y regido por el principio de potenciar los valores de la naturaleza, la cultura y la sociedad cubana.

Misión

Es un hotel de Sol y Playa 5* ubicado en Cayo Santa María cuyo diseño arquitectónico se basa en un minimalismo elegante y funcional, lo cual unido a los elevados estándares de calidad de sus servicios y el enfoque a la satisfacción del cliente, lo tipifican y diferencian del resto de los hoteles del destino.

Visión

Ser líderes en el destino Cayos de Villa Clara y destacar entre los 20 mejores hoteles de Cuba, con un servicio de excelencia orientado a satisfacer las expectativas de nuestros clientes.

2.1.1 Descripción de la Brigada de Servicios Técnicos (SS.TT.)

La actividad de mantenimiento en el hotel tiene como fin mantener en óptimo estado el equipamiento y las instalaciones, que garanticen la correcta prestación del servicio acorde a lo planificado para la temporada por la dirección, cumpliendo con lo establecido en el sistema de calidad, basándose en el manual de servicios técnicos de GAVIOTA S.A.

Directrices de mantenimiento

La actividad de mantenimiento se desarrollará sobre la base de la planificación, lo que permite utilizar óptimamente los recursos humanos y materiales. Las instalaciones elaborarán el Plan Anual de Mantenimiento, el cual incluirá el tipo, duración y fechas de los mantenimientos a ejecutar, partiendo de:

- Los ciclos de mantenimiento.
- El estado técnico de los equipos
- El comportamiento de los equipos durante el período de operación.

- Los requerimientos del servicio.

Se crearán o desarrollarán los sistemas de mantenimiento preventivo planificado u otras técnicas apropiadas, de manera que garanticen explotar y prolongar la vida económicamente útil de los equipos hasta los niveles máximos disponibles.

Se elaborará e implantará la base normativa de la actividad que incluye entre otros:

La clasificación de los equipos, definiendo cuales son los que afectan los servicios (equipos básicos o fundamentales) y los que no afectan el mismo (equipos auxiliares).

- Tipos de mantenimiento

1. Para las instalaciones se elaborarán los contenidos de trabajos de los mantenimientos Diarios, Semanales, Quincenales, Mensuales, Trimestrales, Semestrales y Anuales.

2. Volúmenes típicos y duración de cada uno, incluyendo su programa de ejecución.

3. Ciclos de mantenimiento, los cuales deberán ser ajustados teniendo en cuenta su comportamiento real.

4. Contenido de las carpetas de los equipos, que deberán contar con la adecuada documentación técnica para cada equipo y toda la información referente a reparaciones y equipos auxiliares o accesorios.

Los Hoteles contarán con talleres de acuerdo a sus características de servicio que apoyen los trabajos de mantenimiento dentro de los límites de calidad, tiempo y economía apropiados.

Se aplicarán sistemas de control del costo por cada reparación, que permitan una evaluación correcta del desarrollo y resultados de los trabajos.

El personal de mantenimiento será responsable del cumplimiento estricto de las medidas de seguridad y el uso adecuado de los medios de protección para todas aquellas actividades a desarrollar que así lo requieran.

Se crearán los métodos y disposiciones que garanticen que todos los trabajadores en cada Hotel tomen parte activa en el desarrollo de trabajos, que tiendan al ahorro de energía y su conservación; al ahorro de agua y al ahorro de materiales y piezas de repuesto, así como en la prevención de dificultades en los servicios, debido al mantenimiento inadecuado o insuficiente, de tal modo que sea fácilmente canalizada la información, de toda aquella anomalía que se observe.

Se considerará por los Comités de Innovadores y/o Racionalizadores la actividad de mantenimiento, a fin de introducir logros técnicos que faciliten al mismo tiempo una mayor seguridad a las instalaciones y al personal involucrado en su aplicación, así como el incremento de ahorro de piezas de repuesto por las vías de reparación y restitución, disminuyendo sus compras o importaciones.

La actividad de mantenimiento en cada Hotel tendrá como tarea permanente la constante superación técnico-cultural de sus técnicos, para lo cual se elaborará anualmente el Plan de Formación del personal.

Se trabajará en la formación de técnicos con perfil amplio, la polivalencia del personal permitirá el trabajo con plantillas más reales y se podrá abarcar todas las especialidades necesarias por más de un operario o técnico.

Se incluirán de manera preferente en los cursos de superación de directivos de la actividad de mantenimiento, aspectos sobre dirección, organización, control y análisis económico de la actividad.

El mantenimiento que se ha aplicado en dicho centro ha incluido tareas preventivas y correctivas basadas en un plan de Mantenimiento Preventivo Planificado según referenciado en el Manual de Servicios Técnicos (Manual de Servicios Técnicos 2011), orientado desde la dirección del hotel y a su vez es orientado desde la Dirección Territorial Centro GAVIOTA S.A.

El área de servicios técnicos se encuentra ubicada dentro de la fábrica, patio de servicios del hotel, la misma cuenta con cuatro oficinas, una carpintería, un taller mecánico y de refrigeración, un taller eléctrico, un taller de soldadura, un pañol y un almacén. Tiene una plantilla de 37 trabajadores, un jefe de servicios

técnicos, dos técnicos en servicios técnicos para el turismo, una técnica en ahorro y uso racional de la energía, un especialista B en servicios técnicos, un programador controlador, cuatro operarios de mantenimiento a equipos en instalación (mecánica general), un operario de mantenimiento a equipos en instalación (climatización), tres plomeros instaladores B, un pintor de la construcción, seis operarios generales de mantenimiento y reparación, un operario C instalador reparador, seis limpiadores de piscina, cinco electricistas, un carpintero y tres albañiles.

2.2. Aplicación del procedimiento de Costo-Riesgo seleccionado

2.2.1. Descripción del proceso del sistema de enfriadoras

Las enfriadoras de agua, pueden producir agua fría o caliente según las necesidades que se tengan gracias a una válvula de cuatro vías que consigue invertir el ciclo en caso de ser necesaria calefacción. La unidad exterior, al estar condensada por aire, se instala a la interperie, aprovechándose el aire ambiente que no supone ningún coste adicional. Normalmente, estos equipos tienen que mover gran cantidad de aire en la unidad exterior por lo que sus dimensiones son grandes y a veces esto supone un problema para la instalación. Por orden, se citan a continuación los distintos componentes que conforman el sistema bajo estudio y los datos físicos de los mismos.

- Tipo de refrigerante
- Compresor
- Evaporador
- Condensador
- Sistema de control
- Carga de refrigerante R-407C (kg), para cada circuito, ya que a partir del modelo 090 aparecen dos circuitos de refrigerante, para asegurar que la enfriadora pueda trabajar a carga parcial.
- Capacidad frigorífica nominal para cada modelo, donde las condiciones nominales se refieren a temperaturas de entrada del agua en el intercambiador de calor de placas (evaporador) son 12°C, la temperatura de salida 7°C y la temperatura del aire exterior de 35°C.

- Compresores; el compresor que usa es un compresor hermético crol. En este apartado se da la cantidad de compresores para cada uno de los circuitos de refrigerante, el número de etapas de carga y el % de carga mínima que tiene cada modelo.
- Tipo de intercambiador de calor de aire (tubos de cobre ranurados con aletas de aluminio), tipos de ventiladores y cantidad, caudal total de aire a alta velocidad y las velocidades alta y baja.
- Tipo de intercambiador de calor de agua (intercambiador de placas soldado), volumen de agua y la presión máxima de funcionamiento en el lado del agua.
- Caudal máximo de agua en el evaporador para unidades con módulo hidrónico con bomba única o bomba doble y una presión disponible de 50 kPa.
- Caudal máximo de agua en el evaporador para unidades sin módulo hidrónico con una pérdida de carga de 100 kPa.

Para el cumplimiento del objetivo propuesto en la presente investigación, se aplicará el procedimiento para la determinar la frecuencia óptima de mantenimiento a las enfriadoras de agua del Hotel Playa Cayo Santa María, mediante un procedimiento costo-riesgo propuesto por Duran (2001). A continuación se muestran las etapas que lo conforman:

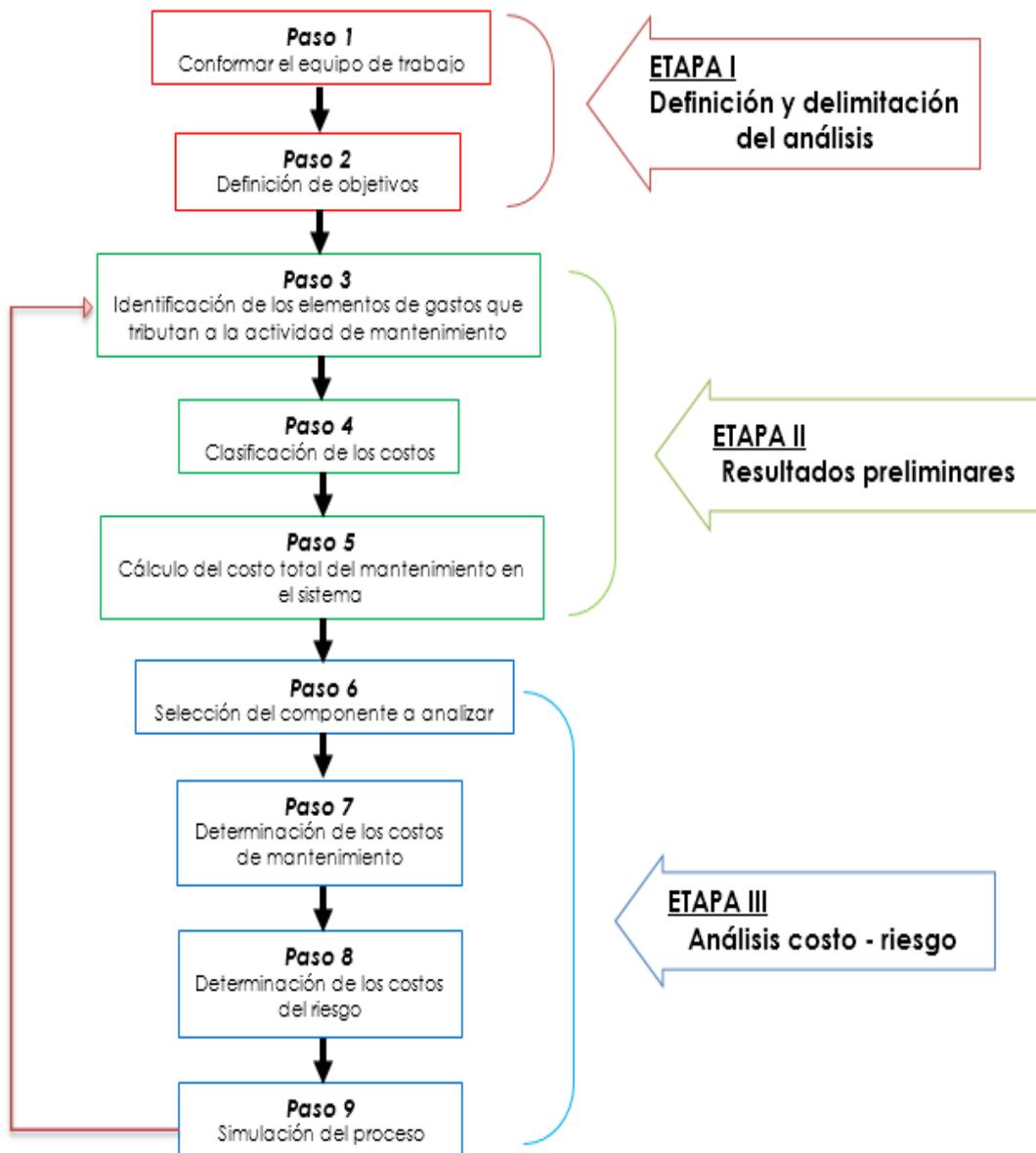


Figura 2.1 Procedimiento a seguir para la ejecución del análisis Costo-Riesgo.

Fuente: (Valle 2017)

Paso 1: Conformar equipo de trabajo

En la tabla 2.1 se muestran los nombres de los especialistas que conforman este grupo de trabajo en el hotel objeto de estudio, conformado por personas que representen a diferentes áreas funcionales. El proceso de selección se desarrolló teniendo en cuenta que los mismos tuvieran suficientes conocimientos sobre el tema a tratar y experiencia en la tarea, de manera que garantizarán resultados consecuentes con el objetivo perseguido.

Tabla 2.1 Equipo de trabajo definido

No	Ocupación	Años de experiencia
1	Jefe de Servicios Técnicos	6
2	Especialista en enfriadoras	11
3	Económica	8
4	Jefe de brigas	12
5	Técnica en ahorro y uso racional de energía	5

Fuente: Elaboración propia

Paso 2: Definición de objetivos

Para aplicar la metodología es esencial que el equipo de trabajo fuera capaz de identificar, seleccionar y orientar la realidad operativa del sistema objeto del análisis definiendo los siguientes objetivos:

- Determinar el número óptimo de actividades de mantenimiento.
- Optimizar el proceso de toma de decisiones del proceso de mantenimiento de las enfriadoras.
- Decidir cuándo hacer mantenimiento, cuándo hacer la parada de servicio.
- Estimar la relación costo/riesgo de múltiples factores, tales como el impacto de normas, leyes, regulaciones, medio ambiente, seguridad, confiabilidad, eficiencia, costos de operación, seguridad física, operacionales, no operacionales y otros.

Paso 3: Identificación de los elementos de gastos que tributan a la actividad de mantenimiento

Los elementos de gastos se presentan en una ficha de costo (anexo 4) para el trabajo de las UEB tecnológicas y constructivas aprobado el 4 de enero del 2017, donde se muestra la tarifa en horas hombres de las UEB Mantenimiento Tecnológico y Constructivo; en cuanto a materias primas y materiales, los gastos indirectos, los gastos generales de dirección, salario del personal directo a la producción, así como la tarifa interna de Gaviota y la tarifa interna de terceros. Esta ficha también enseña el gasto general de la UEB en una hora

y el gasto de un trabajador directo en una hora, además de la frecuencia, tiempo en horas, tarifa horaria e importe total de tarifa horaria en CUC.

Paso 4: Clasificación de los costos

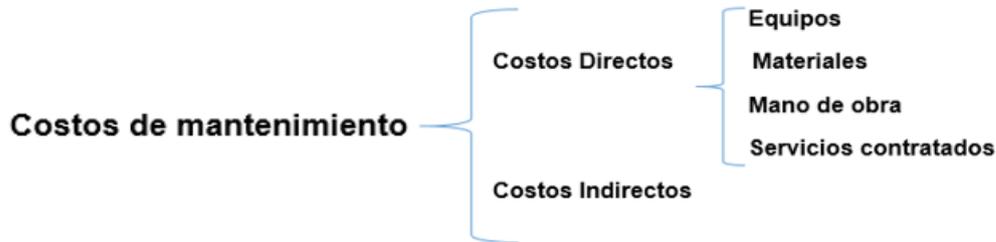


Figura 2.2 Clasificación de los costos. **Fuente:** UEB Mantenimiento Tecnológico y Constructivo.

Los costos en el hotel se clasifican según se muestra en la figura anterior, sin embargo, no son asumidos ya que esta actividad es tercerizada y solo se ocupan de poseer el efectivo necesario para pagar directamente este servicio.

Esta actividad en el hotel se realiza sumando las horas que demora la realización la actividad de mantenimiento a las bombas multiplicado por la cantidad de veces que lo realizan en el año, más las horas que demora la realización la actividad de mantenimiento a las resistencias por la cantidad de veces que lo realizan en el año, más las horas que demora la realización la actividad de mantenimiento a los paneles solares por la cantidad de veces que lo realizan en el año. Toda esta suma se multiplica por el Total General de la ficha de costo que tienen definido la brigada.

Paso 5: Calcular el costo total de mantenimiento del sistema

Para el cálculo del costo total del sistema se utilizó la información brindada por la brigada de Gaviota, donde se tomó como referencia una sola enfriadora de cuatro existentes por su similar funcionamiento en todos sus componentes a analizar facilitando los cálculos pertinentes y obteniéndose los resultados mostrados a continuación:

Tabla 2.2 Costo total de mantenimiento de la enfriadora #1

Elementos	Cantidad de mantenimiento/año	Tiempo en horas	Importe de Tarifa Horaria	Costo Total (CT)
Compresor	4	15	127,2	7632
Ventiladores axiales	12	8	67,84	6512,64
Intercambiador	2	17	144,16	4901.44
Costo Total				19046,08

Los costos asociados a esta actividad son determinados por la propia brigada de servicios contratados, donde los resultados se muestran en la siguientes tablas:

Tabla 2.3 Resumen de los costos totales de mantenimiento

Tipo de costos	CUC/año
Materiales directos	3 019.51
Mano de obra directa	15 149.86
Costos indirectos	1 095.24
Pérdidas por servicio	245 079
Costo de Reparación	4 963.765
Total	269 307.89

Los costos de mantenimiento por servicios contratados suman un total de 269 334,85 CUC/año, por lo que se puede considerar que el costo total de mantenimiento del sistema de enfriadoras dado que son cuatro las existentes suma un total de 1 077 339,4 CUC.

Paso 6: Selección del componente a analizar

Para la selección del componente a analizar del sistema de enfriadoras, se hizo necesaria la realización de un análisis de Nivel de Prioridad de Riesgo realizado por (Cano 2017), y consultado con el personal de mantenimiento y operaciones.

La determinación de los NPR, se establece a través de la multiplicación de las consecuencias por la probabilidad de fallo. Para estimar las consecuencias se siguen los pasos de la figura 2.2 El grupo de expertos seleccionó los criterios siguientes: seguridad física, operacional, medio ambiente y no operacional. Dichos criterios son evaluados y a su vez se le asigna un peso por el método de ordenación simple. Por ultimo son estimadas las consecuencias utilizando la fórmula mostrada en el anexo 3. Mientras que la probabilidad del fallo, solo se determina por la multiplicación de la frecuencia por la detección de forma cualitativa.

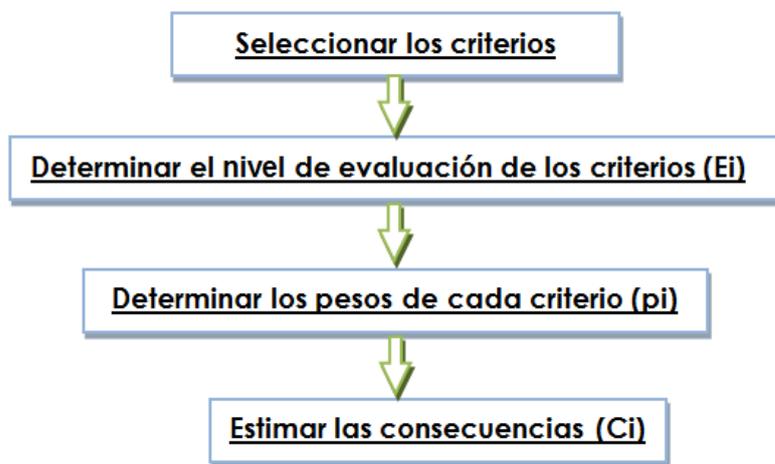


Figura 2.2 Procedimiento para estimar las consecuencias

Los niveles de prioridad del riesgo (NPR), se clasifican según el riesgo de cada causa de fallo a través de los intervalos seleccionados por el grupo de expertos, como se muestra en la tabla 2.4

Tabla 2.4 Clasificación del nivel de riesgo según los intervalos del NPR

Nivel de riesgo	Intervalo NPR (%)
Aceptable	$NPR \leq 4$
Admisible	$5 \leq NPR \leq 18$
Permisible	$19 < NPR \leq 48$
Crítico	$NPR \geq 49$

Para la estimación del riesgo se construye el Análisis Modal de Fallos y Efectos (AMFE) como se muestra en el anexo 5, del cual se obtuvo el análisis del NPR que permitió jerarquizar los componentes del sistema.

