

**PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RBI PARA LA CALDERA DE VAPOR
POWER MASTER DEL ÁREA DE APOYO CRÍTICO DE UNA EMPRESA DEL
SECTOR NUTRACEUTICO (OMEGA 3).**

**OMAR RICARDO HERRERA ORTEGA
JORGE ARMANDO BETANCOURT ALVAREZ**



**FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA**

2018

**PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RBI PARA LA CALDERA DE VAPOR
POWER MASTER DEL ÁREA DE APOYO CRÍTICO DE UNA EMPRESA DEL
SECTOR NUTRACEUTICO (OMEGA 3).**

**OMAR RICARDO HERRERA ORTEGA
JORGE ARMANDO BETANCOURT ALVAREZ**

**Monografía de grado presentada como requisito para optar el título de
Especialista en Gerencia de Mantenimiento**

**Director: PEDRO JOSE DIAZ GUERRERO
M.Sc. Ingeniería Mecánica**



**FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOMECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA**

2018

AGRADECIMIENTOS

En este espacio quiero agradecerle como primera medida a Dios quien con infinita misericordia y lealtad. Siempre estuvo hay tocando a las personas que me facilitaron cumplir con esta etapa en mi proyecto de vida.

Le doy gracias a mi familia (esposa e Hijos) por comprender y entender todos esos momentos que no estuve a su lado dándoles Amor por estar en clases. A los profesores de cada uno de los módulos dados durante la especialización quienes dieron lo mejor de sí para transmitir de la forma más claro y humana los conocimiento y a nuestro director de proyecto por esa sabiduría trasmitida y tiempo empleado para guiarnos en este proyecto.

Como alumnos y estudiantes es grato conocer el sabor de la victoria, del cumplimiento de la meta. Es como sueño cumplido cuando en estos momentos veo lo que he alcanzo en conocimiento experiencia y amistades. Sera muy difícil olvidar los momento de debates y tertulias durante el desarrollo de la especialización. Algo aprendido es que la perseverancia y el deseo de superarse de aprender cada día más lograron llenarnos de fuerzas para enfrentar cada dificultad enfrentada durante este año y dos meses.

Ser Parte de los especialistas graduados en gerencia de mantenimiento de universidad Industrial Santander me enorgullece tanto a mí como a mi familia. Es un honor ser parte de ustedes

Mil gracias a todos.....

Omar Ricardo herrera ortega

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado o tesis de grado a mi esposa JANNY VANESA TORRES VEGA e Hijos VERONICA HERRERA TORRES, OMAR DAVID HERRERA TORRES. Los cuales amo mucho y me apoyaron en este trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecerle a Dios por todas las bendiciones que ha puesto en mi vida, porque día a día guía mis pasos, me da sabiduría y me llena de fortaleza para seguir trabajando en cada uno de los objetivos que me he propuesto para ser una mejor persona y un mejor profesional, hoy cumplo una meta más de las muchas que quiero cumplir y algo que me llena de satisfacción es que lo estoy haciendo en una excelente institución con un grupo de docentes de una alta calidad que aportaron positivamente con su experiencia al enriquecimiento de mis conocimientos. Los sueños se pueden cumplir siempre y cuando la disciplina que tengas para cumplirlos este por encima de todo, no hay barreras imposibles sino personas que no se atreven a cruzarlas los únicos obstáculos que tienes en la vida son los que permites en tu mente.

Agradezco a mi esposa y a mis hijas porque llegaron a mi vida para convertirme en una mejor persona, siempre me han apoyado cada vez que tengo un proyecto y aportan lo mejor de sí para ayudarme a cumplirlo.

