

**PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO A MAQUINA DE PRUEBAS
GOLPE DE ARIETE MEDIANTE LA METODOLOGÍA RCM2**

MAYERLY MARTINEZ FEO

DIEGO MANUEL MALAGON SILVA

**UNIVERSIDAD ECCI
DIRECCIÓN DE POSGRADOS
ESPECIALIZACIÓN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BOGOTÁ
2016**

**PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO A MAQUINA DE PRUEBAS
GOLPE DE ARIETE MEDIANTE LA METODOLOGÍA RCM2**

MAYERLY MARTINEZ FEO

DIEGO MANUEL MALAGON SILVA

**Monografía como opción de grado para optar al título de Especialistas en Gerencia de
Mantenimiento**

DIRECTORA:

DRA. MARIA GABRIELA MAGO RAMOS

**UNIVERSIDAD ECCI
DIRECCIÓN DE POSGRADOS
ESPECIALIZACIÓN DE GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BOGOTÁ D.C.
2016**

Nota de aceptación

Firma del presidente del jurado.

Firma del jurado.

Firma del jurado.

Bogotá, Noviembre de 2016

DEDICATORIAS

A DIOS en primer medida por haberme permitido llegar hasta este punto, por brindarme la salud necesaria, la perseverancia y la constancia para cumplir cada uno de los objetivos propuestos, a mis padres (Jose e Idaly) quienes siempre han estado a mi lado para guiarme y convertirme en la mujer que soy hoy en día, además han sido mi apoyo incondicional durante cada uno de los momentos de mi vida, a mis hermanas (Lorena y Stefanny) quienes han sido mis compañeras de vivencias, aprendizaje y experiencias, porque ellas me motivan a esforzarme y mostrarles que todo es posible cuando se desean las cosas de corazón. A todos mis amigos y compañeros pues han aportado conocimiento y experiencias que han contribuido para que pueda cumplir el sueño de ser profesional especializada.

Mayerly Martinez Feo

Este trabajo está dedicado principalmente a Dios, que me ha dado la vida, salud, la fortaleza y el entusiasmo para llevar a cabo cada una de las cosas que me he propuesto para mi vida, a mis padres (Manuel y Silvina) han sido el pilar de mi existencia, gracias a sus consejos, guías y apoyo incondicional he crecido y formado como un ser integral, a mis hermanos (Miguel y Sarita Sofia) que son mi motivación para dar ejemplo de que las cosas con amor y entrega son posibles hacerlas realidad y finalmente a mi compañera de vida, mi novia Diana Lopez por su paciencia, dedicación y gran apoyo durante este duro camino, el cual vamos recorriendo poco a poco para cumplir cada uno de los objetivos propuestos, a todos aquellos que de alguna u otra forma han contribuido en mi vida para realizar con éxito y satisfacción esta meta trazada.

Diego Manuel Malagón Silva

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este proyecto dirigen sus agradecimientos a Dios ya que sin la bendición y la fe en él, no se hubiera llevado a cabo con éxito la culminación de este trabajo, a nuestra docente la Dra. María Gabriela Mago directora de proyecto, porque gracias a ella y su invaluable conocimiento hicieron que sus aportes se pudieran concluir con éxito el objetivo propuesto para esta monografía.

A todo el personal de la compañía, Ingenieros Nelson Bonilla y John Pinto (Ingenieros, técnicos y personal operativo) por su apoyo, aporte y colaboración para que el proyecto llevado a implementar estuviera de acuerdo a las necesidades existentes y desarrollado de forma veraz y acorde.

ACTA DE ACEPTACION

	FORMATO ACTA DE OPCIÓN DE GRADO		Código: FR-DO-033 Versión: 03
	Proceso: Docencia	Fecha de emisión: 29-Ago-2008	Fecha de versión: 28-Oct-2010

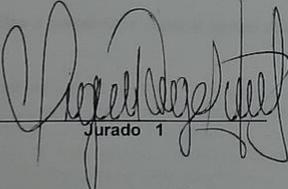
ACTA DE OPCIÓN DE GRADO

ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO

Se notifica que el/la(s) estudiante(s) **MAYERLY MARTINEZ FEO**. Identificado (a) con código estudiantil No. 31447 y **DIEGO MANUEL MALAGON SILVA** identificado (a) con código estudiantil No. 31437 realizó (aron) como opción de grado el/la trabajo, titulado(a): "**PROPUESTA PLAN DE MANTENIMIENTO A MAQUINA DE PRUEBAS GOLPE DE ARIETE MEDIANTE METODOLOGIA RCM2**", obteniendo una calificación de **4.6 (Cuatro seis)**.

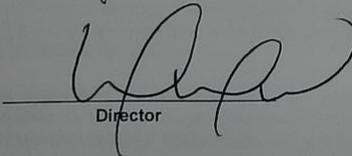
Como asesor(es) le hicieron acompañamiento los docentes: **Dra. María Gabriela Mago Ramos** y como Jurado(s): **Especialista Miguel Ángel Urián Tinoco**

Lo anterior se expide en Bogotá D.C., a los once (11) días del mes de Noviembre de 2016.

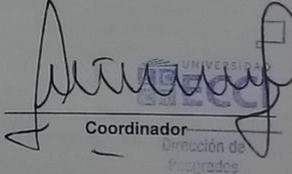


Jurado 1

Jurado 2



Director



Coordinador
Dirección de
Egresados

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	10
ÍNDICE DE TABLAS	11
INTRODUCCIÓN	12
RESUMEN	13
ABSTRACT	14
GLOSARIO	15
1. TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN	16
2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	17
2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	17
2.2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	17
2.3. SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA	18
3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	18
3.1. OBJETIVO GENERAL	18
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
4. JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	19
4.1. JUSTIFICACIÓN	19
4.2. DELIMITACIÓN	19
5. MARCO CONCEPTUAL	20
5.1. MARCO TEÓRICO	20
5.1.1. PLAN DE MANTENIMIENTO	20
5.1.2. TIPOS DE MANTENIMIENTO:	21
5.1.2.1. MANTENIMIENTO CORRECTIVO	21
5.1.2.2. MANTENIMIENTO PROGRAMADO	21
5.1.2.3. MANTENIMIENTO PREVENTIVO	22
5.1.2.4. MANTENIMIENTO PREDICTIVO	22
5.1.3. FENÓMENO GOLPE DE ARIETE	24
5.1.4. CASOS EN LOS QUE SE PUEDE PRODUCIR EL FENÓMENO	24
5.1.5. MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM)	25
5.1.5.1. RCM: LAS SIETE PREGUNTAS BÁSICAS	25
5.1.5.2. ANÁLISIS DE CRITICIDAD (CA)	26
5.1.5.3. FUNCIONES Y ESTÁNDARES DE DESEMPEÑO	27
5.1.5.4. FALLAS FUNCIONALES	27
5.1.5.5. ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA Y SUS EFECTOS (AMFE)	28
5.1.5.6. EFECTOS DE LA FALLA	30
5.1.5.7. CONSECUENCIAS DE LAS FALLAS	30
5.1.5.8. LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO SEGÚN RCM	31
5.2. ESTADO DEL ARTE	33
5.3. MARCO LEGAL	37
6. TIPO DE INVESTIGACIÓN	38
7. MARCO METODOLÓGICO	39
7.1. RECOLECCIÓN DE DATOS	39

7.2.	ANÁLISIS DE DATOS.....	40
7.3.	PROPUESTA DE SOLUCIÓN	46
7.3.1.	ANÁLISIS DE CRITICIDAD	46
7.3.2.	ANÁLISIS DE FUNCIÓN Y MODOS DE FALLA	50
7.3.3.	EVALUACIÓN CONSECUENCIAS DE FALLA.....	53
7.3.4.	TAREAS PROPUESTAS CON SUS RESPONSABLES.....	55
8.	FUENTES DE OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN	58
9.	ANÁLISIS FINANCIERO.....	59
10.	TALENTO HUMANO	62
11.	CONCLUSIONES.....	63
11.1.	CONCLUSIONES.....	63
11.2.	RECOMENDACIONES	64
12.	REFERENCIAS (BIBLIOGRAFÍA).....	65

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.Costos por familia de equipos.....	41
Figura 2.Costos de activos de familia de equipos laboratorio de pruebas.....	43
Figura 3.Grafica MTBF Golpe de Ariete.....	44
Figura 4.Grafica MTTR Golpe de Ariete.....	45
Figura 5.Grafica de criticidad Activos.....	49
Figura 6.Diagrama de Decisiones.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ejemplo de fallas funcionales.....	28
Tabla 2. Ejemplo de modos de falla	29
Tabla 3. Tipo de investigación	38
Tabla 4. Activos asignados a Sodexo distribuido por familia de equipos.....	40
Tabla 5. Costos Activos del Laboratorio de pruebas a producto.....	42
Tabla 6. MTBF Maquina Golpe de Ariete.	44
Tabla 7. MTTR Maquina Golpe de Ariete.	45
Tabla 8. Criterios para evaluación de criticidad.	47
Tabla 9. Encuesta evaluación de criticidad	48
Tabla 10. Hoja de información RCM2	51
Tabla 11. Hoja de Decisión Golpe de Ariete.....	56
Tabla 12. Responsable de actividades	57
Tabla 13. Frecuencias de actividades- Duración.....	57
Tabla 14. Costos Implementación	59

INTRODUCCIÓN

La siguiente investigación tiene como propósito realizar una propuesta de un plan de mantenimiento a una máquina de pruebas golpe de ariete, la cual fue asignada a Sodexo S.A para la ejecución del respectivo mantenimiento, ubicada en una empresa manufacturera del sector plástico; cuyo funcionamiento consiste en realizar un golpe de ariete a las mangueras de agua utilizadas en las diferentes instalaciones sanitarias, la cual simula una condición hidráulica, que describe un aumento de presión en una tubería de agua al momento de cerrar bruscamente una válvula, transformando la energía cinética en energía mecánica. Este módulo de pruebas es una máquina eléctrica, automatizada por control de PLC (control lógico programable), actualmente, toda la producción de mangueras tienen que ser sometidas a esta prueba para que cumplan con la Norma Técnica Colombiana NTC5441, dicha máquina no brinda una confiabilidad dada la incidencia de falla presentadas, lo que genera inconformidades en la aprobación por parte del área de calidad de los productos fabricados sin posibilidad de ser comercializados, esto se presenta porque la máquina no cuenta con un plan de mantenimiento que garantice mayor disponibilidad y calidad para el proceso.

En la investigación se muestra cuál es el alcance del proyecto, y su desarrollo, el cual busca implementar un plan de mantenimiento que involucre todas las actividades necesarias, y además que beneficie a una empresa

RESUMEN

En este proyecto de investigación se desarrolla una propuesta de un plan de mantenimiento para el módulo de pruebas de producto golpe de ariete, con el objetivo de mejorar la calidad y productividad del proceso de fabricación de mangueras para agua utilizadas en los diferentes sistemas sanitarios.

En el mismo se establecerán los subconjuntos funcionales basados en las secciones del equipo, principios de funcionamiento e historial de fallas para establecer oportunidades de mejora para el mantenimiento del activo.

En base a lo anterior, esta investigación dará un aporte en cuanto a mejores prácticas de mantenimiento y operaciones en el activo, debido a que actualmente no existe un plan de mantenimiento para este módulo de pruebas.

ABSTRACT

In this research project a proposal for a maintenance plan for product testing module hammer develops, with the aim of improving the quality and productivity of the manufacturing process of hoses for water used in the different health systems.

In the same functional subsets based on the sections of the equipment, principles of operation and fault history is set to establish opportunities for improvement for the maintenance of the asset.

Based on the above, this research will contribute in best maintenance practices and operations in the asset, because currently there is no maintenance plan for this test module.

GLOSARIO

Arco Eléctrico: Es una descarga que se produce entre dos puntos cuando están sometidos a una diferencia de potencial.

Desgaste: Es el daño sobre una superficie que se produce cuando existe pérdida de material en una o ambas superficies sólidas que se encuentran en movimiento.

Espectro: Es una gráfica que muestra el comportamiento de una vibración en función de la frecuencia.

Falla: Deterioro o daño presentado en una de las piezas de una máquina el cual produce trastorno en su funcionamiento.

Frecuencia: Es el número de vibraciones que un cuerpo hace por segundo se denomina frecuencia y es comúnmente medida en Hertz.

Parada: Interrupción ocasionada por fallas presentadas en las máquinas que conforman un proceso de producción.

Reparación: Conjunto de actividades orientadas a restablecer las condiciones normales de operación de una máquina.

Ultrasonido: Son ondas de sonido con frecuencias por encima del límite audible humano, o en exceso de 20000 Hertz.

Vibración: Es la oscilación de un objeto con respecto a su posición de reposo.

Viscosidad: Es la resistencia del fluido al flujo con respecto a la temperatura.

1. TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN

**“PROPUESTA DE UN PLAN DE MANTENIMIENTO A MAQUINA DE PRUEBAS
GOLPE DE ARIETE MEDIANTE LA METODOLOGÍA RCM2”**

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente, en la empresa SODEXO S.A se realizan trabajos de mantenimiento en calidad de tercerización para módulos de prueba de productos, de manera específica, mangueras de agua para instalaciones sanitarias. Estos módulos han presentado fallas imprevistas debido a que no existe un plan de mantenimiento para estos equipos, por lo tanto, la presente investigación tiene como propósito realizar una propuesta para llevar a cabo este plan de mantenimiento aplicando la filosofía RCM2, de tal manera que, a través de la hoja de decisión se mejoren los tiempos promedios entre fallas y reparación, aumentando la confiabilidad de estos equipos.

En ese mismo orden de ideas, la aplicación de esta propuesta es coincidente con las pruebas que se deben realizar pruebas a los productos para verificación de calidad, antes de salir a la venta al mercado, dado que el reporte de incidencia (según históricos de la empresa) indica alta probabilidad de ocurrencia afectando la confiabilidad de dicha máquina y retrasando la liberación de productos.

En la presente investigación se utiliza la máquina de prueba de producto “golpe de ariete” como estudios de caso para poner en práctica las teorías y competencias adquiridas durante la especialización en Gerencia de Mantenimiento realizada en la Universidad ECCI.

