Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas
Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial
Carrera de Ingeniería Industrial

Trabajo de Diploma

Análisis de costo-riesgo del mantenimiento en los sistemas de abasto de agua caliente en el Hotel Playa Cayo Santa María.

Autor: Yilianys Rodríguez Valle

Tutores: MS.c. Ing. José Ulivis Espinosa Martínez

Dra. C. Ing. Estrella de La Paz Martínez

Santa Clara

2017

Pensamiento

“[...] hay algo que no se agota, que es el cerebro del hombre, la voluntad del hombre, la conciencia del hombre, su capacidad de aprender, de superarse, desarrollarse[...]”

Fidel Castro

Dedicatoria

DEDICATORIA

A mi familia y especialmente a mis padres por todo el amor que me han entregado, por el apoyo incondicional, la enseñanza, constancia y el amor consagrado; quiénes como ustedes que con sus más sabios consejos supieron guiarme hasta cumplir mis sueños.

Agradecimientos

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 hacía el avance de mi desarrollo profesional, por quererme tanto y por desear que la vida siempre me sonría. Gracias por creer en mí.

A mi hermana, quien ha sido mi mejor motivación para nunca rendirme en los estudios y poder llegar a ser un ejemplo para ella. Gracias por ser la mejor de la hermanas.

A mis abuelos, quienes tuvieron mucho interés en que pudiera cumplir mis sueños y aunque no estén presentes quedan en la memoria los mejores recuerdos y ejemplos que seguiré hasta el fin.

A mi esposo por su confianza, apoyo, compañía y por siempre estar deseándome continuamente lo mejor, por no dejarme decaer en esos momentos de desesperanza.

A mi tutor José Ulivis Espinosa Martínez por su esfuerzo, dedicación, motivación y paciencia brindada que han sido fundamentales para mi formación como profesional.

A la Dra. C. Ing. Estrella de La Paz Martínez por el tiempo dedicado durante el desarrollo de esta tesis.

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

A todas las personas que me brindaron el apoyo, la guía y los ánimos durante el progreso de esta tesis.

A todos ellos, urge mis respetos y agradecimientos.

Muchas Gracias

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 el análisis de costo-riesgo de la actividad de mantenimiento, específicamente al sistema de abasto de agua caliente en los bungalows. Se emplea un procedimiento que permita un análisis de factibilidad económica para la determinación de la frecuencia y el costo de mantenimiento óptimo para la entidad objeto de estudio. 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 preventivo como los costos de riesgo en el que se incurre cuando ocurre una falla. Asi como la evalúacion 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.

Summary

Summary

The present work is developed in the Hotel Playa Cayo Santa María, located in the Cayo of the same name, in the municipality of Caibarién, province of Villa Clara, entity subordinated to the Territorial Delegation Center the Gaviota SA, where the cost analysis is carried out - risk of the maintenance activity, specifically to the system of hot water supply in the bungalows. A procedure is used that allows an economic feasibility analysis to determine of the frequency and the cost of good maintenance for the entity study object. All and each of the components of the Cost - Risk model were taken into account.

The main results of the investigation were that the procedure selected made possible the determination of the costs of both preventive maintenance and the costs of risk incurred when a failure occurs. As well as the evaluation of the performance of the proposed model through the comparison between the costs of the current maintenance and the developed proposal, obtaining a considerable saving of these costs.

Key words: Maintenance, Cost - Risk, Frequency.

Índice

Índice

Introducción ... 1
Capítulo 1: Marco Teórico-Referencial de la investigación ... 4
1.1 Introducción ... 4
1.2 Generalidades sobre el mantenimiento ... 4
1.2.1 Mantenimiento. Definiciones ... 5
1.2.2 Objetivos del mantenimiento ... 6
1.2.3 Evolución del mantenimiento ... 7
1.2.4 Importancia del mantenimiento ... 14
1.2.5 Tipos y sistemas de mantenimiento ... 15
1.3 Costos de Mantenimiento ... 20
1.3.1 Costos de mantenimiento en el mundo ... 23
1.3.2 Costos de mantenimiento en Cuba ... 24
1.3.3 Costos de mantenimiento en el grupo gaviota S.A ... 24
1.4 Riesgo ... 26
1.4.1 Definición de riesgo ... 26
1.4.2 Definición matemática de riesgo ... 27
1.4.3 Índices de riesgo ... 27
1.4.4 Costos del riesgo ... 28
1.5 Análisis Costo-Riesgo ... 28
1.5.1 Beneficios ... 30
1.5.2 Procedimientos para el análisis Costo-Riesgo ... 30
1.6 Conclusiones parciales ... 32
Capítulo 2: Caracterización del Hotel Playa Cayo Santa María y aplicación del procedimiento para el análisis costo-riesgo seleccionado ... 33
2.1 Introducción ... 33
2.2 Caracterización del Hotel Playa Cayo Santa María ... 33
2.2.1 Descripción del área de Servicios Técnicos ... 34
2.2.2 Descripción del proceso de abasto de agua caliente en los bungalows ... 36
2.3 Aplicación del procedimiento de Costo-Riesgo seleccionado ... 37
2.4 Conclusiones parciales ... 48
Conclusiones generales ... 49
Recomendaciones ... 50
Bibliografía ... 50
Anexos ... 50

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 2014).

Con el paso de los años, los empresarios han entendido la importancia que tiene el correcto funcionamiento de los equipos que participan en los sistemas de producción con respecto a las ganancias de sus organizaciones. Por tal motivo invierten parte de sus recursos para mejorar su área de mantenimiento contratando personal altamente calificado que planifique actividades de prevención y detección de fallas que les permita garantizar la operación óptima de su proceso de producción facilitando con esto, el éxito del Sistema de Gestión y evitando pérdidas en materias primas y paradas de producción (Olarte 2010).

En Cuba, cada vez más se ha percibido un reconocimiento a la actividad de mantenimiento. Varios han sido los lineamientos de la política económica y social del Partido y la Revolución discutidos y analizados en el VI Congreso del Partido Comunista de Cuba, que están orientados al desarrollo del mantenimiento; dentro de ellos se encuentra el lineamiento 117 que expresa: “Continuarán la primera priorirad las actividades de mantenimiento tecnológico y constructivo en toda la esfera de la economía”, realizándose un enfoque a la industria turística donde más adelante queda definido en el lineamiento 267: “Priorizar el mantenimiento y renovación de la infraestructura turística y de apoyo”.

El desarrollo del turismo ha sido uno de los pilares en la reanimación de la economía nacional. Al cierre del 2002 la industria nacional cubría el 68% de la demanda de insumos en la industria turística, cuota que en 1990 era sólo del 12%. En 2016, el sector del turismo rompió récords de visitantes a nuestro país con un total de 4 035 577, ello representó un crecimiento de un 14,5 por ciento con respecto al 2015 y un 9 por ciento por encima de lo previsto para el año. Hubo un crecimiento significativo de los tradicionales mercados emisores al país, que abarcan naciones como Alemania, Reino Unido, Francia y España; por América Latina sobresalen México y Argentina (EcuRed 2017).

Para llevar adelante el desarrollo integral del turismo en Cuba se ha estructurado un sistema formado por entidades hoteleras y extrahoteleras, así como otras de carácter autónomo e independiente, que asumen funciones de apoyo al resto. Dentro de este el grupo de turismo Gaviota, el cual tiene entre sus objetivos la promoción y venta de servicios hoteleros y turísticos, así como sus especializaciones en salud, náutica, pesca, buceo y otras modalidades.

Se han desarrollado diferentes trabajos académicos y científicos que contribuyen al cumplimiento de los objetivos estratégicos. Entre las investigaciones anteriores se pueden destacar las tesis presentadas en opción al grado científico de doctor en ciencias técnicas de Sánchez Sánchez (1999), Borroto Pentón (2005), Alfonso Llanes (2009), Rodríguez Céspedes (2013), Martínez San Roman (2013), los cuales aplican procedimientos generales, unos para el mejoramiento del sistema de gestión del mantenimiento, otros que sirve de soporte al proceso de toma de decisiones relativo a la tercerización de la ejecución del mantenimiento, la definición de la política de mantenimiento a aplicar para reducir el riesgo asociado a cada fallo y otros que permite la realización de la auditoría de mantenimiento.También han sido diversos lo trabajos de diplomas que han desarrollado metodologías para evaluar el impacto de la Gestión de Mantenimiento, la realización de auditorías, la aplicación del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad y el Mantenimiento Basado en Riesgo. Tal es el caso de autores como Torres Gutiérrez (2013), Ewan James (2007) , Rivero Rodríguez (2015), Llerena Morera (2016), Pérez González (2016).

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, tiene como objetivo la prestación de servicios hoteleros y turísticos con la finalidad de brindar un producto con calidad al mercado.

El hotel cuenta con 14 bungalows o bloques habitacionales, cada uno de estos cuenta con un cuarto de equipos ubicados en las cubiertas de los mismos, de última tecnología y de otras obsoletas que provienen desde su fundación. El inadecuado funcionamiento de los mismos genera el detenimiento total de la prestación del servicio e incluso no se llega a brindar el producto con la calidad deseada y se puede ver afectado el personal que allí labora. El mantenimiento que se ha aplicado en dichos bungalows ha incluido tareas preventivas y correctivas basadas en un plan de mantenimiento preventivo planificado según referenciado en el Manual de Servicios Técnicos (2011), que no responde completamente a las condiciones cambiantes y a la confiabilidad requerida en los equipos, puesto que existen pérdidas por fallas causadas por el mantenimiento asociadas en ocasiones por problemas tecnológicos, humano y organizativo.

En investigaciones realizadas por Pérez González (2016) ,se establece el Mantenimiento Basado en Riesgo como un sistema superior al existente en el hotel, capaz de garantizar la estabilidad del equipamiento en el servicio por concepto de paradas y consumo energético, por lo que se requiere un análisis de factibilidad económica recomendada por esta autora, que permita determinar la frecuencia y el costo de mantenimiento óptimo para el hotel. Los

elementos anteriormente expuestos constituyen la **situación problemática** identificada que fundamentó la investigación desarrollada.

Problema de investigación

¿Cómo evaluar la factibilidad económica de las acciones del Mantenimiento Basado en Riesgo para mitigar el riesgo en los sistemas de abasto de agua caliente en el Hotel Playa Cayo Santa María?

Objetivo general: Implementar un procedimiento de Costo-Riesgo al sistema de abasto de agua caliente del Hotel Playa Cayo Santa María.

Objetivos específicos:

- Seleccionar un procedimiento de Costo-Riesgo para el sistema de abasto de agua caliente del Hotel Playa Cayo Santa María.
- Aplicar el procedimiento seleccionado de Costo-Riesgo para el mantenimiento en el sistema de abasto de agua caliente 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 y el análisis del riesgo. 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.

Para el desarrollo de esta investigación se aplicaron como técnicas: la observación directa, revisión documental y entrevista a trabajadores y especialistas del área. Además se utilizó la ayuda del software SPSS y Minitab para analizar los datos.

Capítulo 1

Capítulo 1: Marco Teórico-Referencial de la investigación

1.1 Introducción

El presente capítulo muestra la base conceptual que permite la comprensión y análisis de la investigación. En este se abordan de forma sintetizada los principales conceptos y definiciones en relación con el mantenimiento, partiendo de la información actualizada tanto nacional como internacional proveniente de autores de relevancia respecto al tema. Para el desarrollo del marco teórico-referencial se siguió el hilo conductor presente en la figura 1.1.

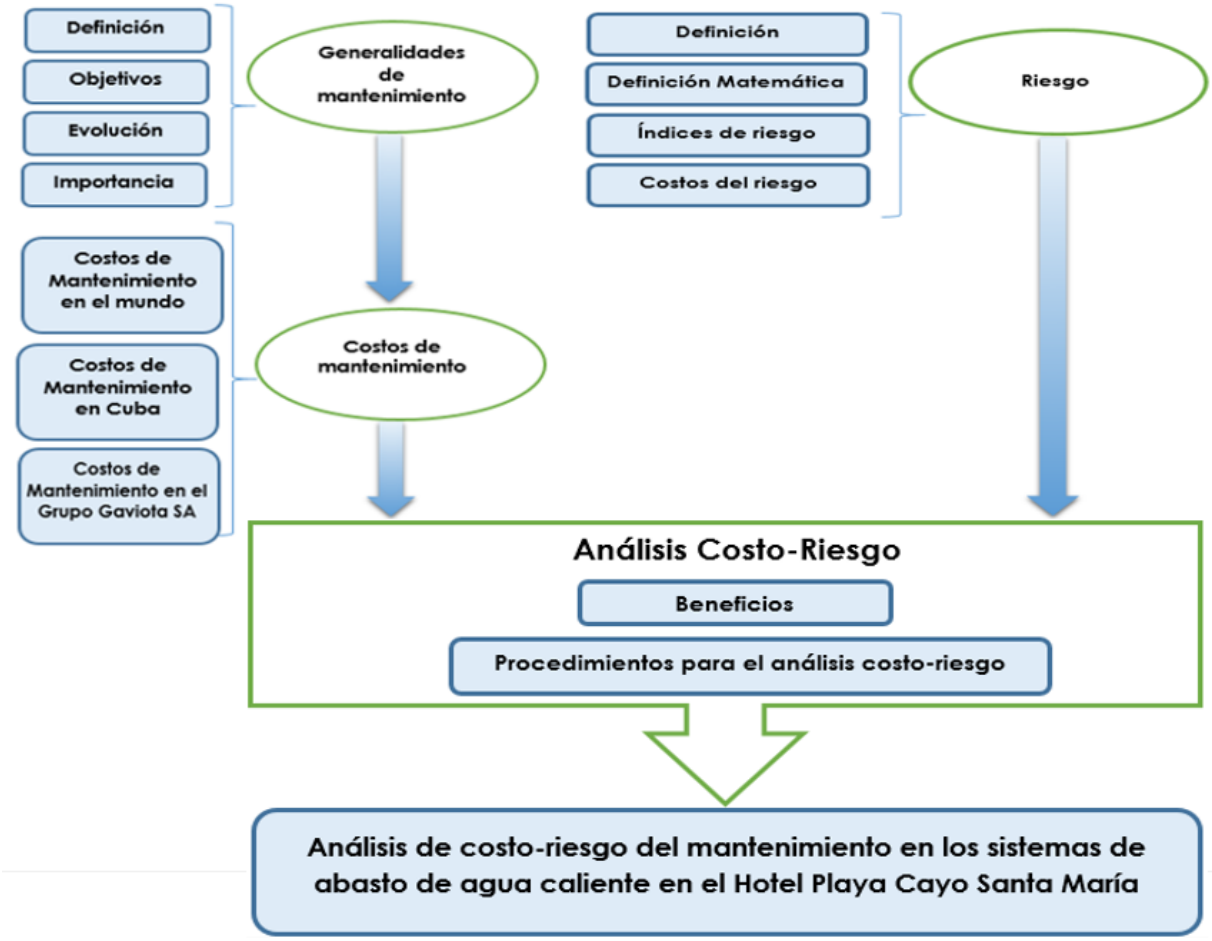


Figura 1.1 Hilo conductor del marco teórico referencial de la investigación. **Fuente:** Elaboración propia.

1.2 Generalidades sobre el mantenimiento

Las empresas generadoras de bienes y/o servicios que utilizan instalaciones, edificios, máquinas, equipos, herramientas, utensilios, dispositivos, para lograr su objetivo social necesitan que estos activos se mantengan en un estado de funcionamiento, confiabilidad, mantenibilidad y disponibilidades adecuadas a sus necesidades, al procurar que su vida útil sea la máxima posible al mínimo costo; lo que se logra a tavés del mantenimiento, el cual actúa como una entidad de servicio a la producción. La forma de maximizar la eficacia, la

eficiencia, la efectividad de los activos, es mediante el conocimiento y aplicación de las leyes que gobiernan la relación entre producción y mantenimiento.

A lo largo del tiempo se dan diferentes definiciones y conceptos sobre mantenimiento, se presentan y conforman a continuación, con el fin de entender correctamente el verdadero sentido y finalidad del mantenimiento, para mostrar las evoluciones que existen y los objetivos que para cada momento de la historia reciente tiene el área en estudio.

Los diferentes autores presentan cada una de las definiciones acordes a su momento y espacio vivido, pero existen entre ellas elementos comunes y difereciadores que aclaran al lector lo que mantenimiento debe ser dentro de una empresa que produce bienes tangibles o servicios (Mora Gutiérrez 2007).

1.2.1 Mantenimiento. Definiciones

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 (Olarte 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 Borroto Pentón (2005), Alfonso Llanes (2009), De la Paz Martínez (2015) 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.

