

**UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA  
PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA  
FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO**

**Nº DE RADICACIÓN:** \_\_\_\_\_

**INFORMACIÓN EJECUTORES**

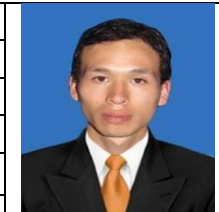
**Ejecutor 1**

Nombre (s):	JOHAN LISANDRO
Apellido (s):	RINCON GRASS
Código:	20141375005
E-mail:	johanlrincon@hotmail.com
Teléfono fijo:	4599709
Celular:	3214979681



**Ejecutor 2**

Nombre (s):	JOHN ALEXANDER
Apellido (s):	SÁNCHEZ CABEZAS
Código:	20151375035
E-mail:	soydel_leon6@hotmail.com
Teléfono fijo:	NA
Celular:	3105762930



**INFORMACIÓN DEL PROYECTO**

Título del Proyecto:	IMPLEMENTACIÓN DE RCM PARA LOS ACTIVOS CRÍTICOS DE MATERIAS PRIMAS DE UNA FÁBRICA DE VIDRIO	
Duración (estimada):	Seis meses	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	
	Prestación y Servicios Tecnológicos	x
	Otro	
Modalidad del Trabajo de Grado:	Proyecto inovacion y servicio	
Línea de Investigación de la Facultad:	Apoyo tecnológico empresarial	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular:	Diseño en ingeniería mecánica	
Grupo de Investigación:		
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:		

**INFORMACIÓN PASANTÍA**

Nombre de la empresa:	
Dirección:	
Teléfonos:	
Correo electrónico:	
Página Web:	

**INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA**

Director: (Vo. Bo.)	Ing. MAURICIO GONZALEZ COLMENARES
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)	
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)	Ing.

IMPLEMENTACIÓN DE RCM PARA LOS ACTIVOS CRÍTICOS DE  
MATERIAS PRIMAS DE UNA FÁBRICA DE VIDRIO.

JOHAN LISANDRO RINCÓN GRASS  
JHON ALEXANDER SANCHEZ CABEZAS

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS  
FACULTAD TECNOLÓGICA  
PROYECTO CURRICULAR INGENIERÍA MECÁNICA  
BOGOTÁ D.C.  
2017

IMPLEMENTACIÓN DE RCM PARA LOS ACTIVOS CRÍTICOS DE MATERIAS  
PRIMAS DE UNA FÁBRICA DE VIDRIO.

JOHAN LISANDRO RINCÓN GRASS  
JHON ALEXANDER SANCHEZ CABEZAS

Propuesta de proyecto para optar al título de Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS  
FACULTAD TECNOLÓGICA  
PROYECTO CURRICULAR INGENIERÍA MECÁNICA  
BOGOTÁ D.C.  
2017

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
1.1 ESTADO DEL ARTE	5
1.1.1 MODELO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM), APLICADO A LA EMPRESA INDUSTRIAS PLÁSTICAS DEL NORTE LTDA.	5
1.1.2 TEORÍA MANTENIMIENTO CENTRADO EN FIABILIDAD/CONFIABILIDAD (RCM)5	
1.1.3 TEORÍA DEL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM)	8
1.1.4 LA TEORÍA DEL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM), EN LAS PEQUEÑAS Y MEDIANAS EMPRESAS (PyMES), APLICADO EN UNA EMPRESA TEXTIL	8
1.1.5 APLICACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN IMELEC	10
1.1.6 HISTORIA DEL MANTENIMIENTO	11
1.1.7 APLICACIÓN DEL SISTEMA KAIZEN EN LA INDUSTRIA DE EMPAQUES FLEXIBLES	13
1.1.8 IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LA EMPRESA AGR-RACKEND	14
1.2 JUSTIFICACIÓN	16
2 OBJETIVOS	17
2.1 OBJETIVO GENERAL	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
3 MARCO TEÓRICO	18
3.1 Mantenimiento Centrado en Confiabilidad	18
3.1.1 PROCEDIMIENTO DEL RCM.	19
3.1.2 El contexto operacional	20

3.1.3 Fallas funcionales o estados de falla	21
3.2 SAP SE	23
3.2.1 SAP PM	23
4 METODOLOGÍA	25
4.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	25
4.2 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN	25
4.3 ANÁLISIS DE DATOS	26
4.4 ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS	26
4.5 IMPLANTACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO, BASADO EN RCM.	26
5 CRONOGRAMA	24
6 PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN	26
6.1 PRESUPUESTO	26
6.2 FUENTES DE FINANCIACIÓN	26
7 Bibliografía	27

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Recursos administrativos	26

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Patrones de falla	22

## 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La implementación de un programa de mantenimiento preventivo, enfocado en el sector industrial y más específicamente en el área de materias primas de una multinacional líder mundial en la fabricación de envases de vidrio, surge a raíz de la necesidad de minimizar factores que influyen en la eficacia y eficiencia en una organización, como lo son: Costos elevados en mantenimientos correctivos, mano de obra innecesaria, pérdida de producción, porcentajes elevados de correcciones de fallas, daños en la infraestructura; además de la desvalorización en la imagen de la misma ante el/los clientes actuales y potenciales.

Para que se logre implementar un programa de mantenimiento preventivo que minimice las deficiencias existentes, es necesario un equipo de trabajo calificado, proactivo y dispuesto; así mismo capacitaciones y evaluaciones, en donde se identifique el estado actual y los resultados generados que benefician a la organización, permitiéndoles dejar de gastar innecesariamente, para invertir y promover en el crecimiento de la empresa.

Las compañías con altos estándares de calidad, cuentan con procesos estratégicos que certifican que el producto terminado sea a conformidad del cliente y el consumidor final.

Los procesos son cadenas que permiten el resultado requerido, pero es importante reconocer que si uno de ellos se daña, o no funciona de forma adecuada el resultado se verá afectado; es por tal motivo que un programa de mantenimiento preventivo es vital e indispensable, teniendo en cuenta que la industria en la que se implementará, es una fábrica de envases de vidrio en,la que siempre deben estar en continuo funcionamiento sus equipos y en el caso de que ocurra una falla no se cuenta con mucho tiempo para repararlos, una buena programación no sólo permitirá fortalecimiento en sus procesos sino también crecimiento y mejoramiento continuo.