2.2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La ausencia de un plan de mantenimiento preventivo cuyas actividades estén basadas en condición a maquinaria, un buen análisis de las causas de las mismas, limita la vida útil de los equipos y su capacidad de producción. Es por esto, que generalmente las empresas tienen la visión de que el mantenimiento a realizar en los activos es un gasto, no una inversión para mejorar la productividad, es por ello que en la presente investigación surge la siguiente pregunta: ¿Podrá implementarse un plan de mantenimiento con la metodología RCM2 que evite paradas de un mayor impacto en la producción en la máquina golpe de ariete de la empresa SODEXO S.A?

2.3. SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

- ¿Cómo la evaluación de los activos del laboratorio de producto permite establecer la criticidad de los mismos?
- ¿Cómo la identificación de las actividades de mantenimiento estableciendo las frecuencias y rutinas de inspección de los subconjuntos funcionales, aumentan la confiabilidad?
- ¿Para qué se evalúan las tareas y actividades que contribuyan a aumentar la confiabilidad del activo “golpe de ariete” mediante un cronograma de actividades?
- ¿Qué beneficios financieros conlleva la implementación de un plan de mantenimiento óptimo que justifique esa inversión?

3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. OBJETIVO GENERAL

Proponer un plan de mantenimiento a máquina de pruebas golpe de ariete mediante la metodología RCM 2 con la finalidad de mejorar la confiabilidad y mantenibilidad del proceso.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar los diferentes activos del laboratorio de producto, estableciendo la criticidad de los mismos.
- Identificar las actividades que se deben realizar al activo estableciendo las frecuencias y rutinas de inspección para el mantenimiento de los subconjuntos funcionales aumentando la confiabilidad.
- Evaluar las tareas y actividades que contribuyen a aumentar la confiabilidad del activo golpe de ariete con la finalidad de realizar un cronograma de actividades.
- Elaborar un análisis financiero que justifique la inversión en un plan de mantenimiento óptimo.

4. JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

4.1. JUSTIFICACIÓN

Día a día, la globalización misma ha permitido que muchas empresas se tecnifiquen, con esta condición u oportunidad de mejora, aumenta la producción y la rentabilidad, pero las políticas empresariales no están enfocadas hacia el mantener sus activos, con la metodología basado en RCM2 o en condición, dado lo costoso que a veces resulta su implementación; en muchas ocasiones, solo se aplica el mantenimiento correctivo que soluciona temporalmente la falla, esto significa paradas no programadas de los activos que afectan negativamente la producción. Al aplicar el plan de mantenimiento basado en condición, se identifican las partes críticas de la máquina (aquellas que generas las fallas más frecuentes) y, de esta manera; se programa su mantenimiento antes de que se presente la condición de falla de manera coordinada con el departamento producción.

Es allí, donde se aplica el enfoque de pensamiento crítico como una competencia a la solución de problemas en la Gerencia de Mantenimiento, a través de una propuesta de un plan de mantenimiento basado en condición, que finalmente dará mayor productividad y rentabilidad a una empresa manufacturera.

4.2. DELIMITACIÓN

ESPACIO (GEOGRÁFICO): esta investigación será desarrollada en una empresa manufacturera ubicada en Cundinamarca que servirá como caso estudio o de aplicación.

TIEMPO: esta investigación será realizada desde el mes el mes de Septiembre del 2016 hasta el mes de Noviembre del 2016 y estará basada en necesidades específicas.

CONTENIDO: La propuesta de un plan de mantenimiento basado en la metodología RCM2, para un máquina para pruebas de producto golpe de ariete que se encuentra asignada a la empresa contratista Sodexo S.A; la cual tiene políticas de confidencialidad muy estrictas, no

siendo posible la divulgación de su marca, sin embargo, en la presente investigación se utiliza la máquina de golpe de ariete para aplicar la metodología RCM2 o de condición, describiendo las actividades necesarias que aumentan la confiabilidad, con los responsables de ejecución de los trabajos de mantenimiento asignados. El acceso a la información a esta máquina por parte de la empresa fue total, pero no se cuenta con manuales, planos y demás información específica de diseño por las razones indicadas anteriormente.

5. MARCO CONCEPTUAL

5.1. MARCO TEÓRICO

Hoy en día existen variadas metodologías que con su implementación pueden mejorar la efectividad de una industria específica, este marco teórico se basó en autores que enfocaron su visión a mejorar especialmente el área de mantenimiento. Para dar continuidad y completar el proceso del proyecto de el modulo golpe de ariete mediante la metodología RCM2, es allí donde se relaciona su historia y antecedentes de las ventajas de aplicar la metodología RCM2.

5.1.1. PLAN DE MANTENIMIENTO

El plan de mantenimiento es el elemento en un modelo de gestión de activos que define los programas de mantenimiento a los activos (actividades periódicas preventivas, predictivas y detectivas), con los objetivos de mejorar la efectividad de estos, con tareas necesarias y oportunas, y de definir las frecuencias, las variables de control, el presupuesto de recursos y los procedimientos para cada actividad.

Como responsable de la definición de las actividades periódicas, agrupa trabajos detectivos, predictivos y preventivos, facilita por su contribución a la gestión de mantenimiento, la realización de presupuestos confiables, siempre y cuando no lleve a la empresa a hacer más mantenimiento del que requiere y en el peor de los casos a introducir mortalidad infantil en las instalaciones.

El conocido plan de mantenimiento no es más que una serie de tareas que de manera planeada y programada se deben realizar a un equipo o sistema productivo con una frecuencia determinada.

5.1.2. TIPOS DE MANTENIMIENTO:

5.1.2.1. MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Cuando hablamos de mantenimiento correctivo, nos referimos a reparar las averías una vez que han aparecido. El principal inconveniente es que la avería puede suponer la parada de una máquina, y es necesario planificar la intervención, asignar los recursos humanos necesarios, abastecerse de repuestos, preparar herramientas, elaborar procedimientos de seguridad e intervención que no estaban previstos. El mantenimiento correctivo resulta inevitable, porque es imposible predecir y evitar todas las averías. Sin embargo, es preferible reducir este sistema todo lo posible. (Manual de mantenimiento, 1991, P.9)

5.1.2.2. MANTENIMIENTO PROGRAMADO

Este es otro sistema de mantenimiento que se practica hoy en día y se basa en la suposición de que las piezas se desgastan siempre en la misma forma y en el mismo periodo de tiempo, así se esté trabajando bajo condiciones diferentes.

En este tipo de mantenimiento se lleva a cabo un estudio detallado de los equipos de la fábrica y a través de él se determina, con ayuda de datos estadísticos e información del fabricante, las partes que se deben cambiar, así como la periodicidad con que se deben hacer los cambios. Una vez hecho esto, se elabora un programa de trabajo que satisfaga las necesidades del equipo.

Aunque este sistema es superior al mantenimiento correctivo, presenta algunas fallas. La principal es el hecho de que, con el fin de prestar el servicio que ordena el programa a una determinada parte del equipo, sea necesario retirar o desarmar partes que estén trabajando en forma perfecta. (Manual de mantenimiento, 1991, P.11)

5.1.2.3. MANTENIMIENTO PREVENTIVO

Para evitar que se confunda este mantenimiento con una combinación del periódico y el programado, se debe hacer énfasis en que la esencia de este son las revisiones e inspecciones programadas que pueden o no tener como consecuencia una tarea correctiva o de cambio.

Este sistema se basa en el hecho de que las partes de un equipo se gastan en forma desigual y es necesario prestarles servicio en forma racional, para garantizar su buen funcionamiento.

El mantenimiento preventivo es aquel que se hace mediante un programa de actividades (revisiones y lubricación), previamente establecido, con el fin de anticiparse a la presencia de fallas en instalaciones y equipo. Este programa se fundamenta en el estudio de necesidades de servicio de un equipo, teniendo en cuenta cuales de las actividades se harán con el equipo detenido y cuales cuando esté en marcha. Además, se estima el tiempo que se toma cada operación y la periodicidad con que se efectúa, con el fin de poder determinar así las horas-hombre que requiere una tarea de mantenimiento, al igual que las personas que se van a emplear en determinados momentos del año. (Manual de mantenimiento, 1991, P.20-21)

5.1.2.4. MANTENIMIENTO PREDICTIVO

El mantenimiento predictivo consta de una serie de ensayos de carácter no destructivo orientados a realizar un seguimiento del funcionamiento de los equipos para detectar signos de advertencia que indiquen que alguna de sus partes no está trabajando de la manera correcta.

A través de este tipo de mantenimiento, una vez detectadas las averías, se puede, de manera oportuna, programar las correspondientes reparaciones sin que se afecte el proceso de producción y prolongando con esto la vida útil de las máquinas. Los ensayos que más utilizan en las industrias son los siguientes:

Análisis de Vibraciones: Esta técnica de mantenimiento predictivo se basa en el estudio del funcionamiento de las máquinas rotativas a través del comportamiento de sus vibraciones.

Todas las máquinas presentan ciertos niveles de vibración aunque se encuentren operando correctamente, sin embargo cuando se presenta alguna anomalía, estos niveles normales de vibración se ven alterados indicando la necesidad de una revisión del equipo.

Para que este método tenga validez, es indispensable conocer ciertos datos de la máquina como lo son: su velocidad de giro, el tipo de cojinetes, de correas, el número de alabes, palas, etc. También es muy importante determinar los puntos de las máquinas en donde se tomaran las mediciones y el equipo analizador más adecuado para la realización del estudio.

El Analizador de Vibraciones es un equipo especializado que muestra en su pantalla el espectro de la vibración y la medida de algunos de sus parámetros. Las vibraciones pueden analizarse midiendo su amplitud o descomponiéndolas de acuerdo a su frecuencia, así cuando la amplitud de la vibración sobrepasa los límites permisibles o cuando el espectro de vibración varía a través del tiempo, significa que algo malo está sucediendo y que el equipo debe ser revisado. Los problemas que se pueden detectar por medio de esta técnica, son:

- Desalineamiento
- Desbalance
- Resonancia
- Solturas mecánicas
- Rodamientos dañados
- Problemas en bombas
- Anormalidades en engranes
- Problemas eléctricos asociados con motores
- Problemas de bandas
-

Termografía: La Termografía es una técnica que estudia el comportamiento de la temperatura de las máquinas con el fin de determinar si se encuentran funcionando de manera correcta. La energía que las máquinas emiten desde su superficie viaja en forma de ondas electromagnéticas a la velocidad de la luz; esta energía es directamente proporcional a su temperatura, lo cual implica que a mayor calor, mayor cantidad de energía emitida. Debido a que estas ondas poseen una longitud superior a la que puede captar el ojo humano, es necesario utilizar un instrumento que transforme esta energía en un espectro visible, para poder observar y analizar la distribución de esta energía el instrumento para realizar estas actividades se denomina Cámara Termográfica.

Gracias a las imágenes térmicas que proporcionan las cámaras termográficas, se pueden analizar los cambios de temperatura. Un incremento de esta variable, por lo general representa un

problema de tipo electromecánico en algún componente de la máquina. Las áreas en que se utilizan las Cámaras Termográficas son las siguientes:

- Instalaciones Eléctricas
- Equipamientos Mecánicos
- Estructuras Refractarias

5.1.3. FENÓMENO GOLPE DE ARIETE

El fenómeno del golpe de ariete, también denominado transitorio, consiste en la alternancia de depresiones y sobrepresiones debido al movimiento oscilatorio del agua en el interior de la tubería, es decir, básicamente es una variación de presión, y se puede producir tanto en impulsiones como en abastecimientos por gravedad. El valor de la sobrepresión debe tenerse en cuenta a la hora de dimensionar las tuberías, mientras que, en general, el peligro de rotura debido a la depresión no es importante, más aún si los diámetros son pequeños. No obstante, si el valor de la depresión iguala a la tensión de vapor del líquido se producirá cavitación, y al llegar la fase de sobrepresión estas cavidades de vapor se destruirán bruscamente, pudiendo darse el caso, no muy frecuente, de que el valor de la sobrepresión producida rebase a la de cálculo, con el consiguiente riesgo de rotura. (Escuela universitaria de ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real, 2008. P.2)

5.1.4. CASOS EN LOS QUE SE PUEDE PRODUCIR EL FENÓMENO

Existen diversas maniobras donde se induce el fenómeno:

- Cierre y Apertura de Válvulas.
- Arranque de Bombas.
- Detención de Bombas.
- Funcionamiento inestable de bombas.
- Llenado inicial de tuberías.
- Sistemas de Protección contra Incendios.

En general, el fenómeno aparecerá cuando, por cualquier causa, en una tubería se produzcan variaciones de velocidad y, por consiguiente, en la presión. Como puede observarse del listado

anterior todos estos fenómenos se producen en maniobras necesarias para el adecuado manejo y operación del recurso, por lo que debemos tener presente que su frecuencia es importante y no un fenómeno eventual. (Luis E. Pérez Farrás. Adolfo Guitelman, 2005, P.8)

5.1.5. MANTENIMIENTO CENTRADO EN LA CONFIABILIDAD (RCM)

Es un proceso usado para determinar sistemática y científicamente que debe ser hecho para asegurar que los activos físicos continúen haciendo lo que sus usuarios quieren que hagan. Es una estrategia de clase mundial que lleva a mejoras rápidas, sostenidas y sustanciales en la disponibilidad y confiabilidad de planta, calidad de producto, seguridad e integridad ambiental. (Moubray IV J. M., 2004)

5.1.5.1. RCM: LAS SIETE PREGUNTAS BÁSICAS

1. ¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?
 2. ¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?
 3. ¿Cuál es la causa de cada falla funcional?
 4. ¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?
 5. ¿En qué sentido es importante cada falla?
 6. ¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?
 7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?
- (Milton, 2016). (Moubray IV J., 2004, p. 7)

Las cuatro (4) primeras preguntas se conocen como análisis de modos y efectos de falla (FMEA), técnica que es utilizada para cuantificar y clasificar las fallas que se puedan presentar, éstas son registradas en la hoja de información RCM.