Jorge Armando Betancourt Alvarez

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION	19
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	21
1.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA	21
1.1.1. Organigrama Organizacional.....	23
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	24
1.2.1 Calderas de aceite térmico	24
1.2.2 Calderas de vapor de agua.....	24
1.3 OBJETIVOS	27
1.3.1 Objetivo general	27
1.3.2 Objetivos específicos.....	27
1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN	28
2. MARCO TEORICO	30
2.1 QUE ES EL MANTENIMIENTO	30
2.2 QUE ES UN PLAN DE MANTENIMIENTO	31
2.3 INSPECCIÓN BASADA EN RIESGO (RBI) ¹	31
2.3.1 Ventajas de la aplicación del RBI	32
2.3.2 Aspectos técnicos para la implementación de la metodología RBI	32
2.3.3 Análisis de Falla.	33
2.3.4 Análisis de Sistemas en falla.....	33
2.4 ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ Y DIFERENTES MÉTODOS.....	33
2.4.1. Metodología de un análisis de causa raíz.	34
2.4.1.1 Determinar qué incidencias necesitan análisis de causas.....	34
2.4.1.2 Crear un equipo de trabajo y preparar el análisis.....	34
2.4.1.3 Obtención de información.....	34
2.4.1.4 Analizar información.....	35
2.5 ANÁLISIS AMFE.	35
2.5.1 Diagrama de Ishikawa.	36
2.6 DESCRIPCIÓN DE CALDERAS Y GENERADORES DE VAPOR.....	37
2.6.1 Descripción de calderas y generadores de vapor pirotubular.....	39
2.6.3 Analizador de combustión (Equipo de medición)	42
2.7 METODOLOGIA NORMA API-580	43

3. METODOLOGIA	43
3.1 TIPO DE INVESTIGACION	44
3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN	44
3.3 METODOLOGIA DE DESARROLLO	44
3.4 POBLACION	47
3.5 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN	47
4. ANÁLISIS DE RESULTADO	48
4.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.....	48
4.2.1 Historial de Fallas.....	53
4.2.1.1 Tiempos Perdidos Por Fallos Año 2016	53
4.2.1.2 Análisis de datos y fallas de la caldera de vapor.....	56
4.2.2 Indicadores.....	58
4.2.2.1 Modelo De Indicador De Disponibilidad.....	58
4.2.3 Análisis RCA	59
4.2.3.1 Descripción de la situación.....	60
4.2.3.2 Selección de la solución	61
5. SOLUCIÓN DE OBJETIVOS	63
5.1. MATRIZ DE CRITICIDAD.....	63
5.1.2 Matriz probabilidad/consecuencia	64
5.1.2.1 Modelo de matriz de criticidad y riesgo	70
5.3 PLAN DE INSPECCION BASADO EN RBI	72
5.3.1 Listado de componentes críticos caldera de vapor	72
5.3.2 Inspección basada en RBI.....	72
5.3.3 Métodos / Técnicas de inspección	73
5.3.4 Actividades complementarias propuestas para el mantenimiento.....	76
5.4 MODELO DE INDICADORES DE GESTIÓN QUE MIDAN LA EFECTIVIDAD DE LA CALDERA DE VAPOR POWER MASTER	79
5.4.1 Propósito de los indicadores	79
5.4.2 Modelo de encuesta	80
6. PRESUPUESTO	82
7. CONCLUSIONES	83
BIBLIOGRAFIA.....	85

ANEXOS86

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Planta Destilación Molecular.....	21
Figura 2. Ubicación de la Empresa.....	22
Figura 3. Organigrama de una empresa sector Nutracéutico.....	23
Figura 4. Caldera de Vapor Power Master. 3HL-WB5-70-50.....	27
Figura 5. Diagrama de Ishikawa o Causa Efecto.....	36
Figura 6. Diagrama de funcionamiento caldera Piro-tubular Power Master.....	37
Figura 7. Diagrama de funcionamiento caldera Piro-tubular.....	39
Figura 8. Diagrama de funcionamiento calderas de vapor acuotubular vertical....	41
Figura 9. Analizador De Combustión SEITRON CHEMIST 500.....	42
Figura 10. Metodología de trabajo	46
Figura 11. Formato de tarjeta maestra.....	49
Figura 12. Formato Historia del equipo	50
Figura 13. Programa de mantenimiento preventivo FOM-01.....	52
Figura 14. Tiempo perdido caldera Power Master.....	53
Figura 15. Tiempo perdido caldera Power Master.....	54
Figura 16. Tubos condenados caldera.....	55
Figura 17. Fuga placa tubos caldera.....	55
Figura 18. Estado de los tubos lado agua caldera.....	56
Figura 19. Pareto de fallas caldera año 2016	57
Figura 20. Indicador de disponibilidad proceso destilación molecular.....	58
Figura 21. Árbol de fallas.....	61
Figura 22. Matriz de Resultado Final (Pay-off Matrix) (Sección Obligatoria).....	62
Figura 23. Modelo de matriz de criterio de evaluación del impacto de la falla e un componente.....	64
Figura 24. Matriz probabilidad – consecuencia.....	65
Figura 25. Rangos valores de criticidad.....	69