La información de las reparaciones de las causas de las fallas del sistema de enfriadoras fue suministrada por el software @ Mantener. La misma se obtuvo del historial de fallas del ventilador axial, compresor e intercambiador (Evaporador y condensador) almacenado en el sistema de información desde el año 2013 hasta los primeros meses del año 2018. En las tablas se muestran dichos datos (anexo 6).

Paso 7: Determinación de los costos de mantenimiento

A continuación, se determinarán los costos de mantenimiento para los distintos componentes a analizar en el sistema de enfriadoras.

Tabla 2.9 Costos del mantenimiento para el compresor

Costos de mantenimiento (CUC/año)	
Materiales directos	1142.2
Mano de obra directa	3787,46
Costos indirectos	365.08
Costo Total	5294.74

Los datos de la tabla anterior se pueden obtener a partir de la tabla 2.10 y las fórmulas siguientes:

Tabla 2.10 Costo horario del personal

A realizar	Cantidad	Tarifa horaria (cup)
Técnico	1	473.4336
Supervisor	1	737.7763

Fuente: Ficha de costo

$$\text{CMOD} = (\sum \text{CUP} \times \text{NP}) \times \text{TMP}$$

Expresión 2.1

Donde:

MOD: **costo de la mano de obra directa.**

CUP: costo unitario del personal

NP: número de personas

TMP: tiempo para la ejecución del mantenimiento preventivo 62.42 horas/año

CMD = CR x NR

Expresión 2.2

Donde:

CMD: **costo de los materiales directos**

CR: costo del repuesto

NR: número de repuestos

Tabla 2.11 Costos del mantenimiento para el ventilador axial

Costos de mantenimiento (CUC/año)	
Materiales directos	735
Mano de obra directa	7574.94
Costos indirectos	365.08
Costo Total	8675.02

Los datos de la tabla anterior se pueden obtener a partir de la tabla 2.12 y las fórmulas siguientes:

Tabla 2.12 Costo horario del personal

A realizar	Cantidad	Tarifa horaria
Técnico	1	473.4336
Supervisor	1	737.7763

Fuente: Ficha de costo

Ver Expresión 2.1 y 2.2

Tabla 2.13 Costos del mantenimiento para el intercambiador

Costos de mantenimiento (CUC/año)	
Materiales directos	1142.2
Mano de obra directa	3787.46
Costos indirectos	365.08
Costo Total	5294.74

Los datos de la tabla anterior se pueden obtener a partir de la tabla 2.14 y las fórmulas siguientes:

Tabla 2.14 Costo horario del personal

A realizar	Cantidad	Tarifa horaria
Técnico	1	473.4336
Supervisor	1	737.7763

Fuente: Ficha de costo

Ver Expresión 2.1 y 2.2

Paso 8: Determinación de los costos del riesgo

Para determinar el costo del riesgo es necesario estimar el número esperado de fallas y el costo unitario de las fallas.

- a) Estimación del número esperado de fallas

La determinación del número esperado de fallas se efectuó siguiendo los siguientes pasos: pruebas de bondad de ajuste, estimación de los parámetros de la distribución de Weibull, determinación de la ecuación para estimar el número esperado de fallas.

- **Pruebas de bondad de ajuste**

Esta prueba se efectuó mediante la ayuda del software SPSS, para verificar si el conjunto de datos, en este caso los tiempos entre fallas del sistema, se apegan a la distribución de probabilidad de Weibull. Para la realización de esta prueba se tomó en consideración la información mostrada

en las tablas 2.6, 2.7 y 2.8 de tiempos entre fallas, y se obtuvieron los resultados mostrados en las tablas siguientes:

Tabla 2.15 Prueba de bondad de ajuste realizada por SPSS al compresor.

Estadísticos de prueba

			VAR000 01
Chi-cuadrado			2,667 ^a
gl			7
Sig. asintótica			,914
Sig. Monte Carlo	Sig.		,964 ^b
	Intervalo de confianza a 95%	Límite inferior	,961
		Límite superior	,968

a. 8 casillas (100,0%) han esperado frecuencias menores que 5. La frecuencia mínima de casilla esperada es 1,5.

b. Se basa en 10000 tablas de muestras con una semilla de inicio 1314643744.

Tabla 2.16 Prueba de bondad de ajuste realizada por SPSS al ventilador axial.

Estadísticos de prueba

			VAR000 01
Chi-cuadrado			5,522 ^a
gl			15
Sig. asintótica			,987
Sig. Monte Carlo	Sig.		,997 ^b
	Intervalo de confianza a 95%	Límite inferior	,995
		Límite superior	,998

a. 16 casillas (100,0%) han esperado frecuencias menores que 5. La frecuencia mínima de casilla esperada es 1,4.

b. Se basa en 10000 tablas de muestras con una semilla de inicio 926214481.

Tabla 2.17 Prueba de bondad de ajuste realizada por SPSS al intercambiador.

Estadísticos de prueba

			VAR000 01
Chi-cuadrado			6,778 ^a
gl			10
Sig. asintótica			,746
Sig. Monte Carlo	Sig.		,786 ^b
	Intervalo de confianza a 95%	Límite inferior	,778
		Límite superior	,794

a. 11 casillas (100,0%) han esperado frecuencias menores que 5. La frecuencia mínima de casilla esperada es 3,3.

b. Se basa en 10000 tablas de muestras con una semilla de inicio 299883525.

Con los resultados obtenidos se puede verificar el no rechazo de la hipótesis que plantea que el comportamiento de fallas de los componentes se ajusta a la distribución de Weibull, con base en el valor P de la prueba Chi-cuadrado de Pearson, contrastado con un nivel de significancia (α) del 5%.

- **Parámetros de estimación del número esperado de fallas**

De las pruebas anteriores se obtuvo que la distribución que mejor se ajusta al conjunto de valores es la distribución de Weibull, cuyos parámetros principales de forma y escala, mediante el uso del programa Minitab, arrojaron los siguientes resultados:

Para el compresor: $\alpha = 5.76776$ y $\beta = 1695.93$ tal como se muestra en la figura 2.3.

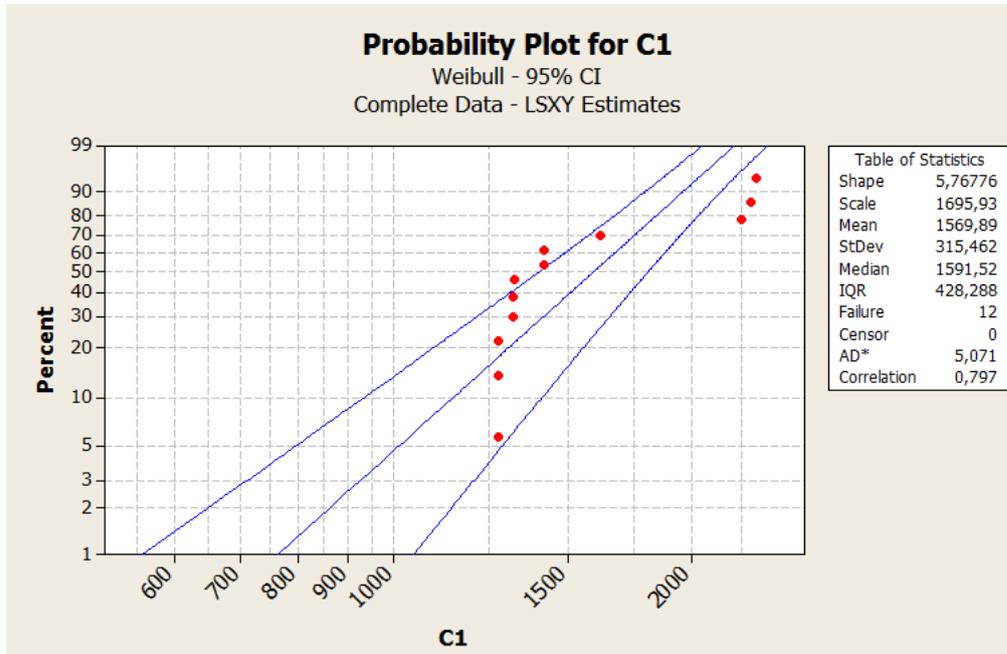


Figura 2.3 Parámetros de Weibull obtenidos por el software Minitab.

Fuente: Software Minitab.

Para el ventilador axial: $\alpha = 5.69144$ y $\beta = 552.395$ tal como se muestra en la figura 2.4

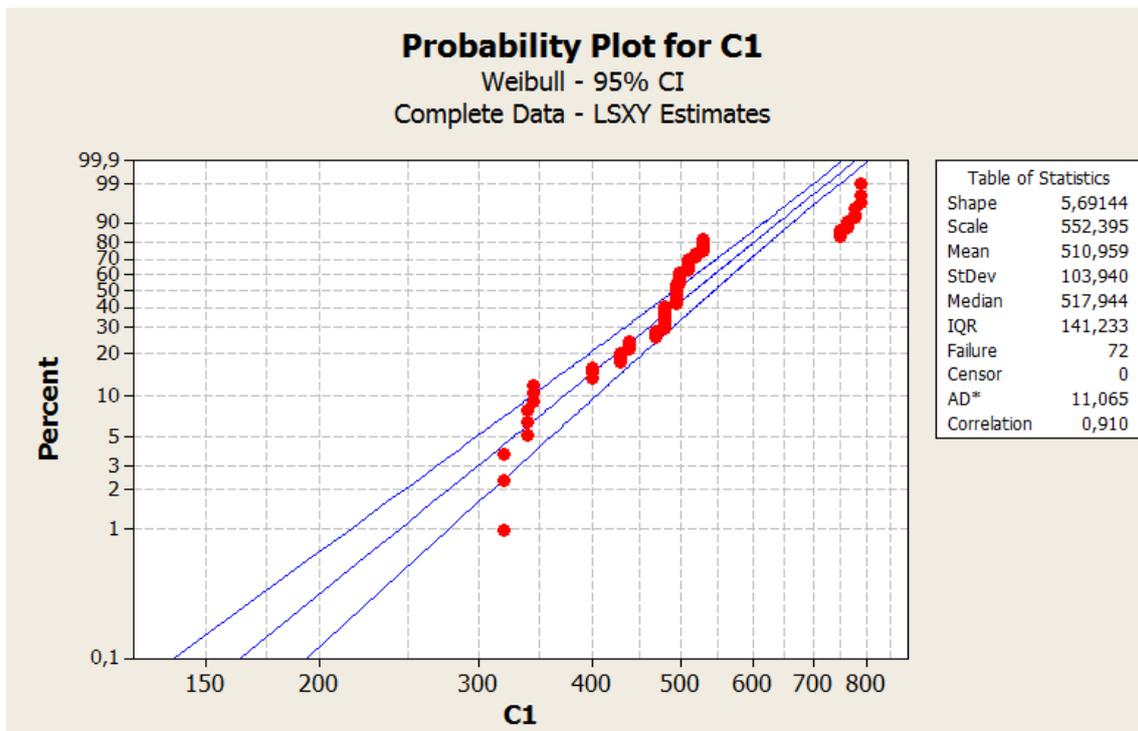


Figura 2.4 Parámetros de Weibull obtenidos por el software Minitab.