A partir de los criterios formulados por los autores citados en relación al concepto de mantenimiento, se puede definir para la realización de este trabajo, la definición mencionada anteriormente por De la Paz Martínez (2015) ya que es una de las definiciones más generales y tiene en cuenta los costos asociados a la actividad de mantenimiento en empresas cubanas.

1.2.2 Objetivos del mantenimiento

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 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 plantedos 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 Evolución del mantenimiento

La necesidad de la industria competitiva actual de asegurar el correcto funcionamiento de los equipos de producción, así como de obtener de ellos la máxima disponibilidad, ha originado una significativa evolución del mantenimiento industrial en las últimas décadas, pasando de métodos puramente estáticos (a la espera de la avería) a métodos dinámicos (seguimiento funcional y control multiparamétrico) con la finalidad de predecir las averías en una etapa incipiente e incluso llegar a determinar la causa del problema y, por tanto, procurar erradicarla.

Las modernas técnicas de verificación del estado de los equipos e instalaciones contribuyen de manera notable al logro de este objetivo, permitiendo además, mediante la adecuada

selección de filosofías y métodos de mantenimiento, una disminución de los costes productivos (Chan Yah 2013).

1.2.3.1 Evolución del mantenimiento en el mundo

Según Rodríguez (2012) la evolución del mantenimiento se estructura en las cinco siguientes generaciones.

Primera Generación: A lo largo del proceso industrial vivido desde finales del siglo XIX, el mantenimiento ha pasado diferentes etapas. En los inicios de la revolución industrial eran los propios operarios quienes se encargaban de las reparaciones de los equipos. Conforme las máquinas se fueron haciendo más complejas y la dedicación a tareas de reparación aumentaba, empezaron a crearse los primeros departamentos de mantenimiento, con una actividad diferenciada de los operarios de producción. Las tareas en estas dos épocas eran básicamente correctivas, dedicando todo su esfuerzo a solucionar las averías que se producían en los equipos.

Segunda Generación: A partir de la Primera Guerra Mundial y, sobre todo, de la Segunda, aparece el concepto de fiabilidad, y los departamentos de mantenimiento buscan no sólo solucionar las averías que se producen en los equipos sino además prevenirlas, actuar para que no se produzcan. Se busca aumentar y fiabilizar la producción, evitar las pérdidas por averías y sus costes asociados. De este modo aparecen diversos métodos de mantenimiento: el mantenimiento preventivo, el mantenimiento predictivo, el mantenimiento proactivo, la gestión de mantenimiento asistida por ordenador (GMAO), y el Mantenimiento basado en Fiabilidad (RCM).

Es necesario precisar que según González (2011) durante la Segunda Guerra Mundial las cosas cambiaron drásticamente. Los tiempos de la Guerra aumentaron la necesidad de productos de toda clase mientras que la mano de obra industrial bajó de forma considerable. Esto llevó a la necesidad de un aumento de mecanización. Hacia el año 1950 se habían construido máquinas de todo tipo y cada vez más complejas. La industria había comenzado a depender de ellas.

Al aumentar esta dependencia, el tiempo improductivo de una máquina se hizo más patente. Esto llevó a la idea de que los fallos de la maquinaria se podían y debían de prevenir, lo que dio como resultado el nacimiento del concepto del mantenimiento preventivo. En el año 1960 esto se basaba primordialmente en la revisión completa del material a intervalos fijos.

El costo del mantenimiento comenzó también a elevarse mucho en relación con los otros costes de funcionamiento. Como resultado se comenzaron a implantar sistemas de control y

planificación del mantenimiento. Estos han ayudado a poner el mantenimiento bajo control, y se han establecido ahora como parte de la práctica del mismo.

Tercera Generación: A partir de los años 70, comienza a introducirse la idea de que puede ser rentable volver de nuevo al modelo inicial: que los operarios de producción se ocupen del mantenimiento de los equipos. Se desarrolla el TPM, o Mantenimiento Productivo Total, en el que algunas de las tareas normalmente realizadas por el personal de mantenimiento son ahora realizadas por operarios de producción. Esas tareas 'transferidas' son trabajos de limpieza, lubricación, ajustes, reaprietes de tornillos y pequeñas reparaciones. Se pretende conseguir con ello que el operario de producción se implique más en el cuidado de la máquina, siendo el objetivo último de TPM conseguir "Cero Averías". Como filosofía de mantenimiento, el TPM se basa en la formación, motivación e implicación del equipo humano (desde el personal de producción y de mantenimiento hasta los altos mandos), en lugar de la tecnología.

Para González (2011) Desde mediados de los años setenta, el proceso de cambio en la industria ha cobrado incluso velocidades más altas. Los cambios pueden clasificarse bajo los títulos de nuevas expectativas, nueva investigación y nuevas técnicas.

Nuevas Expectativas: El crecimiento continuo de la mecanización significa que los períodos improductivos tienen un efecto más importante en la producción, costo total y servicio al cliente. Esto se hace más patente con el movimiento mundial hacia los sistemas de producción "justo a tiempo", en el que los reducidos niveles de stock en curso hacen que pequeñas averías puedan causar el paro de toda una planta. Esta consideración está creando fuertes demandas en la función del mantenimiento.

Una automatización más extensa significa que hay una relación más estrecha entre la condición de la maquinaria y la calidad del producto. Al mismo tiempo, se están elevando continuamente los estándares de calidad. Esto crea mayores demandas en la función del mantenimiento.

Otra característica en el aumento de la mecanización es que cada vez son más serias las consecuencias de los fallos de una planta para la seguridad y/o el medio ambiente. Al mismo tiempo los estándares en estos dos campos también están mejorando en respuesta a un mayor interés del personal gerente, los sindicatos, los medios de información y el gobierno. También esto ejerce influencia sobre el mantenimiento.

Finalmente, el coste del mantenimiento todavía está en aumento, en términos absolutos y en proporción a los gastos totales. En algunas industrias, es ahora el segundo gasto operativo

de coste más alto y en algunos casos incluso el primero. Como resultado de esto, en solo treinta años lo que antes no suponía casi ningún gasto se ha convertido en la prioridad de control de coste más importante.

Nueva Investigación: Mucho más allá de las mejores expectativas, la nueva investigación está cambiando nuestras creencias más básicas acerca del mantenimiento. En particular, se hace aparente ahora que hay una menor conexión entre el tiempo que lleva una máquina funcionando y sus posibilidades de falla.

Nuevas Técnicas: Ha habido un aumento explosivo en los nuevos conceptos y técnicas del mantenimiento. Se cuentan ahora centenares de ellos, y surgen más cada vez. Estos incluyen: Técnicas De "Condition Monitoring", Sistemas Expertos. Técnicas De Gestión De Riesgos, Modos De Fallos Y Análisis De Los Efectos, Fiabilidad Y Mantenibilidad.

Cuarta Generación: Las necesidades concretas de cada equipo y de cada industria las que marcan el modelo de mantenimiento que optimiza sus recursos y sus necesidades. Por lo general, el método que se impone mayoritariamente es el Mantenimiento Productivo Total o TPM, que incluye las tareas de Mantenimiento Preventivo y Predictivo, integrado siempre en un modelo de Gestión de Mantenimiento Asistida por Ordenador (GMAO), y apoyado según necesidades por el modelo de Mantenimiento Basado en Fiabilidad (RCM). En la tabla 1.1 se muestra los objetivos del mantenimiento durante las diferentes generaciones y en la tabla 1.2 la evolución de las técnicas de mantenimiento.

Tabla 1.1 Evolución de los objetivos del mantenimiento

OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO			
1ª GENERACIÓN	**2ª GENERACIÓN**	**3ª GENERACIÓN**	**4ª GENERACIÓN**
• Se realiza cuando se produce un fallo	• Mayor disponibilidad. • Mayor vida operacional. • Menores costes	• Mayor disponibilidad y fiabilidad. • Mayor seguridad. • Mayor calidad de servicio. • Respeto al Medio Ambiente. • Mayor vida operacional. • Eficiencia de costes.	• Mayor disponibilidad y fiabilidad. • Mayor seguridad. • Mayor calidad de servicio. • Respeto al Medio Ambiente. • Mayor vida de los equipos. • Mayor mantenibilidad. • Eficiencia de costes. • Patrones de fallos. • Eliminación de los fallos.

Fuente: Rodríguez (2012)

Las unidades de mantenimiento se dedican de lleno a la prevención y menos a la corrección. Además, la predicción ha adquirido especial relevancia. Mediante tecnologías para la medición y control de variables clave como el ruido, las vibraciones o la temperatura, se dispone de inmediata información para actuar con celeridad, evitando males mayores.

También los profesionales de los puestos de trabajo, cercanos a los puntos críticos, son quienes han de estar capacitados para detectar a tiempo las potenciales anomalías y actuar en consecuencia.

Tabla 1.2 Evolución de las técnicas de mantenimiento

EVOLUCIÓN DE LAS TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO			
1ª GENERACIÓN	**2ª GENERACIÓN**	**3ª GENERACIÓN**	**4ª GENERACIÓN**
• Mantenimiento Correctivo	• Revisiones periódicas. • Uso de grandes ordenadores. • Sistemas de control y planificación del mantenimiento.	• Monitoreo de Condición. • Basado en fiabilidad y mantenibilidad. • Estudio de riesgos. • Uso de pequeños y rápidos ordenadores. • Modos de fallo y causas de fallos. • Sistemas expertos. • Polivalencia y trabajo en equipo.	• Monitoreo de Condición. • Modos de fallo y causas de fallos(FMEA, MECA) • Polivalencia y trabajo en equipo (Mantenimiento Autónomo) • Estudios de fiabilidad y mantenibilidad. • Mantenimiento Preventivo. • Gestión del Riesgo. • Sistemas de Mejora Continua. • Mantenimiento Predictivo y Proactivo. • Grupos de mejora y seguimiento de acciones.
1940	1960	1990	2004

Fuente: Rodríguez (2012)

Para López García (2013) la gestión del mantenimiento se orienta hacia la satisfacción del cliente. Se extiende la externalización del servicio de mantenimiento y se fijan ratios medibles para poder calificar el servicio de mantenimiento, con bonificaciones y penalizaciones. Los responsables de mantenimiento deben tener un conocimiento exhaustivo de las normativas para no incurrir en errores legales.

Quinta Generación : A finales del siglo XX y principios del siglo XXI. Cuando se rompe el paradigma del mantenimiento y se deja de reparar continuamente para buscar las causas básicas de las interrupciones o fallas y modificar las situaciones permanentes que producen mal desempeño en los componentes y sistemas, para dejar de convivir con problemas crónicos por todos conocidos, y la intervención técnica en las compras, se puede afirmar que, la gestión se realiza mediante la **Ingeniería del Mantenimiento** (Linares Depestre 2012).

La ingeniería del mantenimiento significa estar al nivel del mantenimiento del primer mundo, es trabajar por conseguir los más altos nieles de desempeño o los Benchmarks.

El basamento de la confiabilidad está en la aplicación de las técnicas y tecnologías disponibles, con una orientación basada en riesgo y con la participación activa de la gente.

Para García Garrido (2008) la quinta generación está centrada en la terotecnología. Esta palabra, derivada del griego, significa el estudio y gestión de la vida de un activo o recurso desde el mismo comienzo (con su adquisición) hasta su propio final (incluyendo formas de disponer del mismo, desmantelar). Integra prácticas gerenciales, financieras, de ingeniería, de logística y de producción a los activos físicos buscando costes de ciclo de vida (CCV) económicos. Es aplicable en todo tipo de industria y proceso. El objetivo principal de su aplicación es mejorar y mantener la efectividad técnica y económica de un proceso o equipo a lo largo de todo su ciclo de vida. Combina experiencia y conocimiento para lograr una visión holística del impacto del mantenimiento sobre la calidad de los elementos que constituyen un proceso de producción, y para producir continuamente mejoras tanto técnicas como económicas.

Según Mora Gutiérrez (2007) la terotecnología está relacionada con la especificación y el diseño para la confiabilidad y mantenibilidad de los equipos, maquinaria, edificios y estructuras; se asocia también: a la puesta en marcha de máquinas, al mantenimiento, a las modificaciones, a las reformas, a las ampliaciones y al reemplazo de los equipos; así como a la retroalimentación de información sobre el diseño, desempeño y costos de maquinaria.

Plantea López García (2013) la importancia de los recursos energéticos por su coste y por su carácter de agotables hace que la eficiencia energética tenga un papel capital en el mantenimiento y explotación de las instalaciones, incluyendo en muchos casos la cesión de los contratos energéticos a las empresas mantenedoras, que en ese caso se encargan de comprar la energía primaria y vender la energía útil transformada garantizando unos ratios establecidos en contrato. Hacia esta dirección tiende la que he llamado quinta generación de mantenimiento.

En la siguiente figura se resume la evolución del mantenimiento a lo largo de los años.

Figura 1.2 Evolución del mantenimmiento. **Fuente:** Cáceres (2016)

1.2.3.2 Evolución del mantenimiento en Cuba

En Cuba, antes de 1959 y con la excepción de determinadas industrias, no existía una cultura de mantenimiento, y no fue sino hasta 1961 cuando comenzó a promoverse el respeto hacia esta actividad, a partir de la introducción del Mantenimiento Preventivo Planificado.

En 1976, la Ley No. 1323, de Organización de la Administración Central del Estado, 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. El sistema fue implantado en todas las empresas del citado Ministerio.

En 1981se 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 trazada en el país en relación con el mantenimiento, la mayoría de las empresas cubanas asumieron el Sistema de Mantenimiento Preventivo Planificado, conocido por las siglas MPP, adaptándolo a sus características.

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:

• los ciclos que se planifican no siempre son los más adecuados para cada equipo y se requiere su revisión periódicamente;

• 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;

• el gasto de piezas, materiales y otros recursos en que se incurre es considerable y en ocasiones no responde a las necesidades reales.

Cabe destacar que, en 1985, el Ministerio de la Industria Básica (MINBAS) aprobó una nueva política de mantenimiento para sus empresas, que cambió la óptica del ya tradicional sistema

de MPP a sistemas más adecuados a las características de las mismas, en particular se implementó el Sistema de Mantenimiento por Diagnóstico.

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. Y 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 (De la Paz Martínez 1996).

A partir del VI Congreso del PCC en Mayo del 2011 se ponen en vigor los lineamientos que regirán la política económica y social del país, donde se trata el mantenimiento en 16 de ellos, manifestando que constituirán la primera prioridad las actividades de mantenimiento tecnológico y constructivo en todas las esferas de la economía, así como priorizar la reactivación del mantenimiento industrial, incluyendo la producción y recuperación de partes, piezas de repuesto y herramentales, entre otros.

En el año 2013, con el objetivo de implementar los lineamientos 117 y 220 del VI Congreso PCC, dirigidos a priorizar el mantenimiento industrial, se decide elaborar la política, para lo cual fue designado el MINDUS, para ello se creó un grupo de trabajo temporal constituido por representantes de los organismos que tienen incidencia, en esta actividad y que comenzaron a hacer el diagnóstico en 91 entidades. El alcance del diagnóstico incluyó la gestión del mantenimiento y el estado técnico de las maquinas, equipos e instalaciones industriales. Tuvieron en cuenta las principales deficiencias que existen en el estado técnico de los equipos, tanto mecánicos como eléctricos, en las condiciones socio ambiental de las instalaciones, en la lubricación, la organización y limpieza de las instalaciones (Velázquez Pérez 2014).

1.2.4 Importancia del mantenimiento

El objetivo del 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.

1.2.5 Tipos y sistemas de mantenimiento

Varias de las literaturas analizadas hacen referencia a diferentes tipos de mantenimiento, los siguientes son expresados por Salazar López (2016).

Mantenimiento Correctivo: El mantenimiento correctivo es aquel encaminado a reparar una falla que se presente en un momento determinado. Es el modelo más primitivo de mantenimiento, o su versión más básica, en él, es el equipo quien determina las paradas. Su principal objetivo es el de poner en marcha el equipo lo más pronto posible y con el mínimo costo que permita la situación.

Mantenimiento Preventivo: El mantenimiento preventivo consiste en evitar la ocurrencia de fallas en las máquinas o los equipos del proceso. Este mantenimiento se basa un "plan", el cual contiene un programa de actividades previamente establecido con el fin de anticiparse a las anomalías.

En la práctica se considera que el éxito de un mantenimiento preventivo radica en el constante análisis del programa, su reingeniería y el estricto cumplimiento de sus actividades.