Las tres (3) últimas preguntas conciernen al árbol lógico de decisiones, que permite seleccionar el mantenimiento más apropiado para cada efecto y consecuencia de los 13 modos de falla analizados, y su registro se realiza en la hoja de decisión. (Milton, 2016) (García Palencia, 2012, p. 35)

5.1.5.2. ANÁLISIS DE CRITICIDAD (CA)

Es una metodología que permite jerarquizar sistemas, instalaciones y equipos, en función de su impacto global, con el fin de facilitar la toma de decisiones, que permite identificar las áreas en las cuales se tendrá una mayor atención del mantenimiento en función del proceso que realiza.

Los pasos para la aplicación del análisis de criticidad son:

- Identificar los equipos.
- Definición del alcance y objetivos del estudio a realizar.
- Selección del personal a entrevistar.
- Recolección y verificación de datos.

La condición ideal es disponer de información estadística de los equipos a evaluar sea precisa, teniendo en cuenta los rangos favorables que permitan evaluar cada uno de los criterios, la información está relacionada con la frecuencia, los efectos y las consecuencias de las fallas, donde se destaca la seguridad y el respeto por el medio ambiente.

La criticidad se evalúa mediante:

Ecuación (1)

Criticidad = Frecuencia de falla x Consecuencia

Dónde:

La frecuencia de falla está asociada al número de eventos o fallas que se presenta en el sistema o proceso evaluado, la consecuencia está referida con: el impacto y flexibilidad operacional, los costos de reparación, los impactos en seguridad y ambiente, en función de lo antes expuesto se establecen como criterios fundamentales para realizar un análisis de criticidad los siguientes:

- Seguridad
- Ambiente
- Producción
- Costos (operacionales y de mantenimiento)

- Tiempo promedio para reparar
- Frecuencia de falla

(Milton, 2016) (García Palencia, 2012, pp. 101-102)

5.1.5.3. FUNCIONES Y ESTÁNDARES DE DESEMPEÑO

Se analiza al activo físico del modo en que sus usuarios esperan dentro de su contexto operacional actual, necesitamos hacer dos cosas:

- Determinar qué es lo que los usuarios quieren que haga.
- Asegurar que es capaz de realizar aquello que los usuarios quieren que haga.

Es por esto que el primer paso del RCM es definir las funciones de cada bien en su contexto operacional, como así también los estándares de desempeño deseados, las funciones que los usuarios pretenden que sus bienes desempeñen pueden dividirse en dos categorías:

Funciones primarias: sintetizan el por qué el bien fue adquirido, esta categoría de funciones cubren temas tales como velocidad, rendimiento, capacidad de transportación o almacenamiento, calidad del producto y servicio al cliente.

Funciones secundarias: es suponer que la mayoría de los activos físicos cumpla una o más funciones adicionales además de la primera. (Milton, 2016) (Moubray IV J., 2004, pp. 37-39)

5.1.5.4. FALLAS FUNCIONALES

Es la incapacidad de cualquier activo físico de cumplir una función según un parámetro de funcionamiento aceptable para el usuario, los aspectos más relevantes de fallas funcionales son:

- Falla total o parcial.
- Límites superiores o inferiores.
- Instrumentos de medición o indicadores.
- El contexto operacional.

Las fallas funcionales se listan en la segunda columna de la hoja de Trabajo de Información de RCM, están codificadas alfabéticamente. En la tabla 1-2 se realiza un ejemplo como debe ser

llenado con las descripciones de los fallos funcionales, tomando en consideración los parámetros específicos del contexto operacional actual, que son exigidos por el usuario del activo físico. (Milton, 2016) (Moubray IV J., 2004, pp. 48-55)

Tabla 1.Ejemplo de fallas funcionales

RCM II		SISTEMA: Turbina de 5 MW	
HOJA DE TRABAJO DE INFORMACIÓN		SUBSISTEMA: Sistema de escape	
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL	
1	Dar salida sin restricción a todos los gases de escape calientes de la turbina hasta el punto fijo situado a 10 metros por encima del techo de la sala de turbinas.	A B C D	Totalmente incapaz de conducir el gas. Flujo de gas restringido. Incapaz de contener los gases. No puede transportar los gases a un punto situado a 10 metros por encima del techo

Fuente: Hoja de información RMC II
Realizado por: BARRAGÁN, MILTON 2015

5.1.5.5. ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA Y SUS EFECTOS (AMFE)

Busca identificar los modos de fallas, que son más propensos a causar cada falla funcional, y a cerciorarse de los efectos que éstas tienen. Esto se logra por medio de un análisis de tipos de fallas y efectos. (AMFE), para cada falla funcional.

Un modo de falla puede ser definido como cualquier evento que causa que un activo físico (sistema o proceso) pueda fallar. Sin embargo, no es conveniente aplicar el término “falla” a un activo físico de manera general. Es mucho más preciso distinguir entre “falla funcional” (estado de falla) y “modo de falla” (un evento que podría causar un estado de falla). Esto lleva una definición de falla más precisa:

“Un modo de falla es cualquier suceso que cause una falla funcional”

La mejor manera de mostrar la conexión y distinción entre estados de fallas y los eventos que pueden causarlos, es listar primero las fallas funcionales, luego registrar los modos de fallas que pueden causar cada falla funcional (Milton, 2016) (Moubray IV J., 2004, pp. 56-57).

La descripción de los modos de falla debe ser descrita de una manera adecuada, que puedan ser confiables, y brindar la posibilidad de identificar claramente la avería a los técnicos que van a intervenir en el proceso de ejecución de las tareas proactivas.

Las fallas funcionales, y sus efectos son registrados en la hoja de información del RCM, que para el ejemplo se utiliza la tabla 2-2, en la cual se describe con claridad los modos de falla para cada falla funcional, y la consecuencia que provoca a cada uno de éstos.

Tabla 2. Ejemplo de modos de falla

RCM II HOJA DE INFORMACIÓN		SISTEMA: Sistema de bombeo de agua de refrigeración.			
		SUB-SISTEMA:			
FUNCIÓN		FALLA FUNCIONAL		MODO DE FALLA (Causa de la falla)	
1	Transferir agua desde el tanque X al tanque Y, a no menos de 800 litros por minuto.	A	Incapaz de transferir agua.	1 2 3 4 5 6	Cojinetes atascados. Impulsor loco, suelto. Impulsor trabado por cuerpo extraño. El cubo de acople falla por fatiga. Motor quemado. ... etc.
		B	Transfiere menos de 800 litros por minuto.	1 2 3	Impulsor gastado. Línea de succión parcialmente bloqueada. ... etc.

Fuente: Hoja de información RCM II
Realizado por: BARRAGÁN, MILTON 2015

5.1.5.6. EFECTOS DE LA FALLA

El cuarto paso en el proceso de revisión de RCM implica enunciar que sucede cuando representa cada modo de falla. Esto se conoce como efectos de la falla. Un efecto de falla responde a la pregunta ¿qué sucede?

Una descripción de los efectos de falla debe incluir toda la información necesaria para respaldar la evaluación de las consecuencias de la falla. Específicamente cuando se describen los efectos de una falla, se debe registrar lo siguiente:

- Qué evidencias hay (de ser así) de que la falla sucedió.
- En qué medida (si así fuera) representa una amenaza para la seguridad o el medio ambiente.
- De qué manera (si así fuera) afecta la producción u operaciones.
- Qué daño físico (si lo hubiera) es causado por la falla.
- Qué debe hacerse para reparar la falla.

Las fuentes e información sobre modos y efectos de falla pueden ser proporcionadas por: El fabricante o vendedor del equipo, Lista genérica de modos de falla, otros usuarios del mismo equipo, las personas que operan y mantienen el equipo. (Milton, 2016) (Moubray IV J., 2004, pp. 56-93)

5.1.5.7. CONSECUENCIAS DE LAS FALLAS

El impacto del fallo depende del contexto operacional del equipo, de los parámetros de funcionamiento y de los efectos físicos de cada modo de falla. Esta combinación significa que cada fallo tiene un conjunto de consecuencias específicas asociadas a cada falla.

Si las consecuencias son importantes, ya sea por posibles daños físicos, personales, medioambientales o de producción se deberán hacer importantes esfuerzos para prevenir el fallo o como mínimo para ser capaces de anticiparse y así reducir o eliminar sus consecuencias.

Las consecuencias pueden ser de diversa índole. RCM clasifica las consecuencias de los fallos como sigue:

Consecuencias ocultas o no evidentes: son las consecuencias asociadas a fallos ocultos, que exponen a las instalaciones a otros fallos cuyas consecuencias son importantes, los activos físicos funcionan en casos de emergencia con funciones de seguridad, sus fallos tienen consecuencias ocultas, ya que solamente cuando tienen que funcionar se presenciara la consecuencia.

Consecuencias evidentes; pudiendo ser:

- Consecuencias para la seguridad y el medio ambiente.
- Consecuencias operacionales: Un fallo tiene consecuencias operacionales si afecta a la operación del activo en cuanto a capacidad, calidad o costes. Incluyendo aquellas consecuencias que tienen repercusiones económicas de otra índole como indemnizaciones, multas, etc.
- Consecuencias no operacionales. Su único gasto directo es la reparación. Evaluando este costo de reparación y el de aplicar una política de mantenimiento preventivo, podrá tomarse la opción menos costosa.

(Milton, 2016)

5.1.5.8. LAS TAREAS DE MANTENIMIENTO SEGÚN RCM

Dentro de la concepción general del RCM se consideran diferentes tipos de formas de enfrentar los diversos modos de fallos. En lo fundamental a estas formas de enfrentamiento a las consecuencias de los modos de fallos se dividen en tareas proactivas y alternativas.

En la figura 1-2 se puede observar un despliegue de ellas. Dentro de las tareas proactivas se encuentran la predictiva según la condición y preventiva. Esta última considera a su vez dos variantes que son la sustitución cíclica y la restauración cíclica.

Como parte de las tareas alternativas se cuenta con el trabajo hasta el fallo, la modificación y la búsqueda de fallos. Es importante destacar que la modificación puede ser física en el sistema o cambios en los procedimientos de operación y/o mantenimiento.

Las tareas principales y preferidas de un proceso RCM son las tareas predictivas y según la condición. Según la norma EN 13306 (2003), el mantenimiento según condición es aquel mantenimiento preventivo basado en el monitoreo del desempeño de un sistema o de parámetros

significativos para su funcionamiento y sobre el control de alertas consecuentemente determinadas.

El mantenimiento predictivo es considerado en la misma norma, como mantenimiento según condición seguido de un pronóstico derivado del análisis y de la sucesiva evaluación de parámetros significativos relacionados con el deterioro del sistema que se analiza.

La práctica más extendida es la de llegar a la primera fase del mantenimiento predictivo que es el **mantenimiento según condición. Pocos en el mundo pueden demostrar una afiliación a la práctica** precisa del mantenimiento predictivo. (Milton, 2016) (Sexto, 2004, p. 3)

5.2. ESTADO DEL ARTE

Local:

En el año 2010, en la Universidad ECCI sede Bogotá D.C en el programa de posgrados Especialización Gerencia de Mantenimiento, los Ingenieros Lopez Leidi y Ballesteros Fidel, presentaron un Plan de Mantenimiento Preventivo para la Flota de Vehiculos de la Empresa Tracto Carga, donde llevaron a cabo el desarrollo de un plan de mantenimiento preventivo que diera como resultado el beneficio de disponibilidad, confiabilidad y reducción tanto de costos como de tiempos muertos durante la operación, todo esto fue útil para presentar una propuesta e implementarla en toda la flota de vehículos de la compañía.

En el año 2011, en la Universidad ECCI sede Bogotá D.C en el programa de posgrados Especialización Gerencia de Mantenimiento, los Ingenieros Pimiento Páez Juan Camilo, Garcia John Alejandro, Prieto Garzón Iván Fernando, presentaron un Modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para una maquina prensa para fabricación de clavos en una empresa manufacturera, donde definieron actividades y parámetros basados en el RCM a un activo enfocado en el prensado para la elaboración de clavos con el fin de garantizar a la compañía incremento en la disponibilidad y confiabilidad en sus máquinas, además de servir como prototipo para replicar este modelo en diferente áreas y procesos de la organización.

En el año 2012, en la Universidad ECCI sede Bogotá D.C en el programa de posgrados Especialización Gerencia de Mantenimiento, la ingeniera Rodríguez Rodríguez Nelcy Yaneth; presento una propuesta de un plan de mantenimiento basado en estrategias de RCM para los sistemas de seguridad electrónica de radio bases de telefonía móvil; donde definieron un plan de mantenimiento útil para empresas operadoras de servicios de telefonía móvil, donde buscan tener una confiabilidad alta en sus radio bases, todo esto mediante estrategias de RCM, para detectar fallas en los sistemas electrónicos de seguridad, realizar su análisis, causas de las mismas y proceder determinar actividades de mantenimiento, que permitan incrementar ahorros en la

compañía por la eliminación de fallas y tener la seguridad de ofrecer un servicio de calidad a sus clientes.

En el año 2013, en la Universidad ECCI sede Bogotá D.C en el programa de posgrados Especialización Gerencia de Mantenimiento, los ingenieros Cortes García Carlos Andrés y Rodríguez Corredor Jefferson Eduardo; presentaron una propuesta para un plan de mantenimiento preventivo para un retroexcavadora Caterpillar 320D; donde planearon y realizaron propuestas para controlar la operación de maquinaria amarilla, donde garanticen mantenibilidad y funcionamiento de motor, tren de fuerza, sistema hidráulico, tuberías, mangueras, todas las partes integrales de la maquinaria que no poseen un plan específico de mantenimiento, con el fin de mejorar el nivel de confiabilidad de estos equipos y alargar su ciclo de vida, evitando paradas no programadas.

En el año 2013, en la Universidad ECCI sede Bogotá D.C en el programa de posgrados Especialización Gerencia de Mantenimiento, los ingenieros Torres Segura Sandra Milena y Villadiego Payares Samir Antonio, presentaron una monografía RCM Metodología Estructural de Fallas para el Activo “Gruas OHV”, donde evidencian el comportamiento del activo que presenta una baja confiabilidad en la operación, para realizar mejora en este activo proponen realizar el proceso sistemático RCM para determinar las actividades que deben realizar para incrementar confiabilidad y optimizar el plan de mantenimiento que tenía este equipo antes de la implementación.