Fuente: Software Minitab.

Para el intercambiador: $\alpha = 3.9991$ y $\beta = 3029.49$ tal como se muestra en la figura 2.5

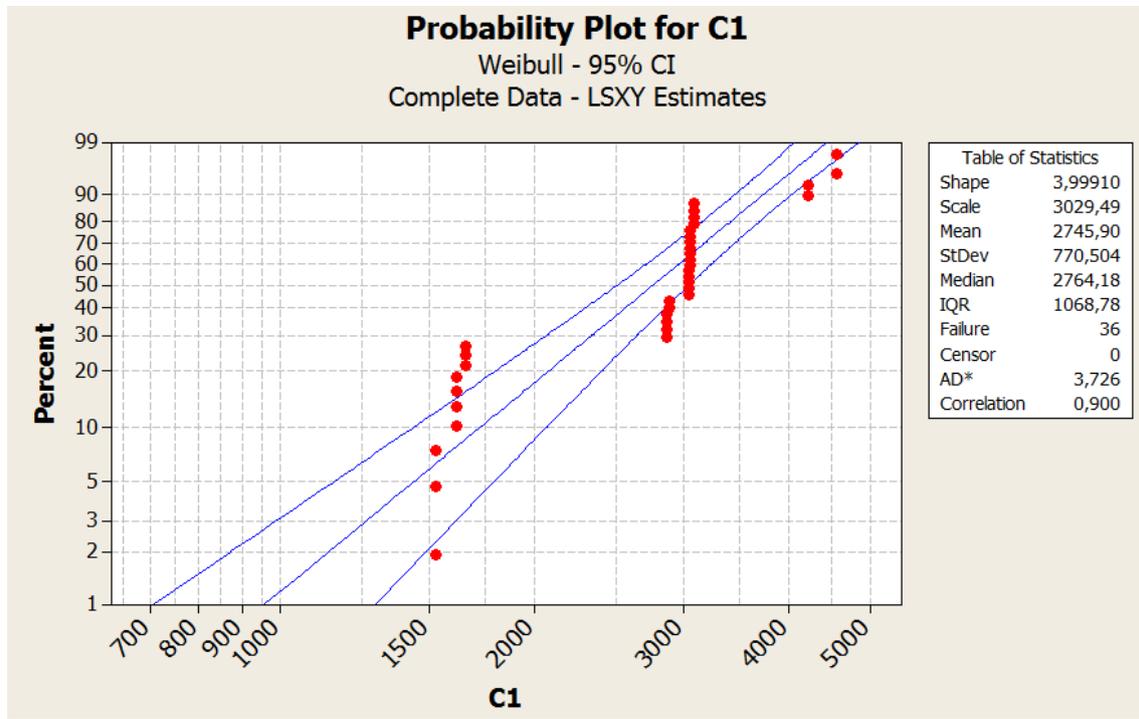


Figura 2.5 Parámetros de Weibull obtenidos por el software Minitab.

Fuente: Software Minitab.

- **Ecuación para estimar el número esperado de fallas**

Para la estimación del número esperado de fallas se asume una distribución Weibull ya que según el comportamiento de fallas de los equipos, esta es la distribución que mejor se adapta a dicho comportamiento, es decir, las fallas presentan un patrón de arranque, operación normal y luego de desgaste, esto se debe principalmente a las características de los materiales con los que son fabricados sus componentes, y la distribución de Weibull es la única distribución que aplica a mecanismos de fallas en arranque, operación normal y desgaste. Empleando los parámetros obtenidos y sustituyéndolos en la siguiente ecuación se obtendrá el número esperado de fallas:

Dónde: NEF: número esperado de fallas

t: intervalo de tiempo

$$NEF(t) = \left[\frac{t}{\beta} \right]^\alpha$$

Aplicando la ecuación mostrada se puede observar el número de fallas (una falla) por intervalo de tiempo, a cada componente analizado.

Tabla 2.18 Simulación del número esperado de fallas para el compresor

Tiempo	NEF	Tiempo	NEF
100	0,0000000811	900	0,025876881
200	0,00000441915	1000	0,047514937
300	0,0000458132	1100	0,082332866
400	0,000240773	1200	0,135996767
500	0,00087209	1300	0,215788387
600	0,002496088	1400	0,330873206
700	0,006072854	1500	0,492586245
800	0,013118267	1600	0,714735299

b) Estimación del costo unitario de la falla

Tabla 2.19 Costo unitario de la falla para el compresor

Costos unitario de la falla (CUC/año)	
Pérdidas por servicio	104400
Costo de reparación	1324
Costo Total	105724

Para obtener los datos mostrados en la tabla 2.19, se requiere la utilización de las fórmulas planteadas a continuación:

$$CR = CMD + CMOD + CIR$$

Expresión 2.3

Donde:

CR: costo de la reparación.

CMD: costo de los materiales directos.

CMOD: costo de mano de obra directa.

CIR: costos indirectos de realizar la reparación.

$$\text{Pérdida por servicio} = \text{PP} \times \text{RT} \times \text{TPR}$$

Expresión 2.4

Donde:

PP: El precio por metros cúbico de aire frío producido (cuc/m^3)

RT: La tasa de producción de frío (m^3/h)

TPR: tiempo para reparar (h/falla)

Pérdidas de servicio: se tomó en consideración como una reducción en la tasa de producción de aire frío a producir, de la siguiente manera:

- El precio por metros cúbico de aire frío producido, según información suministrada por la brigada de mantenimiento de la delegación Gaviota, es de \$87 por m^3 .
- El tiempo promedio para reparar según historiales de fallas se considera en 8 horas por falla.
- La tasa de producción de frío es de 150 m^3 por hora.

Entonces, la pérdida esperada de producción generada por la aparición de una falla es de:

$$87 \text{ \$/m}^3 \times 150 \text{ m}^3/\text{h} \times 8 \text{ h/falla} = 104400 \text{ \$/falla}$$

Tabla 2.20 Simulación del número esperado de fallas para el ventilador axial

Tiempo	NEF	Tiempo	NEF
50	0,000001154	450	0,31135079
100	0,000059689	500	0,56712133
150	0,000994362	550	0,97557344
200	0,00308194	600	1,6007787
250	0,010974426	650	2,52451375
300	0,030976841	700	3,84906224
350	0,07448363	750	5,700183319
400	0,1592643	800	8,230242308

b) Estimación del costo unitario de la falla

Tabla 2.21 Costo unitario de la falla para el ventilador axial

Costos unitario de la falla (CUC/año)	
Pérdidas por servicio	10179
Costo de reparación	993
Costo Total	11172

Ver expresión 2.3 y 2.4

Tabla 2.22 Simulación del número esperado de fallas para el intercambiador

Tiempo	NEF	Tiempo	NEF
200	0,0000190416	1800	0,124685346
400	0,000304479	2000	0,190022136
600	0,001540848	2200	0,278187545
800	0,00486858	2400	0,39396525
1000	0,011883795	2600	0,542594085
1200	0,024638193	2800	0,729768011
1400	0,045638963	3000	0,96163608
1600	0,0778487		

b) Estimación del costo unitario de la falla

Tabla 2.23 Costo unitario de la falla para el intercambiador

Costos unitario de la falla (CUC/año)	
Pérdidas por servicio	130500
Costo de reparación	2647.37
Costo Total	133147.37

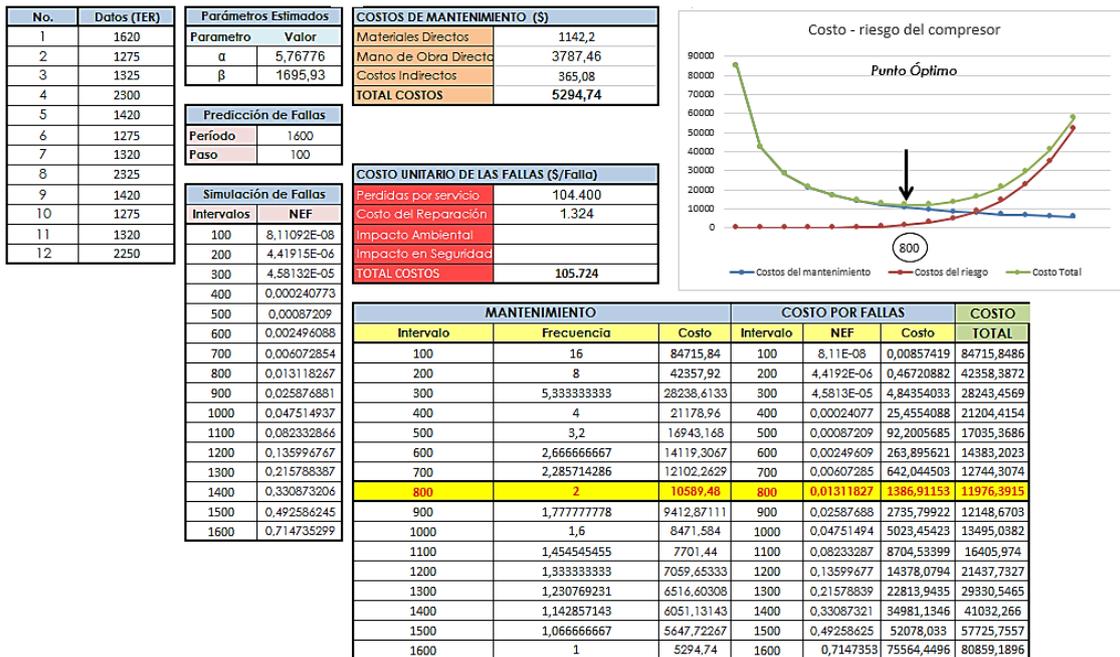
Ver expresión 2.3 y 2.4

Paso 9: Simulación del modelo

Se utilizó el Excel para la simulación del comportamiento de estos componentes para así arribar a la solución óptima basado en el costo de mantenimiento, el costo por fallas y el costo total.