Existen varios tipos de mantenimiento preventivo:

- **Mantenimiento periódico**: Este mantenimiento se efectúa luego de un intervalo de tiempo que ronda los 6 y 12 meses. Consiste en efectuar grandes paradas en las que se realizan reparaciones totales. Esto implica una coordinación con el departamento de planeación de la producción, el cual deberá abastecerse de forma suficiente para suplir el mercado durante los tiempos de parada. Así mismo, deberá existir un aparte detallado de repuestos que se requerirán, con el objetivo de evitar sobrecostos derivados de las compras urgentes o desabastecimiento de los mismos.
- **Mantenimiento programado (intervalos fijos)**: Este mantenimiento consiste en operaciones programadas con determinada frecuencia para efectuar cambios en los

equipos o máquinas de acuerdo con las especificaciones de los fabricantes o a los estándares establecidos por ingeniería. Una de sus desventajas radica en que se puedan cambiar partes que se encuentren en buen estado, incurriendo en sobrecostos. Sin embargo, muchas de las compañías con mejores resultados en términos de confiabilidad son fieles al mantenimiento programado, despreciando el estado de las partes.

- **Mantenimiento de mejora**: Es el mantenimiento que se hace con el propósito de implementar mejoras en los procesos. Este mantenimiento no tiene una frecuencia establecida, es producto de un trabajo de rediseño que busca optimizar el proceso.
- **Mantenimiento Autónomo**: Es el mantenimiento que puede ser llevado a cabo por el operador del proceso, este consiste en actividades sencillas que no son especializadas. Este es un pilar de la filosofía **TPM**.
- **Mantenimiento Rutinario**: Es un mantenimiento basado en rutinas, usualmente sugeridas por los manuales, por la experiencia de los operadores y del personal de mantenimiento. Además es un mantenimiento que tiene en cuenta el contexto operacional del equipo (Rutas de inspección y Rutinas L.E.M: Lubricación, Eléctricas y Mecánicas).

Mantenimiento Predictivo: El mantenimiento predictivo es una modalidad que se encuentra en un nivel superior a las dos anteriores, supone una inversión considerable en tecnología que permite conocer el estado de funcionamiento de máquinas y equipos en operación, mediante mediciones no destructivas. Las herramientas que se usan para tal fin son sofisticadas, por ello se consideran para maquinaria de alto costo, o que formen parte de un proceso vital.

El objetivo del mantenimiento predictivo consiste en anticiparse a la ocurrencia de fallas.

Mantenimiento Modificativo: Con éste nombre se conocen las acciones que lleva a cabo mantenimiento, tanto para modificar las características de las instalaciones, máquinas o equipos, como para lograr de ésta forma una mayor fiabilidad o mantenibilidad de los mismos.

Este mantenimiento también tiene como objetivo el de realizar una reforma parcial en una máquina, equipo o sistema con el fin de obtener un mejor rendimiento de la misma de acuerdo a los requerimientos del tipo de trabajo que se desea realizar, o bien para obtener un beneficio en la rapidez de reparación. Este tipo de mantenimiento debe ser regulado y adaptado a cada realidad industrial para poder identificar el área de prioridad.

Mantenimiento Sistemático: Según Torres (2005) este mantenimiento es el efectuado de acuerdo con un plan establecido según el tiempo o el número de unidades fabricadas. Este

requiere de amplios conocimientos de la fiabilidad de las instalaciones, máquinas o equipos con los que se está trabajando, es decir, se asegura que existe el conocimiento previo del comportamiento de los materiales. Una herramienta muy valiosa, es el estudio estadístico, el que permite determinar los tiempos óptimos de intervención.

El mantenimiento detectivo o de búsqueda de fallas: El mantenimiento detectivo o de búsqueda de fallas consiste en la prueba de dispositivos de protección bajo condiciones controladas, para asegurarse que estos dispositivos serán capaces de brindar la protección requerida cuando sean necesarios. En el mantenimiento detectivo no se está repararando un elemento que falló (mantenimiento correctivo), no se está cambiando ni reacondicionando un elemento antes de su vida útil (mantenimiento preventivo), ni se están buscando síntomas de que una falla está en el proceso de ocurrir (mantenimiento predictivo). A este mantenimiento también se lo llama búsqueda de fallas o prueba funcional, y al intervalo cada el cual se realiza esta tarea se lo llama intervalo de búsqueda de fallas, o FFI, por sus siglas en inglés (Failure-Finding Interval) (Fibertel 2007).

TPM Mantenimiento Total Productivo: es una estrategia compuesta por una serie de actividades ordenadas, que una vez implantadas ayudan a mejorar la competitividad de una organización industrial o de servicios. Se considera como estrategia, ya que ayuda a crear capacidades competitivas a través de la eliminación rigurosa y sistemática de las deficiencias de los sistemas operativos. El TPM permite diferenciar una organización en relación a su competencia debido al impacto en la reducción de los costos, mejora de los tiempos de respuesta, fiabilidad de suministros, el conocimiento que poseen las personas y la calidad de los productos y servicios finales. Por lo tanto el objetivo del TPM es maximizar la efectividad total de los sistemas productivos por medio de la eliminación de sus perdidas llevadas a cabo con la participación de todos los empleados (Torres 2005).

Otro autor como Tavares (1999) comenta que aplicado a la industria se puede interpretar como: "conservación de los medios de producción por todos". El TPM es una técnica que promueve un trabajo donde están siempre unidos, según los mismos objetivos: el Hombre, la Máquina y la Empresa.

De esta manera, el trabajo de conservación de los medios de producción, pasa a ser preocupación y acción de todos, desde el directorio hasta el operador del proceso (o servicio).

Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM): Para Moubray (1997) es un método sistemático y estructurado para determinar el mantenimiento más adecuado a aplicar a una instalación para que ésta siga cumpliendo con las funciones para las que fue concebida y en su contexto operacional actual.

Para Turmero Astros (2012) se puede definir la confiabilidad como la probabilidad en que un producto realice su función prevista sin incidentes por un período de tiempo especificado y bajo condiciones indicadas. Esta confiabilidad se logra con un análisis para determinar que tan confiable es el producto o sistema y prever fallas.

Ése análisis es la base del Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM por sus siglas en ingles Reliability Centered Maintenance), que busca hacer las tareas de mantenimiento estrictamente necesarias para disminuir costos de mantenimiento.

El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad conforma uno de las estrategias más importantes en la evolución del Mantenimiento ya que incorpora la visión de criticidad en cada equipo y sirve de plataforma base para el desarrollo de una moderna Gestión de Activos (Torres Arosemena 2014).

Según Colina (2010) el objetivo principal de RCM está reducir el costo de mantenimiento, para enfocarse en las funciones más importantes de los sistemas, y evitando o quitando acciones de mantenimiento que no es estrictamente necesario.

El RCM también está asociado a beneficios humanos, como mejora en la relación entre distintas áreas de la empresa, fundamentalmente un mejor entendimiento entre mantenimiento y operaciones (Fibertel 2007).

Mantenimiento de Clase Mundial (MCM): Se conoce también por sus siglas en inglés WCM (World Class Maintenance). El objetivo del sistema WCM es construir capacidades competitivas clave para la empresa logrando que el más importante medio de producción como son los equipos, posean los más elevados estándares de productividad y que las inversiones que se realizan en estos activos sean altamente rentables. El propósito del WCM es el de orientar las operaciones de mantenimiento de la empresa con una visión de beneficios para el negocio, en lugar de observar esta función como un centro de costos. WCM implica que la alta dirección asuma una nueva posición sobre el aporte de la función de mantenimiento, a la mejora de la rentabilidad de las inversiones que se realizan en activos, e integrar las acciones necesarias para involucrar a todas las áreas de la empresa en el logro de las metas propuestas.

En tal sentido, el mantenimiento de clase mundial significa satisfacción y superación de las expectativas y necesidades de mantenimiento de la organización con referencia a la potencialidad que proporcionan las tecnologías del momento, y en relación con el contexto social y de mercado de hoy. Alcanzar una condición a la que pueda llamársele Mantenimiento de Clase (Turmero Astros 2012).

El **Sistema de Mantenimiento Preventivo Planificado (MPP)**: consiste en efectuar las reparaciones de las maquinarias y equipos después de que las mismas hayan funcionado cierto número de horas (De la Paz Martínez 1996).

Este sistema de mantenimiento implica la restauración de la capacidad de trabajo de los equipos según un plan elaborado con anterioridad derivado de un estudio realizado a partir de la máquina o equipo en cuestión. Implica la restauración de la capacidad de trabajo de los equipos (precisión, potencia, rendimiento) y de su comportamiento (índices de consumo) mediante mantenimiento técnico racional, cambio reparación de piezas y conjuntos desgastados, conforma un plan elaborado con anterioridad.

Un programa de mantenimiento preventivo puede incluir otros sistemas de mantenimiento y pueden ser considerados todos en conjunto como un programa de mantenimiento preventivo (Ecured 2017).

El **Sistema Alternativo de Mantenimiento (SAM)**: es un sistema para la organización, planificación y control del mantenimiento industrial que se caracteriza por integrar armónicamente más de uno de los sistemas de mantenimiento conocidos, en calidad de subsistemas del mismo. Estos sistemas serán aplicados a los diferentes equipos individuales o grupos homogéneos de equipos en función de sus características tecnológicas y otros elementos, según exponen De la Paz Martínez (1996) y Velázquez Pérez (2014).

Mantenimiento Basado en el Riesgo (MBR): Sugiere un conjunto de recomendaciones sobre cuantas tareas preventivas se van a realizar. Basadas en la norma API RP 580 define el riesgo como la combinación de la probabilidad de que se produzca un suceso durante un determinado período de tiempo y las consecuencias de que ese suceso ocurra (Martínez 2014).

La Inspección Basada en Riesgos (RBI, por sus siglas en inglés: “Risk Based Inspection”) es una estrategia de gestión tecnológica que identifica, evalúa y realiza un tamizaje de los riesgos industriales partiendo del estudio de la integridad de los equipos, conducciones, sistemas y estructuras. Partiendo de proyecciones de tiempo de vida media y falla de los equipos, la Inspección Basada en Riesgos induce a que los ingenieros deban diseñar estrategias de inspección que coinciden de la manera más eficiente con los mecanismos de degradación proyectados. Esta metodología deberá responder de manera proactiva a las preguntas sobre el qué, el cuándo y el cómo inspeccionar. Dando prioridad a los elementos con alta probabilidad y consecuencia de falla (elementos de alto riesgo), esta estrategia permite una inversión racional de los recursos de inspección y mantenimiento (Hernández Arango 2012).

Entre los beneficios de la implementación de la metodología RBI se encuentran los siguientes: facilita planificación del mantenimiento, aumenta seguridad de las instalaciones, reduce riesgos de personal, reduce los costos directos e indirectos (Vega Mendoza 2009).

1.3 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.

Otros autores como Vargas Caleño (2003) coinciden 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:

- 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:

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 nos encontramos 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 nos encontraremos 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, estamos incurriendo en un gasto que, en principio, no genera ningún beneficio para la empresa.

Dentro de estos gastos financieros debe tenerse en cuenta el coste 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 coste 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 coste de fallo se refiere al coste o pérdida de beneficio que la empresa soporta por causas relacionadas directamente con el mantenimiento.

Empresas Productivas: En las empresas productivas los costes 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 por 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 al no existir 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 nos 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: 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 prorratearlos 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.

Para analizar los costos Benítez Montalvo (2008) los agrupa según su enfoque y según su categoría como se muestra en el anexo 1 y 2.

1.3.1 Costos de mantenimiento en el mundo

Son destacados en el anexo 3 y 4 las fórmulas de cálculo más utilizados por las empresas de proceso y servicio, según Benítez Montalvo (2008), que brindan la información sobre el comportamiento de la actividad de mantenimiento tanto los relacionados directamente con la operación de mantenimiento como la ocasionada por la pérdida de producción, se exponen algunas consideraciones sobre la información que ofrece el análisis de los costos en la toma de decisiones.

Han sido diversos los autores que exponen en sus argumentos con respecto al término de costos. Tal es el caso de OSINERG (2005) que establece un procedimiento para los costos de operación y mantenimiento tal como se muestra en el anexo 5.

Según Ros Moreno (2010) la siguiente fórmula permite el cálculo del costo anual de mantenimiento: ***CM = CPC + CPP + CRC + CRP + CHC + CHP + CCC + CCP + CEP*** donde; CPC = Costo de personal, mantenimiento correctivo, CPP = Costo de personal, mantenimiento preventivo, CRC = Costo de repuestos, mantenimiento correctivo, CRP = Costo de repuestos, mantenimiento preventivo, CHC = Costo de herramientas,

mantenimiento correctivo, CHP = Costo de herramientas, mantenimiento preventivo, CCC = Costo de Contrato de Terceros, mantenimiento correctivo, CCP = Costo de Contratos de Terceros, mantenimiento preventivo, CEP = Costo del entrenamiento del personal de mantenimiento.

Entre la literatura analizada Vanegas (2013) plantea la siguiente fórmula para el costo de mantenimiento: CTMN=CP+CM+CT+CD+CF, siendo; CP: el costo de personal (aporte a la seguridad social y salario), CM: el costo de materiales, CT: el costo de la tercerización, CD: el costo de depreciación de los equipos y CF: el costo por pérdida de facturación.

1.3.2 Costos de mantenimiento en Cuba

En la bibliografía consultada se encontraron algunos procedimientos para el cálculo de costos asociados a la actividad de mantenimiento. A continuación se expondrán los principales procedimientos analizados:

Tabla 1.3 Procedimientos para el cálculo de costos

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 **Etap 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

1.3.3 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 adquisicion y su estado técnico como se muestra a continuación:

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 1.4 Tablas de coeficientes del Estado Técnico

ESTADO TECNICO	MENSUAL	TIMESTRAL	SEMESTRAL	ANUAL
	XM	**XT**	**XS**	**XA**
BUENO	0.005	0.015	0.025	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).

Porciento del valor de adquisición estimado para la reparación: **XR**

Tabla 1.5 Porciento del valor de adquisición estimado para la reparación

ESTADO TECNICO	REPARACIÓN
	XR
BUENO	0.05
REGULAR	0.10
MALO	0.15

Cantidad de actividades: **CA**

Tabla 1.6 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 mas 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 1.7 Cálculo de gastos

GASTO DE REPARACION POR EQUIPOS: GR GR = ((XR * PT) / CA) * VA	
GASTO MTTO MENSUAL : GMM GMM = (XM) * VA	GASTO MTTO MENSUAL + REPARACION: **GMMR** **GMMR = (XM + (XR * PT / CA)) * VA**
GASTO MTTO TRIMESTAL: GMT GMT = (XT) * VA	GASTO MTTO TRIMESTRAL + REPARACION: **GMTR** **GMTR = (XT + (XR * PT / CA)) * VA**
GASTO MTTO SEMESTRAL: GMS GMS = (XS) * VA	GASTO MTTO SEMESTRAL + REPARA CION: **GMSR** **GMSR = (XS + (XR * PT / CA)) * VA**
GASTO MTTO ANUAL: GMA GMA = (XA) * VA	GASTO MTTO ANUAL + REPARACION: **GMAR** **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:

GMR = ((XM * AM + XT * AT + XS * AS + XA * AA) + (XR * PT / CA)) * VA

1.4 Riesgo

El concepto del riesgo ha tomado mucha importancia en los últimos años, siendo común el uso de términos como “exposición al riesgo”, “gestión de riesgos”, “análisis de riesgos”.

El riesgo es siempre futuro. Si algo ha ocurrido ya, el riesgo asociado a ese evento ya no existe. Por tanto el riesgo se refiere únicamente a cosas que pueden pasar y así cuanto más conocimiento tengamos sobre él, más posibilidades tendremos de evitar posibles desastres que pueden ocurrir.

El riesgo no se puede medir directamente sino que debe ser calculado. El riesgo no es un fenómeno natural sino un parámetro que requiere la integración de al menos dos cantidades: La posibilidad y el tipo de evento (González Quijano 2004).

1.4.1 Definición de riesgo

Otro autor como González Quijano (2004) explica que toda actividad conlleva un riesgo, y una actividad exenta de él representa inmovilidad total. Pero aún así, si todos nos quedáramos en casa sin hacer nada y se detuviera toda actividad productiva y de servicios, aún existirían riesgos, no cabe duda que menores, pero existirían. El riesgo

cero no existe. Por lo que define el riesgo como: la probabilidad de que un peligro (causa inminente de pérdida) asociado a una actividad determinada, ocasione un incidente con consecuencias factibles de ser estimadas.

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).