Figura 26. Matriz de criticidad y riesgo.....70

Figura 27. Matriz de análisis modos de falla caldera de vapor AMEF.....71

Figura 28. Matriz de riesgo y criticidad con las acciones de mejora.....77

Figura 29. Hoja de ruta de mantenimiento después del análisis de criticidad.....78

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Accidentes en calderas año 2002.....	29
Tabla 2. Hoja de ruta de mantenimiento.....	51
Tabla 3. Lista de Actividades.....	62
Tabla 4. Nivel de probabilidad.....	68
Tabla 5. Listado de componentes críticos caldera de vapor.....	72
Tabla 6. Actividades adicionales a la hoja de ruta de mantenimiento existente....	74
Tabla 7. Hoja de ruta de mantenimiento de la caldera de vapor Power Master basada en RBI.....	75
Tabla 8. Hoja de inspección de la caldera.....	76
Tabla 9. Gastos y costos del proyecto.....	82

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Cronograma de Actividades.....	86
Anexo B. Modelo de Encuesta.....	87

RESUMEN

TITULO: PLAN DE MANTENIMIENTO BASADO EN RBI PARA LA CALDERA DE VAPOR POWER MASTER DEL ÁREA DE APOYO CRÍTICO DE UNA EMPRESA DEL SECTOR NUTRACEUTICO (OMEGA 3).

AUTORES: OMAR RICARDO HERRERA ORTEGA, JORGE ARMANDO BETANCOURT ALVAREZ.

PALABRAS CLAVE: INSPECCION BASADA EN RIESGO, MATRIZ DE CRITICIDAD, CALDERA DE VAPOR, ANALISIS FEMA

La globalización de los mercados nos enseña a ser más competitivos cada día, es por esto que las industrias del sector Nutracéutico donde la competencia es muy alta y los márgenes son muy ajustados se plantean alternativas que permitan la optimización de los costos de producción lo cual le permitirán mantenerse vigentes en el mercado, el presente trabajo plantea mediante el diseño de un Plan de mantenimiento basado en RBI aumentar la confiabilidad y disponibilidad de la caldera de vapor Power Master del área de apoyo crítico del proceso de producción, lo cual impactara de manera positiva los costos de mantenimiento y los costos de producción.

Inicialmente haremos una breve reseña del sector Nutracéutico y su organización.

Luego se darán conceptos sobre Mantenimiento, Inspección basada en riesgo, ventajas de este tipo de mantenimiento, análisis de falla, análisis de causa raíz, clase y descripción de las calderas de vapor.

Con la implementación de la Inspección basada en riesgo se evaluará el nivel de riesgo de este componente, se establecerán las actividades requeridas para detectar el deterioro de este antes que se presente la falla, nos alejaríamos de la inspección basada en el tiempo debido a que se realizarán las inspecciones planeadas que son realmente necesarias disminuyendo el número de inspecciones, realizando paradas de menor tiempo.

Para el diseño de este plan se elaborará una matriz de criticidad de equipos basados en la norma API 580, se realizará un análisis FEMA que identifique los modos de falla y los actores que la producen en este componente, se realizara un análisis de esta información y posteriormente se diseñara el plan de inspección basado en RBI y finalmente se establecerán los indicadores de gestión que medirán la efectividad de la caldera de vapor Power Master del área de apoyo crítico.