Nacional:

En el año 1991, para el SENA la empresa Fedemetal de Bogotá, realizó un Manual de mantenimiento; Este manual establece conceptos sobre los diferentes tipos de mantenimiento que se pueden realizar al interior de una compañía, cuya aplicación es necesaria en los procedimientos que se llevarán a cabo en la presente investigación siendo un aporte importante para la misma.

En el año 2010, los ingenieros Olarte William, Botero Marcela, Cañon Benhur de la Universidad Tecnológica de Pereira Colombia, realizan un artículo científico, el cual describe conceptos claros sobre las diferentes técnicas de mantenimiento predictivo que se pueden realizar a maquinaria industrial, donde se identifican ventajas y principales aplicaciones, que pueden ser útiles para el desarrollo de la presente investigación y el desarrollo de un plan de mantenimiento efectivo, aportando tareas que pueden realizar basadas en condición,.

En el año 2014, el ingeniero Arenas Arce Leandro de la Universidad Tecnológica De Pereira. Colombia, desarrollo el Diseño Y Construcción De Un Equipo De Pruebas Para El Estudio Del Golpe De Ariete En Tuberías Rectas; Este proyecto describe el paso a paso para el desarrollo de puesta en marcha de una máquina para prueba de golpe de ariete en tuberías rectas, diseño y construcción que permitirán; esto permitirá identificar aspectos importantes en el momento de implementar un plan de mantenimiento, en cuanto a los conjuntos y subconjuntos funcionales.

En el año 2013, los ingenieros Castaño Ríos Carlos Eduardo y Arias Pérez José Enrique; en la Universidad Libre Cali, Colombia, realizaron un artículo el cual describe el Análisis Financiero Integral De Empresas Colombianas 2009-2010: para la revista Perspectivas De Competitividad Regional Entramado; en presente artículo se le analizan diferentes sectores de la industria colombiana distribuidas por regiones, generando así un panorama de competitividad al presente proyecto, dado que las empresas hoy en día tiene que ser cada vez mas rentables.

En el año 2001; el economista Cuevas Villegas Carlos Fernando, en la Universidad Icesi Cali, Colombia; realizo una Medición Del Desempeño: Retorno Sobre Inversión, Roi; Ingreso Residual, Ir; Valor Económico Agregado, Eva; Análisis Comparado. Estudios Gerenciales, la cual permite basar conceptos claves en la parte financiera del ROI presente en dicho trabajo de investigación, aportando ejemplos claros de costos directos, indirectos, gastos, pasivos y demás conceptos financieros, todo esto enfocado a realizar el cálculo más acertado del ROI, para que esta propuesta tenga un sentido Gerencial.

Internacional:

En el año 2005, en la Universidad De Buenos Aires, los ingenieros Luis e. Pérez Farrás y Adolfo Guitelman, realizaron una catedra sobre construcciones hidráulicas con un estudio transitorio del fenómeno del golpe de ariete; en dicha catedra se proponen ecuaciones para el cálculo de dicho fenómeno en tuberías, para los cuales propone varios métodos de atenuación; de dicha catedra se relacionan los conceptos de que es el fenómeno de golpe de ariete y en qué condiciones se da este fenómeno.

En el año 2008, en la escuela universitaria Técnica Agrícola de Ciudad Real de Cuba, en una catedra de ingeniería rural, se presentó una investigación del fenómeno de golpe ariete, en dicha investigación se proponen las respectivas fórmulas para calcular dicho fenómeno, a nuestra investigación apporto las diferentes formas que hay para prevenir o disminuir este fenómeno en las diferentes tuberías.

En el año 2010, en el Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría Ciudad de La Habana, Cuba, el ingeniero Sánchez Rodríguez Ángel, realizo una revista tecnológica; en la cual se hace relevancia a la gestión de los activos físicos desde el área de mantenimiento, esto con el fin de involucrar a las partes interesadas de empresa, permitiendo mantener un óptimo desempeño y función del activo a lo largo de su ciclo de vida; estableciendo indicadores que incluyan los aspectos organizacionales.

En el año 2016, en la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo. Riobamba – Ecuador, el ingeniero Milton Orlando, Barragán Erazo, Diseño De La Estrategia Basada En Mantenimiento Centrado En La Confiabilidad Para Activos Físicos Críticos De Refinería Shushufindi, la cual se basa en la aplicación de la metodología de RCM2, realizando el levantamiento de información a través de manuales, método de observación en campo e internet, esto permite entender los diferentes métodos aplicados en la industria para la recolección de información de máquinas las cuales no cuentan con un plan de mantenimiento, contribuyo a referenciación de los diferentes modos de falla y falla funcionales necesarias para la hoja de información del RCM2 desarrollado en la presente investigación.

En el año 2016, en la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo. Riobamba – Ecuador, el ingeniero Villacrés Parra Sergio Raúl, realizo el Desarrollo De Un Plan De Mantenimiento Aplicando La Metodología De Mantenimiento Basado En La Confiabilidad (RCM) Para El Vehículo Hidrocleaner Vactor M654 De La Empresa Etapa Ep, este desarrollo plantea estructuradamente la evaluación de criticidad para un grupo de activos en este caso la flota de vehículos de la empresa de caso estudio; esta aplicación de la evaluación de criticidad, se desarrollara en el presente trabajo como soporte para enfocar los esfuerzos.

5.3. MARCO LEGAL

NTC 5441 17-04-2013 CONECTORES FLEXIBLES PARA AGUA; Esta norma técnica permitirá delimitar los parámetros básicos que tiene que cumplir la maquina en su diseño original y aplicación en su debido funcionamiento.

6. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Existen diversos tipos de investigación, se nombraran a continuación para conocer las características de cada tipo y así definir cuál investigación es la que más se acomoda a nuestro proyecto.

Tabla 3. Tipo de investigación

TIPOS DE INVESTIGACIÓN	CARACTERÍSTICAS
HISTÓRICA	analiza eventos del pasado y busca involucrarlos con otros del presente
DOCUMENTAL	Analiza la información escrita sobre el tema objeto de estudio.
DESCRIPTIVA	reseña rasgos , cualidades o atributos de la población objeto de estudio
CORRELACIONAL	mide grado de relación entre variables de la población estudiada
EXPLICATIVA	da razones del por qué los fenómenos , analiza una unidad específica del universo
ESTUDIOS DE CASO	recoge información del objeto de estudio en oportunidad única , compara los datos obtenidos en diferentes oportunidades o momentos de una misma población con el propósito de evaluar cambios
EXPERIMENTAL	analiza el efecto producido por la acción o manipulación de una o as variables que son independiente sobre otras que son independientes

Fuente: www.ecci.edu.com.co

Por consiguiente el tipo de investigación que se realizará es documental porque realiza una descripción del caso estudio en particular. Con este tipo de investigación nos permitirá obtener información sobre las intervenciones de mantenimiento, tiempo de intervención acerca de la máquina y analizarla para que sea transformada en oportunidades de mejora que involucra al personal de ingenieros, supervisores y técnicos especializados.

En el desarrollo de la investigación se obtuvo que este módulo de prueba de golpe de ariete; presenta fallas afectado la liberación del producto, esto se presenta por la ausencia de un plan de mantenimiento, por lo cual actualmente se aplica mantenimiento correctivo para dar una solución temporal, agregando un costo adicional. Se realizó la investigación con la recolecciones de las respectivas intervenciones, involucrando repuestos instalados y el personal que ejecuto la

actividad; para generar una propuesta de un plan de mantenimiento que permita aumentar la confiabilidad de dicha máquina.

7. MARCO METODOLÓGICO

7.1. RECOLECCIÓN DE DATOS

La presente investigación se describe de tipo cuantitativo de un caso específico, partiendo de la necesidad de poder obtener los datos que permitan analizar el módulo de prueba de golpe de ariete, por lo cual se valoran los siguientes aspectos:

- Se realizara una recolección y recopilación de datos desde Enero del 2016 a Septiembre 2016, de la base de datos de la empresa Sodexo S. A, la cual permitirá identificar que familia de activos asignada a Sodexo para su mantenimiento a invertido más recursos financieros visto desde la perspectiva de mano de obra.
- Recolección y recopilación de datos desde Enero del 2016 a Septiembre 2016 de los costos de las horas hombre que se han invertido en el área denomina laboratorio de pruebas a producto: Esto con el fin de identificar que activo es el que más se ha invertido recurso técnico.
- Recopilación de datos de registrados en el SGA(sistema de gestión de averías), de la empresa, con el fin de determinar tiempos de parada del activo golpe de ariete y tiempo de intervenciones para reparar,
- Para la identificación de dicha maquina Golpe de ariete; se aplicara una técnica de observación y documentación, lo cual permitirá realizar la inspección al activo identificando los diferentes sistemas y subsistemas funcionales; permitiendo se realizar una hoja de información de RCM2 que permitirá describir los diferentes modos de falla (AMFE).

7.2. ANÁLISIS DE DATOS

Se realiza un análisis cuantitativo de los datos recopilados generando como resultado los siguientes reportes:

1. Sodexo S. A actualmente presta servicio de mantenimiento industrial a una empresa del sector de producción de plásticos la cual asigno a Sodexo 377 activos distribuidos en 12 familias de equipo; realizando un análisis por familia de equipos y relacionando cantidad de equipos por familia de equipo se evidencia que el laboratorio de pruebas es la familia e la segundo familia a la que más se ha invertido recurso financiero traducido de mano de obra.

Tabla 4. Activos asignados a Sodexo distribuido por familia de equipos.

Familia Equipos	Cuenta de Equipo
CALENTADORES	51
CHILLER	30
ESTIBADORES	42
EXT GAS GAL	10
EXT. HUMO METAL	6
EXT.POLVO METAL	25
LABORATORIO	23
MOLINOS	38
POLIPASTOS	12
SELLADORAS	54
STREI	80
TOLVAS	6
Total general	377

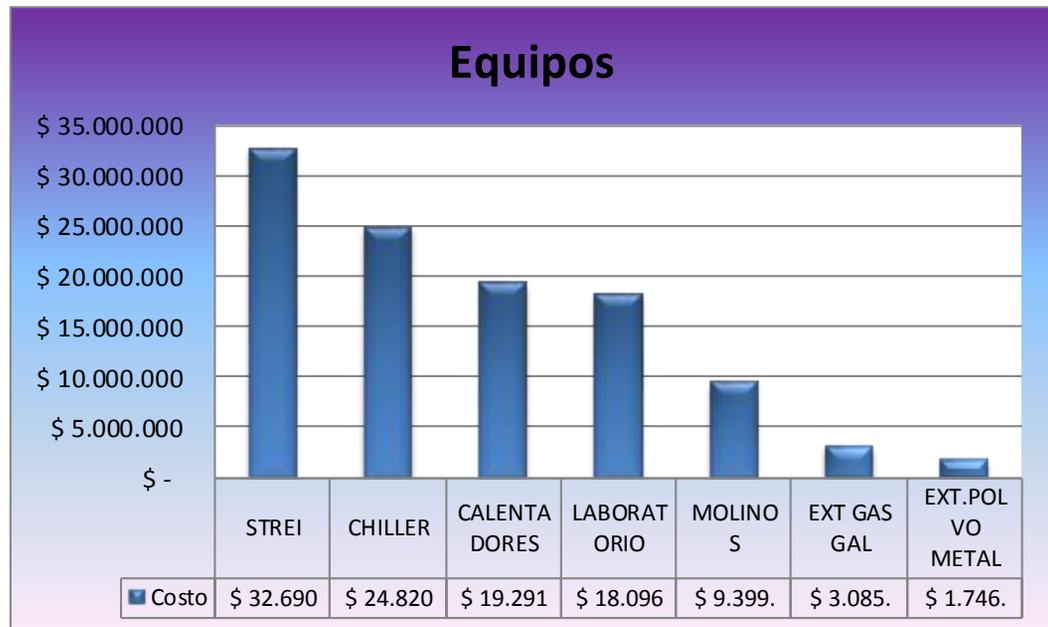
Fuente: SODEXO S-A 2016.

Realizado por: MALAGÓN, MARTINEZ, 2016

Figura 1.Costos por familia de equipos.

Costos Enero- Septiembre 2016

Equipos	Costo	# Equip
STREI	\$ 32.690.926	80
CHILLER	\$ 24.820.580	30
CALENTADORES	\$ 19.291.379	51
LABORATORIO	\$ 18.096.239	23
MOLINOS	\$ 9.399.203	38
EXT GAS GAL	\$ 3.085.533	42
EXT.POLVO METAL	\$ 1.746.711	10
TOLVAS	\$ 868.555	6
POLIPASTOS	\$ 752.084	12
SELLADORAS	\$ 108.553	54



Fuente: SODEXO S-A 2016.

Realizado por: MALAGÓN, MARTINEZ, 2016

2. Realizando la tabulación de los datos obtenemos como resultado que equipo de familia denominada laboratorio de pruebas que más se ha invertido recurso técnico por parte de Sodexo S. A actualmente es el Golpe de ariete marcado con el código MP 348-044.

Tabla 5. Costos Activos del Laboratorio de pruebas a producto.