1.4.2 Definición matemática de riesgo

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.

$$Riesgo = P \times C \qquad Siendo\ 0 \leq P \leq 1$$

Una definición equivalente se obtiene sustituyendo la probabilidad por la frecuencia y la consecuencia por la severidad:

$$Riesgo = F \times S$$

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

1.4.3 Índices de riesgo

Son procedimientos de aplicación relativamente simple a instalaciones complejas, en las que se evalúan una serie más o menos detallada de parámetros y se cuantifican unos valores que permiten una evaluación del nivel de riesgo de la instalación analizada. Existe un buen número de ellos, cada uno con sus especificidades.

Son métodos de aplicación simple y económica ya que con la cumplimentación razonada de una lista de comprobación, se obtienen de forma más o menos inmediata unos valores orientativos del riesgo intrínseco de la actividad e incluso pueden determinarse los factores que más contribuyen a incrementar este riesgo. Sin embargo, su grado de descripción de la instalación es limitado, por lo que los resultados obtenidos son genéricos y pueden pasar por alto multitud de factores, agravantes o no (González Quijano 2004).

1.4.4 Costos del riesgo

Los costos del riesgo asociados al mantenimiento surgen de lo que se deja de producir a causa de los tiempos fuera de servicio por fallas en los equipos y/o por actividades de mantenimiento diferentes a la atención de fallas. Son varios los elementos que conforman el costo del riesgo. Algunos de ellos son difíciles de valorar; por ejemplo, la pérdida de clientes por fallas en las entregas debido a los tiempos fuera de servicio. Algunos otros componentes son perceptibles pero difíciles de medir y evaluar en dinero (Woodhouse 1998).

1.5 Análisis Costo-Riesgo

Se podría decir que para prevenir la ocurrencia de fallas en los activos, es necesaria la aplicación del mantenimiento, el cual se logra a través de un plan y programa que contemple la frecuencia optima del mismo, evitando la ocurrencia de un evento no deseado o mitigando las consecuencias de estos, para apoyar tal fin, se utilizan herramientas de clase mundial que nos permitan soportar la toma de decisiones en un momento determinado, una de las mejores opciones viene representada por la técnica o metodología de “Optimización Costo-Riesgo” (OCR).

Para mejorar la relación costo riesgo, el uso de metodologías OCR, por la cual, se logra establecer frecuencias optimas de aplicación de mantenimiento que permiten soportar la toma de decisiones y a su vez minimizar los costos directos e indirectos relacionados con la actividad, incrementando la disponibilidad operacional y confiabilidad de los activos, llegando hasta direccionar los recursos y esfuerzos hacia otras áreas específicas de la empresa donde requieran (Duran 2001).

En la figura 1.3, se observa el modelo que representa la metodología OCR, se enfoca en la sumatoria punto a punto de una curva de comportamiento del costo de realizar la actividad de mantenimiento en ciertos intervalos de tiempo (costos de mantenimiento), versus los costos del riesgo asociados a cada uno de esos intervalos, expresados en unidades monetarias en una última representación gráfica que refleja el impacto global en el negocio (costos totales), permitiendo visualizar el punto o intervalo más bajo referido al intervalo o frecuencia óptima para realizar la actividad evaluada.

La dificultad para el uso del modelo, radica en la estimación o modelaje de la curva de riesgo, ya que la misma requiere la estimación de la probabilidad de falla (y su variación con el tiempo), y las consecuencias de dichas fallas.

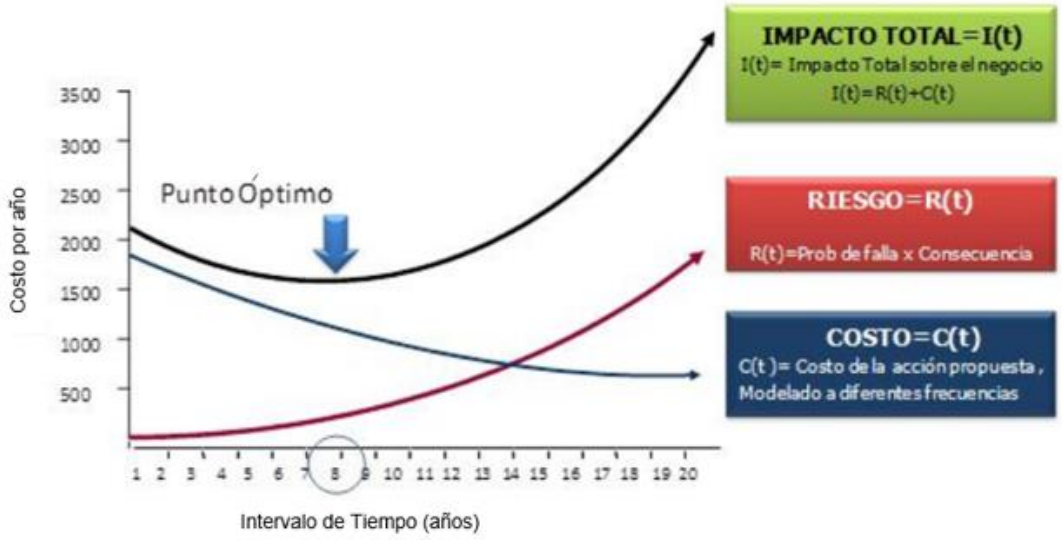


Figura 1.3 Modelo de "Optimización Costo-Riesgo". **Fuente:** Romero Barrios (2016)

La figura 1.4, muestra la composición del indicador riesgo en sus componentes fundamentales, donde puede observarse claramente que para calcular el riesgo deben establecerse dos vías, una para el cálculo de la confiabilidad y/o probabilidad de falla y otra para el cálculo de las consecuencias.

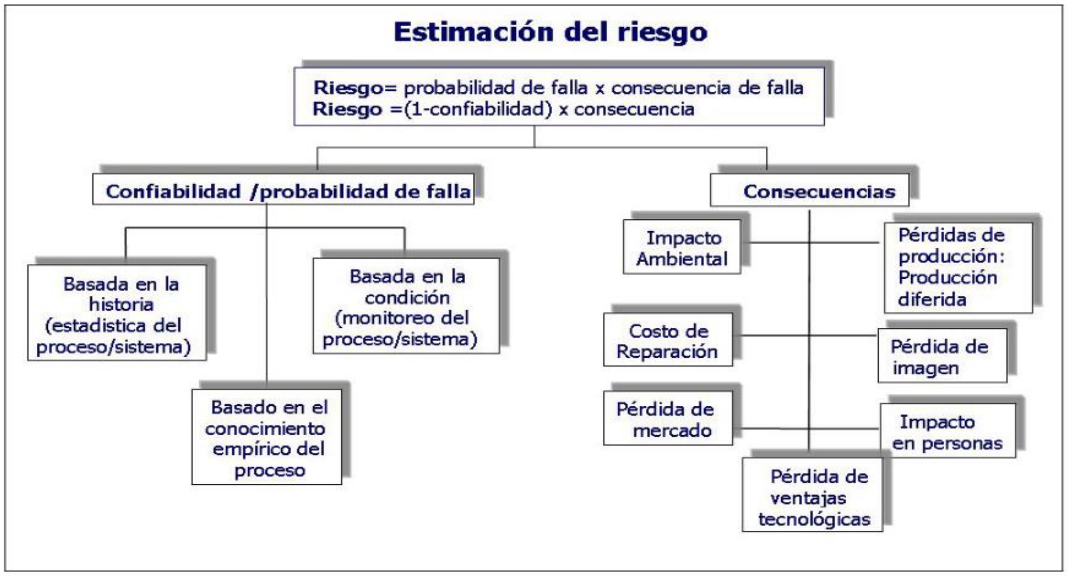


Figura 1.4 Vías para el cálculo del riesgo. **Fuente:** Ruz Rincón (2006)

Este modelo permite comparar el costo asociado a una acción de mantenimiento contra el nivel de reducción de riesgo o mejora en el desempeño debido a dicha acción; en otras palabras el modelo permite saber "cuanto se obtiene por lo que se gasta". Dicho modelo resulta particularmente útil para decidir en escenarios con intereses en conflicto. Este modelo

permite determinar el nivel óptimo de riesgo y la cantidad adecuada de mantenimiento, para obtener el máximo beneficio o mínimo impacto en el negocio (Woodhouse 1993).

1.5.1 Beneficios

En términos generales, Ruz Rincón (2006) plantea que la Optimización Costo-Riesgo arroja los siguientes beneficios:

- Determinar el número óptimo de actividades de mantenimiento.
- Optimizar el proceso de toma de decisiones de los diferentes procesos de mantenimiento.
- Decidir cuándo hacer mantenimiento, cuándo hacer inspecciones, cuándo hacer la parada de planta.
- Estimar la relación costo/riesgo de múltiples factores, tales como el impacto de normas, leyes, regulaciones, medio ambiente, seguridad, confiabilidad, eficiencia, costos de operación, rendimiento, calidad, brillo o imagen de la empresa y otros.

1.5.2 Procedimientos para el análisis Costo-Riesgo

En la bibliografía consultada se encontraron algunos procedimientos para el anális de Costo-Riesgo asociados a la actividad de mantenimiento, 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 6 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 de 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 etá 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 7 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, 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 cosideran 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, la autora 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.

1.6 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. La evaluación costo riesgo aplicado a la evaluación de actividades de mantenimiento, se enfoca en la sumatoria punto a apunto de una curva de comportamiento del costo de realizar la actividad de mantenimiento en intervalos de tiempo contra los costos del riesgo asociados a cada uno de esos estos intervalos, expresando esta relación de comportamiento en unidades monetarias en una última representación gráfica que refleja el impacto global en el negocio, permitiendo visualizar el punto o intervalo más bajo referido al nivel de costo así como el punto o intervalo óptimo para realizar de la actividad evaluada
3. Se analizaron varios procedimientos para el análisis de 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 2: Caracterización del Hotel Playa Cayo Santa María y aplicación del procedimiento para el análisis costo-riesgo seleccionado

2.1 Introducción

Este capítulo es dedicado a dar solución al problema de investigación planteado, se realiza una caracterización de la entidad objeto de estudio, así como la aplicación del procedimiento general para la determinación de los costos que implican la actividad de mantenimiento, los beneficios, relación costo riesgo, y el impacto total en la entidad, propuesto por Duran (2001) en combinación con etapas de los restantes procedimientos, en el Hotel Playa Cayo Santa María. Se realizan análisis y ajustes pertinentes en cada una de las etapas según las características propias del hotel objeto de estudio.

2.2 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.

2.2.1 Descripción del área de Servicios Técnicos

Política general

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 anormalidad 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 (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.

2.2.2 Descripción del proceso de abasto de agua caliente en los bungalows

El sistema de producción de abasto de agua caliente utilizara como fuente fundamental la energía solar, el volumen de agua acumulada es variable en dependencia del tipo de bungalow, compartido en dos tanques de 5, 4 y 3m cúbicos cada uno, uno de acumulación solar y otro con el apoyo eléctrico. El sistema está conformado por dos circuitos, el circuito primario de agua que hace circular el agua entre los colectores solares y el tanque con intercambiador de tubos, circuito de recirculación que hace circular el agua desde los tanques de almacenamiento hasta las habitaciones. Las bombas de los circuitos primario y recirculación de agua caliente serán del tipo gemelas para montaje en línea una trabajando y otra de reserva. El control del sistema se realiza mediante una central de comunicación, la cual recibe las señales de las sondas ubicadas en la salida de los paneles y en el tanque de acumulación y para o arranca la bomba del circuito primario en función de la diferencia de temperatura, la bomba de circuito de recirculación está funcionando en dependencia de la temperatura de retorno que es censada por termostato que controla su arranque y parada, las bombas incluyen presostato. El sistema solar es concebido para que funcione de manera

autónoma. Las tuberías en los locales técnicos son de acero negro o galvanizado, roscado o soldado aisladas térmicamente. La reposición de agua al sistema de agua caliente sanitaria se hace desde la tubería de ATA del edificio, con un ramal que va hasta el cuarto de equipos. El sistema de producción de agua caliente está provisto de un metro contador en el suministro de agua del sistema de ATA. El agua es calentada hasta una temperatura de 60°C en los colectores solares. El sistema de apoyo es capaz de asumir todo el calentamiento del agua en caso de fallas en el sistema solar. La temperatura en los tanques de acumulación es de 55ºC y la de entrega del agua caliente a los locales de 50 ºC, su funcionamiento es durante las 24 horas del día y está controlada por una válvula mezcladora termostática para garantizar la temperatura de suministro en los valores previstos.

2.3 Aplicación del procedimiento de Costo-Riesgo seleccionado

Para el cumplimiento del objetivo propuesto en la presente investigación, se aplicará el procedimiento para la optimización Costo-Riesgo propuesto por Duran (2001), con la incorporación de algunas etapas y análisis pertinentes. A continuación se muetran las etapas que lo conforman:

Figura 2.1 Procedimiento a seguir para la ejecución del análisis Costo-Riesgo. **Fuente**: Elaboración propia.

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	Nombre	Ocupación
1	Yilianys Rodríguez Valle	Facilitadora
2	Lean Saign Chiang Rodríguez	Jefe de Servicios Técnicos
3	Dianelys Valhuerdy Armas	Energética
4	Lilian Pérez Manga	Económica

Paso 2: Definición de objetivos

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

- Determinar el número óptimo de la frecuencia de mantenimiento.
- Estimar la relación costo/riesgo de múltiples factores, tales como los daños a la seguridad física, al medio ambiente, los daños operacionales,así como, los daños sobre consumo de energía y a la imagen del hotel.

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 para el trabajo de las UEB tecnológicas y constructivas aprobado el 4 de enero del 2017, donde se presenta 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 dirrección, salario del personal directo a la producción, así como la tarifa interna de Gaviota y la tarifa interna de terceros. Esta ficha también presenta 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

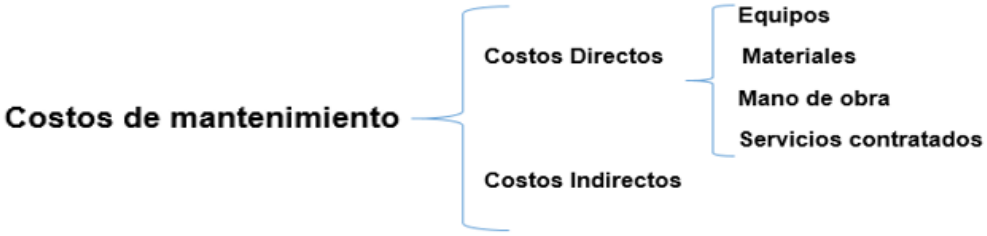


Figura 2.2 Clasificación de los costos. **Fuente:** Elaboración propia.

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 peseer 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 mtto 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 proveniente del anexo 8 en combinación con la ficha de costo, obteniéndose los resultados mostrados a continuación:

Tabla 2.3 Costo total de mantenimiento del bungalow 14 por tipo de bomba

Tipos de Bombas	Total de bombas	Cantidad de mantenimiento/año	Tiempo en horas	Importe de Tarifa Horaria	Costo Total (CT)
Bombas menores de 10 HP	2	4	3,47	29,43	816,98
Bombas de 10.1 a 30 HP	1	4	5,70	48,34	1102,15
Bombas mayores de 30 HP	1	4	8,41	71,32	2399,21
Costo Total					**4318,34**

Tabla 2.5 Costo total de mantenimiento de los paneles solares del bungalows 14

Total de Paneles Solares	Cantidad de mantenimiento/año	Tiempo en horas	Importe de Tarifa Horaria	Costo Total
12	2	4	33,92	**3256,32**

Tabla 2.6 Costo total de mantenimiento de las resistencias

Total de resistencias	Cantidad de mantenimiento/año	Tiempo en horas	Importe de Tarifa Horaria	Costo Total
8	2	10,42	88,36	**14731,38**

Para ello se utilizó como fórmula general la siguiente:

CT tipo de equipo=total de equipos*cantidad de mantenimiento*tiempo en horas*importe de tarifa horaria

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

Tabla 2.7 Resumen de los costos totales de mantenimiento

Tipo de costos	CUC/año
Materiales directos	999,77
Mano de obra directa	3787,46
Costos indirectos	2337,07
Pérdida por bungalows fuera de servicio	7124,31
Costo de reparación	7124,31
Total	**21372,92**

Los costos de mantenimiento por servicios contratados calculados anteriormente suman un total de 22306,04 CUC/año, por lo que se puede considerar que el costo de mantenimiento del sistema de agua caliente en el bungalow 14 suma un total de 43678,96 CUC/año.

Paso 6: Selección del componente a analizar

Esta etapa se realiza como se explica a continuación, pero no se analizará en la investigación puesto que no se cuenta con suficiente información (datos de costo) para analizarlo por los distintos modos de fallo.