Los resultados se presentan a continuación:

Tabla 2.24 Resultados obtenidos de la simulación del compresor



Fuente: Elaboración propia

De forma más detallada se puede observar en la siguiente figura los resultados obtenidos del análisis costo-riesgo de la simulación trazando curvas a partir del costo de mantenimiento, el costo por fallas y el costo total.

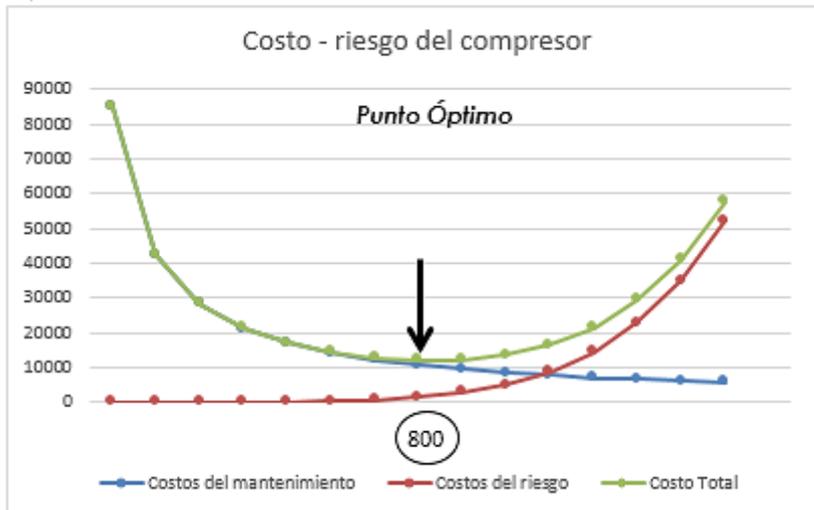


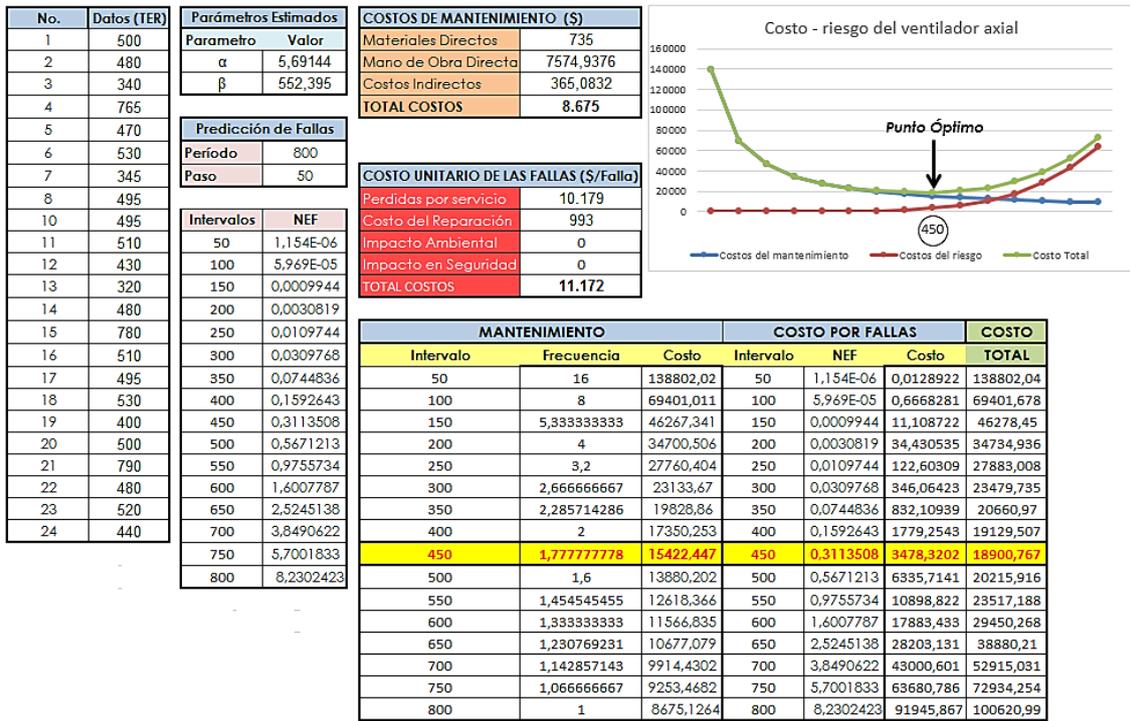
Figura 2.6 Simulación costo-riesgo del compresor

Obteniéndose una solución óptima de 800h por intervención se puede llegar a la comparación entre la política actual y la propuesta definiéndose la mejor oferta.

Tabla 2.25 Comparación entre los costos de mantenimiento actual y el propuesto

Política	Intervalo (horas)	Costo de Mantenimiento (CUC)	Costo por fallas (CUC)	Costo Total (CUC)
Actual	1 300	6 516.60	22 813.94	29 330.54
Propuesta	800	10 589.48	1 386.91	11 976.39
Diferencia	-500	4 072.88	-21 427.03	-17 254.15

Tabla 2.26 Resultados obtenidos de la simulación del ventilador axial



Fuente: Elaboración propia

De forma más detallada se puede observar en la siguiente figura los resultados obtenidos del análisis costo-riesgo de la simulación trazando curvas a partir del costo de mantenimiento, el costo por fallas y el costo total.

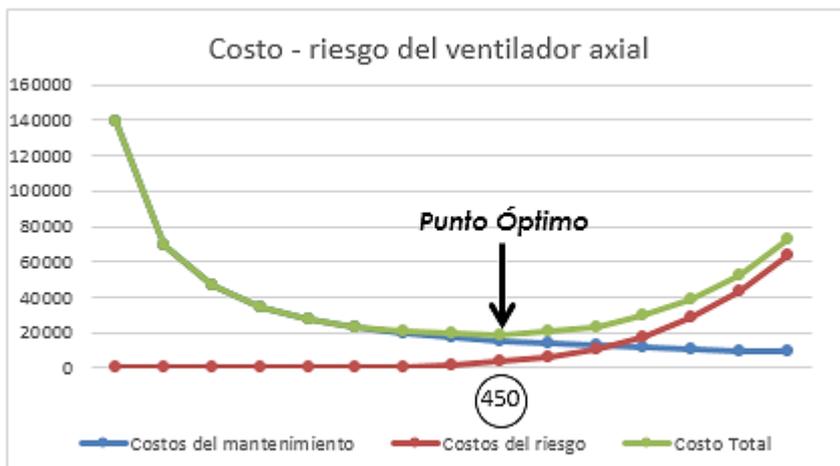


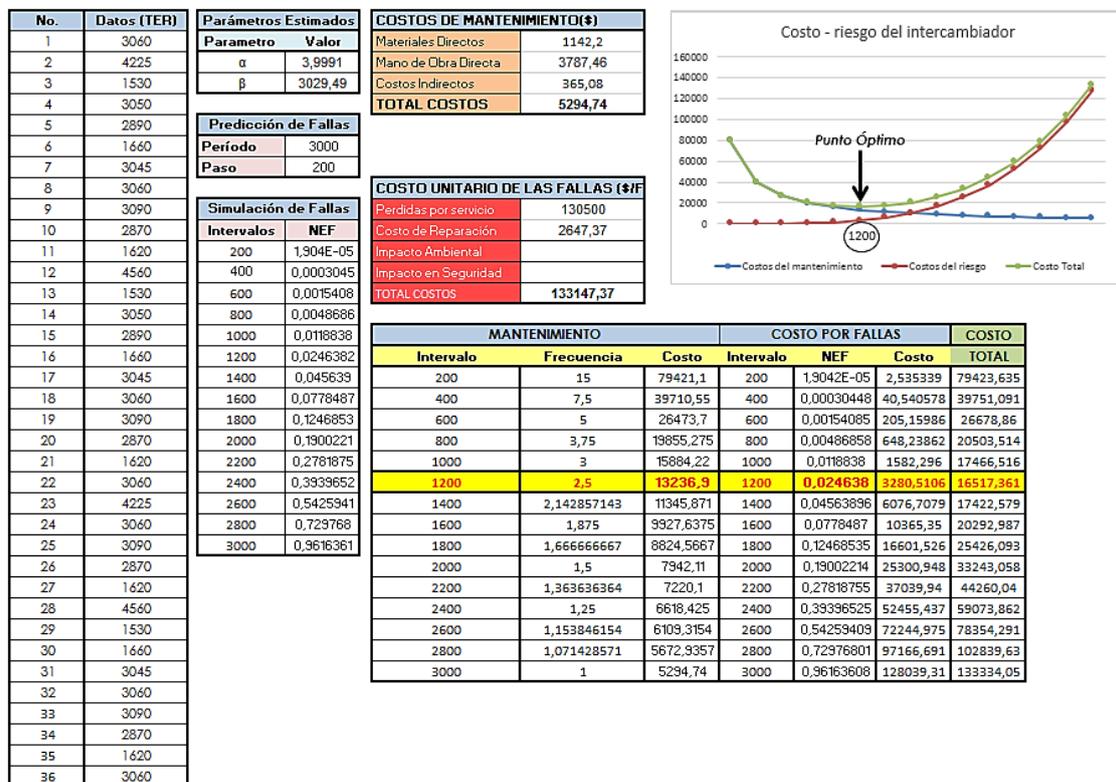
Figura 2.7 Simulación costo-riesgo del ventilador axial

Obteniéndose una solución óptima de 450h por intervención se puede llegar a la comparación entre la política actual y la propuesta definiéndose la mejor oferta.