Codigo MI	Suma de COST	Suma de (H/Hom) Ejecuta	Averias acumuladas
348-044	\$ 5.204.634	178,5	38
348-002	\$ 3.587.796	111,5	13
348-001	\$ 2.959.593	120,5	2
348-006	\$ 1.351.129	46	2
348-003	\$ 1.253.665	52,5	5
348-011	\$ 1.033.451	38,5	3
348-005	\$ 784.209	25,5	8
348-009	\$ 554.079	25,5	2
348-020	\$ 412.963	16,5	0
348-036	\$ 249.906	11	1
348-004	\$ 189.364	8	1
348-034	\$ 137.057	6	3
348-012	\$ 110.733	5	0
348-013	\$ 90.951	4	0
348-016	\$ 90.951	4	0
348-043	\$ 85.758	3,5	1
	\$ 18.096.239	656,5	

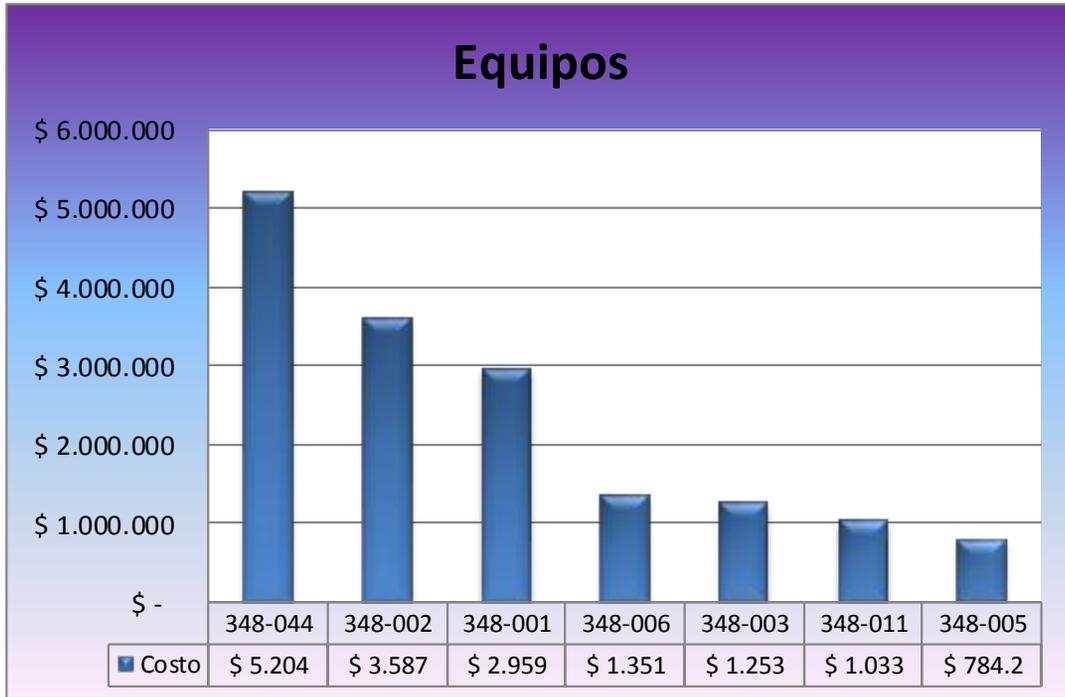
Fuente: SODEXO S-A 2016.

Realizado por: MALAGÓN, MARTINEZ, 2016

Figura 2.Costos de activos de familia de equipos laboratorio de pruebas.

Costos de Equipos laboratorio Diciembre 2015- septiembre 2016

Equipos	Costo
348-044	\$ 5.204.634
348-002	\$ 3.587.796
348-001	\$ 2.959.593
348-006	\$ 1.351.129
348-003	\$ 1.253.665
348-011	\$ 1.033.451
348-005	\$ 784.209



Fuente: SODEXO S-A 2016.

Realizado por: MALAGÓN, MARTINEZ, 2016

Analizando los datos del sistema del SGA (sistema de gestión de averías) de la empresa se obtienen los tiempos de MTBF y MTTR; de la maquina golpe de ariete, estos están distribuidos por mes teniendo en cuenta que la operación de esta máquina es de 24 horas diarias los 7 días de la semana.

Tabla 6.MTBF Maquina Golpe de Ariete.

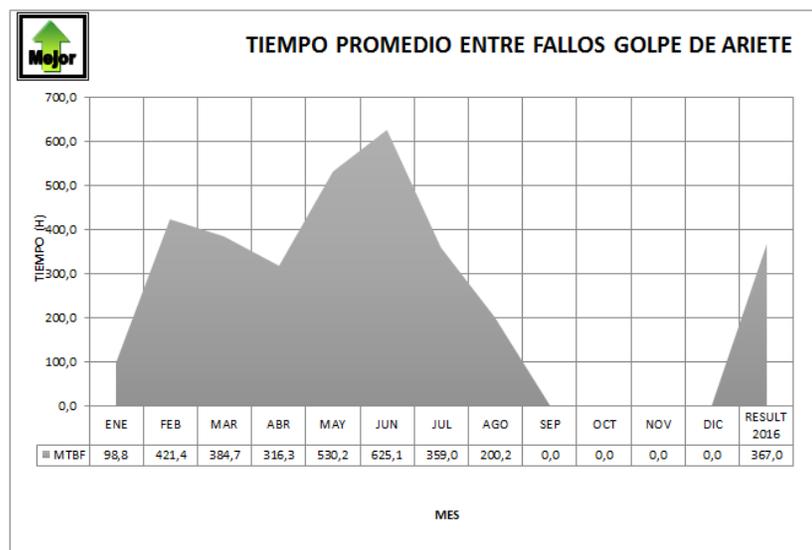
PLANTA	HORAS MES	Nº AVERIAS	MTBF
ENE	730	4	98,8
FEB	744	1	421,4
MAR	696	2	384,7
ABR	744	3	316,3
MAY	744	1	530,2
JUN	720	1	625,1
JUL	744	8	359,0
AGO	744	18	200,2
SEP	720		
OCT	744		
NOV	720		
DIC	744		
RESULT 2016	733	5	367,0

Fuente: SODEXO S-A 2016.

Realizado por: MALAGÓN, MARTINEZ, 2016

Cada 15 días en promedio falla la maquina golpe de ariete para el año 2016

Figura 3.Grafica MTBF Golpe de Ariete.



Fuente: SODEXO S-A 2016.

Realizado por: MALAGÓN, MARTINEZ, 2016

Tabla 7.MTTR Maquina Golpe de Ariete.

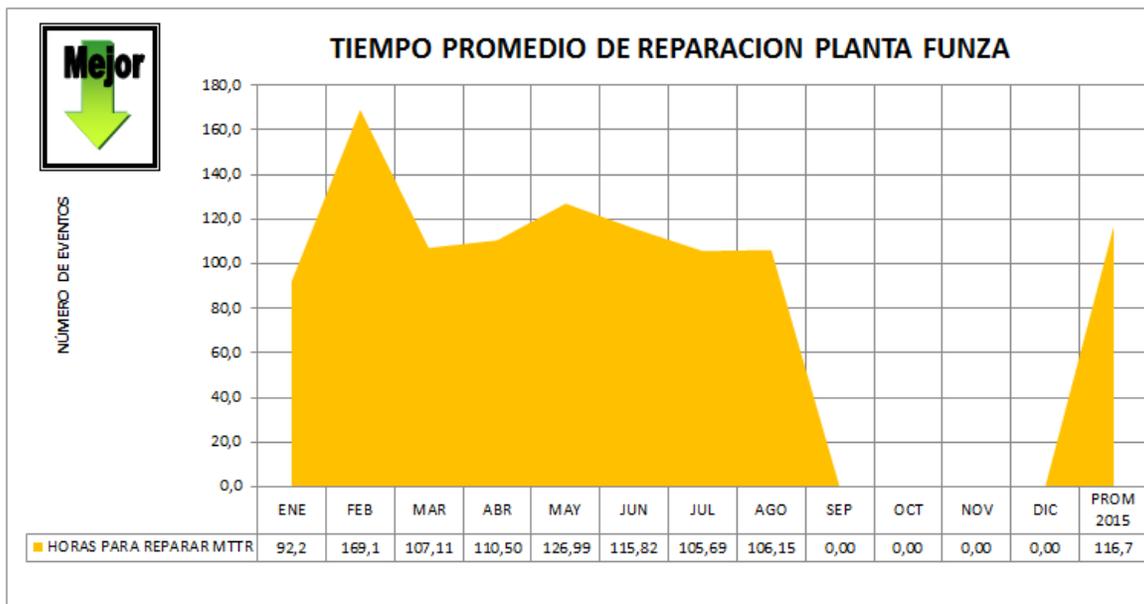
TOTAL MANTENIMIENTO	BLOQUE DE AVERIAS (HORAS)	NUMERO DE AVERIAS (EVENTOS)	HORAS PARA REPARAR MTTR
ENE	369	4	92,2
FEB	246	1	169,1
MAR	120	2	107,11
ABR	221	3	110,50
MAY	156	1	126,99
JUN	89	1	115,82
JUL	145	8	105,69
AGO	392	18	106,15
SEP			
OCT			
NOV			
DIC			
PROM 2016	217	5	116,7

Fuente: SODEXO S-A 2016.

Realizado por: MALAGÓN, MARTINEZ, 2016

En promedio en la empresa se requieren 5 Días para reparar una avería que se le presenta a la maquina golpe de ariete.

Figura 4.Grafica MTTR Golpe de Ariete.



Fuente: SODEXO S-A 2016.

Realizado por: MALAGÓN, MARTINEZ, 2016

7.3. PROPUESTA DE SOLUCIÓN

Aplicar la metodología RCM2 que se basa en la confiabilidad, según los criterios de la norma SAE-JA 1011, esto con el fin de obtener la información necesaria de para diligenciar la hoja de información, con la cual se describirán los modo de falla con sus efectos; la finalidad definir la base de la propuesta del plan de manteniendo.

7.3.1. ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Se utilizó esta herramienta para identificar, evaluar y priorizar los esfuerzos para aplicar la metodología del RCM2; esto permitió el direccionamiento adecuado del activo al cual se requirió mejorar su confiabilidad, basado en una realidad actual.

Para este análisis de criticidad se evaluaron seis criterios los cuales, fueron analizados por cuatro personas que están involucrados directamente con el laboratorio de pruebas de producto; se realizó a través de una encuesta cuantitativa, se aplicaron para los cuatro activos que han presentado mayores fallas acumuladas para el año 2016.

Las personas que realizaron dicha en cuenta de criticidad fueron:

1. Facilitador de producción encargado del laboratorio de producto.
2. Facilitador de mantenimiento.
3. Técnico líder encargo de activos del laboratorio de pruebas.
4. HSEQ plata Sodexo.

Los criterios que se tuvieron en cuenta para este análisis de criticidad fueron.

1. FRECUENCIA DE FALLA. (Todo tipo de Falla)
2. TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR. (MTTR).
3. IMPACTO SOBRE LA PRODUCCIÓN
4. COSTO DE REPARACIÓN (Millones de Pesos)
5. IMPACTO AMBIENTAL.
6. IMPACTO EN LA SALUD Y SEGURIDAD PERSONAL

Para cada criterio se tiene una valoración cuantitativa la cual está representada según el impacto percibido por la persona encuestada, esta percepción está sujeta a datos que se recolectaron y criterio de persona en particular.

Tabla 8. Criterios para evaluación de criticidad.

Organización Evaluada: Sodexo S.A

Fecha 01-oct-16

Nombre del Funcionario que Diligencia: Mayerly Matinez / Diego Malagon

Área: Laboratorio de prodcuto

	1. FRECUENCIA DE FALLA. (Todo tipo de Falla)		2. TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR. (MTTR).
1	No más de 1 por año	1	Menos de 4 horas
2	Entre 2 y 15 por año	2	Entre 4 y 8 horas
3	Entre 16 y 30 por año	3	Entre 8 y 24 horas
4	Entre 31 y 50 por año	4	Entre 24 y 48 horas
5	Más de 50 por año (Más de una parada semanal)	5	Más de 48 horas

	3. IMPACTO SOBRE LA PRODUCCION		4. COSTO DE REPARACION (Millones de Pesos)
5%	No afecta la operación.	3	Menos de 1 millon de pesos
25%	25 % de impacto.	5	Entre 1 y 3 millones de pesos
50%	50% de impacto.	10	Entre 3 y 15 Millones de Pesos
75%	75% de impacto.	25	Entre 15 y 35 millones de pesos
100%	La impacta totalmente.	50	Más de 35 Millones de pesos

	5. IMPACTO AMBIENTAL.		6 IMPACTO EN LA SALUD Y SEGURIDAD PERSONAL.
0	No origina ningún impacto ambiental.	0	No origina heridas ni lesiones.
5	Contaminación ambiental baja, el efecto se manifiesta en un espacio reducido dentro de los límites de la planta.	5	Puede originar lesiones o heridas leves no incapacitantes.
10	Contaminación ambiental moderada, no rebasa los límites de la planta.	10	Puede ocasionar lesiones o heridas graves con incapacidad temporal entre 1 y 30 días.
25	Contaminación ambiental alta, incumplimiento de normas, quejas de la comunidad. Procesos sancionatorios.	25	Puede ocasionar lesiones con incapacidad superior a 30 días o incapacidad parcial permanente.

Fuente: Rojas. Nelson (2016). Gerencia Mtto II: Análisis de criticidad, Clases RCM2; Bogotá

Realizado por: MALAGÓN, MARTINEZ, 2016

Se realiza el respectivo diligenciamiento de la encuesta de criticidad, a las personas involucradas con el proceso de pruebas de laboratorio de producto.