Para la selección del componente crítico es necesario la realización de un análisis de criticidad, como el ejemplo que se muestra a continuación, realizado por Pérez González (2016), y consultado con el personal de mantenimiento y operaciones.

Dicho análisis de criticidad involucra aspectos operacionales muy importantes para los hoteles, como lo son: la frecuencia de fallas y el impacto en el servicio.

Primeramente, se establecien rangos relativos para representar las frecuencias de falla y las pérdidas de producción, llegando así a establecer una matriz de criticidad que representa rangos numéricos, tal como se muestra en la tabla 2.8.

Tabla 2.8 Clasificación de la criticidad de cada causa de la falla

Ranquin	%	Criticidad
0 - 7	Hasta 7 %	**Aceptable**
8 - 25	8 % al 25 %	**Admisible**
26 - 70	26 % al 70 %	**Tolerable**
71 - 100	Mayor 71 %	**Inadmisible**

Luego, se realiza un tratamiento general de la información, tal como se muestra en la tabla 2.9, del cual se obtuvo el análisis de criticidad mostrado en la tabla 2.10 que permitió jerarquizar los componentes del sistema, donde 1 significa que no ha ocurrido nunca en este hotel, y es improbable que ocurra según la experiencia en el sistema, 2 significa que no ha ocurrido nunca en este hotel, pero es probable que ocurra según la experiencia en este sistema, el 3, ha ocurrido alguna vez en este hotel, el 4 ocurre al menos una vez cada tres años en este hotel y el 5 ocurre varias veces al año en este hotel.

Tabla 2.9 Tratamiento de la información para el Análisis de Criticidad

		∑Consecuencias						
		Daños a la seguridad física	Daños al medio ambiente	Daños operacionales	Daños sobre consumo de energía	Daños a la imagen del hotel	C=F*(∑Consecuencias)	
Equipo o componente	Frecuencia de falla	Categoría	Categoría	Categoría	Categoría	Categoría	Criticidad	Nivel Criticidad
Impelente	5	1	1	1	2	1	30	Media
Motor	3	1	1	1	4	1	24	Baja
Terma	4	1	1	1	1	1	20	Baja
Cojinete	5	1	1	1	2	1	30	Media
Sello	4	1	1	1	1	1	20	Baja
Rotor	2	1	1	1	1	1	10	Baja
Casco	1	1	1	1	1	1	5	Baja
Resistencia	5	1	1	1	1	1	5	Baja
Panel solar	5	1	1	1	1	1	5	Baja

Fuente: Pérez González **(2016)**

Tabla 2.10 Análisis de Criticidad al sistema de abasto de agua caliente del bungalow14

		∑Consecuencias						
		Daños a la seguridad física	Daños al medio ambiente	Daños operacionales	Daños sobre consumo de energía	Daños a la imagen del hotel	C=F*(∑Consecuencias)	
Equipo o componente	Frecuencia de falla	Categoría	Categoría	Categoría	Categoría	Categoría	Criticidad	Nivel Criticidad
Bomba en línea	5	1	1	1	2	1	30	Media
Resistencia	5	1	1	1	1	1	5	Baja
Panel solar	5	1	1	1	1	1	5	Baja

Fuente: Pérez González (2016)

La información de las reparaciones del sistema de abasto de agua fue suministrada por el software @ Mantener. La misma se obtuvo del historial de fallas almacenado en el sistema de información desde el año 2013 hasta los primeros meses del año 2017. En la tabla 2.11 se muestra dichos datos.

Tabla 2.11 Tiempos entre fallas al sistema de abasto de agua caliente (bungalow 14)

Número	TEF (horas)	Número	TEF (horas)
1	1239	10	2685
2	2737	11	1144
3	1192	12	2700
4	2631	13	952
5	1239	14	2655
6	2530	15	1096
7	952	16	2631
8	2737	17	1144
9	1239	18	2737

Paso 7: Determinación de los costos de mantenimiento preventivo

Tabla 2.12 Costos del mantenimiento preventivo

Costos de mantenimiento preventivo (CUC/año)	
Materiales directos	999,77
Mano de obra directa	3787,46
Costos indirectos	2337,07
Costo Total	**7124,3**

Los datos de la tabla anterior se pueden obtener a partir de la tabla 2.13 y las fórmulas siguientes:

Tabla 2.13 Costo horario del personal

A realizar	Cantidad	Tarifa horaria
Técnico	1	473.4336
Supervisor	1	737.7763

Fuente: Ficha de costo

CMOD = (Σ CUP x NP) x TMP 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 Donde:

CMD: **costo de los materiales directos**

CR: costo del repuesto

NR: número de repuestos

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 la tabla 2.8 de tiempos entre fallas, y se obtuvo los resultados mostrados en la figura 2.2.

Test Statistics

			C1
Chi-Square			4.000[a]
df			10
Asymp. Sig.			.947
Monte Carlo Sig.	Sig.		.978[b]
	95% Confidence Interval	Lower Bound	.976
		Upper Bound	.981

a. 11 cells (100.0%) have expected frequencies less than 5. The minimum expected cell frequency is 1.6.

b. Based on 10000 sampled tables with starting seed 2000000.

Figura 2.2 Prueba de bondad de ajuste realizada por SPSS

Con los resultados obtenidos se puede verificar el no rechazo de la hipótesis que plantea que el comportamiento de fallas del sistema 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 la prueba anterior 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: α=3,23181 y β=2064,92 tal como se muestra en la figura 2.3.

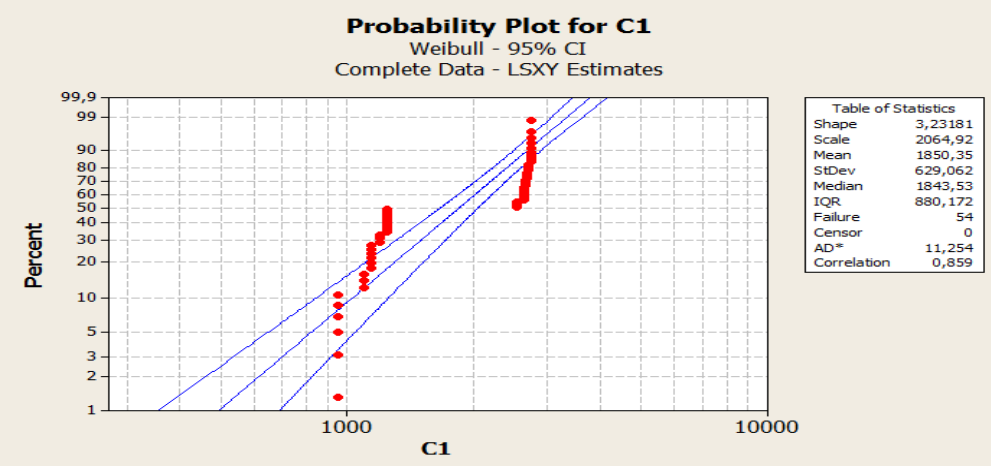


Figura 2.3 Parámetros de Weibull obtenidos por el software Minitab. **Fuente:** Software Minitab.

- **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 obtendremos el número esperadode fallas:

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

Donde:

NEF: número esperado de fallas

t: intervalo de tiempo

Tabla 2.14 Simulación del número esperado de fallas

Tiempo	NEF	Tiempo	NEF
200	0,0005	1800	0,6416
400	0,0049	2000	0,9019
600	0,0184	2200	1,2272
800	0,0466	2400	1,6257
1000	0,096	2600	2,1057
1200	0,173	2800	2,6756
1400	0,2848	3000	3,3439
1600	0,4384		

b) Estimación del costo unitario de la falla

Tabla 2.15 Costo unitario de la falla

Costo unitario de la falla (CUC/año)	
Pérdida por bungalows fuera de servicio	31424,64
Costo de reparación	7124,31
Costo Total	**38548,95**

Para obtener los datos mostrados en la tabla 2.15, se requiere la utilización de las fórmulas planteadas a continuación:

CR = CMD + CMOD + CIR Donde:

CR: costo de la reparación.

CMD: costo de los materiales directos.

CMOD: costo de mano de obra directa.

CIR: costos indirectos derealizar la reparación.

Pérdida del bungalow fuera de servicio = PP x RT x TPR Donde:

PP: precio del producto (cuc/unid)

RT: reducción en la tasa huésped (uHr)

TPR: tiempo para reparar (Hr)

Paso 9: Simulación del modelo

Para realizar la simulación se requiere de los siguientes parámetros de entrada:

- Número de datos
- Tiempos entre fallas
- α : parámetro de forma de la distribución de Weibull
- β: parámetro de escala o edad característica para fallar de la distribución de Weibull
- Período: indica hasta que tiempo en horas se realizará la simulación
- Paso: indica cada cuanto tiempo en horas se realizará la simulación dentro del período

- Intervalos de mantenimiento: indica el paso en horas acumulado hasta llegar al período
- Costos de mantenimiento preventivo
- Costo unitario de fallas

Una vez realizados los cálculos pertinentes, se obtienen los siguientes parámetros:

- Número esperado de fallas
- Frecuencias para realizar el mantenimiento preventivo
- Costo total de mantenimiento preventivo en un tiempo predeterminado
- Costo del riesgo
- Curvas de costos de mantenimiento preventivo
- Curva de costos de riesgo
- Curva de impacto total o costo total
- Intervalo óptimo en horas para realizar el mantenimiento preventivo

Para ello se hace necesario definir algunas fórmulas para la obtención de dichos parámetros.

- Costo Total de Mantenimiento (CTM) se obtiene mediante la fórmula que se muestra a continuación:

CTM = CRM+ (MDTM + MDTA) x CHr Donde:

CRM: Costo de los recursos de mantenimiento utilizados durante la ejecución de la tarea.

MDMT: media de la duración de la tarea de mantenimiento.

MDTA: media de la duraciónde la tarea de apoyo.

CHr: representa el valor monetario de las pérdidas para el explotador o usuario, producidas durante cada hora en que el elemento o sistema está indisponible para generar ingresos.

- **Costo Total o Impacto Total = (CR + CM)min** Donde:

CR: Costos del Riesgo asumido en diferentes períodos de tiempo

CM: Costos para diferentes políticas de Mantenimiento

- **Riesgo = NEF x CUF** Donde:

NEF: número esperado de fallas.

CUF: costo unitario de la falla.

Se hace necesaria la determinación de dicho valor esperado en este caso representado por el número esperado de fallas. Entonces, si X es una variable aleatoria que representa las fallas del equipo, puede decirse que su promedio o valor medio esperado está dado por:

$$E(x) = \begin{cases} \sum x.p(x) & \text{si x es discreta, o} \\ \int x.f(x)dx & \text{si x es continua} \end{cases}$$

donde p(x) y f(x) son las funciones de probabilidad y de densidad de probabilidad respectivamente.

Los resultados se presentan a continuación:

Tabla 2.16 Resultados obtenidos de la simulación

No.	Datos (TEF)
1	1239
2	2737
3	1192
4	2631
5	1239
6	2530
7	952
8	2737
9	1239
10	2685
11	1144
12	2700
13	952
14	2655
15	1096
16	2631
17	1144
18	2737

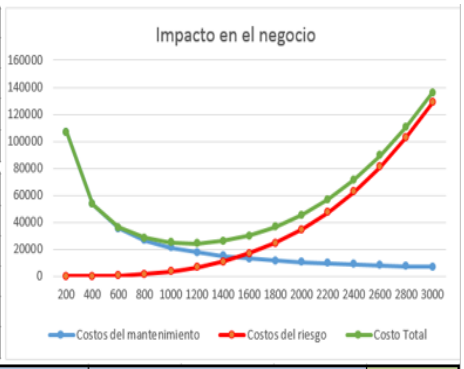
Parámetros Estimados	
Parametro	Valor
α	3,23181
β	2064,92

Predicción de Fallas	
Período	3000
Paso	200

Simulación de Fallas	
Intervalos	NEF
200	0,0005
400	0,0049
600	0,0184
800	0,0466
1000	0,096
1200	0,173
1400	0,2848
1600	0,4384
1800	0,6416
2000	0,9019
2200	1,2272
2400	1,6257
2600	2,1057
2800	2,6756
3000	3,3439

COSTOS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO ($	
Materiales Directos	999,77
Mano de Obra Directa	3787,46
Costos Indirectos	2337,07
TOTAL COSTOS	7124,3

COSTO UNITARIO DE LAS FALLAS ($/Falla)	
Pérdida por bungalow	31424,64
Costo de Reparación	7124,31
Impacto Ambiental	
Impacto en Seguridad	
TOTAL COSTOS	38548,95



MANTENIMIENTO PREVENTIVO			COSTO POR FALLAS			COSTO
Intervalo	Frecuencia	Costo	Intervalo	NEF	Costo	TOTAL
200	15	106864,7	200	0,0005	19,27	106883,97
400	7,5	53432,35	400	0,0049	188,89	53621,24
600	5	35621,57	600	0,0184	709,3	36330,87
800	3,75	26716,18	800	0,0466	1796,38	28512,56
1000	3	21372,94	1000	0,096	3700,69	25073,63
1200	2,5	17810,78	1200	0,173	6668,96	24479,74
1400	2,14	15266,39	1400	0,2848	10978,74	26245,13
1600	1,87	13358,09	1600	0,4384	16899,86	30257,95
1800	1,67	11873,86	1800	0,6416	24733	36606,86
2000	1,5	10686,47	2000	0,9019	34767,3	45453,77
2200	1,36	9714,97	2200	1,2272	47307,28	57022,25
2400	1,25	8905,39	2400	1,6257	62669,03	71574,42
2600	1,15	8220,36	2600	2,1057	81172,53	89392,89
2800	1,07	7633,19	2800	2,6756	103141,58	110774,77
3000	1	7124,31	3000	3,3439	128903,85	136028,16

Fuente: Elaboración propia

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

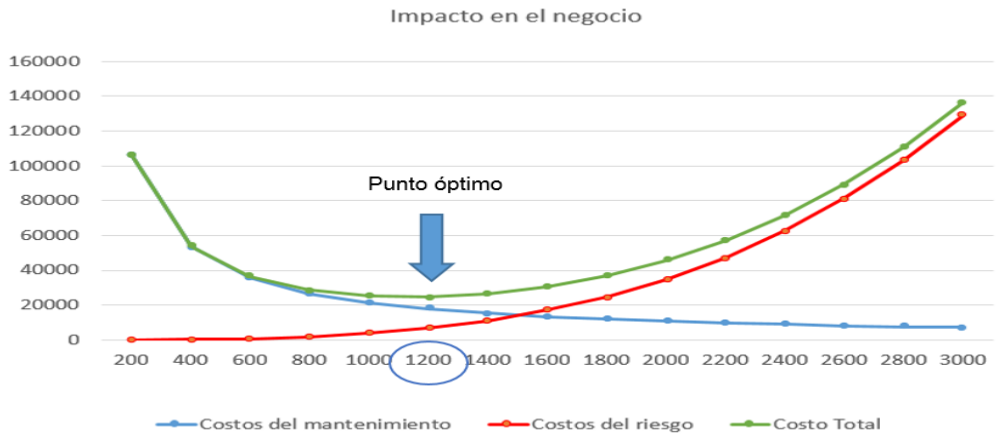


Figura 2.4 Curvas de costos obtenidas de la simulación

A partir del análisis de la figura 2.4 se puede determinar que el intervalo óptimo de mantenimiento preventivo para sistema es 1200 horas, con un costo total de 24479,74CUC como se muestra en la tabla 2.17.

Tabla 2.17 Intervalo de mantenimiento preventivo para el sistema

Descripción	Intervalo (horas)	Costo de Mantenimiento Preventivo(CUC)	Costo por fallas	Costo Total
Sistema de abasto de agua	1200	17810,78	6668,96	24479,74

Se tomó en consideración la frecuencia actual para la realización del mantenimiento preventivo la cual es de 1800 horas, luego se determinó el número esperado de fallas para esta frecuencia el cual resultó en 0.64 fallas. Este resultado puede observarse en la tabla 2.16 de resultados arrojados por el modelo, ya que el intervalo actual está dentro del período de simulación. Con estos valores se procedió a determinar tanto el costo de mantenimiento preventivo como el costo de falla para ese intervalo. Luego se realizó la comparación entre entre los costos de mantenimiento actual y el propuesto, la cual se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 2.18 Comparación entre los costos de mantenimiento actual y el propuesto

Política	Intervalo (horas)	Costo de Mantenimiento Preventivo(CUC)	Costo por fallas	Costo Total
Actual	1800	11873,86	24733,0	36606,86
Propuesta	1200	17810,78	6668,96	24479,74
Diferencia	**-600**	**5936,92**	**-18064,04**	**-12127,12**

2.4 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.
3. Al realizar un análisis costo-riesgo a la política actual de mantenimiento se puede apreciar que existe un ahorro de 7072 CUC/año, lo que significa que es factible la propuesta a realizar.