Tabla 2.27 Comparación entre los costos de mantenimiento actual y el propuesto

Política	Intervalo (horas)	Costo de Mantenimiento (CUC)	Costo por fallas (CUC)	Costo Total (CUC)
Actual	500	13 880.20	6 335.71	20 215.91
Propuesta	450	15 422.44	3 478.32	18 900.76
Diferencia	-50	1 542.24	-2 857.39	-1 315.15

Tabla 2.28 Resultados obtenidos de la simulación del intercambiador



Fuente: Elaboración propia

De forma más detallada se puede observar en la siguiente figura los resultados obtenidos del análisis costo-riesgo de la simulación trazando curvas a partir del

costo de mantenimiento, el costo por fallas y el costo total.

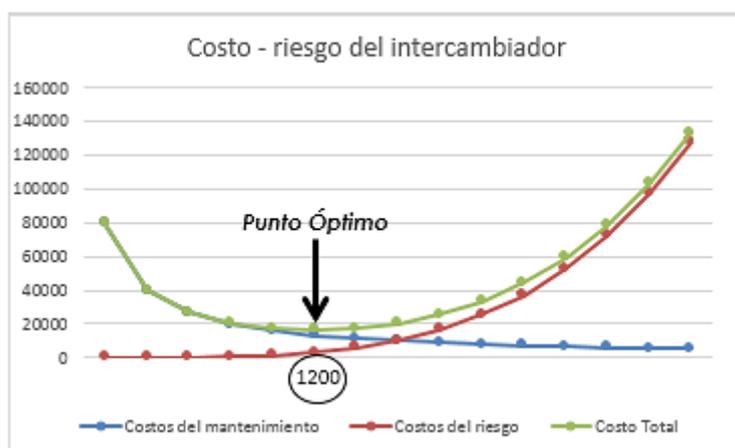


Figura 2.8 Simulación costo-riesgo del intercambiador

Obteniéndose una solución óptima de 1200h por intervención se puede llegar a la comparación entre la política actual y la propuesta definiéndose la mejor oferta.

Tabla 2.29 Comparación entre los costos de mantenimiento actual y el propuesto

Política	Intervalo (horas)	Costo de Mantenimiento (CUC)	Costo por fallas (CUC)	Costo Total (CUC)
Actual	3 000	5 294.74	128 039.31	133 334.05
Propuesta	1 200	13 236.85	3 280.51	16 517.36
Diferencia	-1800	7 942.11	-124 758.8	-116 816.69

Conclusiones parciales

1. El procedimiento propuesto para realizar la factibilidad económica, basado en el modelo Costo – Riesgo, permitió obtener las frecuencias de mantenimiento basado en el mínimo costo total, mediante la interacción de las estadísticas de fallas, las consecuencias de las fallas y los costos de mantenimiento.

2. El procedimiento permitió realizar una comparación entre los costos del mantenimiento actual y la propuesta desarrollada, logrando obtener un ahorro considerable de estos costos.



Conclusiones

Conclusiones generales

1. El estudio de la bibliografía consultada para la construcción del marco teórico de la investigación confirma la existencia de una amplia base conceptual que evidenció la calidad que ha alcanzado el mantenimiento como disciplina en la estructura competitiva de las empresas, sin embargo, son insuficientes los precedentes sobre el tratamiento del análisis Costo-Riesgo del mantenimiento en Cuba, particularmente en el Grupo GAVIOTA S.A
2. El análisis de la situación problemática que fundamenta la presente investigación motivó la necesidad de desarrollar un procedimiento general para determinar la frecuencia óptima de mantenimiento a las enfriadoras de agua, mediante un procedimiento costo-riesgo que considere los elementos referentes al análisis de costo-riesgo.
3. Con la frecuencia de ejecución del mantenimiento, se incurre en un aumento de los costos de mantenimiento en relación con lo que actualmente se hace, sin embargo a partir de la disminución significativa de los costos de riesgo por fallas, se genera un ahorro 17 254.15 CUC en el caso del compresor, 1 315.15 CUC en el caso del ventilador axial y 116 816.69 CUC en el intercambiador, para un ahorro total 135 385.99 CUC lo cual evidencia la mejora.



Recomendaciones

Recomendaciones

1. Sugerir a la dirección de mantenimiento del hotel que se desarrolle la capacitación al personal que se ocupará de poner en práctica y evaluar el procedimiento propuesto a fin de mantenerlo actualizado sugiriendo los ajustes necesarios.
2. Desarrollar un sistema de indicadores que permita controlar el desempeño del procedimiento propuesto, en base a los costos totales de mantenimiento y las frecuencias de fallas, de manera que favorezca la toma de decisiones.
3. Extender los resultados obtenidos en cuanto a información y experiencia a otros hoteles de la cayería.



Bibliografia

Bibliografía

Alfonso Llanes, A. (2009). Procedimiento para la asistencia decisional al proceso de tercerización de la ejecución del mantenimiento. Departamento de Ingeniería Industrial. Cuba, Universidad Central “Marta Abreu” De Las Villas.

Alfonso Llanes, A. (2009). Procedimiento para la asistencia decisional al proceso de tercerización de la ejecución del mantenimiento. Departamento de Ingeniería Industrial. Santa Clara, Cuba, UCLV. **Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas.**

Alfonso Llanes, A. (2009). Procedimiento para la asistencia decisional al proceso de tercerización de la ejecución del mantenimiento, Universidad Central “Martha Abreu” de Las Villas. Cuba. **Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas.**

Alkaim, J. L. (2003). Metodología para incorporar conhecimento intensivo às tarefas de Manutenção Centrada na Confiabilidade aplicada em ativos de sistemas elétricos. Departamento de Ingeniería Industrial. Florianópolis. Brasil, Universidad Federal de Santa Catarina. **Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ingeniería de Producción.**

Arboleda, M. (2013). "Concepto e Importancia del Mantenimiento Industrial ". from https://prezi.com/zsouzmivtsy_/concepto-e-importancia-del-mantenimiento-industrial/.

Batista Rodríguez, C. (2000). Contribución al diseño de un sistema de gestión de mantenimiento para los centrales azucareros cubanos, Universidad de Holguín. Cuba. **Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas.**

Batista Rodríguez, C. (2008). Contribución al diseño de un sistema de gestión de mantenimiento para los centrales azucareros cubanos, Universidad de Holguín. Cuba. **Tesis en opción al grado científico de Doctor en Ciencias Técnicas.**

Borroto-Pentón, Y., et al. (2005). Contribución al mejoramiento de la gestión del mantenimiento en hospitales en Cuba. Aplicación en hospitales de la provincia Villa Clara. Departamento de Ingeniería Industrial. Cuba, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.

Borroto Pentón, Y. (2005). Contribución al Mejoramiento de la Gestión del Mantenimiento en hospitales en Cuba. Aplicación en hospitales de la provincia Villa Clara, Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Cuba. **Tesis**

presentada para optar por el grado científico de Doctora en Ciencias Técnicas.

Broche-Hernández, L. E. (2015). Mantenimiento Basado en el Riesgo para el equipamiento de la línea de producción de Refrescos Carbonatados en la UEB Embotelladora Central "Osvaldo Socarrás Martínez", Trabajo de Grado presentado como requisito parcial para optar al título de: Ingeniero Industrial, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial. Departamento de Ingeniería Industrial.

Cano, C. A. M. (2017). "Mantenimiento Basado en el Riesgo al sistema de enfriadoras de agua en el Hotel Playa Cayo Santa María."

Cardoso de Morais, V. (2004). Metodologia de priorização de equipamentos médico-hospitalares em programas de manutenção preventiva. Brasil, Universidad de Campiñas. **Tesis en opción al grado académico de Máster en Ingeniería Biomédica.**

Carroz Urdaneta, J. E. (2006). Modelo para la determinación de frecuencias de mantenimiento preventivo a las llenadoras de cerveza. Facultad de Ingeniería. Maracaibo, Universidad del Zulia. **Trabajo de Grado.**

Cotts, D. G., Roper, O. K. y Payant, R. P. (2010). ""The facility management handbook". **Tercera Edición.** (Business & Economics. USA.): p. 436.

Cuartas Pérez, L. A. (2008). "¿Qué es el mantenimiento?". from http://www.unalmed.edu.co/tmp/curso_concurso/area3/QUE_ES_EL_MANTENIMIENTO_MECANICO.pdf.

Chaviano Duarte, O. I. (2009). "Cálculo del costo de mantenimiento en empresas termoeléctricas".

Chusin, E., Orlando Neto (2008). "Mantenimiento Industrial." Macas-Ecuador.

De la Paz Martínez, E. (2002). Herramientas para la toma de decisiones en la gestión integral del mantenimiento de activos fijos. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Cuba. **Material complementario de curso.**

De la Paz Martínez, E. M. (1996). Perfeccionamiento del sistema de mantenimiento en la Industria Textil Cubana. Aplicación en la Empresa Textil "Desembarco del Granma". Santa Clara, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas. Cuba. **Tesis Doctoral.**

De La Paz Martínez, E. M. (2015). Temas especiales de Ingeniería y Gestión del Mantenimiento(asociados a la Ingeniería Industrial). Cuba, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.

De la Paz Martínez, E. M. (2015). ""Una nueva visión en la Gestión del mantenimiento". Nuevas herramientas para la gestión de la ingeniería del mantenimiento y sus aplicaciones. Delegada COPIMAN, Cuba.

Deac, V. C., G & BÂGU,C & PÂRVU,F (2010). The Modern Approach to Industrial Maintenance Management. Academy of Economic Studies, Bucharest, Romania, Informatica Economică **vol. 14**.

Dhillon, B. S. (2002). Engineering maintenance: a modern approach.