Tabla 9. Encuesta evaluación de criticidad

	ASPECTO DE EVALUACION	Facilitador produccion	Facilitador Mtto	Tecnico Mecanico	Hseq Sodexo	NUMERO DE FALLAS EN EL ÚLTIMO AÑO	PROMEDIO	CRITICIDAD
348-005	1. FRECUENCIA DE FALLA. (Todo tipo de Falla)	3	2	2	2	8	2,3	92,3
	2. TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR. (MTTR).	3	2	2	2		2,3	
	3. IMPACTO SOBRE LA PRODUCCION	0,75	0,50	0,25	0,25		3,5	
	4. COSTO DE REPARACION (Millones de Pesos)	5	5	3	3		4,0	
	5. IMPACTO AMBIENTAL.	5	0	5	10		5,0	
	6 IMPACTO EN LA SALUD Y SEGURIDAD PERSONAL.	5	5	5	10		6,3	
348-002	1. FRECUENCIA DE FALLA. (Todo tipo de Falla)	4	2	2	2	13	2,5	108,6
	2. TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR. (MTTR).	4	2	2	2		2,5	
	3. IMPACTO SOBRE LA PRODUCCION	0,75	0,50	0,25	0,25		5,7	
	4. COSTO DE REPARACION (Millones de Pesos)	5	5	3	3		4,0	
	5. IMPACTO AMBIENTAL.	5	0	5	10		5,0	
	6 IMPACTO EN LA SALUD Y SEGURIDAD PERSONAL.	5	5	5	10		6,3	
348-044	1. FRECUENCIA DE FALLA. (Todo tipo de Falla)	5	5	5	2	38	4,3	239,4
	2. TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR. (MTTR).	3	4	4	2		3,3	
	3. IMPACTO SOBRE LA PRODUCCION	0,75	0,75	0,75	0,25		23,8	
	4. COSTO DE REPARACION (Millones de Pesos)	5	3	5			4,3	
	5. IMPACTO AMBIENTAL.	5	0	0	5		2,5	
	6 IMPACTO EN LA SALUD Y SEGURIDAD PERSONAL.	10	10	10	10		10,0	
348-003	1. FRECUENCIA DE FALLA. (Todo tipo de Falla)	3	2	2	2	5	2,3	104,6
	2. TIEMPO PROMEDIO PARA REPARAR. (MTTR).	3	2	2	2		2,3	
	3. IMPACTO SOBRE LA PRODUCCION	0,75	0,50	0,25	0,25		2,2	
	4. COSTO DE REPARACION (Millones de Pesos)	3	3	3	3		3,0	
	5. IMPACTO AMBIENTAL.	5	5	5	10		6,3	
	6 IMPACTO EN LA SALUD Y SEGURIDAD PERSONAL.	5	5	5	10		6,3	

Fuente: Rojas. Nelson (2016). Gerencia Mtto II: Análisis de criticidad, Clases RCM2; Bogotá
Realizado por: MALAGÓN, MARTINEZ, 2016

Se tiene como resultado que el activo 348-044 (golpe de ariete), el de mayor criticidad, esto ratifica el enfoque de los recursos necesarios para aumentar la confiabilidad de dicho activo de la empresa caso estudio.

Figura 5. Grafica de criticidad Activos



Fuente: Rojas. Nelson (2016). Gerencia Mtto II: Análisis de criticidad, Clases RCM2; Bogotá
Realizado por: MALAGÓN, MARTINEZ, 2016

7.3.2. ANÁLISIS DE FUNCIÓN Y MODOS DE FALLA

Para dicho análisis se utilizó el formato de decisión que fue explicado por el ingeniero Nelson Rojas; este formato permite realizar la evaluación respondiendo las siguientes preguntas del RCM2:

- ¿Cuáles son las funciones y respectivos estándares de desempeño de este bien en su contexto operativo presente?
- ¿En qué aspecto no responde al cumplimiento de sus funciones?
- ¿Que ocasiona cada falla funcional?
- ¿Qué sucede cuando se produce cada falla en particular?

Se determina la función principal para la cual fue diseñada la máquina, para este caso para realizar el golpe de ariete de dicha función esta resumida: **Suministrar agua a una temperatura $82^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$, por 100000 ciclos a una presión de impulsos intermitentes, de tal manera que van de 75 psi ± 5 psi a 180 psi ± 5 psi, con un caudal 2 gpm $\pm 0,5$ gpm.**

De esta función principal se derivan las funciones secundarias como por ejemplo **Bomba no suministra Caudal mínimo de 1,5 gpm, presión de trabajo menor a 75 psi**, esta función secundaria se realiza un análisis de la causa de la falla y la consecuencia que genera al momento de presentar la falla.

Este análisis también permitirá crear una guía para la persona que realiza mtto a la maquina al momento de presentar una falla, dando así una gran probabilidad de encontrar el modo de falla más rápidamente; esto se puede realizar gracias a que este análisis se involucró al coordinador de mantenimiento, el operador de la máquina y el técnico.

Tabla 10. Hoja de información RCM2

		HOJA DE INFORMACIÓN RCM II		EQUIPO No: 348-044 Golpe de Ariete	Realizado: Martínez mayerly y Malgon Diego	Fecha: 21-oct-2016
FUNCIÓN	FALLA FUNCIONAL (pérdida de función)	MODO DE FALLA (Causa de la falla)	EFECTO DE FALLA (Que sucede cuando se produce una falla)			
1 Suministrar agua a una temperatura $82^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$, por 100000 ciclos a una presión de impulsos intermitentes, de tal manera que van de 75 psi ± 5 psi a 180 psi ± 5 psi, con un caudal $2 \text{ gpm} \pm 0,5 \text{ gpm}$	A	Bomba no suministra Caudal mínimo de 1,5 gpm, presión de trabajo menor a 75 psi.	1	Daño en impeler de bomba	Ruido interno de bomba no entrega caudal requerido	
			2	Daño en bobinado motor eléctrico de bomba	Motor Con ruido, exceso de temperatura de trabajo	
			3	Daño en sistema de transmisión mecánico Acople omega	Vibraciones altas, ruptura de acople flexible	
			4	Daño en rodamientos de Motor eléctrico	Ruido interno de bomba no entrega caudal requerido	
			5	Daño en rodamientos de bomba	Motor Con ruido, exceso de temperatura de trabajo	
			6	Daño en válvulas cheque de sistema hidráulico	Bomba trabaja en vacío, sin agua	
			7	Sello mecánico de bomba con fuga	Fugas de agua en el piso de maquinaria	
			8	Falla sistema eléctrico de control PLC	PLC envía señal de alarma por relé térmico	
			9	Falla en selector de bomba Marcha/ paro	Selector no acciona, botón dañado	
			10	Maquina no enciende	Selector de encendido General dañado, no energiza maquina	
			11	Falla en PLC, puerta abierta	Maquina se apaga; visualización falla sensor de puerta	
			12	Falla en relevo de arranque de motor de bomba	Motor de bomba no arranca	
			13	Falla en salida de PLC arranque de motor de bomba		
			14	Falla en entrada de PLC arranque de motor de bomba		
			15	Válvula de asiento inclinado de baja presión accionada	Presión menor a 75 psi en el manómetro	
			16	Válvula de mariposa en posición abierta total		
Temperatura de agua menor a 79°C	B	Temperatura de agua menor a 79°C	1	Daño de muletilla que energiza el controlador de temperatura	El controlador de temperatura no enciende	
			2	Daño en flotador de Nivel de agua	El controlador de temperatura no enciende; Nivel de agua de tanque bajo	
			3	Daño en bobina de contacto de alimentación energía resistencias	Agua con temperatura inferior a 75°C	
			4	Daño en relevo de alimentación energía resistencias	Agua con temperatura inferior a 75°C	
			5	Falla en salida de contacto seco Controlador de temperatura	Agua con temperatura inferior a 75°C	
			6	Falla en controlador de temperatura no enciende	Agua con temperatura inferior a 75°C ; Controlador de temperatura no enciende	
			7	Resistencias Averiadadas	Agua con temperatura inferior a 75°C ; n hay consumo de corriente en las resistencias; No hay continuidad en las resistencias	
			8	Conductores de energía a resistencias averiados	Agua con temperatura inferior a 75°C ; no hay voltaje en los bornes de las resistencias	
			9	Termopar averiado	Registro de controlador temperatura error termopar	
			10	Termopar con desajuste en lectura de temperatura	Registro de controlador temperatura errónea con desfase; verificar con termómetro manual	
Los impulsos de ciclajes No son intermitente; No eleva presión de agua a 180 psi.	C	Los impulsos de ciclajes No son intermitente; No eleva presión de agua a 180 psi.	1	Válvula de asiento inclinado de alta presión accionada constantemente	La presión en el manómetro no supera los 100 psi	
			2	Válvula de mariposa de desagüe en posición abierta total	Pilotos de zonas correspondientes no encienden	
			3	Avería en la muletilla de las zonas de pruebas	Pilotos de zonas correspondientes no encienden	
			4	Daño en relevos de alimentación energía electroválvulas monoestables 5/2	No realiza los ciclos intermitentes; las válvulas de asiento inclinado no accionan	
			5	Falla en salida de contacto PLC a los relevos de electroválvulas monoestables 5/2	No realiza los ciclos intermitentes; las válvulas de asiento inclinado no accionan; relevos no accionan	
			6	Falla en PLC, programación en modo error	No realiza los ciclos intermitentes; las válvulas de asiento inclinado no accionan; relevos no accionan.	
			7	Falla en cableado de PLC a relevos	No realiza los ciclos intermitentes; las válvulas de asiento inclinado no accionan; relevos no accionan; Cable sin continuidad	
			8	Electroválvulas 5/2 no dan paso de Aire	Zonas de pruebas sin llegada de agua; Ciclos No intermitente	
			9	Válvulas de asiento inclinado no accionan	Zonas de pruebas sin llegada de agua; Ciclos No intermitente	
			10	Falla en selector de bomba Marcha/ paro	Selector no acciona, botón dañado	
			11	Maquina no enciende	Selector de encendido General dañado, no energiza maquina	
			12	Falla en PLC, puerta abierta	Maquina se apaga; visualización falla sensor de puerta	
			13	Falla en relevo de arranque de motor de bomba	Motor de bomba no arranca	
			14	Falla en salida de PLC arranque de motor de bomba		
			15	Falla en entrada de PLC arranque de motor de bomba		

Continuación

	D	Realiza menos de 100000 mil ciclos.	1	Daño en relevos	No se evidencia presión de agua intermitente en los manómetros
			2	Daño en contador de ciclos	No se evidencia registro de ciclos realizados
			3	Daño de Guarda motor Principal	Maquina sin energía
			4	Programación de # ciclos incorrecta	Maquina termina ciclos programados
			5	Válvulas de asiento inclinado no accionan	No se evidencia presión de agua intermitente en los manómetros
			6	Nivel bajo de agua	Maquina se apaga, error de nivel bajo de agua
			7	PLC Detenido	Maquina se apaga, pantalla PLC apagada
	E	Realiza los 100000 mil ciclos pero la maquina sigue en pruebas.	1	Daño en contador de ciclos	La máquina indica Termino Prueba pero sigue en funcionamiento
			2	Programación de # ciclos incorrecta	
			3	PLC Falla en programación	
	F	No realiza ningun ciclo.	1	Daño de Guarda motor Principal	No se evidencia presión de agua intermitente en los manómetros;
			2	Breaker Principal Sin Corriente	No se evidencia presión de agua intermitente en los manómetros;
			3	PLC Falla en programación	No se evidencia presión de agua intermitente en los manómetros;
			4	Muletilla de Zonas no accionan	Pilotos de zonas no encendidos
			5	Válvula de asiento inclinado no accionan	Zonas de pruebas sin llegada de agua
			6	Electroválvulas 5/2 no dan paso de Aire	Zonas de pruebas sin llegada de agua
			7	Llave de alimentación de agua cerrada	Maquina se apaga, error de nivel bajo de agua
	G	Realiza ciclos solo en tres zonas de la maquina.	1	PLC Falla en programación	Se evidencia pilotos de zonas que no trabajan correctamente.
			2	Muletilla de Zonas no accionan	
			3	Válvula de asiento inclinado no accionan	
			4	Electroválvulas 5/2 no dan paso de Aire	
5			Daño en relevos		
H	No Se mantiene nivel de agua minimo para trabajo	1	Llave de alimentación de agua cerrada	Maquina se apaga, error de nivel bajo de agua	
		1	Sello mecánico de bomba con fuga	Fugas de agua en el piso de maquinaria	
		2	Válvulas de asiento inclinado con fuga	Fugas de agua en el piso de maquinaria	
		3	Tubería en Acero inox con fugas.	Fugas de agua en el piso de maquinaria	
		4	Daño en tanque de almacenamiento	Maquina se apaga, error de nivel bajo de agua	
I	Sistema no se auto Nivel de agua.	1	Llave de alimentación de agua cerrada	Maquina se apaga, error de nivel bajo de agua	
		2	Electroválvula de paso agua dañada		
		3	Sensor de Nivel Dañado		

Fuente: Rojas. Nelson (2016). Gerencia Mto II, Clases RCM2; Bogotá
Realizado por: MALAGÓN, MARTINEZ, 2016

7.3.3. EVALUACIÓN CONSECUENCIAS DE FALLA

Para dicha evaluación tiene como finalidad enfocar los esfuerzos para prevenir cada falla; evaluando dicha maquina golpe de ariete se obtuvo en total de 72 modos de falla, cada falla tiene una consecuencia diferente que se evaluarán en:

- Consecuencia de falla oculta
- Consecuencia en la seguridad y medio ambiente
- Consecuencia operacional; que afecta el producto o la imagen de la empresa
- Consecuencia no operacional.