Conclusiones

Conclusiones generales

1. El análisis de la bibliografía consultada para la construcción del marco teórico de la investigación confirma la existencia de una amplia base conceptual que evidenció la importancia que ha alcanzado el mantenimiento como disciplina en la estructura competitiva de las empresas, sin embargo, son escasos los precedentes sobre el tratamiento del análisis costo-riesgo del mantenimiento en Cuba, específicamente en el Grupo GAVIOTA S.A
2. El análisis de los resultados obtenidos mediante la aplicación del modelo, se obtuvo que el intervalo de mantenimiento preventivo debe ser de 1200 horas, con un costo de mantenimiento preventivo de 17810,78 CUC y un costo de riesgo de 6668,96 CUC, para obtener un costo total de 24479,74 CUC.
3. La frecuencia de ejecución del mantenimiento preventivo actualmente en el hotel es de 1800 horas, con un costo total de 36606,86 CUC, comparándola con la frecuencia propuesta se incurre en un aumento en los costos de mantenimiento preventivo, pero con una disminución significativa de los costos del riesgo por fallas, generando un ahorro de aproximadamente 12127,12 CUC por lo que los resultados del modelo involucran realizar más mantenimiento preventivo, con la finalidad de disminuir la frecuencia de fallas y reducir los costos de paradas por fallas.

Recomendaciones

Recomendaciones

1. Capacitar al personal que se ocupará de poner en práctica el procedimiento propuesto, con el fin de que sea él mismo el encargado de evaluar su desempeño y sugerir los ajustes necesarios.
2. Generalizar el procedimiento planteado al análisis de los costos que se realizan en el hotel.
3. Realizar estudios de análisis costo-riesgo para cada una de las causas del fallo para el sistema de agua caliente de los bungalows.

Bibliografía

Bibliografía

1. **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.**

2. **Arboleda, M. (2013). "Concepto e Importancia del Mantenimiento Industrial".**

3. **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.**

4. **Benítez Montalvo, R. I. (2008). "Influencia de los costos de Mantenimiento en la toma de decisiones ". from http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/Influencia-costos-mantenimiento.pdf.**

5. **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.**

6. **Cáceres, M. B. (2016). "Cómo Incrementar la Competitividad del Negocio mediante Estrategias para Gerenciar el Mantenimiento".**

7. **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.**

8. **Chan Yah, R. D. L. A. (2013). "Mantenimiento Industrial". from http://rochichan.blogspot.com/2013/01/mantenimiento-industrial.html.**

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

10. Colina, N. (2010). "Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad". from http://grupomaquinamortal.blogspot.com/2010/11/mantenimiento-centrado-en-la.html.

11. 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.

12. 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.

13. De la Paz Martínez, E. M. L., E & Aquilera, A. (2014). "Evolución del mantenimiento en Cuba y la participación de las universidades en el proceso".

14. 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.

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

16. 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."

17. EcuRed (2017). "Turismo en Cuba". from https://www.ecured.cu/Turismo_en_Cuba.

18. Ecured (2017). "Mantenimiento preventivo planificado".

19. Ewan James, O. (2007). "La realización de la auditoría de mantenimiento en la Unidad Empresarial Básica (U.E.B) Pasteurizadora Santa Clara". Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Tesis de Diploma

20. Fibertel, J. (2007). ""RCM – Mantenimiento Centrado en Confiabilidad"." from http://www.gestiopolis.com/rcm-mantenimiento-centrado-en-confiabilidad/.

21. García Garrido, S. (2008). "Las cinco generaciones de mantenimiento".from http://www.foro-industrial.com/foros/viewtopic.php?t=4094.

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

23. 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/.

24. 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

25. González, Y. (2011). "Evolución del Mantenimiento". from http://ugmamantenimiento12011.blogspot.com/2011/10/evolucion-del-mantenimiento.html.

26. Hernández Arango, P. (2012). "Inspección basada en riesgo: generalidades y uso". from http://www.indisa.com/indisaonline/anteriores/Indisa%20On%20line%20111-%20%20INSPECCION%20BASADA%20EN%20RIESGO%20GENERALIDADES%20Y%20UN%20CASO%20PR%C3%81CTICO.pdf.

27. Linares Depestre, L. O. (2012). "Del mantenimiento preventivo al mantenimiento centrado en la confiabilidad". Santa Clara, Villa Clara, Cuba.

28. Llerena Morera, D. (2016). Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad a equipos más consumidores de energía eléctrica del Hotel " Cayo Santa María" Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Tesis de Diploma.

29. López García, J. (2013). "Las cinco generaciones del mantenimiento". from http://gestionmantenimientoeficiente.blogspot.com/2013/02/las-cinco-generaciones-del-mantenimiento.html.

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

31. Martínez San Roman, D. (2013). Realización de la Auditoría de Mantenimiento en la Empresa Militar Industrial (EMI) "Comandante Ernesto Che Guevara". Departamento de Ingeniería Industrial Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Trabajo de Diploma.

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

33. Mora Gutiérrez, L. A. (2007). "Mantenimiento estratégico para empresas industriales o de servicios" Colombia.

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

35. Moubray, J. (1997). "Reliability Centered Maintenance (RCM)", Ed. Butterworth-Heinemann.

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

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

38. OSINERG (2005). "Procedimiento para la Determinación de los Costos de Operación y Mantenimiento para la Regulación de los Sistemas Secundarios de Transmisión". OSINERG-GART/DGT Nº 063-2005.

39. 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". Ingeniería Industrial, Universidad Central "Marta Abreu de las Villas". Tesis de Diploma.

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

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

42. Rivero Rodríguez , L. D. (2015). Herramienta informática para la gestión de mantenimiento en el hotel "Meliá Las Dunas". Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Tesis de Diploma.

43. Rodríguez Céspedes , E. (2013). Definición de la política de mantenimiento para el equipamiento productivo de la UEB "Cloro Sosa" de la Electroquímica de Sagua la Grande, a partir del Análisis de riesgo. Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas Trabajo de Diploma.

44. Rodríguez, S. (2012). "El Mantenimiento en la Industrial. Su importancia". 2017.

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

46. Ros Moreno, A. (2010). "Capítulo 13: Mantenimiento industrial. Cálculo de costos".

47. Ruz Rincón, J. L. (2006). "Optimización costo/riesgo en la gestión de mantenimiento para estaciones de flujo". Facultad de ingeniería de la industria petrolera. Maracaibo, Venezuela, Universidad de Zulia. Trabajo especial de grado presentado para optar al grado académico de: Magíster scientiarum en gerencia de mantenimiento.

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

49. Sánchez Sánchez, R. (1999). "Contribución al perfeccionamiento del Sistema de Gestión del Mantenimiento a las máquinas y equipos productivos y energéticos en la fase de operación en las fábricas de azúcar crudo cubanas". Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad Central Marta Abreu de las Villas. Tesis en opción al grado científico de doctor en Ciencias Técnicas.

50. 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.

51. Tavares, L. A. (1999). "Administración Moderna de Mantenimiento". Brasil.

52. Torres Arosemena, C. (2014). "Mantenimiento centrado en confiabilidad RCM ". from http://formared.blogspot.com/2014/06/mantenimiento-centrado-en-confiabilidad.html.

53. Torres Gutiérrez , I. (2013). Evaluación del impacto de la gestión de mantenimiento sobre el desempeño de producción en la Subdivisión de

Maquinarias Pesadas de la Empresa “Planta Mecánica”. Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas.

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

55. Turmero 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.

56. Turmero Astros, I. J. (2012). "Mantenimiento de clase mundial ".

57. Vanegas, L. (2013). "Manual de estimación de costos de mantenimiento".

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

59. Vega Mendoza, P. J. (2009). "Diseño de la estrategia de mantenimiento basada en la confiabilidad, RCM, e inspección basada en el riesgo, RBI; para la línea crítica de producción de la planta para concentrados de la empresa ITALCOL S.C.A ubicada en Girón, Santander". Facultad de Ingeniería Mecánica. Bucaramanga, Universidad Pontificia Bolivariana. Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecánico.

60. Velázquez Pérez, E. (2014). "Implementación del Sistema Alternativo de Mantenimiento en la empresa gráfica de Villa Clara". Santa Clara, Cuba. Testis en opción al grado académico de Máster en Ingeniería Industrial.

61. Woodhouse, J. (1993). "Managing Industrial Risk". Oxford.

62. Woodhouse, J. (1998). "Optimización Costo/Riesgo de Mantenimiento". USA.

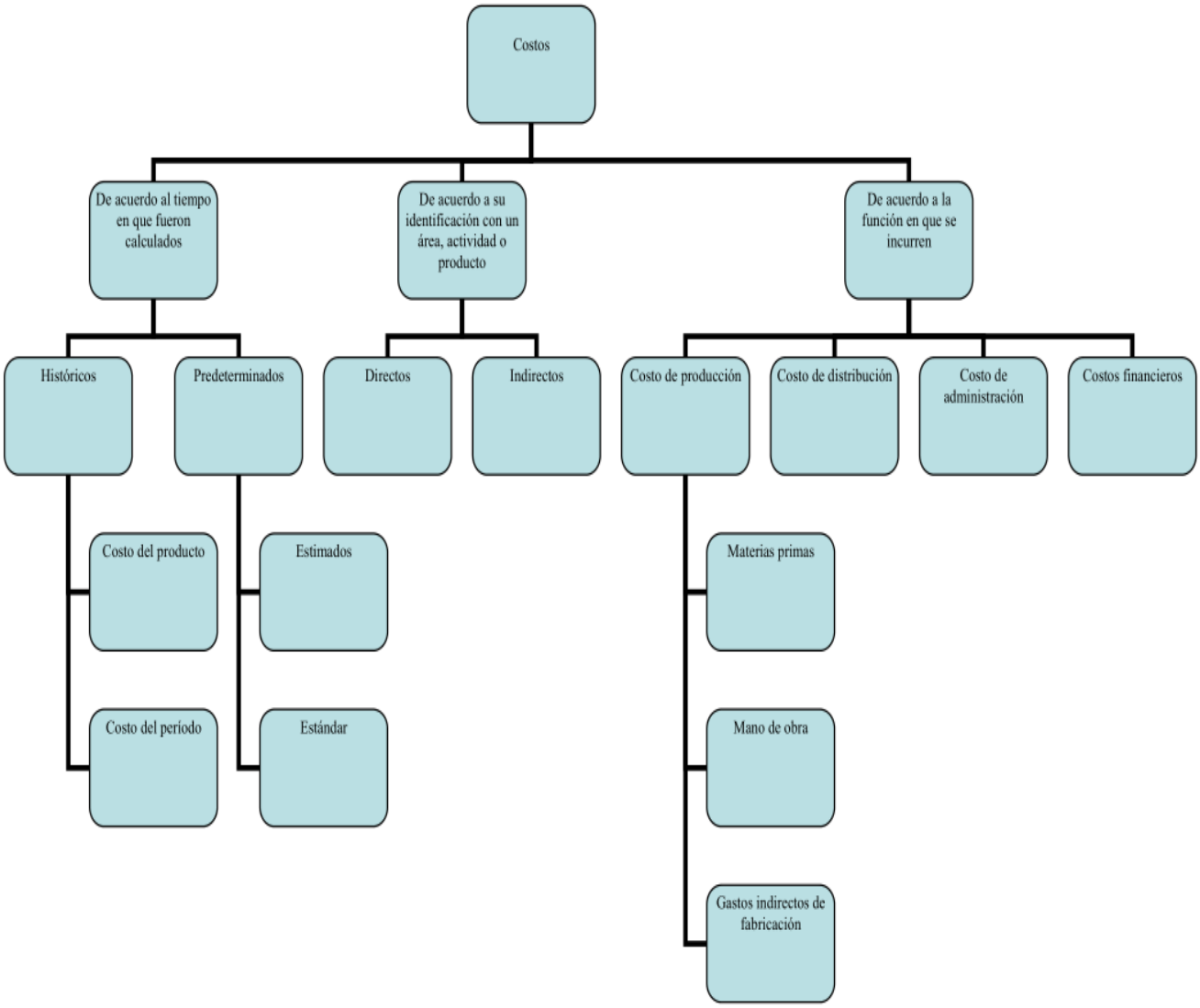
63. Woodhouse, J. (2001). "Glosario de Confiabilidad". USA.

64. 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

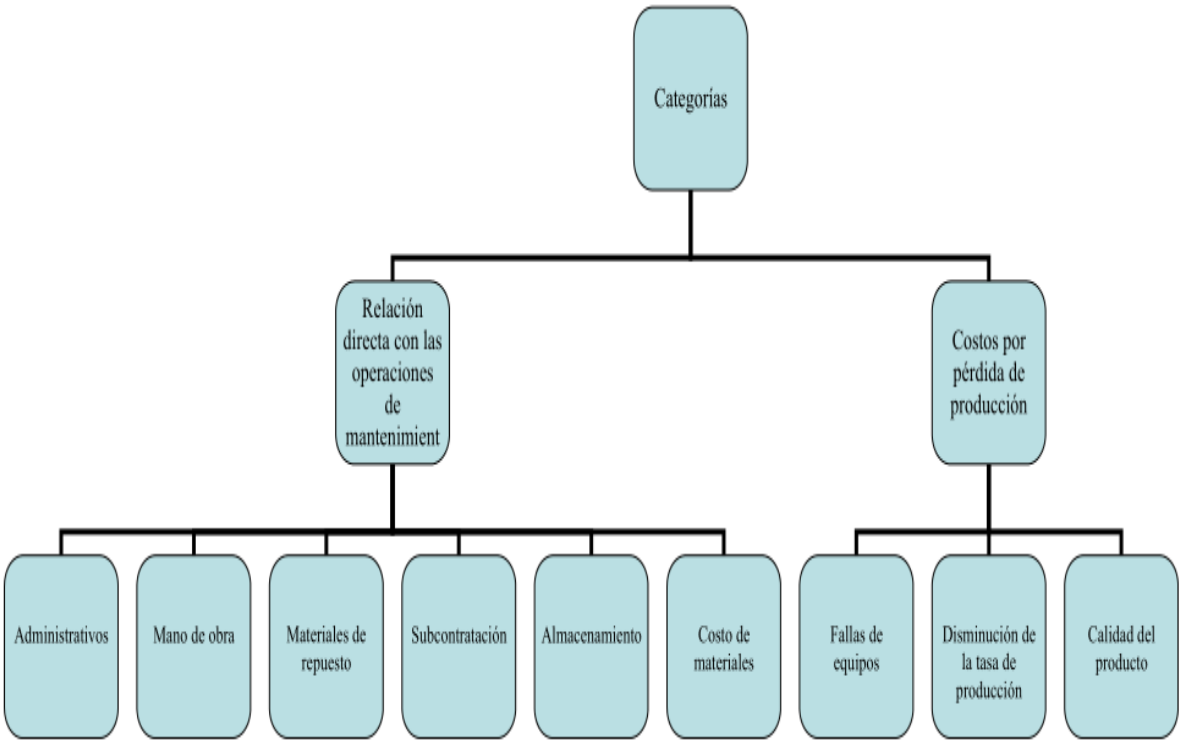
Anexos

Anexo 1 Organigrama de clasificación de los tipos de costos según el enfoque



Fuente: Benítez Montalvo (2008)

Anexo 2 Organigrama de clasificación de los costos según sus categorías



Fuente: Benítez Montalvo (2008)

Anexo 3 Costos según la relación directa con las operaciones de mantenimiento. **Fuente:** Benítez Montalvo (2008)

El costo de mano de obra interna se debe calcular teniendo en cuanta el tiempo empleado en la intervención multiplicado por las horas hombres y el de la mano de obra externa previo convenio entre el contratista y el encargado de mantenimiento.