*Monografía de grado

**Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Especialización en Gerencia de Mantenimiento. Director: Pedro Jose Diaz Guerrero.

ABSTRACT

TITLE: MAINTENANCE PLAN BASED ON RBI FOR THE POWER MASTER STEAM BOILER OF THE CRITICAL SUPPORT AREA OF A NUTRACEUTICAL SECTOR COMPANY (OMEGA 3).

AUTHORS: OMAR RICARDO HERRERA ORTEGA, JORGE ARMANDO BETANCOURT ALVAREZ.

KEYWORDS: RISK BASED INSPECTION, CRITICITY MATRIX, STEAM BOILER, FEMA ANALYSIS

The globalization of the markets teaches us to be more competitive every day, that is why the industries of the Nutraceutical sector where competition is very high and the margins are very tight consider alternatives that allow the optimization of production costs which will allow to remain valid in the market, the present work raises through the design of a maintenance plan based on RBI increase the reliability and availability of the steam boiler power master of the critical support area of the production, which will positively impact maintenance costs and production costs.

Initially we will make a brief overview of the Nutraceutical sector and its organization. Then concepts about Maintenance, Risk-based inspection, advantages of this type of maintenance, failure analysis, root cause analysis, class and description of steam boilers will be given.

With this methodology the risk level of this component will be evaluated, the required activities will be established to detect the deterioration of this before the failure occurs, we would move away from the inspection based on the time due to the planned inspections that are carried out. Really necessary by decreasing the number of inspections, making shorter stops.

For the design of this plan a criticality matrix of equipment based on the API 580 standard will be elaborated, a FEMA analysis will be carried out to identify the failure modes and the actors that produce it, after this information the inspection plan will be based in RBI and finally, the management indicators that will measure the effectiveness of the Power Master steam boiler in the critical support area will be established.

* Degree monograph

** Faculty of Physical - Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Specialization in Maintenance Management. Director: Pedro Jose Diaz Guerrero.

INTRODUCCION

Los objetivos estratégicos del área de mantenimiento de las empresas del sector Nutracéutico al igual que sus planes y programas de mantenimiento están orientados al cumplimiento de los objetivos estratégicos de la compañía revisados y redefinidos cada año en el comité de gestión realizado por la dirección.

Es de vital importancia que la planeación, coordinación y ejecución de cada uno de los planes de mantenimiento se efectuó de manera efectiva, no sólo ejecutando cada una de las actividades que se generan en una orden de trabajo, si no que sean documentadas de forma clara, detallada en el software de mantenimiento con el fin de que la información sea de fácil acceso para las áreas interesadas.

El área de servicios, donde se encuentran los equipos de apoyo crítico en las empresas de dicho sector son las áreas más importantes, porque son las que le dan el input a cada uno de los procesos. Esta área generalmente está conformada por los equipos que generan los servicios de apoyo a cada una de los procesos de las plantas, en estas áreas se suele encontrar la caldera de vapor de agua.

Cada una de las áreas de producción de las empresas del sector Nutracéutico tienen su nivel de importancia y de criticidad dentro del flujo productivo. En tal sentido, para la elaboración de este proyecto se tomó la caldera de vapor de 70 BHP pirotubular, la cual es de vital importancia dentro de la cadena del proceso, la falla funcional de esta caldera generalmente origina una parada en cascada de cada uno de los procesos productivos, lo que genera la problemática en discusión del presente documento.

En aras de mejorar el proceso de producción se propone diseñar un plan de mantenimiento basado en RBI para la caldera de vapor Power Master del área de apoyo crítico de una empresa del sector Nutracéutico (Omega 3), con el fin de aumentar su efectividad.

Para lo cual entraremos a exponer una breve reseña de la industria de este sector, la estructura organizacional, definición, funcionamiento, ventajas y desventajas de la caldera de vapor con el fin de contextualizar al lector del tema que se desarrollara en este trabajo.