La búsqueda de las organizaciones desde sus inicios siempre ha sido mantener en condiciones óptimas su maquinaria, en lo que incluye rudimentarias, herramientas, dispositivos; antiguamente la mayoría de las fallas que se presentaban, eran a raíz del abuso; en la actualidad aún se presenta ésta situación.

Algunas de las deficiencias presentadas se encuentran en la planeación de tareas de mantenimiento en donde es inexacta la fecha de inspección, intervención y/o reparación de un equipo; generando re-procesos, impactos negativos en infraestructura o producción y equipos críticos.

La desactualización en el historial de mantenimiento en los equipos, inventario de los mismos, status de criticidad, compilación de repuestos existentes y requeridos; son factores que inciden en el impacto financiero, en la maquinaria y en el personal operativo. El programa que se desea implementar pretende minimizar y/o eliminar éstos efectos, en donde se obtendrá mejor y mayor rendimiento de los recursos, siendo punto de partida principal en el cumplimiento total de los objetivos, efectividad y fiabilidad, disminución en los re-procesos de producción, y adicionalmente proyectar una imagen confiable en el mercado.

El daño en las máquinas se puede considerar por diferentes factores que van desde: el desajuste de un prisionero que puede generar la pérdida de la chumacera y en peor de los casos el eje, hasta lubricaciones ineficientes, al presentarse en escasez y no realizarse la aplicación en el momento adecuado, genera fricción en los rodamientos, generando daños y/o pérdidas de los equipos, siendo causantes de paradas por largo tiempo, generando costos adicionales y elevados en mantenimientos correctivos.

La planta en la que se pretende implementar el plan de mantenimiento preventivo, carece de una programación adecuada, en donde se logre identificar los parámetros de inspección, intervención y reparación de las máquinas, dando a conocer fecha y detalle de la actividad, generando así, impactos negativos tanto en la producción como en la falla de los equipos.

La sugerencia de implementar un plan de mantenimiento preventivo en la compañía fabricante de envases de vidrio, surge debido al estado actual de la compañía; analizando los costos innecesarios encontrados al realizar correctivos en la mayor parte de la maquinaria, optimizando el funcionamiento de la misma, reconociendo que el mantenimiento preventivo, es de vital importancia y permite detectar posibles falencias antes que ocurran y así aumentar la posibilidad de programar una reparación o actuar de, reduce la periodicidad de mantenimientos de carácter correctivo, aumenta la vida útil de los equipos, disminuye costos de reparaciones, detecta puntos débiles a reparar, a través de inspecciones planeadas.



## **1.1 ESTADO DEL ARTE**

### **1.1.1 MODELO DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM), APLICADO A LA EMPRESA INDUSTRIAS PLÁSTICAS DEL NORTE LTDA.**

Existen diferentes teorías de mantenimiento preventivo, conforme al análisis realizado, se estableció que para ésta compañía, la más adecuada es la centrada en la confiabilidad, destacada por: Tener enfoque en la preservación de la función, los modos de falla dominantes (fallas creíbles), análisis de características de falla, la opción de mantenimiento base cero, efectos de falla HSE, consecuencias al negocio y justificación mediante un análisis costo-beneficio, adaptado en el proceso de fabricación de bolsas plásticas<sup>1</sup>.

### **1.1.2 TEORÍA MANTENIMIENTO CENTRADO EN FIABILIDAD/CONFIABILIDAD (RCM)**

Fue documentado por primera vez en un reporte escrito por F.S. Nowlan y H.F. Heap y publicado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América en 1978. Desde entonces, el RCM ha sido usado para ayudar a formular estrategias de gestión de activos físicos en prácticamente todas las áreas de la actividad humana organizada, y en prácticamente todos los países industrializados del mundo. Este proceso definido por Nowlan y Heap ha servido de base para varios documentos de aplicación en los cuales el proceso RCM ha sido desarrollado y refinado en los años siguientes. Muchos de estos documentos conservan los elementos clave del proceso original.

"El Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) fue inicialmente desarrollado por la industria de la aviación comercial para mejorar la seguridad y confiabilidad de sus equipos. Fue documentado por primera vez en un reporte escrito por F.S. Nowlan y H.F. Heap y publicado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de Norte América en 1978. Desde entonces, el RCM ha sido usado para ayudar a formular estrategias de gestión de activos físicos en prácticamente todas

---

<sup>1</sup> (Olmos, 2006; ELLMAN, 2006)

las áreas de la actividad humana organizada, y en prácticamente todos los países industrializados del mundo. Este proceso definido por Nowlan y Heap ha servido de base para varios documentos de aplicación en los cuales el proceso RCM ha sido desarrollado y refinado en los años siguientes. Muchos de estos documentos conservan los elementos claves del proceso original. Sin embargo el uso extendido del nombre "RCM" ha llevado al surgimiento de un gran número de procesos que difieren significativamente del original, pero que sus proponentes también llaman "RCM". Muchos de estos otros procesos fallan en alcanzar los objetivos de Nowlan y Heap, algunos son contraproducentes y varios son inclusive peligrosos. Como resultado, ha existido una demanda internacional por una norma que establezca criterios que un proceso deba cumplir de modo de poder ser llamado "RCM". La norma SAE JA 1011 publicada en Agosto de 1999 y la SAE JA 1012 publicada en Enero de 2002 satisfacen esta necesidad<sup>2</sup>.

En la actualidad existen software que permite realizar el seguimiento y desarrollo de mantenimiento basado en confiabilidad (RCM) entre los que se encuentra El Software RCM++ facilita el análisis, la gestión de los datos y la reproducción de los informes para los análisis de RCM. Soporta las principales normas de la industria (tales como ATA MSG-3, SAE JA1011 y SAE JA1012) y también ofrece opciones de análisis personalizados para adecuarse a las necesidades dentro la empresa. El software también se integra con las características y las funcionalidades del FMEA/FMECA.

Lo importante a recordar es que comenzar un proyecto de la magnitud del RCM, no es posible sin el apoyo de la Dirección.