Todas dichas consecuencias se traducen en gasto de tiempo y dinero para repararlas, pero una causa que tenga una consecuencia mayor o fatal, se tendrá que enfocar todos los esfuerzos y actividades para evitar que esta ocurra, mientras una falla que no genere una consecuencia trascendental se podrá tratar con actividades de inspección o rutinarias, esto se verá relegado y con mucho más sentido cuando se genere una orden de trabajo para cubrir un modo de falla específico ejemplo:

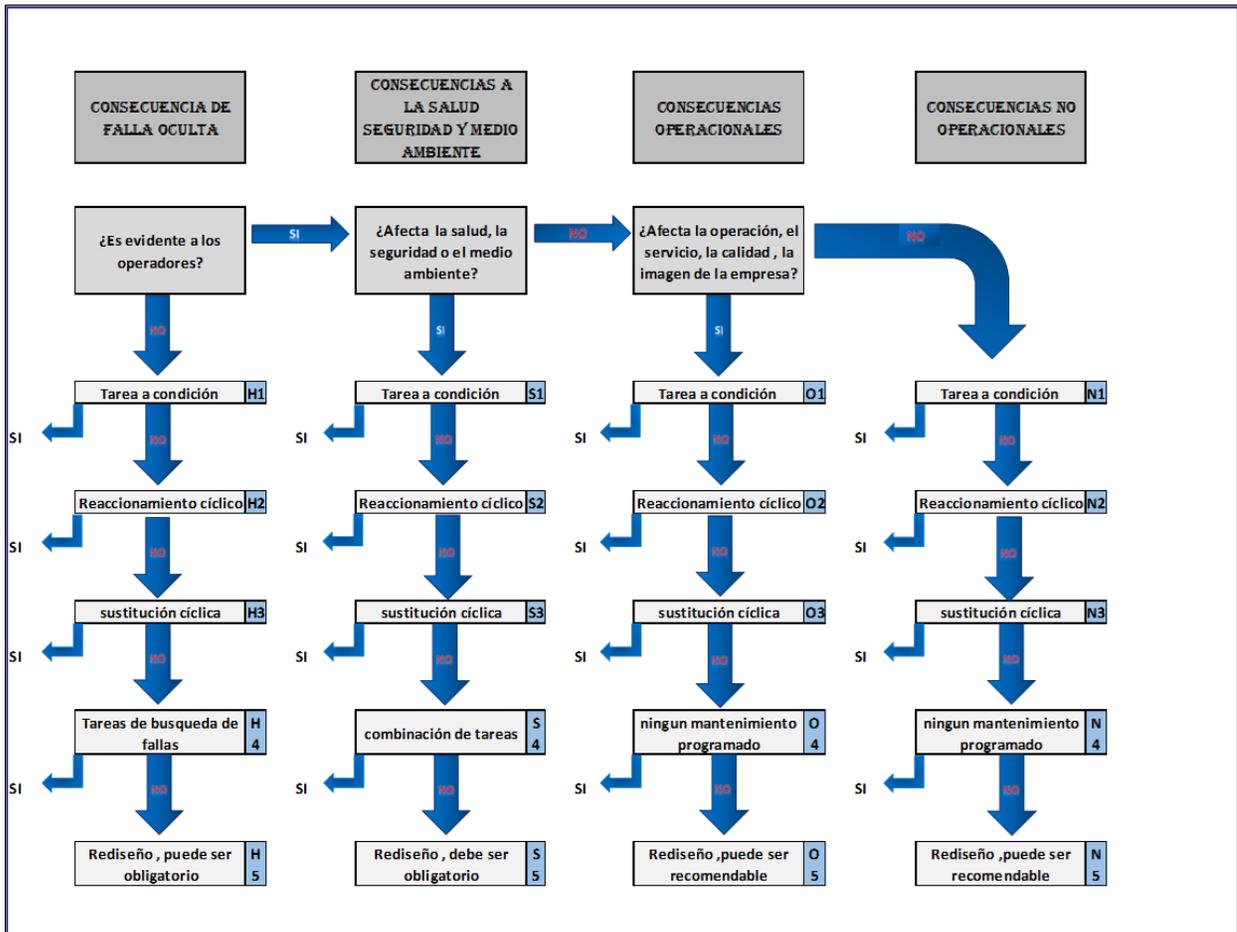
- Cambiar Rodamientos Motor 6206 2zr, Semestral, Técnico, 120 minutos.

Esta tarea traduce un tiempo considerable de intervención ya que la maquina debe estar detenida, pero al tener los repuestos y la mano de obra disponible esto es mucho más económico que dejar que el motor llegue a su falla funcional; esta falla genera una consecuencia no operacional en la cual se invertirá recurso adicional para reparar.

Esto es muy importante para nosotros como próximos Gerentes de Mantenimiento Generar valor agregado a las actividades que programamos siempre pensando en el ciclo de vida de nuestro activo y al mejor costo beneficio posible.

La evaluación también incluye un aspecto muy importante como lo es la frecuencia, dicha frecuencia de interrelacionada directamente al activo, el golpe de ariete está sujeta a su contexto operacional ya que este activo trabaja en base a ciclos intermitentes, eso hace que los elementos mecánicos sufran un mayor desgaste en su vida útil promedio.

Figura 6. Diagrama de Decisiones



Fuente: Rojas. Nelson (2016). Gerencia Mtto II: Clases RCM2; Bogotá
 Realizado por: MALAGÓN, MARTINEZ, 2016

Al realizar la respectiva evaluación de cada modo uno de los 72 modos de falla, se propone una tarea a realizar, con una frecuencia, responsable de su ejecución, duración aproximada y el estado en que tiene que estar la maquina; dicho estado está dividido en dos estados (detenido o en operación),

7.3.4. TAREAS PROPUESTAS CON SUS RESPONSABLES

Para dichas propuestas de tareas Se realiza el respectivo diligenciamiento de la hoja de decisión del RCM2, se realiza con el apoyo del técnico de Sodexo encargado del respectivo manteniendo de la máquina, también se realiza base a la hoja de información realizada en capítulo 7.3.2; en esta se determinan las tareas propuestas a realizar por cada modo de falla, teniendo en cuenta el responsable de su ejecución, duración estimada de dicha tarea, frecuencia con la cual se debe realizar y el estado de la maquina (Detenida o en operación).

Dichas actividades están catalogadas en:

- Tareas a Condición o mantenimientos predictivos
- Tareas de reacondicionamientos cíclicos o ajuste de partes; verificación de condiciones.
- Tareas de sustitución basadas en el tiempo
- Tareas de inspección rutinarias o búsqueda de fallas.

Dependiendo del tipo de tarea, se determina a que grupo pertenecen, esto es si se trata de una tarea proactiva, están dentro de las actividades de mantenimiento predictivo, que corresponde a tareas de condición, o a su vez pueden estar dentro de las actividades de mantenimiento preventivo a las que corresponde el reacondicionamiento cíclico y la sustitución cíclica.

De no encontrar una tarea adecuada se continúa en la búsqueda de las acciones a falta de, las cuales son las tareas de búsqueda de fallas, el rediseño obligatorio, o ningún mantenimiento programado, es decir trabajar hasta el fallo, estos datos se recopilan los en la hoja de decisión RCM2.

Realizando este ejercicio inicialmente se obtuvieron 89 tareas a realizar, la ventaja de realizar esta propuesta en el formato de hoja de Excel se puede evidenciar que varios modo de falla se pueden cubrir con la misma actividad, realizando esta verificación y coordinación, se obtiene como resultado 50 actividades; esto traduce menor recurso y menor tiempo de intervención haciendo referencia siempre a realizar más con menos y generar el mejor costo benéfico posible.

Tabla 11. Hoja de Decisión Golpe de Ariete

										HOJA DE DECISIÓN RCM II						EQUIPO No: 348-044 Golpe de Ariete	Fecha: 21-oct-2016	Realizado: Martinez mayerly y Malgon Diego
										Colaboración: Técnicos de Sodexo S.A								
Referencia de información			Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Tareas "a falta de"			Tareas Propuestas	Frecuencia inicial	A realizar por	DURACION TAREA (min.)	ESTADO DE LA MAQUINA	
F	FF	MF	H	SHE	O	N			H4	H5	S4							
1	A	8				x		N2				Ajuste De Contactos Eléctricos Tablero De Control Y Potencia	Trimestral	Técnico	60	Detenida		
	A	1				x	N1					Análisis De Vibraciones A Bomba Y Motor De Bomba	Semestral	Proveedor Externo	480	Operación		
	A	5				x		N3				Cambiar Rodamientos Bomba 6203 2zr	Semestral	Técnico	120	Detenida		
	A	4				x		N3				Cambiar Rodamientos Motor 6206 2zr	Semestral	Técnico	120	Detenida		
	H	2				x		N3				Cambio De Oring De Válvulas De Asiento Inclinado	Anual	Técnico	360	Detenida		
	A	7				x		N3				Cambio De Sello Mecánico De Bomba De 5/8 Largo	Semestral	Técnico	120	Detenida		
	B	2				x		N3				Cambio De Sensor De Nivel 90° De Conexión 1/8 Npt	Anual	Técnico	60	Detenida		
	A	6				x		N3				Cambio De Válvula Cheque 1 1/2 "	Anual	Técnico	60	Detenida		
	A	8				x					S4	Con Proveedor Externo Obtener Programación Plc	Anual	Coordinador Mtto	0	Operación		
	A	2				x					S4	Inspección Visual De Consumo Corriente	Diaria	Operador	5	Operación		
	B	2				x	N2					Prueba De Funcionalidad On/Off Sensor De Nivel	Trimestral	Técnico	20	Detenida		
	A	11				x	N2					Prueba De Funcionalidad On/Off Sensor Puerta	Trimestral	Técnico	20	Detenida		
	D	2				x	N2					Realizar Pruebas De Funcionalidad Contador De Ciclos	Trimestral	Técnico	45	Detenida		
	F	2				x	N2					Realizar Ajuste De Conexiones Eléctricas De Toma Corriente De Alimentación 440v	Trimestral	Técnico	30	Detenida		
	B	10				x	N2					Realizar Calibración De Termopar	Semestral	Metrología	360	Detenida		
	H	5				x	N2					Realizar Limpieza De Electroválvula De 1/2 Npt	Semestral	Técnico	45	Detenida		
	C	8				x	N2					Realizar Limpieza Interna De Electroválvulas	Semestral	Técnico	60	Detenida		
	F	5				x	N2					Realizar Lubricación De Válvulas Con Grasa Festo	Semestral	Técnico	120	Detenida		
	A	2				x	N2					Realizar Medición De Aislamiento De C/U Bobinas	Trimestral	Técnico	40	Detenida		
	B	7				x	N2					Realizar Medición De Consumo Y Medición De Resistencia.	Trimestral	Técnico	30	Operación		
	D	3				x	N2					Realizar Mediciones De Consumo Corriente Y Pruebas De Corto Circuito	Trimestral	Técnico	15	Detenida		
	C	1				x	N2					Realizar Nivelación De Aceite Neumático Unidad De	Trimestral	Técnico	15	Detenida		

Fuente: Rojas. Nelson (2016). Gerencia Mtto II, Clases RCM2; Bogotá

Realizado por: MALAGÓN, MARTINEZ, 2016

Para ver cada una de las tereas propuestas ver Anexo #1. Hoja de Decisión RCM2 golpe de Ariete.

Con la elaboración de dicha hoja concluye la propuesta de un plan de mantenimiento, involucrando a varios responsables, su tiempo estimado de duración y el estado en que va estar la maquina mientras se ejecuta dicha operación, este primer plan de mantenimiento cuenta con varias ventajas ya que involucra al áreas de producción que es la que más tiene contacto en el día a día de la operación de la máquina.

Tabla 12. Responsable de actividades

DURACION TAREA (min.).	ESTADO DE LA MAQUINA		
A realizar por	Detenida	Operación	Total general
Técnico	1930	60	1990
Proveedor Externo		480	480
Metrología	360		360
Ingeniero Mtto	60	60	120
Operador		40	40
Total general	2350	640	2990

Fuente: LOS AUTORES

Realizado por: MALAGÓN, MARTINEZ, 2016

Otro entregable que resulta impórtate es la frecuencia con la que va ser intervenida dicho activo que genera para de la misma; es muy interesante el resultado obtenido siendo 2350 minutos equivalentes a 39, 1 horas de intervención anuales, sabiendo que se incluye le cambio de componentes que aun están pendiente por definir su frecuencia de cambio. Esto hace fuerte la idea de ver el mantenimiento como una inversión.

Tabla 13. Frecuencias de actividades- Duración.

DURACION TAREA (min.).	ESTADO DE LA MAQUINA		
Frecuencia inicial	Detenida	Operación	Total general
Trimestral	485	40	525
Semestral	975	500	1475
Mensual	60		60
Diaria		40	40
Definir Mbc	350		350
Anual	480	60	540
Total general	2350	640	2990

Fuente: LOS AUTORES

Realizado por: MALAGÓN, MARTINEZ, 2016

8. FUENTES DE OBTENCIÓN DE LA INFORMACIÓN

8.1 FUENTES PRIMARIAS

Para llevar a cabo la implementación de este trabajo es necesario realizar una serie de entrevistas o encuestas al personal que desarrolla funciones donde se encuentra operando el activo, se verificara también hoja de vida del equipo e historial de fallas, donde finalmente se hará una recolección de todos estos datos, para ser analizados por el equipo de ingenieros encargados de implementar la metodología del RCM2, el equipo de mantenimiento incluido técnicos (mecánicos y eléctricos) y todo el personal que llevan a cabo funciones sobre el activo y que poseen un amplio conocimiento y experiencia del activo; esto en la empresa Sodexo S.A.

8.2 FUENTES SECUNDARIAS

Las fuentes secundarias utilizadas para realizar la propuesta de implementación del plan de mantenimiento son libros especializados en mantenimiento y metodología del RCM2, monografías desarrolladas por estudiantes de la Universidad ECCI, y diferentes tipos de artículos especializados en el tema a desarrollar con el fin de apoyar y profundizar cada uno de los puntos y objetivos a llevar a cabo en el presente trabajo.

9. ANÁLISIS FINANCIERO

Los costos para la implementación de esta propuesta están basados en los promedios de operación actualmente, del mantenimiento del activo y la implementación del equipo al que se quiere realizar un plan de mantenimiento para mejorar disponibilidad.