- Costo relativo con personal propio

Relación entre los gastos con mano de obra propia y el costo total del área de mantenimiento en el periodo considerado

$$CRPP = \frac{\sum CMOP}{CTMN} \times 100 \quad (1)$$

- Costo de Capacitación

Relación entre el costo de entrenamiento del personal de mantenimiento y el costo total de mantenimiento.

$$CTET = \frac{\sum CEPM}{CTMN} \times 100 \quad (2)$$

Este índice representa los elementos de gastos de mantenimiento invertido en el desarrollo del personal a través de entrenamientos internos y externos, pudiendo ser complementado con el índice del costo de capacitación "per.-capita", o sea, el la inversión en capacitación por la cantidad de personal entrenado

- Costo de Mano de Obra Externa

Relación entre los gastos totales de mano de obra externa (contratación eventual y/o gastos de mano de obra proporcional a los servicios de contratos permanentes) y la mano de obra total empleada en los servicios (propia y contratada), durante el período considerado.

$$CRMT = \frac{\sum CMAT}{CTMN} \times 100 \quad (3)$$

Anexo 3 Continuación...

En el cálculo de ese índice pueden ser considerados todos los tipos de mano de obra contratada sea por servicios permanentes o eventuales.

Para el costo de repuesto se debe tener en cuenta que si estos estaban previamente almacenados, durante la actividad de mantenimiento se debe considerar el precio actual en el mercado y no el precio por el cual fue ingresado al almacén, y la factura cuando son comprados en el momento.

- Inmovilizado en Repuestos

Relación entre el capital inmovilizado en repuestos y el capital invertido en equipos

$$IMRP = \frac{\sum CIRP}{\sum CIEQ} \times 100 \quad (4)$$

Se debe tener cuidado en el cálculo de este índice para considerar los repuestos específicos y parte de los no específicos utilizados en los equipos bajo la responsabilidad de la área de mantenimiento, siendo pues un índice que generalmente se torna difícil de calcular debido al establecimiento de esta proporcionalidad.

En cuanto al material fungible sea específico o general se considera el coste según la cantidad usada. La amortización de equipos y herramientas de uso general se considera proporcional al tiempo de intervención.

- Costo relativo con material

Relación entre los gastos con material y el costo total del área de mantenimiento en el periodo considerado

$$CRMT = \frac{\sum CMAT}{CTMN} \quad (5)$$

- Costos de Almacenamiento.

Todo material almacenado genera determinados costos, a los cuales se denomina costos de existencias; los costos de existencias dependen de dos variables; la cantidad en existencias y tiempo de permanencia en existencias. Cuanto mayor es la cantidad y el tiempo de permanencia, mayores serán los costos de existencias.

Anexo 3 Continuación...

El costo de existencias (CE) es la suma de los costos: el costo de almacenamiento (CA) y el costo de período (CP).

- Costo de Almacenamiento:

El costo de almacenamiento (CA) se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$CA = \frac{Q}{2 \times T \times P \times I} \tag{6}$$

Donde:

Q = cantidad de material en existencia en el período considerado.

T = Tiempo de almacenamiento.

P = Precio Unitario de material

I = Tasa de almacenamiento expresada en porcentaje del precio unitario.

Sin embargo, el CA esta compuesto por una parte variable (la cantidad de material y el tiempo) y una parte fija (alquiler de la bodega, salarios del personal de la bodega, seguro contra incendio y robo, maquinarias y equipos instalados, entre otro). La parte fija no depende de la cantidad y tiempo de almacenamiento. Por ello, es prudente utilizar una formula más amplia – la tasa de almacenamiento (TA) que constituye la suma de las siguientes tasas (tasas expresadas en porcentaje):

Ta = Tasa de almacenamiento Físico:

$$T_a = \frac{100 \times A \times C_a}{C \times P} \tag{7}$$

Donde:

A = Área ocupada por las existencias.

Ca = Costo anual del metro cuadrado de almacenamiento.

C = Consumo anual del material.

P = Precio Unitario material.

Tb = Tasa de retorno del capital detenido en existencias:

Anexo 3 Continuación...

$$T_b = \frac{100 \times Ganancia}{Q \times P} \quad (8)$$

Donde:

Q x P = Valor de los productos almacenados.

Tc= Tasa de seguros del material almacenado

Tc= 100x Costo anual del equipo/Q x P

Td= Tasa de transporte, manipulación y distribución del material

Td = 100x devaluación anual del equipo/Q x P

Te= Tasa de obsolescencia del material:

$$T_e = \frac{Perdidas.anuales.por.antiguedad}{Q \times P} \times 100 \quad (9)$$

En resumen, la tasa de almacenamiento (TA) es la suma de todas las tasas explicadas:

$$T_A = T_a + T_c + T_d + T_e \quad (10)$$

- Costo sobre inversiones

Anexo 4 Costos por pérdida de producción. **Fuente:** Benítez Montalvo (2008)

- Componente del Costo de Mantenimiento

Relación entre el costo total del mantenimiento y el costo total de la producción.

$$CCMN = \frac{CTMN}{CTPR} \times 100 \tag{11}$$

El costo total de la producción incluye los gastos directos e indirectos de ambas dependencias (operación y mantenimiento), inclusive los respectivos lucros cesantes.

- Progreso en los Esfuerzos de Reducción de Costos

Relación entre el trabajo en mantenimiento programado y el costo de mantenimiento por facturación.

$$PERC = \frac{TBMP}{CMFT} \times 100 \tag{12}$$

Este índice indica la influencia de la mejoría o empeoramiento de las actividades de mantenimiento bajo

control con relación al costo de mantenimiento por facturación arriba indicado.

- Costo de Mantenimiento con relación a la Producción

Relación entre el costo total de mantenimiento y la producción total en el período.

$$CMOE = \frac{\sum CMOC}{\sum (CMOC + CMOP)} \times 100 \tag{13}$$

Esta relación es dimensional, toda vez que el denominador es expresado en unidades de producción (ton, Kw., Km. recorridos etc.)

- Costo de Mantenimiento por Valor de Venta

Relación entre el costo total de mantenimiento acumulado de un determinado equipo y el valor de venta de ese equipo.

Anexo 4 Continuación...

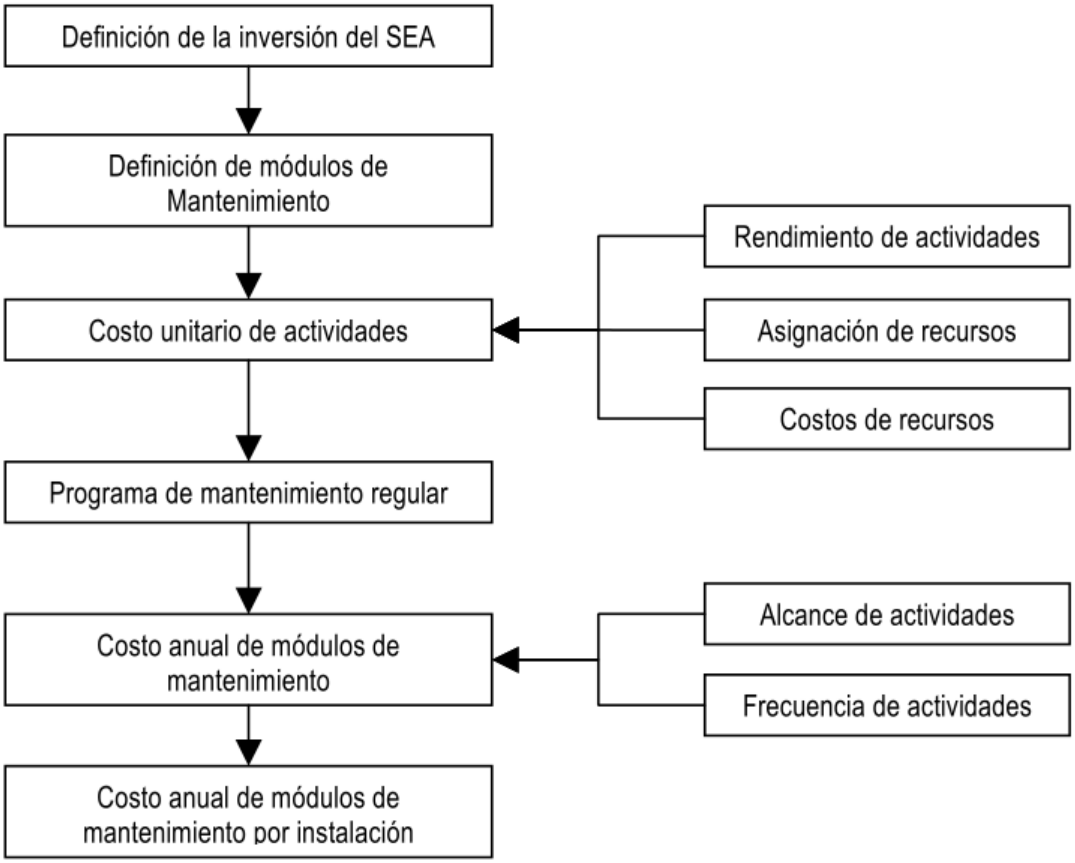
$$CMVD = \frac{\sum CTMN}{VLVD} \times 100 \tag{14}$$

- Costo global de mantenimiento

Valor de reposición menos la suma del Valor de Venda con el Costo Total de Mantenimiento de un determinado equipo.

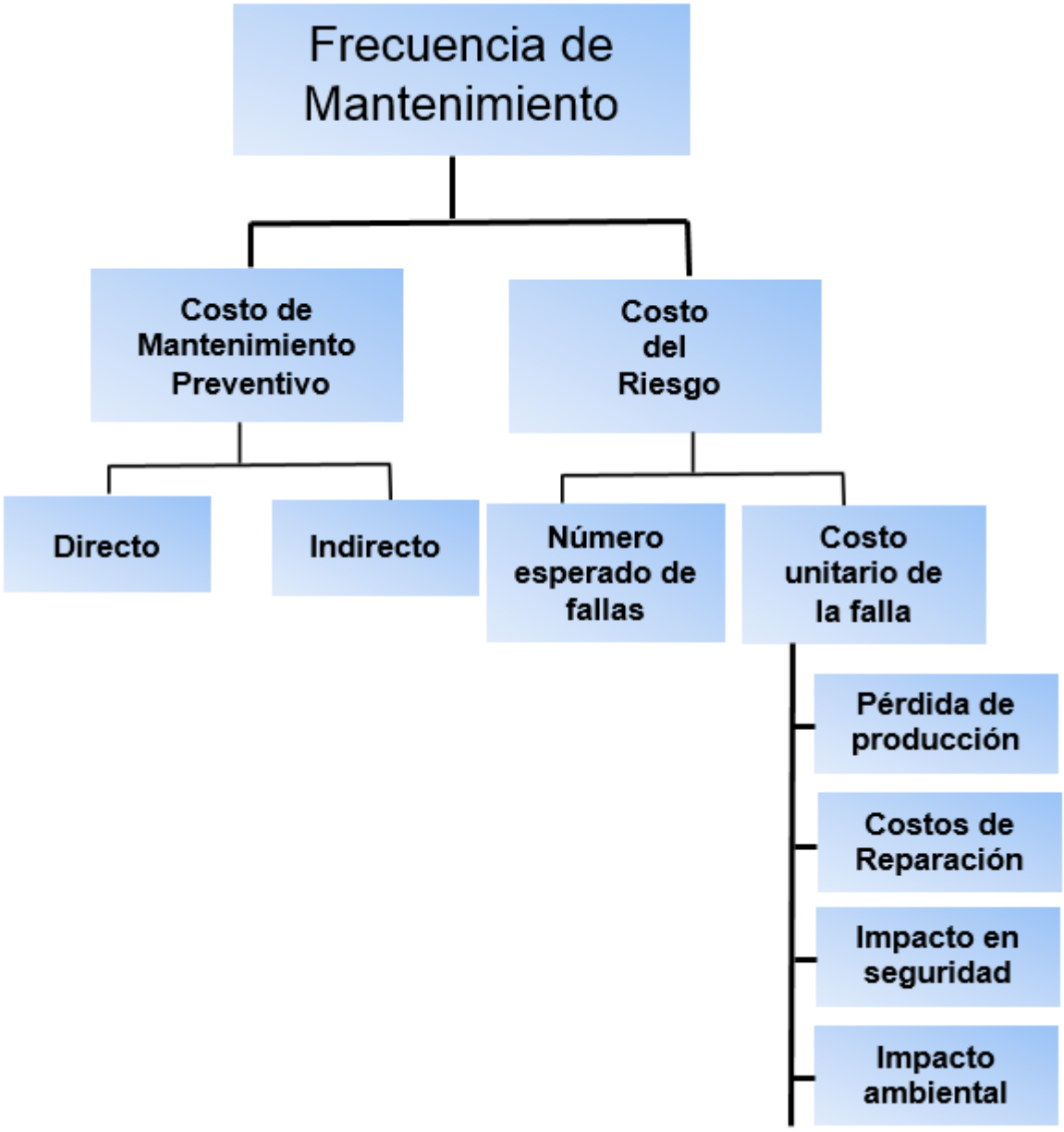
$$CMVD = VLRP - (VLVD + CTMN) \tag{15}$$

Anexo 5 Procedimiento para la Determinación de los Costos de Operación y Mantenimiento



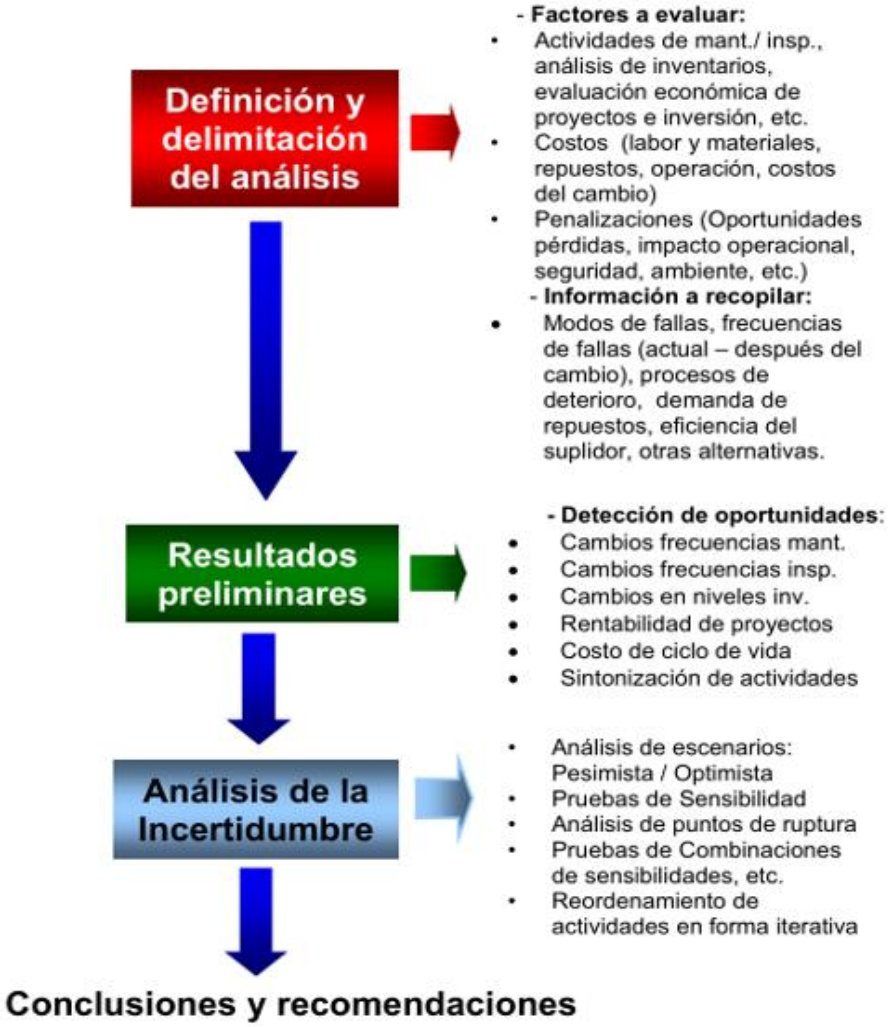
Fuente: OSINERG (2005)

Anexo 6 Modelo para la determinación de frecuencias de mantenimiento



Fuente: Carroz Urdaneta (2006)

Anexo 7 Procedimiento para la optimización Costo-Riesgo



Fuente: Duran (2001)