Muchas de las historias de fracasos en la implantación de RCM se deben justamente a este aspecto, grupos que comienzan a realizar RCM por impulso tal vez del Jefe de Mantenimiento, pero sin el apoyo explícito de la Dirección, luego cuando dichos grupos comienzan a requerir recursos para capacitación,

---

<sup>2</sup> (ELLMAN, 2006)

consultoría de apoyo o tiempo del personal para las reuniones, dichos recursos no aparecen y el sistema fracasa.

En busca de este fracaso nos existen normas técnicas en las cuales se establece la manera adecuada para desarrollar el método RCM (mantenimiento basado en confiabilidad). En la sección 5.3 de la SAE JA 1011 se menciona lo siguiente: "5.3.1 Todos los modos de falla razonable mente probables de causar cada falla funcional deben ser identificados. 5.3.2 El método usado para decidir que constituye un modo de falla "razonablemente probable" debe ser aceptable para el dueño o usuario del activo. 5.3.3 Los modos de falla deben ser identificados hasta un nivel de causalidad (N. T.: nivel de detalle) que haga posible identificar una política de manejo de falla apropiada. 5.3.4 Las listas de modos de falla deben incluir: modos de falla que han ocurrido antes, modos de falla que estén actualmente siendo prevenidos por programas de mantenimiento existentes y modos de falla que no hayan ocurrido aún pero se piense sean razonablemente probables (creíbles) en el contexto operacional. 5.3.5 La lista de modos de falla debe incluir cualquier evento o proceso que sea probable que cause una falla funcional, incluyendo deterioro, defectos de diseño, y error humano causado por operarios o mantenedores (a menos que los errores humanos sean activa mente señalados por procesos analíticos separados del RCM)." y en la sección 8.2 de la SAEJA 1012 se menciona entre otras cosas lo siguiente: "Notar que la decisión de listar un modo de falla debe ser contrastada mediante la consideración de sus consecuencias. Si es probable que las consecuencias sean muy severas realmente, entonces los modos de falla menos probables debe ser listados también y analizados en profundidad." Los procedimientos que no cumplen con las normas SAE, suelen quedarse en listar solo los dos primeros grupos que las normas mencionan, los que ya ocurrieron y los que están siendo prevenidos, olvidando aquellos que no han ocurrido pero que tienen probabilidades de ocurrir, y sobre todo olvidando aquellos que siendo poco probables, tienen consecuencias muy graves. Entre éstos últimos se encuentran las llamadas "fallas ocultas" que

son "sistemas de protección que en caso de fallar no avisan de su falla, carecen de seguridad inherente": En nuestra experiencia de aplicación de RCM según norma SAE, hemos constatado que más del 40% del total de los modos de falla listados corresponden a fallas ocultas<sup>3</sup>

### **1.1.3 TEORÍA DEL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM)**

*El TPM (Mantenimiento Productivo Total) surgió en Japón gracias a los esfuerzos del Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM) como un sistema destinado a lograr la eliminación de las llamadas <seis grandes pérdidas> de los equipos, con el objetivo de facilitar la implantación de la forma de trabajo "Just in Time" o "justo a tiempo". TPM es una filosofía de mantenimiento cuyo objetivo es eliminar las pérdidas en producción debidas al estado de los equipos, o en otras palabras, mantener los equipos en disposición para producir a su capacidad máxima productos de la calidad esperada, sin paradas no programadas<sup>4</sup>.*

### **1.1.4 LA TEORÍA DEL MANTENIMIENTO PRODUCTIVO TOTAL (TPM), EN LAS PEQUEÑAS Y MEDIANAS EMPRESAS (PYMES), APLICADO EN UNA EMPRESA TEXTIL**

Se realiza análisis y diagnóstico, en donde se identifica al personal que participa en el proyecto, desarrollándose por etapas que integran un programa de preparación, formatos de registro, evidencia fotográfica y participación total del personal administrativo. En el desarrollo de la implantación, se obtienen beneficios importantes como: mejora en la condición de operación de las máquinas, proporcionar un valor agregado al producto, aumentar la disponibilidad de los equipos de la empresa, reducir el consumo de materiales de la planta, mayor control del consumo de los energéticos de la empresa, disminución de las reparaciones que se hallan realizado en la planta.

El Mantenimiento Productivo Total (TPM) debe utilizarse cuando los requerimientos de la organización sean los de tener plantas, equipos e instalaciones de todo tipo, confiables, continuas y seguras.

---

<sup>3</sup> (CMRP)

<sup>4</sup> (mantenimiento petroquímica )

En general, las bondades del TPM son tantas que sus herramientas son recomendadas para cualquier organización, y su metodología completa se recomienda para organizaciones que cuenten con un alto compromiso directivo, con disposición de afectar positivamente la cultura organizacional.

El TPM enfoca sus objetivos hacia la mejora de la eficiencia de los equipos y las operaciones mediante la reducción de fallas, no conformidades, tiempos de cambio, y se relaciona, de igual forma, con actividades de orden y limpieza. Actividades en las que se involucra al personal de producción, con el propósito de aumentar las probabilidades de mantenimiento del entorno limpio y ordenado, como requisitos previos de la eficiencia del sistema. Además, el TPM presenta las siguientes ventajas:

- Mejoramiento de la calidad: Los equipos en buen estado producen menos unidades no conformes.
- Mejoramiento de la productividad: Mediante el aumento del tiempo disponible.
- Flujos de producción continuos: El balance y la continuidad del sistema no solo benefician a la organización en función a la disponibilidad del tiempo, sino también reduce la incertidumbre de la planeación.
- Aprovechamiento del capital humano.
- Reducción de gastos de mantenimiento correctivo: Las averías son menores, así mismo se reduce el rubro de compras urgentes.
- Reducción de costos operativos.

Vale la pena considerar que los equipos son susceptibles a un desgaste natural, y a un desgaste forzoso. Las actividades del TPM se enfocan en eliminar los factores de desgaste forzoso, aumentando el cuidado sobre el equipo y las instalaciones.

Mantenimiento Productivo Total (TPM) se fundamenta sobre seis pilares:

- Mejoras enfocadas.
- Mantenimiento autónomo.
- Mantenimiento planificado.
- Mantenimiento de calidad.
- Educación y entrenamiento.
- Seguridad y medio ambiente.