Tabla 14. Costos Implementación

ITEM	DESCRIPCION	UN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
1	PERSONAL				
1.1	Evaluación actual maquina Golpe de Ariete; correspondiente a 2 Ingenieros - 1 Tecnico, durante 8 horas/dia por 2 semanas para un total de 112 horas, costo hora Ingeniero \$35.000, Costo Hora Tecnico \$10.000	Hra	112	80.000	8.960.000
1.2	Recopilación de datos MTBF - MTTF maquina golpe de ariete; corresponde a 2 Ingenieros durante 8 horas/dia por 1 mes	Hra	192	70.000	13.440.000
1.2	Analisis de datos MTBF - MTTF; correspondiente a 2 Ingenieros, durante 8 horas/dia por 1 semana	Hra	48	70.000	3.360.000
1.3	Realizar analisis criticidad máquina golpe de ariete; correspondiente a 1 Tecnico (\$10.000), 1 Facilitador de Mantenimiento (\$20.000), 1 SISO (\$15.000), durante 8 horas; y 2 Ingenieros (\$35.000), durante 8 horas por 4 dias	Hra	40	115.000	2.600.000
1.4	Realizar analisis de datos de criticidad; correspondiente a 2 Ingenieros, por 8 horas/dia por 2 dias	Hra	16	70.000	1.120.000
1.5	Analisis función y modo de falla maquina golpe de ariete; correspondiente 2 Ingenieros (\$35.000) durante 8 horas/dia por 1 semana, 1 Tecnico (\$10.000) durante 8 horas/dia por 3 dias, 1 Operador de Maquina (\$6.000) por 1 dia durante 8 horas	Hra	80	86000	3.648.000
1.6	Evaluación consecuencias de falla para maquina golpe de ariete; correspondiente a 2 Ingenieros y 1 Tecnico durante 8 horas/dia por 3 dias	Hra	24	80000	1.920.000
1.7	Tareas propuestas para plan de mantenimiento con frecuencias y responsables correspondientes; corresponde 2 Ingenieros durante 8 horas/dia por 3 semanas y 1 Tecnico durante 8 horas/dia por 1 semana	Hra	192	80000	15.360.000
2	BIENES				
2.1	Papeleria	Caja	1	80000	80000
2.2	Memoria USB 32GB	Un	2	45000	90000
2.3	Computador Portatil	Un	2	1650000	3300000
2.4	Impresora	Un	1	150000	150000
3	SERVICIOS				
3.1	Libros Consulta	Un	3	100000	300000
3.2	Internet	Un	1	98000	98000
3.3	Transportes	Gl	1	950000	950000
3.4	Servicio Movil	Gl	2	40000	80000
3.5	Imprevistos	Gl	1	350000	350000
Total					55.806.000

Fuente: LOS AUTORES

Realizado por: MALAGÓN, MARTINEZ, 2016

Datos y Costos Promedios Actuales por producción y averías

Datos

- 1 Lote = 18000 Mangueras
- Se toma un muestreo de 60 Mangueras y finalmente se seleccionan 18 Mangueras para realizar pruebas golpe de ariete
- Valor Manguera para Prueba \$1.020
- # de Ciclos Prueba para Manguera = 100.000 Ciclos
- 100.000 Ciclos = Se realizan en 5 días
- Cada 4 Sg se Realiza 1 Ciclo
- Cada Min se Realiza 15 Ciclos
- Cada Hra se Realiza 900 Ciclos
- Cada día se Realiza 21000 Ciclos

Costos

- 18.000 Mangueras X \$1.020 = \$18.360.000 (Costo 1 Lote)
- 5 Días # total de días para realizar liberación de lote
- $\$18.360.000 / 5 \text{ (Días)} = \$ 3.672.000$ (Costo o flujo de caja que se dejaría de recibir por día de atraso en liberación de producción)
- $\$ 3.672.000 / 24 \text{ (Horas)} = \$ 153.000$ (Costo o flujo de caja que se dejaría de recibir por día de atraso en liberación de producción)
- $\$ 153.000 / 60 \text{ (Min)} = \$ 2.550$ (Costo o flujo de caja que se dejaría de recibir por día de atraso en liberación de producción)

Beneficios Económicos

Los beneficios económicos se verán reflejados en el momento que se implemente el plan de mantenimiento a la máquina para prueba golpe de ariete de acuerdo a la metodología RCM2, donde se pondrán en práctica actividades de mantenimiento que contribuyan a disminuir el número fallas y el tiempo de reparación del equipo, lo que nos genera un beneficio económico importante.

ROI

En promedio las fallas de la Maquina Golpe de Ariete se presentan cada 15 días y la reparación requiere de 5 días en promedio

- Costo o flujo de caja que se deja de recibir por Equipo Fuera de Servicio \$18.360.000
- Tiempo de espera Reparación Falla 5 Días
- Número de veces que se presenta la falla durante el mes = 2 veces
- 5 Días X \$3.672.000 (Costo x día) = \$ 18.360.000
- \$18.360.000 (Costo x # de días en reparación) X 24 (Promedio # Fallas que se presentan en el año) = \$ 440.640.000

Implementando el plan de Mantenimiento de acuerdo a la metodología RCM2 para el equipo prueba golpe de ariete

- El tiempo de reparación para fallas presentadas después de implementación de plan de Mantenimiento será de 2 días, esto es igual a un 60% de ahorro en el tiempo de reparación en mantenimiento de la máquina de prueba golpe de ariete
- 2 (días) X \$ 3.670.000 = \$ 7.344.000
- \$ 7.344.000 X 12 (# fallas presentadas al año) = \$ 88.128.000

Ahorro Anual = Operación sin Implementación Plan de Mantenimiento – Operación con Implementación Plan de Mantenimiento

$$\text{Ahorro Anual} = 440.640.000 - 88.128.000 = 352.512.000$$

$$ROI = \frac{\text{Costo Implementación}}{\text{Ahorro Anual}}$$

$$ROI = \frac{55.806.000}{352.512.000} = 0,158309 \text{ Año}$$

$$ROI = 0,158309 \text{ Año} \times \frac{12 \text{ meses}}{1 \text{ Año}} = 1,89 \text{ Meses} = 56,7 \text{ Dias}$$

10. TALENTO HUMANO

“El talento humano, se entenderá como la capacidad de alguien que entiende y comprende de manera inteligente la forma de resolver problemas en determinada ocupación, al asumir sus habilidades, destrezas, experiencias y aptitudes propias de personas talentosas e incluye sus competencias” (Gestión del talento Humano e Innovación de la Enseñanza y el aprendizaje; 2016).

Para el alcance de esta propuesta implementación de un plan de mantenimiento de acuerdo a metodología RCM2, es necesario contar con personal nuevo que posea conocimientos, experiencia y experticia en diferentes áreas de interés en mantenimiento. En primer lugar se requiere de un ingeniero de mantenimiento encargado de controlar tiempos y movimientos en mantenimiento, análisis de funcionamiento y fallas en un equipo, horas de trabajo, planeación de los diferentes tipos de mantenimiento, que posea conocimientos técnicos y teóricos en gestión de activos, Mecánica, Electricidad, dirección de recurso humano.

A demás es necesario contar con personal Técnico a cargo de ejecutar, verificar y controlar los tipos de mantenimiento a realizar en el equipo, que cuente con conocimientos básicos en mecánica básica, electricidad, motores, Neumática e hidráulica con capacidad de análisis y resolución de tareas correctivas en menor tiempo posible.

CAPACITACIONES:

Para cumplimiento y un buen desempeño en la implementación de planes de mantenimiento se hace necesario realizar capacitaciones en mandos superiores y medios, sobre normas vigentes en Gestión de Activos, administración de recursos para mantenimientos en planta, mecánica, hidráulica, neumática, electricidad y control. Estas capacitaciones contribuyen a que el personal a cargo de la implementación tenga un buen desempeño, rendimiento y los resultados esperados sean los más óptimos y mejores.

De acuerdo a la propuesta a desarrollar, se determina la descripción de los cargos y perfiles para el personal

- Coordinador de Mantenimiento
- Técnico de Mantenimiento
- Auxiliar de Mantenimiento

11. CONCLUSIONES

11.1. CONCLUSIONES

Para el desarrollo de la metodología RCM2 al interior de la compañía, depende de un buen equipo de trabajo y una buena disposición de los diferentes involucrados; esto con el fin de construir conocimiento a través de lecciones aprendidas y experiencias de cada una de las especialidades del equipo relacionado.

En el desarrollo de la presente monografía se obtuvo un resultado cuantitativo de la evaluación de criticidad, partiendo de preguntas cualitativas, que describen la importancia de los activos evaluados, esto permite que los esfuerzos se enfoquen en actividades o equipos específicos, el análisis de criticidad permitió obtener el punto de vista de varios especialistas, los cuales combinaron conocimientos tanto técnicos como financieros, aportando así al desarrollo de las competencias de habilidades Gerenciales del área de mantenimiento.

El aporte obtenido de la Hoja de Decisiones para la implementación de actividades de mantenimiento en un activo, permitió establecer frecuencias, duración y responsables de ejecución de cada una de las tareas planteadas, donde se evidenciaron potenciales fallas funcionales del equipo y sus posibles soluciones. Además facilitó la Clasificación de las actividades propuestas: predictivas, reacondicionamientos cíclicos, preventivos y otras tareas.

Al evaluar cada una de las tareas de la Hoja de Decisiones, se identificó que con una sola actividad se podía cubrir diferentes modos de falla, permitiendo que la planeación de las mismas sea eficaz. Además de una optimización de recurso humano tanto en la planeación de cada tarea como el tiempo de ejecución real que se desea implementar.

Lo más importante para la aplicación de los conocimientos adquiridos durante la especialización Gerencia de Mantenimiento es tener en cuenta la relación costo - beneficio de cada uno de los proyectos a desarrollar o implementar en un activo en específico o en una compañía, que las áreas de interés encuentren beneficios y ventajas que permitan cambiar la visión de la importancia que

tiene mantenimiento en las organizaciones, ya que el análisis financiero que se realiza evidencia que los costos en mantenimiento no son gastos, sino inversiones que generan rentabilidad a futuro.

11.2. RECOMENDACIONES

Los aportes obtenidos en la Hoja de Decisiones se pueden ampliar con personal especializado, ya que en la empresa donde se plantea el proyecto no cuenta con personal capacitado en áreas específicas, contar con dicho personal ampliara conocimientos y experiencias para generar una propuesta.

En la presente monografía es importante resaltar que se puede realizar un análisis de repuestos, herramientas, insumos y servicios requeridos en cada una de las actividades propuestas para el plan de mantenimiento.

Es importante tener en cuenta que se puede complementar el análisis financiero, involucrando a los diferentes proveedores, que suministran repuestos e insumos, esto con el fin de tener un consolidado general de costos tanto de implementación como de operación en mantenimiento; al contar con dicha información, contribuye que al respectivo cálculo de ROI se le incluya dichos costos, permitiendo al gerente o partes interesadas de la implementación del RCM2 tener datos financieros mas exactos.

12. REFERENCIAS (BIBLIOGRAFÍA)

1. Fedemetal. (1991).Manual de mantenimiento. Santafé de Bogotá. Divulgación tecnológica. Recuperado de http://repositorio.sena.edu.co/sitios/fedemetal_manual_mantenimiento/#
2. Olarte c., william; botero a., marcela; cañon a., benhur (2010). Técnicas de mantenimiento predictivo utilizadas en la industria Scientia et technica, vol. Xvi, núm. 45, pp. 223-226. Universidad tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia
3. Escuela universitaria de ingeniería Técnica Agrícola de Ciudad Real. (2008) Catedra ingeniería rural. Tema 10 golpes de ariete. recuperado de https://www.uclm.es/area/ing_rural/Trans_hidr/Tema10.PDF
4. Luis E. Pérez Farrás. Adolfo Guitelman (2005). Cátedra De "Construcciones Hidráulicas". Universidad De Buenos Aires. Recuperado De Http://Www.Fi.Uba.Ar/Archivos/Institutos_Golpe_Ariete.Pdf.
5. Arce Arenas Leonardo. (2014).Diseño Y Construcción De Un Equipo De Pruebas Para El Estudio Del Golpe De Ariete En Tuberías Rectas. Universidad Tecnológica De Pereira. Colombia. Recuperado de <https://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/4970/53254A681.pdf>.
6. Milton Orlando, Barragán Erazo (2016). Diseño De La Estrategia Basada En Mantenimiento Centrado En La Confiabilidad Para Activos Físicos Críticos De Refinería Shushufindi. Escuela Superior Politécnica De Chimborazo. Riobamba – Ecuador. Recuperado de: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/4694#sthash.eu4wiSpF.dpuf>.
7. Villacrés Parra Sergio Raúl (2016). Desarrollo De Un Plan De Mantenimiento Aplicando La Metodología De Mantenimiento Basado En La Confiabilidad (RCM) Para El Vehículo Hidrocleaner Vactor M654 De La Empresa Etapa Ep. Escuela Superior Politécnica De Chimborazo. Riobamba – Ecuador. Recopilado De

[Http://Dspace.Espoch.Edu.Ec/Handle/123456789/4749#Sthash.Fa686qjs.Dpuf](http://Dspace.Espoch.Edu.Ec/Handle/123456789/4749#Sthash.Fa686qjs.Dpuf)

8. Sánchez - Rodríguez, Ángel P (2010) .La gestión de los activos físicos en la función mantenimiento Ingeniería Mecánica, vol. 13, núm. 2, pp. 72-78
Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría Ciudad de La Habana, Cuba.
Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=225115200008>.
9. Bernal Vargas Edgar Andrés; 2012; Tesis Propuesta de aplicación de RCM (Mantenimiento Centrado en Confiabilidad) en buses articulados Volvo B12M; Universidad ECCI; Bogotá D.C.
10. Cortes García Carlos Andrés; 2013; Tesis propuesta de un plan de mantenimiento preventivo para un retroexcavadora Caterpillar 320D; Universidad ECCI; Bogotá D.C.
11. Daza Roa Jenny Rosmira; 2013; Tesis Diagnostico de la implementación del mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM) en la máquina OM73 para Multidimensionales S.A; Universidad ECCI; Bogotá D.C.
12. Pimiento Páez Juan Camilo; 2011; Tesis Modelo de mantenimiento centrado en confiabilidad (RCM) para una maquina prensa para fabricación de clavos en una empresa manufacturera; Universidad ECCI; Bogotá D.C.
13. Rodríguez Rodríguez Nelcy Yaneth; 2012; Tesis Propuesta de un plan de mantenimiento basado en estrategias de RCM para los sistemas de seguridad electrónica de radio bases de telefonía móvil; Universidad ECCI; Bogotá D.C.
14. Castaño Ríos, Carlos Eduardo; Arias Pérez, José Enrique; 2013; Análisis Financiero Integral De Empresas Colombianas 2009-2010: Perspectivas De Competitividad Regional Entramado, Vol. 9, Núm. 1, Enero-Junio, 2013, Pp. 84-100 Universidad Libre Cali, Colombia
15. Cuevas Villegas, Carlos Fernando; 2001; Medición Del Desempeño: Retorno Sobre Inversión, Roi; Ingreso Residual, Ir; Valor Económico Agregado, Eva; Análisis Comparado. Estudios Gerenciales, Núm. 79, Abril-Junio, 2001, Pp. 13-22 Universidad Icesi Cali, Colombia