Dumaguala-Encalada, E. M. (2014). Gestión e implementación del plan de mantenimiento en los laboratorios del área de Ingeniería Mecánica en la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Departamento de Mecánica. Ecuador, Universidad Politécnica Salesiana.

Duran, L. S. J. P. J. (2001). "Aplicación de la técnica "optimización costo-riesgo" soporte efectivo con el uso de los software apt-integrated toolkit."

Espinosa-Fuentes, F. (2006). "Metodología para innovación da gestión de manutención industrial". Universidad Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Brasil. .

Espinosa-Fuentes, F. (2013). "EL mejoramiento continuo: Conceptos para el mantenimiento industrial". Universidad de Talca.

García-Garrido, S. (2012). "Ingeniería de Mantenimiento.Manual práctico para la gestión eficaz del mantenimiento".

García González-Quijano, J. (2004). Mejora en la confiabilidad operacional de las plantas de generación de energía eléctrica: desarrollo de una metodología de gestión de Mantenimiento Basado en el Riesgo (RBM). Madrid. España, Universidad Pontificia Comillas. **Tesis en opción al grado académico de Master en Gestión Técnica y Económica en el Sector Eléctrico**.

García Garrido, S. (2010). Organización y gestión integral de mantenimiento. Granada, Trea.

Garrido García, S. (2003). Organización y Gestión Integral de Mantenimiento.

Garzón Wilson, M. d. P. (2007). "Sistema de costo para una empresa de construcción." from <http://www.gestiopolis.com/sistema-de-costo-para-una-empresa-de-construccion/>.

González, C. M. H. (2016). "El turismo, una de las principales fuentes de ingreso en Cuba. Disponible en <http://www.cubadebate.cu/noticias/2016/07/26/disenaran-nueva-metodologia-para-calculo-de-ingresos-por-turismo-en-sector-no-estatal/>. Consultado el 10 de abril de 2017."

González Quijano, J. G. (2004). Mejora en la confiabilidad operacional de las Plantas de generación de energía eléctrica: Desarrollo de una metodología de gestión de Mantenimiento basado en el riesgo (RBM), Universidad Pontificia Comillas. **Tesis de Master**

Knezevic, J. (1996). Mantenimiento, Isdefe.

López-García, J. (2013). Gestión del Mantenimiento eficiente: Las cinco generaciones del Mantenimiento.

Lust, T., et al. (2009). "Exact and heuristic methods for the selective maintenance problem." European Journal of Operational Research **197**(3): 1166-1177.

Llerena-Morera, D. (2016). "Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad a equipos más consumidores de energía eléctrica del Hotel Cayo Santa María", Universidad Central Marta Abreu de las Villas. Santa Clara, Cuba.

Manual de Servicios Técnicos (2011). "Manual de Servicios Técnicos."

Martínez-Giraldo, L. A. (2014). Metodología para la definición de tareas de mantenimiento basado en confiabilidad, condición y riesgo aplicada a equipos del sistema de transmisión nacional

Departamento de Energía Eléctrica y Automática. Colombia, Universidad Nacional de Colombia.

Martínez, F. (2014). "Mantenimiento basado en riesgo." from https://prezi.com/5qy3pjk_5g2n/mantenimiento-basado-en-riesgo/.

Mobley, R. K. (2004). Maintenance Fundamentals.

Mora-Gutiérrez, A. (2014). "Mantenimiento Industrial Efectivo. Editorial COLDI. Envigado Antioquia Colombia."

Mora-Gutierrez, L. A. (2012). Mantenimiento Industrial Efectivo. Colombia, COLDI.

Mora Gutiérrez, L. A. (2012). Mantenimiento Industrial Efectivo. Medellín,AMG. Colombia.

Mostafa, S., et al. (2015). ""Lean maintenance roadmap"." 2nd International Materials, Industrial, and Manufacturing Engineering Conference.

.

Moubray, J. M. (1997). RCM II. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Madrid, Sueiro y Asociados.

Muñoz Abella, M. B. (2003). Mantenimiento Industrial

Olarte, W. (2010). "Importancia del mantenimiento industrial dentro de los procesos de producción." from <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4587110.pdf>.

PCC (2016). "Conceptualización del modelo económico y social cubano de desarrollo socialista."

Pérez-González, W. (2016). "Mantenimiento Basado en el Riesgo para el equipamiento del sistema de abasto de agua caliente en el Hotel Playa Cayo Santa María". Universidad Central Marta Abreu de las Villas. Santa Clara, Cuba.

.

Pérez Jaramillo, C. (1992). Gerencia de Mantenimiento y Sistemas de Información. Colombia, Soporte y CIA, LTDA.

Policarpo De Olivera, R. (2003). GLOSSÁRIO TÉCNICO MANUTENÇÃO E ENGENHARIA INDUSTRIAL: UN GUIA DE REFERÊNCIA PARA A INDÚSTRIA, Ricardo Policarpo De Olivera.

Reliabilityweb (2017). "Sistema de Inspección Basado en Riesgo." from Sistema de Inspección Basado en Riesgo - Reliabilityweb A Culture of Reliability.

Rodríguez-Díaz, Y. (2014). "Definición de la política de mantenimiento para el equipamiento productivo de la UEB "Elpidio Sosa" de la Electroquímica de Sagua la Grande a partir de la metodología de Análisis de riesgo". Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Departamento de Ingeniería Industria. Santa Clara, Cuba.

Romero Barrios, M. T. (2016). "Optimización Costo Riesgo para la determinación de Frecuencias de Mantenimiento o de Reemplazo."

Salazar López, B. (2016). "Mantenimiento Industrial ". from <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/mantenimiento/>.

Serra, C. (2009). "ISO 31000:2009."

Sierra Álvarez, G. A. (2004). Programa de mantenimiento para la empresa METALMECÁNICA INDUSTRIAS AVM S.A. Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander. **Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico.**

Torres, L. (2005). "Mantenimiento. Su implementación y gestión." Editorial UNIVERSITAS. Segunda Edición. Córdoba, España.

Torres, L. D. (2005). Mantenimiento. Su implementación y gestión. Argentina, Editorial UNIVERSITAS.

Turnero Astros, I. J. (2012). "Costos de mantenimiento y parada de planta." from <http://www.monografias.com/trabajos94/costos-mantenimiento-y-parada-planta/costos-mantenimiento-y-parada-planta.shtml>.

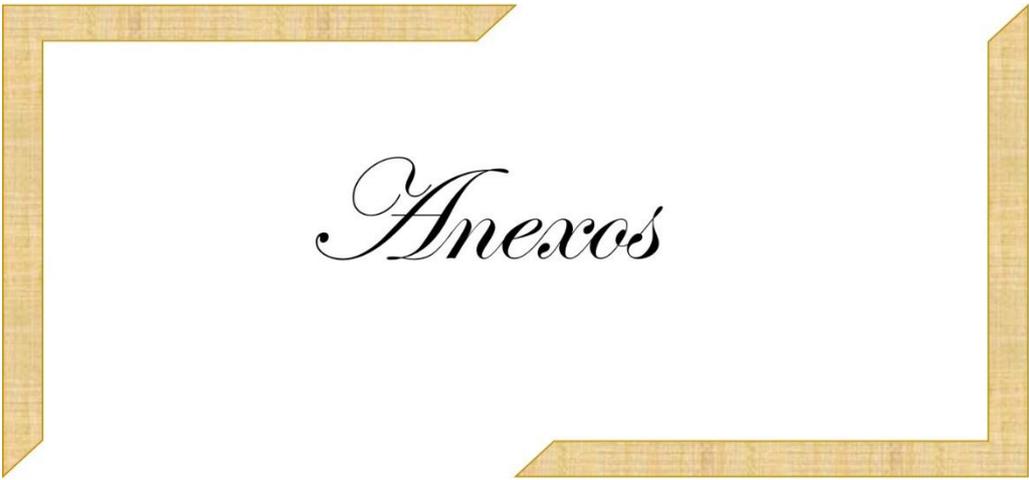
Valle, Y. R. (2017). "Análisis de costo-riesgo del mantenimiento en los sistemas de abasto de agua caliente en el Hotel Playa Cayo Santa María."

Vargas Caleño, J. (2003). "Costos de mantenimiento industrial." from <https://es.scribd.com/doc/50915594/Costos-de-mantenimiento>.

Velazquez-Pérez, E. (2014). Implementación del Sistema Alternativo de Mantenimiento en la Empresa Gráfica de Villa Clara. Departamento de Ingeniería Industrial. Cuba, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. **Yodaira Borroto Pentón.**

Woodhouse, J. (2001). Glosario de Confiabilidad. USA.