Hoy en día suele considerarse la Excelencia Administrativa y la Gestión Temprana como pilares TPM.

### **1.1.5 APLICACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO EN IMELEC**

IMELEC implementa un Plan de Mantenimiento Preventivo en sus clientes Empresas que tiene como objetivo la conservación del equipamiento, la maquinaria o las instalaciones. Implica la realización de inspecciones y acciones que prevean los futuros desperfectos de forma de garantizar la continuidad y fiabilidad de la actividad productiva de la empresa.

El propósito de todo mantenimiento debe ser el de evitar o minimizar el impacto ocasionado por los desperfectos de funcionamiento o averías ocurridas en el equipamiento o en las instalaciones, procurando prevenir estos eventos para que no ocurran.

IMELEC toma en cuenta las recomendaciones de los fabricantes de los equipos, la normativa vigente para cada tipo de instalación y el conocimiento acumulado a través de la experiencia en el mantenimiento de activos similares.

Se tienen en cuenta criterios para definir el tipo de mantenimiento preventivo como:

**Mantenimiento Programado.** Las revisiones que se realizan se programan cíclicamente en períodos de tiempo predeterminados o en función de las horas de uso estimadas para cada equipo o elemento de la instalación.

**Mantenimiento Predictivo.** Se realiza un seguimiento del funcionamiento del equipo o de la instalación, mediante la realización de chequeos periódicos que permiten determinar el período máximo de utilización sin necesidad de efectuar una reparación.

Mantenimiento Ocasional. Esta modalidad de mantenimiento es utilizada para realizar la acción en los lapsos en que la instalación esté inoperativo o los equipos no estén siendo utilizados, de modo de evitar entorpecer los procesos productivos o la normal operativa de las empresas.

La implementación de éste plan de mantenimiento preventivo le permite contar con una herramienta que les permite:

-Instrumentar de una manera planificada la inspección y el diagnóstico del estado de los equipos e instalaciones.

-Prolongará la vida útil de los inmuebles, mobiliario, equipos, maquinaria e instalaciones.<sup>5</sup>

#### **1.1.6 HISTORIA DEL MANTENIMIENTO**

A finales del siglo XVIII y comienzo del XIX durante la revolución industrial con las primeras máquinas se iniciaron los trabajos de reparación y de igual manera los conceptos de competitividad, costos entre otros. De la misma manera empezaron a tenerse en cuenta el término de falla y comenzaron a darse a cuenta que esto producía paras en la producción. Tal fue la necesidad de empezar a controlar estas fallas que hacia los años 20 ya empezaron a aparecer las primeras estadísticas sobre tasas de falla en motores y equipo de aviación.

Por lo cual podemos concluir que la historia del mantenimiento va de la mano con el desarrollo técnico-industria, ya que con las primeras máquinas se empezó a tener la necesidad de las primeras reparaciones. La mayoría de las fallas que se presentaban en ese entonces eran el resultado del abuso o de los grandes esfuerzos a los que eran sometidas las máquinas. En ese entonces el mantenimiento se hacía hasta cuando ya era imposible seguir usando el equipo. Hasta 1914, el mantenimiento tenía importancia secundaria y era ejecutado por el mismo personal de operación y producción.

---

<sup>5</sup> (imelec)

Con el advenimiento de la primer guerra mundial y de la implementación de una producción en serie, las fabricas pasaron a establecer programas mínimos de producción por lo cual empezaron a sentir la necesidad de crear equipo que pudieran efectuar el mantenimiento de las máquinas de la línea de producción en el menor tiempo posible.

#### **1.1.6.1 MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

Fue hasta 1950 que un grupo de ingenieros japoneses iniciaron un nuevo concepto en mantenimiento que simplemente seguía las recomendaciones de los fabricantes de equipo acerca de los cuidados que se debían tener en la operación y mantenimiento de máquinas y sus dispositivos. Esta nueva forma o tendencia de mantenimiento se llamó MANTENIMIENTO PREVENTIVO.

#### **1.1.6.2 MANTENIMIENTO PREDICTIVO**

A partir de 1966 con el fortalecimiento de las asociaciones nacionales de mantenimiento creadas a final del periodo anterior, y que la sofisticación de los instrumentos de protección y medición, la ingeniería de mantenimiento, pasa a desarrollar criterios de predicción de fallas. Visualizando así la optimización de la actuación de los equipo de ejecución del mantenimiento.

Estos criterios fueron conocidos como MANTENIMIENTO PREDICTIVO los cuales fueron asociados a métodos de planeamiento y control de mantenimiento.<sup>6</sup>

#### **1.1.6.3 NUEVOS MODELOS DE MANTENIMIENTO**

Diez años, tomó lugar la globalización del mercado creando nuevos modelos de mantenimiento para así lograr una mejor calidad y una mejor excelencia. Estos modelos son: TPM, 5S, KAIZEN y RCM.

---

<sup>6</sup> (industrial, 2009)



### **1.1.6.3.1 MODELO DE MANTENIMIENTO KAIZEN**

Es un modelo de aplicación para conseguir mejoras, puede ser usado de dos formas:

1-Busqueda de la perfección en todo lo que hacemos.

Básicamente se refiere al proceso de mejora continua, lo cual es básico en todas las organizaciones que deseen lograr la perfección en sus procesos. (Involucrándose acá no solo las actividades individuales sino también las grupales).

2- Identificación de procesos que sistemáticamente ocultan desperdicios y eliminarlos.

Es un cambio cultural dentro de la organización apuntando a buscar la excelencia en todas las actividades, sin olvidarnos del respeto de los colaboradores u operadores (desde producción hasta área contable), ya que son ellos los principales protagonistas.

Aplicar el modelo Kaizen, es hacer un cambio para mejorar ya sea de manera individual o grupal, teniendo siempre como objetivo la búsqueda de la perfección.<sup>7</sup>

### **1.1.7 APLICACIÓN DEL SISTEMA KAIZEN EN LA INDUSTRIA DE EMPAQUES FLEXIBLES**

Se hace necesario la aplicación del modelo KAIZEN en la compañía, debido a algunos problemas frecuentes que se presentan en el tratado deficiente lo que conllevan a un desprendimiento, o esparcimiento de tinta, resultando inutilizable en el proceso de empaçado.