Anexo 8 Servicios contratados para ALASTOR

Objeto	Local	Descripción	UM	Ctd	MN	MLC
BUNGALOW T1 ZONA B	BW 20	Panel solar marca JUNKERS modelo FKB-1S, vertical, 2070x1145x90mm, presión de trabajo 6bar, área efectiva 2.37m2, peso 41Kg.	U	28	0,00	513,00
BUNGALOW T1 ZONA B	BW 20	Bomba centrífuga vertical simple en línea, marca KSB-ITUR modelo Etaline GN 032-160/024 G11, Q=2.12m3/h, H=5.64m, 1650rpm. Con motor 380V/3f/60Hz, 0.25KW, 0.81A.	U	2	0,00	772,36
BUNGALOW T1 ZONA B	BW 20	Bomba centrífuga vertical gemela en línea, marca KSB-ITUR modelo Etaline Z GN 032-160/054 G11, Q=8.6m3/h, H=5.9m, 1695rpm. Con motor 380V/3f/60Hz, 0.55KW, 1.59A.	U	1	0,00	1749,64
BUNGALOW T1 ZONA B	BW 20	Bomba dosificadora marca modelo H 10-0.5 , producto químico Hexametafosfato de sodio, Caudal máx. 5L/h, 220V/1f/60Hz. Incluye Tanque con agitador manual capacidad 120 lts.	U	1		397,00
BUNGALOW T1 ZONA B	BW 21	Panel solar marca JUNKERS modelo FKB-1S, vertical, 2070x1145x90mm, presión de trabajo 6bar, área efectiva 2.37m2, peso 41Kg.	U	28	0,00	513,00
BUNGALOW T1 ZONA B	BW 21	Bomba centrífuga vertical simple en línea, marca KSB-ITUR modelo Etaline GN 032-160/024 G11, Q=2.12m3/h, H=5.64m, 1650rpm. Con motor 380V/3f/60Hz, 0.25KW, 0.81A.	U	2	0,00	772,36
BUNGALOW T1 ZONA B	BW 21	Bomba centrífuga vertical gemela en línea, marca KSB-ITUR modelo Etaline Z GN 032-160/054 G11, Q=8.6m3/h, H=5.9m, 1695rpm. Con motor 380V/3f/60Hz, 0.55KW, 1.59A.	U	1	0,00	1749,64
BUNGALOW T1 ZONA B	BW 21	Bomba dosificadora marca modelo H 10-0.5 , producto químico Hexametafosfato de sodio, Caudal máx. 5L/h, 220V/1f/60Hz. Incluye Tanque con agitador manual capacidad 120 lts.	U	1		397,00
BUNGALOW T1 ZONA A	BW 22	Panel solar marca JUNKERS modelo FKB-1S, vertical, 2070x1145x90mm, presión de trabajo 6bar, área efectiva 2.37m2, peso 41Kg.	U	28	0,00	513,00
BUNGALOW T1 ZONA A	BW 22	Bomba centrífuga vertical simple en línea, marca KSB-ITUR modelo Etaline GN 032-160/024 G11, Q=2.12m3/h, H=5.64m, 1650rpm. Con motor 380V/3f/60Hz, 0.25KW, 0.81A.	U	2	0,00	772,36
BUNGALOW T1 ZONA A	BW 22	Bomba centrífuga vertical gemela en línea, marca KSB-ITUR modelo Etaline Z GN 032-160/054 G11, Q=8.6m3/h, H=5.9m, 1695rpm. Con motor 380V/3f/60Hz, 0.55KW, 1.59A.	U	1	0,00	1749,64
BUNGALOW T1 ZONA A	BW 22	Bomba dosificadora marca modelo H 10-0.5 , producto químico Hexametafosfato de sodio, Caudal máx. 5L/h, 220V/1f/60Hz. Incluye Tanque con agitador manual capacidad 120 lts.	U	1		397,00
BUNGALOW T1 ZONA A	BW 23	Panel solar marca JUNKERS modelo FKB-1S, vertical, 2070x1145x90mm, presión de trabajo 6bar, área efectiva 2.37m2, peso 41Kg.	U	28	0,00	513,00
BUNGALOW T1 ZONA A	BW 23	Bomba centrífuga vertical simple en línea, marca KSB-ITUR modelo Etaline GN 032-160/024 G11, Q=2.12m3/h, H=5.64m, 1650rpm. Con motor 380V/3f/60Hz, 0.25KW, 0.81A.	U	2	0,00	772,36
BUNGALOW T1 ZONA A	BW 23	Bomba centrífuga vertical gemela en línea, marca KSB-ITUR modelo Etaline Z GN 032-160/054 G11, Q=8.6m3/h, H=5.9m, 1695rpm. Con motor 380V/3f/60Hz, 0.55KW, 1.59A.	U	1	0,00	1749,64
BUNGALOW T1 ZONA A	BW 23	Bomba dosificadora marca modelo H 10-0.5 , producto químico Hexametafosfato de sodio, Caudal máx. 5L/h, 220V/1f/60Hz. Incluye Tanque con agitador manual capacidad 120 lts.	U	1		397,00

Anexo 8 Continuación...

BUNGALOW T2-A ZONA B	BW 24	Panel solar marca JUNKERS modelo FKB-1S, vertical, 2070x1145x90mm, presión de trabajo 6bar, área efectiva 2.37m2, peso 41Kg.	U	32	0,00	513,00
BUNGALOW T2-A ZONA B	BW 24	Bomba centrífuga vertical simple en línea, marca KSB-ITUR modelo Etaline GN 032-160/024 G11, Q=2.12m3/h, H=5.64m, 1650rpm. Con motor 380V/3f/60Hz, 0.25KW, 0.81A.	U	2	0,00	772,36
BUNGALOW T2-A ZONA B	BW 24	Bomba centrífuga vertical gemela en línea, marca KSB-ITUR modelo Etaline Z GN 032-160/054 G11, Q=8.6m3/h, H=5.9m, 1695rpm. Con motor 380V/3f/60Hz, 0.55KW, 1.59A.	U	1	0,00	1749,64
BUNGALOW T2-A ZONA B	BW 24	Bomba dosificadora marca modelo H 10-0.5 , producto químico Hexametafosfato de sodio, Caudal máx. 5L/h, 220V/1f/60Hz. Incluye Tanque con agitador manual capacidad 120 lts.	U	1		397,00
BUNGALOW T2-A ZONA B	BW 25	Panel solar marca JUNKERS modelo FKB-1S, vertical, 2070x1145x90mm, presión de trabajo 6bar, área efectiva 2.37m2, peso 41Kg.	U	32	0,00	513,00
BUNGALOW T2-A ZONA B	BW 25	Bomba centrífuga vertical simple en línea, marca KSB-ITUR modelo Etaline GN 032-160/024 G11, Q=2.12m3/h, H=5.64m, 1650rpm. Con motor 380V/3f/60Hz, 0.25KW, 0.81A.	U	2	0,00	772,36
BUNGALOW T2-A ZONA B	BW 25	Bomba centrífuga vertical gemela en línea, marca KSB-ITUR modelo Etaline Z GN 032-160/054 G11, Q=8.6m3/h, H=5.9m, 1695rpm. Con motor 380V/3f/60Hz, 0.55KW, 1.59A.	U	1	0,00	1749,64
BUNGALOW T2-A ZONA B	BW 25	Bomba dosificadora marca modelo H 10-0.5 , producto químico Hexametafosfato de sodio, Caudal máx. 5L/h, 220V/1f/60Hz. Incluye Tanque con agitador manual capacidad 120 lts.	U	1		397,00
BUNGALOW T2-A ZONA A	BW 26	Panel solar marca JUNKERS modelo FKB-1S, vertical, 2070x1145x90mm, presión de trabajo 6bar, área efectiva 2.37m2, peso 41Kg.	U	32	0,00	513,00
BUNGALOW T2-A ZONA A	BW 26	Bomba centrífuga vertical simple en línea, marca KSB-ITUR modelo Etaline GN 032-160/024 G11, Q=2.12m3/h, H=5.64m, 1650rpm. Con motor 380V/3f/60Hz, 0.25KW, 0.81A.	U	2	0,00	772,36
BUNGALOW T2-A ZONA A	BW 26	Bomba centrífuga vertical gemela en línea, marca KSB-ITUR modelo Etaline Z GN 032-160/054 G11, Q=8.6m3/h, H=5.9m, 1695rpm. Con motor 380V/3f/60Hz, 0.55KW, 1.59A.	U	1	0,00	1749,64
BUNGALOW T2-A ZONA A	BW 26	Bomba dosificadora marca modelo H 10-0.5 , producto químico Hexametafosfato de sodio, Caudal máx. 5L/h, 220V/1f/60Hz. Incluye Tanque con agitador manual capacidad 120 lts.	U	1		397,00
BUNGALOW T2-A ZONA A	BW 27	Panel solar marca JUNKERS modelo FKB-1S, vertical, 2070x1145x90mm, presión de trabajo 6bar, área efectiva 2.37m2, peso 41Kg.	U	32	0,00	513,00
BUNGALOW T2-A ZONA A	BW 27	Bomba centrífuga vertical simple en línea, marca KSB-ITUR modelo Etaline GN 032-160/024 G11, Q=2.12m3/h, H=5.64m, 1650rpm. Con motor 380V/3f/60Hz, 0.25KW, 0.81A.	U	2	0,00	772,36
BUNGALOW T2-A ZONA A	BW 27	Bomba centrífuga vertical gemela en línea, marca KSB-ITUR modelo Etaline Z GN 032-160/054 G11, Q=8.6m3/h, H=5.9m, 1695rpm. Con motor 380V/3f/60Hz, 0.55KW, 1.59A.	U	1	0,00	1749,64
BUNGALOW T2-A ZONA A	BW 27	Bomba dosificadora marca modelo H 10-0.5 , producto químico Hexametafosfato de sodio, Caudal máx. 5L/h, 220V/1f/60Hz. Incluye Tanque con agitador manual capacidad 120 lts.	U	1		397,00

Anexo 8 Continuación...

BUNGALOW T2-B ZONA B	BW 28	Panel solar marca JUNKERS modelo FKB-1S, vertical, 2070x1145x90mm, presión de trabajo 6bar, área efectiva 2.37m2, peso 41Kg.	U	24	0,00	513,00
BUNGALOW T2-B ZONA B	BW 28	Bomba centrífuga vertical simple en línea, marca KSB-ITUR modelo Etaline GN 032-160/024 G11, Q=2.12m3/h, H=5.64m, 1650rpm. Con motor 380V/3f/60Hz, 0.25KW, 0.81A.	U	2	0,00	772,36
BUNGALOW T2-B ZONA B	BW 28	Bomba centrífuga vertical gemela en línea, marca KSB-ITUR modelo Etaline Z GN 032-160/054 G11, Q=8.6m3/h, H=5.9m, 1695rpm. Con motor 380V/3f/60Hz, 0.55KW, 1.59A.	U	1	0,00	1749,64
BUNGALOW T2-B ZONA B	BW 28	Bomba dosificadora marca modelo H 10-0.5 , producto químico Hexametafosfato de sodio, Caudal máx. 5L/h, 220V/1f/60Hz. Incluye Tanque con agitador manual capacidad 120 lts.	U	1		397,00
BUNGALOW T2-B ZONA A	BW 29	Panel solar marca JUNKERS modelo FKB-1S, vertical, 2070x1145x90mm, presión de trabajo 6bar, área efectiva 2.37m2, peso 41Kg.	U	24	0,00	513,00
BUNGALOW T2-B ZONA A	BW 29	Bomba centrífuga vertical simple en línea, marca KSB-ITUR modelo Etaline GN 032-160/024 G11, Q=2.12m3/h, H=5.64m, 1650rpm. Con motor 380V/3f/60Hz, 0.25KW, 0.81A.	U	2	0,00	772,36
BUNGALOW T2-B ZONA A	BW 29	Bomba centrífuga vertical gemela en línea, marca KSB-ITUR modelo Etaline Z GN 032-160/054 G11, Q=8.6m3/h, H=5.9m, 1695rpm. Con motor 380V/3f/60Hz, 0.55KW, 1.59A.	U	1	0,00	1749,64
BUNGALOW T2-B ZONA A	BW 29	Bomba dosificadora marca modelo H 10-0.5 , producto químico Hexametafosfato de sodio, Caudal máx. 5L/h, 220V/1f/60Hz. Incluye Tanque con agitador manual capacidad 120 lts.	U	1		397,00
BUNGALOW T3 ZONA B	BW 30	Panel solar marca JUNKERS modelo FKB-1S, vertical, 2070x1145x90mm, presión de trabajo 6bar, área efectiva 2.37m2, peso 41Kg.	U	36	0,00	513,00
BUNGALOW T3 ZONA B	BW 30	Bomba centrífuga vertical simple en línea, marca KSB-ITUR modelo Etaline GN 032-160/024 G11, Q=2.12m3/h, H=5.64m, 1650rpm. Con motor 380V/3f/60Hz, 0.25KW, 0.81A.	U	2	0,00	772,36
BUNGALOW T3 ZONA B	BW 30	Bomba centrífuga vertical gemela en línea, marca KSB-ITUR modelo Etaline Z GN 032-160/054 G11, Q=8.6m3/h, H=5.9m, 1695rpm. Con motor 380V/3f/60Hz, 0.55KW, 1.59A.	U	1	0,00	1749,64
BUNGALOW T3 ZONA B	BW 30	Bomba dosificadora marca modelo H 10-0.5 , producto químico Hexametafosfato de sodio, Caudal máx. 5L/h, 220V/1f/60Hz. Incluye Tanque con agitador manual capacidad 120 lts.	U	1		397,00
BUNGALOW T3 ZONA B	BW 31	Panel solar marca JUNKERS modelo FKB-1S, vertical, 2070x1145x90mm, presión de trabajo 6bar, área efectiva 2.37m2, peso 41Kg.	U	36	0,00	513,00
BUNGALOW T3 ZONA B	BW 31	Bomba centrífuga vertical simple en línea, marca KSB-ITUR modelo Etaline GN 032-160/024 G11, Q=2.12m3/h, H=5.64m, 1650rpm. Con motor 380V/3f/60Hz, 0.25KW, 0.81A.	U	2	0,00	772,36
BUNGALOW T3 ZONA B	BW 31	Bomba centrífuga vertical gemela en línea, marca KSB-ITUR modelo Etaline Z GN 032-160/054 G11, Q=8.6m3/h, H=5.9m, 1695rpm. Con motor 380V/3f/60Hz, 0.55KW, 1.59A.	U	1	0,00	1749,64
BUNGALOW T3 ZONA B	BW 31	Bomba dosificadora marca modelo H 10-0.5 , producto químico Hexametafosfato de sodio, Caudal máx. 5L/h, 220V/1f/60Hz. Incluye Tanque con agitador manual capacidad 120 lts.	U	1		397,00

Anexo 8 Continuación...

BUNGALOW T3 ZONA A	BW 32	Panel solar marca JUNKERS modelo FKB-1S, vertical, 2070x1145x90mm, presión de trabajo 6bar, área efectiva 2.37m2, peso 41Kg.	U	36	0,00	513,00
BUNGALOW T3 ZONA A	BW 32	Bomba centrífuga vertical simple en línea, marca KSB-ITUR modelo Etaline GN 032-160/024 G11, Q=2.12m3/h, H=5.64m, 1650rpm. Con motor 380V/3f/60Hz, 0.25KW, 0.81A.	U	2	0,00	772,36
BUNGALOW T3 ZONA A	BW 32	Bomba centrífuga vertical gemela en línea, marca KSB-ITUR modelo Etaline Z GN 032-160/054 G11, Q=8.6m3/h, H=5.9m, 1695rpm. Con motor 380V/3f/60Hz, 0.55KW, 1.59A.	U	1	0,00	1749,64
BUNGALOW T3 ZONA A	BW 32	Bomba dosificadora marca modelo H 10-0.5 , producto químico Hexametafosfato de sodio, Caudal máx. 5L/h, 220V/1f/60Hz. Incluye Tanque con agitador manual capacidad 120 lts.	U	1		397,00
BUNGALOW T3 ZONA A	BW 33	Panel solar marca JUNKERS modelo FKB-1S, vertical, 2070x1145x90mm, presión de trabajo 6bar, área efectiva 2.37m2, peso 41Kg.	U	36	0,00	513,00
BUNGALOW T3 ZONA A	BW 33	Bomba centrífuga vertical simple en línea, marca KSB-ITUR modelo Etaline GN 032-160/024 G11, Q=2.12m3/h, H=5.64m, 1650rpm. Con motor 380V/3f/60Hz, 0.25KW, 0.81A.	U	2	0,00	772,36
BUNGALOW T3 ZONA A	BW 33	Bomba centrífuga vertical gemela en línea, marca KSB-ITUR modelo Etaline Z GN 032-160/054 G11, Q=8.6m3/h, H=5.9m, 1695rpm. Con motor 380V/3f/60Hz, 0.55KW, 1.59A.	U	1	0,00	1749,64
BUNGALOW T3 ZONA A	BW 33	Bomba dosificadora marca modelo H 10-0.5 , producto químico Hexametafosfato de sodio, Caudal máx. 5L/h, 220V/1f/60Hz. Incluye Tanque con agitador manual capacidad 120 lts.	U	1		397,00