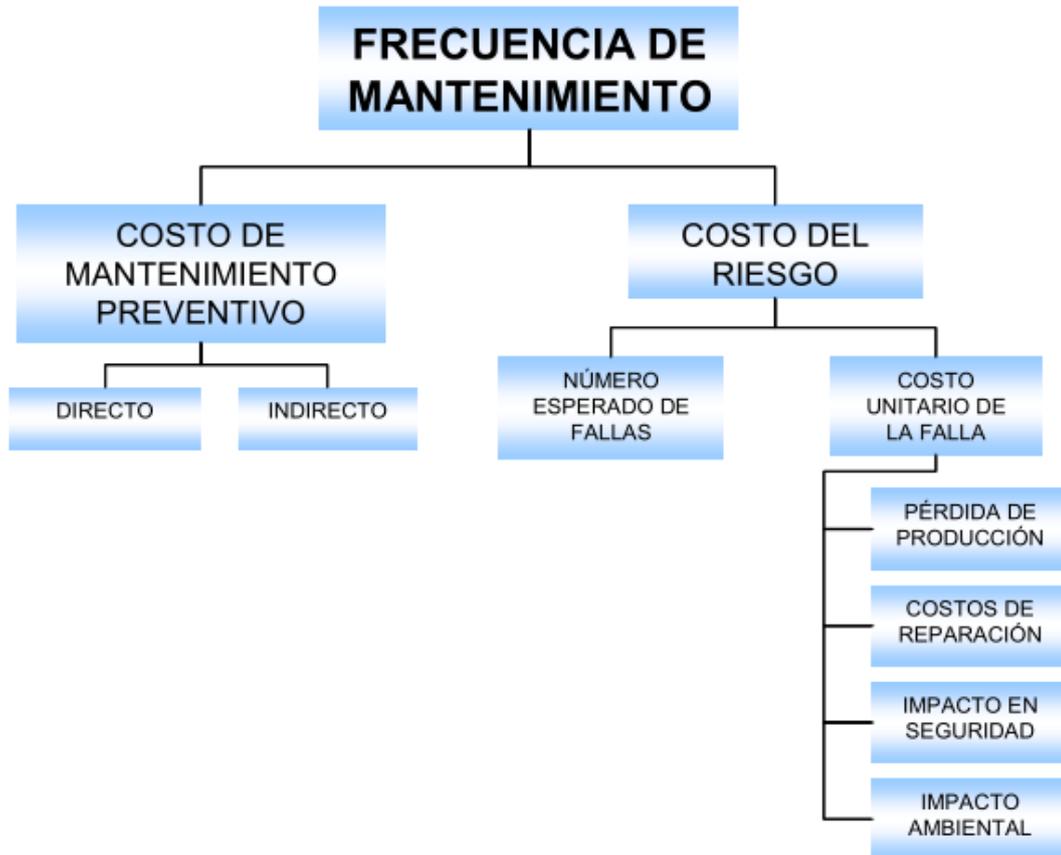
Zaragoza Hijuelos, B. C. D., Dayrien & Onelia Carralero, Katia (2013). Sistema de Confiabilidad Integral de Activos (SCIA). La Habana, Cuba, Universidad de las Ciencias Informáticas.



Anexos

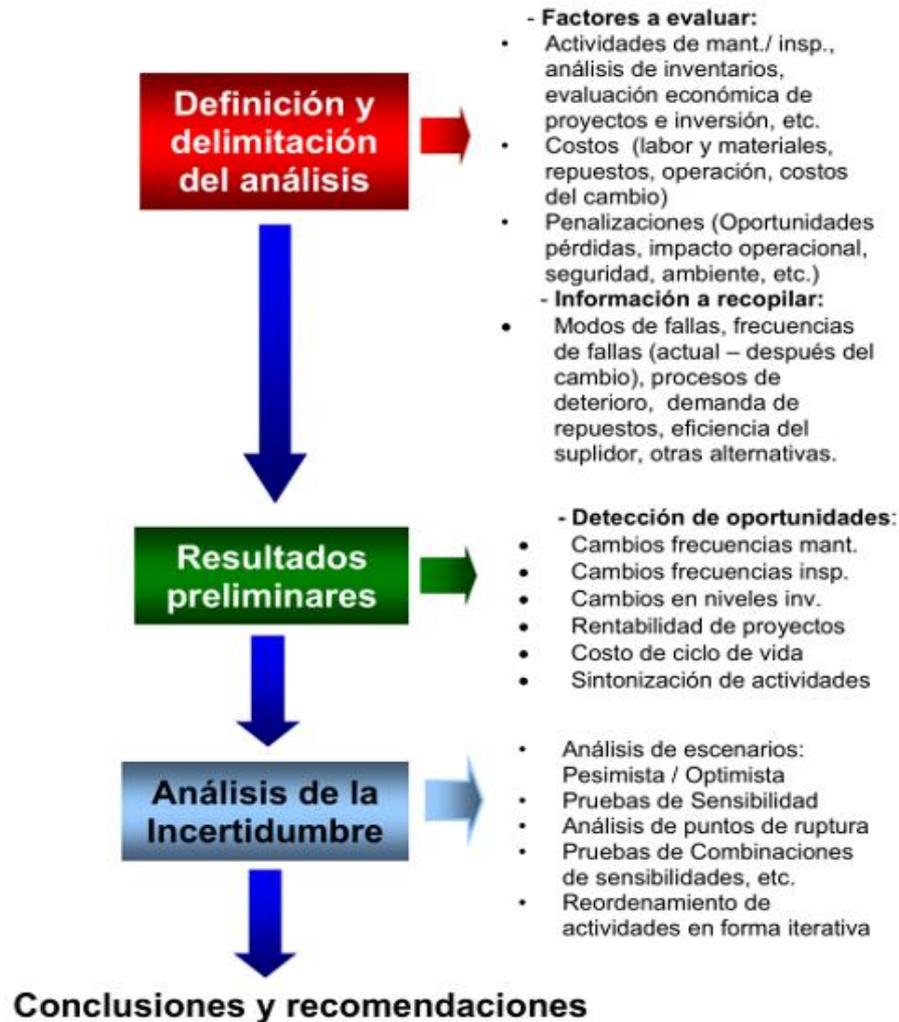
Anexos

Anexo 1 Modelo para la determinación de frecuencias de mantenimiento



Fuente: Carroz Urdaneta (2006)

Anexo 2 Procedimiento para la optimización Costo-Riesgo



Fuente: Duran (2001)

Anexo 3 Ecuación para estimar las consecuencias de cada causa de fallo

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

$$Ci = \sum (pi \times Ei)$$

Ci: Total

Pi: peso

Ei: Valor

Anexo 4 Ficha de los gastos que tributan a la actividad de mantenimiento

Tarifa en Horas Hombre de las UEB Mantenimiento Tecnológico y Constructivo	Gasto General de la UEB en Una Hora	Gasto de un Trabajador Directo en Una Hora
Materias primas y materiales		
materiales auxiliares (aceite,oxigeno, acetileno, nitrógeno, teflon, lija, taípe, hoja de segueta, etc)(son recursos mínimos que se entregan al operario como material para la ejecución del mantenimiento)	8,2037	0,0846
Depreciación y desgaste	9,2430	0,0953
Portadores energéticos	12,3920	0,1278
Gasto de personal	473,4336	4,8808
Otros Gastos Directos	15,4191	0,1590
Otros impuesto y contribuciones	122,2588	1,2604
Impuesto del 2% sobre ventas	0,0000	0,0000
Gastos financieros	22,0159	0,2270
Total de Costos y Gastos Directos	662,9661	6,8347

ENTIDAD: UEB MANTENIMIENTO TECNOLÓGICO Y CONSTRUCTIVO	Frecuencia	Tiempo en Horas	Tarifa Horaria	Importe por Tarifa Horaria
EQUIPOS			CUC	CUC

CLIMA				
AIRE DE VENTANA	trim	2,59	8,4800	21,96
EVAPORADOR DE SPLIT HASTA 5Tn	trim	2,37	8,4800	20,10
EVAPORADOR DE SPLIT MAS 5Tn	trim	4,78	8,4800	40,53
UNIDADA CONDENSADORA DE SPLIT	trim	3,24	8,4800	27,48
UNIDADA CONDENSADORA DE MULTI SPLIT	trim	4,31	8,4800	36,55
MULTISONA GREE	trim	6,46	8,4800	54,78
ENFRIADORA HASTA 100Tn	mensual	6,76	8,4800	57,49
ENFRIADORA MAYOR 100Tn	mensual	11,66	8,4800	98,88
MANEJADORA DE AGUA FRIA HASTA 70 Tn	trim	5,45	8,4800	46,22
MANEJADORA DE AGUA FRIA MAYOR 70 Tn	trim	5,68	8,4800	48,17
MINICHILLER	mensual	8,39	8,4800	71,15
ROOFTOP	trim	8,68	8,4800	73,81

Anexo 5 Análisis modal de fallas y efectos

Tabla 2.5 AMFEC

Elaborado por:		Sistema:		Enfriadora		Contexto operacional:				
Fecha:		Equipo:								
Revisado por:										
Componente y Función	Modo de fallo	Causa de fallo	Código	Efectos del fallo	Detección del fallo/ síntoma	Valoración FMECA				
						C	F	D	NPR	Nivel del riesgo
Enfriadora: Enfriar agua a una temperatura de 5°C	El agua fría no alcanza la temperatura de salida, 5°C	Rotura del motor ventilador axial	1 A 1	Se detiene el funcionamiento del motor ventilador axial por alta presión de condensación	Se para el equipo. Se muestra tipo de error en el display	0,8	2	3	4,8	Acceptable
		Rotura del compresor	1 A 5	No arranca el compresor, se para el equipo	Separa el equipo. Se muestra tipo de error en el display	1,3	3	3	11,7	Admisible
		Rotura del intercambiador	1 A 8	Inundación de agua en el evaporador por salidero del mismo.	Poca eficiencia de enfriamiento	0,5	2	1	1	Acceptable
			1 A 9	Se para el sistema en caso de salidero por el refrigerante, así como elevación de la presión	Se para el equipo por alta presión	0,8	2	2	3,2	Acceptable

Anexo 6 Tiempo entre fallas

Tabla 2.6 Tiempos entre fallas del compresor del sistema de enfriadoras (una enfriadora)

Número	TEF (horas)	Número	TEF (horas)
1	1620	7	1320
2	1275	8	2325
3	1325	9	1420
4	2300	10	1275
5	1420	11	1320
6	1275	12	2250

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.7 Tiempos entre fallas del ventilador axial del sistema de enfriadoras (una enfriadora)

Número	TEF (horas)	Número	TEF (horas)
1	500	13	320
2	480	14	480
3	340	15	780
4	765	16	510
5	470	17	495
6	530	18	530
7	345	19	400
8	495	20	500
9	750	21	790
10	495	22	480
11	510	23	520
12	430	24	440

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2.8 Tiempos entre fallas del intercambiador del sistema de enfriadoras (una enfriadora)

Número	TEF (horas)	Número	TEF (horas)
1	3060	19	3090
2	4225	20	2870
3	1530	21	1620
4	3050	22	3060
5	2890	23	4225
6	1660	24	3060
7	3045	25	3090
8	3060	26	2870
9	3090	27	1620
10	2870	28	4560
11	1620	29	1530
12	4560	30	1660
13	1530	31	3045
14	3050	32	3060
15	2890	33	3090
16	1660	34	2870
17	3045	35	1620
18	3060	36	3060

Fuente: Elaboración propia