---

<sup>7</sup> (mantenimiento)

El programa kaizen se introduce únicamente en la producción, ya que el departamento es esencial e importante para el proceso y elaboración de las películas extraídas impresas.

La empresa necesita aplicar un modelo que le permita mejorar su productividad, maximizar sus esfuerzos, y lograr mantenerse ante la constante competencia, nacional como internacional.

Las ventajas que genera ésta implementación son:

- Romper las barreras de comunicación entre los diferentes departamentos.
- La práctica de su aplicación se mantiene por largo plazo.
- Las personas están más involucradas en encontrar, analizar y solucionar.
- Orienta a los trabajadores a dar lo mejor de sí para alcanzar las metas de la empresa.
- Trabaja en mejorar la calidad del producto que se fabrica.
- Aumenta la productividad de las personas.
- Concientiza al personal en hacer un mejor uso de los recursos.<sup>8</sup>

### **1.1.8 IMPLEMENTACIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LA EMPRESA AGR-RACKEND**

Se aplican técnicas en la aplicación del mantenimiento predictivo como:

- Inspección visual
- Inspección radiográfica

---

<sup>8</sup> (Mota, 2004)

-Ultrasonidos

-Termografía

-Impulsos de choque

Se realiza la implementación de los planes de mantenimiento predictivo, con el fin de dar confiabilidad a la maquinaria de línea de producción de autopartes automotrices de dirección, suspensión, eficiencia; así el proceso con la disponibilidad de las mismas.

Dentro de las técnicas predictivas para dar confiabilidad y disponibilidad en las máquinas de las diferentes áreas de producción tales como: troquelación, forjado, fosfatado, prensado, corte, maquinado, fresado, troquelado, etc. Se realizaron las siguientes técnicas independientes para cada máquina en el cual se mencionan: Prueba de concentración de la solución, análisis de vibraciones, análisis de degradación y contaminación del aceite, inspección visual, análisis de elementos eléctricos y sistemas de control electrónico.

En AGR-RACKEND planta Tula, se obtuvieron mejoras en el sector productivo gracias a la validación e implementación de la planeación del mantenimiento basado en confiabilidad y disponibilidad de las máquinas. Ya que es benéfica para la planta en general por lo cual la misma ayuda al control total de la producción sin paros inesperados por fallos.

El tener un mantenimiento basado en condición, genera beneficios en un 100% reduciendo los costos de producción, estando así obligado el personal de mantenimiento a realizar sus procedimientos con normatividad vigente. Siguiendo normas de seguridad para evitar acciones en condiciones inseguras.

En la línea de producción, para que las máquinas del proceso de partes de dirección y suspensión operen en condiciones normales. Fue necesario implementar los planes de mantenimiento preventivo en general, hasta llegar a la validación de los mismos. Por lo tanto, la información inconclusa que se tenía fue

el fundamento de partida para la ejecución en campo conformada con las cartas de lubricación. Esta información se implementó para predecir fallas en el proceso. Seguido de esto al tener una planeación eficiente, se realizó el monitoreo de las maquinas mediante la implementación del mantenimiento basado en condición haciendo referencia en sus técnicas de aplicación, donde se obtuvieron resultados en las maquinas dando confiabilidad y prediciendo fallos de carácter específico en las mismas ofreciendo calidad en el proceso.<sup>9</sup>

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

Siendo el mantenimiento correctivo, daño de equipos, pérdida de tiempo en mano de obra y pérdidas de producción un factor actual en la compañía, se hace necesario implementar iniciativas que permitan la reducción y futura eliminación de incidencias negativas en los activos de la multinacional, por tanto se concluye que la compañía se encuentra en la necesidad de establecer estrategias que promueva el cuidado y eficiencia en los equipos. Es por ello que debe desarrollarse un plan que se ajuste con las políticas y lineamientos establecidos por la compañía, garantizando la efectividad en los procesos productivos.

El resultado esperado es que la compañía apruebe la implementación del plan de mantenimiento preventivo, que se ajuste al enfoque corporativo, generando efectividad, y rendimiento tanto en la maquinaria como en la producción.

---

<sup>9</sup> (Jasso, 2011)

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar un programa de mantenimiento preventivo en los equipos críticos del área de materias primas de una multinacional líder mundial en la fabricación de envases de vidrio, con el fin de prever, detectar y corregir las posibles fallas que pueden alterar o detener por completo el funcionamiento del equipo; evitando así, paradas de planta y pérdidas de producción, además de garantizar el cuidado y eficiencia de la maquinaria.

Diseñar e implementar un plan de mantenimiento basado en confiabilidad para la empresa "Owens Illinois" líder en la fabricación de envases.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Diagnosticar la situación actual de la empresa.
- Elaboración de la propuesta de plan de mantenimiento basado en la confiabilidad para los equipos críticos.
- Aplicar modelo piloto del plan en los equipos.

### 3 MARCO TEÓRICO

#### 3.1 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD

.MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM). El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (Reliability Centred Maintenance) es el proceso utilizado para determinar que se debe hacer para asegurar que cualquier activo físico (equipo), continúe haciendo lo que sus usuarios quieren que hagan en su contexto operacional actual. Lo que los usuarios quieren depende de dónde y cómo se utiliza el activo (el contexto de funcionamiento).<sup>10</sup>

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM), fue desarrollado por la industria de la aviación civil en Estados Unidos en la década de los 70, para emprender un estudio de la eficiencia de las reparaciones generales, basadas en el tiempo, de componentes complejos en los sistemas de los equipos de las aeronaves civiles y lograr aumentar la disponibilidad de los equipos, a un menor costo y esfuerzo de mantenimiento. La efectividad de este modelo de gestión de mantenimiento, ha sido notoria, y se ha expandido a diversos sectores, aceptada y aplicada en la industria en general.<sup>11</sup>

El RCM está conformado por un equipo multidisciplinario de trabajo, encargados de optimizar la confiabilidad operacional de un sistema que funciona bajo condiciones de trabajo definidas, estableciendo las actividades más efectivas de mantenimiento en función de la criticidad de los equipos, analizando los efectos que originarán los modos de falla en éstos equipos, respetando normas de seguridad y medio ambiente.

El RCM ha sido usado por una amplia variedad de industrias durante los últimos años. Cuando se aplica correctamente genera los siguientes beneficios:

---

<sup>10</sup> (Moubray, 1997)

<sup>11</sup> (Duffuaa, 2007)

- Aumenta la disponibilidad de los equipos.
- Reduce el mantenimiento correctivo y las órdenes de trabajo de emergencia. Reduce las paradas forzadas.
- Elimina el Mantenimiento Preventivo innecesario es decir :
- Reduce el mantenimiento preventivo en componentes no críticos.
- Cambios de las tareas y las frecuencias.
- Elimina o agrega nuevas tareas.
- Se tiene mejor conocimiento sobre fallas
- Identifica las deficiencias del diseño.
- Identifica las causas de repetición de fallas.

RCM es que provee una metodología de trabajo que va paso a paso y a su vez hacer participar a todo aquel que tenga relación con los equipos y el proceso de funcionamiento.<sup>12</sup>

### **3.1.1 PROCEDIMIENTO DEL RCM.**

El Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad, propone un procedimiento que permite identificar las necesidades reales del mantenimiento de los equipos en su contexto operacional, a partir del análisis de las siguientes siete preguntas:

- ¿Cuál es la función del sistema?
- ¿De qué manera puede fallar?
- ¿Qué origina la falla?
- ¿Qué pasa cuando falla?
- ¿Importa si falla?
- ¿Se puede hacer algo para prevenir/predecir la falla?
- ¿Qué pasa si no podemos prevenir/predecir la falla?

---

<sup>12</sup> (Moubray, 1997)

Para poder dar respuesta a estas preguntas se recurre a dos herramientas fundamentales para este tipo de análisis:

#### **3.1.1.1 AMEF**

El análisis de los modos y efectos de fallas, es una herramienta que permite identificar los efectos o consecuencias de los modos de fallas de cada equipo en su contexto operacional.

#### **3.1.1.2 ÁRBOL LÓGICO DE DECISIONES**

Herramienta que permite seleccionar de forma adecuada las actividades de mantenimiento a realizar (proactivas /reactivas), según el análisis del RCM.

El RCM está basado en un detallado Análisis de Modos y Efectos de Falla (AMEF) que incluye técnicas de mantenimiento proactivo (preventivo y predictivo), con la finalidad de aumentar la probabilidad de que el equipo funcione de una manera óptima.

#### **3.1.2 EL CONTEXTO OPERACIONAL**

Antes de comenzar a redactar las funciones deseadas para el activo que se está analizando (primera pregunta del RCM), se debe tener un claro entendimiento del contexto en el que funciona el equipo. Por ejemplo, dos activos idénticos operando en distintas plantas, pueden resultar en planes de mantenimiento totalmente distintos si sus contextos de operación son diferentes. Un caso típico es el de un sistema de reserva, que suele requerir tareas de mantenimiento muy distintas a las de un sistema principal, aun cuando ambos sistemas sean físicamente idénticos.



Entonces, antes de comenzar el análisis se debe redactar el contexto operacional, breve descripción donde se debe indicar: régimen de operación del equipo, disponibilidad de mano de obra y repuestos, consecuencias de indisponibilidad del equipo (producción Perdida o reducida, recuperación de producción en horas extra, tercerización), objetivos de calidad, seguridad y medio ambiente, etc.<sup>13</sup>

### **3.1.3 FALLAS FUNCIONALES O ESTADOS DE FALLA**

Las fallas funcionales o estados de falla identifican todos los estados indeseables del sistema. Por ejemplo, para una bomba dos estados de falla podrían ser “Incapaz de bombear agua, Bombea menos de 500 litros/minuto”, “No es capaz de contener el agua”. Notar que los estados de falla están directamente relacionados con las funciones deseadas. Una vez identificadas todas las funciones deseadas de un activo, identificar las fallas funcionales es un problema trivial.

Modo de falla: es posible causas por la cual el equipo presentaría bajo rendimiento en su operación un ejemplo claro es un impulsor de bomba el cual presentaría una caída en su rendimiento por desgaste. Este efecto se evidencia como falla y debe ser identificado en el RCM al momento de realizar el análisis.

Lo más importante de realizar el análisis RCM es encontrar la causa raíz generadora del fallo dejando un registro.

Efecto de fallo: se relaciona con el modo de falla, es una breve descripción cuando la falla ocurre explicando la causa raíz donde surge el fallo.

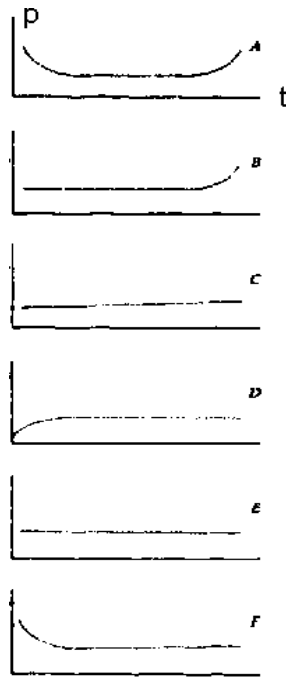
Fallos ocultos: Los equipos suelen tener dispositivos de protección, es decir, dispositivos cuya función principal es la de reducir las consecuencias de otras fallas (fusibles, detectores de humo, dispositivos de detención por sobre velocidad / temperatura / presión, etc.). Muchos de estos dispositivos tienen la particularidad de que pueden estar en estado de falla durante mucho tiempo sin que nadie ni

---

<sup>13</sup> (mantconfiabilidad, 2013)

nada ponga en evidencia que la falla ha ocurrido. (Por ejemplo, un extintor contra incendios puede ser hoy incapaz de apagar un incendio, y esto puede pasar totalmente desapercibido (si no ocurre el incendio)).<sup>14</sup>

Figura 1 Patrones de falla<sup>15</sup>



Fuente: <https://www.gestiopolis.com/rcm-mantenimiento-centrado-en-confiabilidad/>

- La figura muestra los 6 patrones de falla. Cada patrón representa la probabilidad de falla en función del tiempo.
- Un patrón **A**, donde la falla tiene alta probabilidad de ocurrir al poco tiempo de su puesta en servicio (mortalidad infantil), y al superar una vida útil identificable.
- Patrón **B**, o “curva de desgaste”.

---

<sup>14</sup> (Moubray, 1997)

<sup>15</sup> (Moubray, 1997)

- Patrón **C**, donde se ve un continuo incremento en la probabilidad condicional de la falla.
- Patrón **D**, donde superada una etapa inicial de aumento de la probabilidad de falla el elemento entra en una zona de probabilidad condicional de falla constante.
- Patrón **E**, o patrón de falla aleatorio.

## 3.2 SAP SE

(en la Bolsa de Fráncfort y NYSE,<sup>2</sup> SAP) es una empresa multinacional alemana dedicada al diseño de productos informáticos de gestión empresarial, tanto para empresas como para organizaciones y organismos públicos.

Competidor directo del otro gigante del sector, Oracle, se calcula que «entre el 70% y el 80% del mercado de grandes empresas» utilizan sus productos. Fundada en 1972, y con sede en Walldorf, Baden-Württemberg, sus productos incluyen SAP ERP, SAP Business Warehouse (SAP BW), SAP Business Objects software, y SAP HANA. Su capitalización bursátil en 2010 fue de 59 mil millones de dólares.

SAP fue fundada en junio de 1969 como Systemanalyse und Programmentwicklung ("Análisis de Sistemas y Desarrollo de Programas")<sup>5</sup> por cinco exingenieros de IBM en Mannheim, Baden-Württemberg (Dietmar Hopp, Klaus Tschira, Hans-Werner Hector, Hasso Plattner, y Claus Wellenreuther). El acrónimo fue cambiado más adelante para ser Systeme, Anwendungen und Produkte in der Datenverarbeitung ("Sistemas, Aplicaciones y Productos en Procesamiento de Datos").<sup>16</sup>

### 3.2.1 SAP PM

El módulo de SAP PM (Mantenimiento de planta ) permite la planificación, el procesamiento y la terminación de tareas, para el mantenimiento de una planta facilitando la toma de decisiones.

Esta herramienta va a permitir:

---

<sup>16</sup> (wikipedia, 2017)

- Racionalizar la gestión de averías.
- Obtener datos de vida útil de los componentes, para poder dimensionar un stock de repuesto.
- Desarrollar el flujo de mantenimiento planificados y no planificados en el sistema.
- Conocer la carga real de trabajo del departamento de mantenimiento para poder priorizar los trabajos.
- Disponer de informes estadísticos que faciliten la toma de decisiones.

Como en todos los módulos de SAP existen una serie de datos maestros que se utilizan para la gestión de los mantenimientos. En este caso, los básicos son:

- Ubicaciones técnicas, representan el lugar en el que se realiza una tarea de mantenimiento.
- Equipos, son las máquinas y componentes de los que se quiere realizar el mantenimiento y obtener informes.
- Contadores o puntos de medida, servirán para controlar determinadas magnitudes de los equipos. Por ejemplo, temperatura, kilómetros, ...
- Listas de material, listas de los componentes de un equipo o para la planificación de los materiales de recambio de una hoja de ruta o de la orden.
- Puestos de trabajo, encargados de la realización de las tareas de mantenimiento. Pueden internos o externos.

### **3.2.1.1 MANTENIMIENTO CORRECTIVO SAP**

Este mantenimiento se realiza cuando se detecta un mal funcionamiento en algún equipo.

### **3.2.1.2 MANTENIMIENTO PREVENTIVO SAP**

Este mantenimiento se planifica y se realiza periódicamente para el correcto funcionamiento de los equipos.<sup>17</sup>

---

<sup>17</sup> (Martin, 2016)

## **4 METODOLOGÍA**

### **4.1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

Se investigará sobre la importancia de contar con un plan de mantenimiento preventivo en una compañía; los beneficios y ventajas en la maquinaria, y en general en la organización. Se obtendrá información sobre los impactos negativos obtenidos al trabajar sin realizar la implementación del plan; adicionalmente se llevará a cabo la revisión bibliográfica de los parámetros establecidos para la implementación en una multinacional líder en la fabricación de envases de vidrio, un plan de mantenimiento preventivo con enfoque en los de alta criticidad. Se analizará los testimonios de empresas que antes han implementado un plan de mantenimiento preventivo, en donde se conocerán las ventajas, desventajas, fortalezas y la comparación más importante de costo/beneficio con respecto a su práctica antigua y actual.

Esta búsqueda bibliográfica se realizará en libros, manuales, páginas web, artículos, bases de datos especializadas y documentos que se encuentren disponibles.

### **4.2 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN**

Se realizará la recopilación de la información mediante la visita a la planta de la multinacional con el fin de conocer los procesos productivos y los equipos utilizados, conocer el número total de equipos, sus características, y su status de criticidad, ubicadas en las diferentes áreas de la planta, incluyendo el área de mantenimiento, recibir información específica por parte de los mecánicos y operadores asignados sobre el funcionamiento y componentes de los equipos.

Solicitar información específica sobre los tiempos perdidos de los equipos en planta al personal quien lidera el área (Coordinador de mantenimiento General); adicionalmente es de gran importancia llevar a cabo capacitaciones en las que se

indique al personal de mantenimiento, en que consiste el programa y como usar los formatos aplicados en el programa de mantenimiento preventivo.

### **4.3 ANÁLISIS DE DATOS**

Se realizará el análisis de datos, con el objetivo de identificar el comportamiento histórico de los equipos en planta, conservando y actualizando la información en la medida que se avance con el programa de mantenimiento preventivo.

Las máquinas objeto de identificación de análisis de datos serán las ubicadas en el área de materias primas, equipos de alta criticidad, cuya repercusión puede ocasionar desde pérdida de producción hasta parada de planta, generando pérdida de producción, y por lo tanto pérdidas multimillonarias de dinero.

Se requiere identificar en el histórico de los equipos, su comportamiento y tiempos perdidos, fallas identificadas y los impactos generados.

### **4.4 ESPECIFICACIONES DE LOS EQUIPOS**

Es necesario conocer las características y especificaciones de los equipos, con el fin de establecer su criticidad, componentes, y funcionamiento, de esta manera se podrá someter el equipo a un mejor análisis para implementar el plan de mantenimiento

### **4.5 IMPLANTACIÓN DEL PLAN DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO, BASADO EN RCM.**

Una vez identificados los equipos, la criticidad y el análisis de datos se procede a generar el plan de mantenimiento preventivo mediante la técnica RCM (mantenimiento centrado en confiabilidad) y a realizar la capacitación del personal para su correcta ejecución.

## 5 CRONOGRAMA

ACTIVIDADES	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8
Realización de ante proyecto								
Revisión por el tutor								
Corrección de anteproyecto								
Entrega de anteproyecto								
Desarrollo del proyecto								
Implementación del plan de mantenimiento								
Planteamientos de mejoras								
Revisión final								
Crear planes en el sistema SAP								
Capacitación del personal.								
Toma de resultados								
Organización proyecto de tesis								

Realización tesis								
Presentación								
Corrección de tesis								
Entrega final								
Sustentación								



## 6 PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN

### 6.1 PRESUPUESTO

En la tabla 3 se encuentran los costos administrativos, en los que se consideran el precio de biblioteca, transporte, entre otros.

Tabla 1 Recursos administrativos

RECURSOS ADMINISTRATIVOS				
ITEM	DESCRIPCIÓN	VALOR UNITARIO	CANTIDAD	COSTO
1	PAPELERÍA	100	80 HOJAS	\$ 80.000
2	TRANSPORTES	1600	90 PASAJES	\$ 144.000
3	BIBLIOTECA	15000	30 HORAS	\$ 350.000
4	INTERNET	1000	50 HORAS	\$ 50.000
5	IMPREVISTOS			\$ 300.000
	TOTAL			\$ 924.000

### 6.2 FUENTES DE FINANCIACIÓN

Por la contribución que puede obtener la empresa por parte de la implementación del mantenimiento preventivo, la empresa proporciona la mitad del transporte, almuerzo, programa SAP, y disposición del personal técnico para facilitar la investigación, no se recibirá ningún honorario por el trabajo realizado.

Los recursos correspondientes a la tabla 1 será asumido por el autor del proyecto.

## 7 BIBLIOGRAFÍA

- mantconfiabilidad*. (5 de 2013). Recuperado el 18 de 08 de 2017, de <http://xn--www-rp0a.maconsultora.com/MantConfiability.html>
- Duffuaa. (2007). *Sistemas de Mantenimiento Planeación y*. En S. Duffuaa, A. Raouf, & J. Dixon. bogota: Limusa Wiley.
- imelec. (s.f.). *imelec*. Recuperado el 24 de septiembre de 2017, de [imelec: http://imelec.com.uy/mantenimiento-preventivo-empresas](http://imelec.com.uy/mantenimiento-preventivo-empresas)
- industrial, M. (27 de Mayo de 2009). *Mantenimiento industrial*. Recuperado el 24 de Septiembre de 2017, de [Mantenimiento industrial : http://mantenimientosindustriales2009.blogspot.com.co/2009/05/historia-del-mantenimiento.html](http://mantenimientosindustriales2009.blogspot.com.co/2009/05/historia-del-mantenimiento.html)
- Ing. Santiago Sotuyo Blanco, C. (5 al 9 de Junio de 2006). *ELLMAN, SUEIRO Y ASOCIADOS* . Recuperado el Septiembre de 2017, de NORIA : <file:///C:/Documents%20and%20Settings/Administrador/Mis%20documentos/Downloads/Mod%20V-4.%2010%20Mandamientos%20del%20RCM.pdf>
- Jasso, A. C. (Mayo de 2011). *utt.edu*. Recuperado el 24 de Septiembre de 2017, de <http://www.utt.edu.mx/CatalogoUniversitario/imagenes/galeria/63A.pdf>
- mantenimiento petroquimica* . (s.f.). Recuperado el 24 de septiembre de 2017, de [mantenimiento petroquimica : http://www.mantenimientopetroquimica.com/index.php/10-que-es-rcm](http://www.mantenimientopetroquimica.com/index.php/10-que-es-rcm)
- mantenimiento, I. y. (s.f.). *Ingeniería y mantenimiento*. Recuperado el 2017 de Septiembre de 2017, de [Ingeniería y mantenimiento: http://ingenieriymantenimiento.blogspot.com.co/2009/11/kaizen-entendiendo-que-es-y-en-donde-se.html](http://ingenieriymantenimiento.blogspot.com.co/2009/11/kaizen-entendiendo-que-es-y-en-donde-se.html)
- Martin, E. (Diciembre de 2016). *orekait*. Recuperado el 01 de Septiembre de 2017, de [orekait: http://orekait.com/blog/sap-pm-mantenimiento-de-planta/](http://orekait.com/blog/sap-pm-mantenimiento-de-planta/)
- Mota, M. G. (Agosto de 2004). *biblioteca usac* . Recuperado el 24 de Septiembre de 2017, de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_1231\\_IN.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1231_IN.pdf)
- Moubray, J. (1997). *Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad (RCM)*. En Moubray. bogota: Butterworth Heinemann.

Olmos, S. M. (Noviembre de 2006). *Tesis de ingeniería mecánica*. Recuperado el 24 de Septiembre de 2017, de Tesis de ingeniería mecánica: <http://biblioteca.unitecnologica.edu.co/notas/tesis/0039468.pdf>

wikipedia. (2017). *wikipedia*. Recuperado el 23 de 08 de 2017, de wikipedia: [https://es.wikipedia.org/wiki/SAP\\_SE](https://es.wikipedia.org/wiki/SAP_SE)

Ziolo, T., B.Sc.E, Z. R., Bryant, T., & Eng, P. (s.f.). *The NPO fatigue tester*. Kingston General Hospital, Kingston, ON, Canada and Mechanical Engineering Department Queen's University, Kingston, ON, Canada: Human Mobility Research Center (HMRC) .