Un buen plan de mantenimiento es aquel en el cual se han analizado todos los fallos posibles, y que ha permitido que se encuentren y predigan todas las posibles fallas que faciliten el evitar los incidentes y/o las ocurrencias. Esto quiere decir que para elaborar un buen plan de mantenimiento es absolutamente necesario realizar un detallado análisis de las fallas de todos los sistemas que componen una planta. Sin embargo, en este caso se realiza un plan de mantenimiento para la caldera de vapor dado que se considera de vital importancia dentro del proceso completo de la empresa.

La función de la teoría dentro de este proyecto además de explicar ayudó a predecir la forma cómo se debía realizar el plan de mantenimiento, teniendo en cuenta los aspectos teóricos de la norma API 580 para la definición del procedimiento y la hoja de ruta de mantenimiento.

Dentro de los hallazgos que se encontraron era la falta de estandarización de los procedimientos de reparación, existía una ruta de inspección, sin embargo, esta no era apropiada para levantar elementos de criticidad que permitiera limitar los riesgos.

Finalmente, este trabajo permitirá establecer las hojas de ruta adecuadas para el mantenimiento de la caldera de vapor con base en el análisis de fallas obtenido.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA

Las empresas del sector Nutracéutico generalmente tienen la más avanzada tecnología para este tipo de proceso donde se producen y comercializa productos naturales innovadores de uso farmacéutico y nutricional. En la Zona Caribe existe una empresa que es pionera en la región andina en la producción de ácidos grasos Omega-3 con altas concentraciones de EPA y DHA ubicada en Barranquilla, Colombia, ciudad con una privilegiada ubicación geográfica y una infraestructura portuaria que ofrece ventajas competitivas en el manejo logístico de las importaciones de materias primas, facilitando el acceso a los mercados nacionales e internacionales.

Figura 1. Planta Destilación Molecular



Fuente: Pagina Web Naturmega (2017), Nuestra Empresa, www.naturmega.com.co

La empresa se ubica en la ciudad de Barranquilla departamento del Atlántico Colombia, su dirección es vía 40 # 80-131. Se accede a la empresa por la vía 40.

Estas empresas regularmente guardan una similitud en el diseño de su infraestructura. Normalmente está conformada por un edificio principal (En él se encuentran las plantas de procesos en el primer nivel , el área administrativa en parte del segundo nivel y laboratorio de calidad en el tercer nivel), edificio del área de servicio (En esta área se encuentran todos los equipos de apoyo crítico), edificio de bodega (En esta área se almacena la materias primas, producto terminado, producto no conforme y repuestos en el segundo nivel), adicional hay dos área de patio , dos áreas de tanques de almacenamiento de producto y un área de parqueaderos.

Figura 2. Ubicación de la Empresa



Fuente: Google maps (2017), Naturmega Barranquilla, www.google.com/maps

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Las empresas del sector Nutracéutico, en su área de equipos de apoyo crítico están distribuidas por equipos de calentamiento y equipos de enfriamientos.

Los equipos de calentamientos están divididos por:

1.2.1 Calderas de aceite térmico

- CAL-02 Caldera de aceite térmico marca HHT identificada vertical de 80 kilocalorías
- CAL-03, CAL-04 y Cal-05 caldera de aceite térmico vertical marca RRS Riello de 110 kilocaloría

1.2.2 Calderas de vapor de agua

- CAL-01 Caldera de vapor de Piro-tubular de 70 BHP Power Master.

Los equipos de enfriamiento están divididos por:

- Equipos de enfriamiento con Propeniglicol , conformado por 3 equipos que suman 110 TR
- Enfriamiento con agua , conformado por 3 equipos que suman 130TR

Todos los equipos de apoyo crítico trabajan 24 horas al día durante los 7 días de la semana generando paradas semestrales de 4 y 5 días para labores de mantenimiento.

Se encuentran establecidos los equipos críticos de la plantas y area de servicio de apoyo critico por medio de un analisis basado en tres preguntas de impacto en el área de producción

- La falla del equipo genera parada en proceso
- La falla del equipo genera parada en multiples proceso
- La falla del equipo genera cuello de botella en multiples proceso

Revisando lo anteriormente planteado en las premisas para determinar los equipos críticos, la empresa Naturmega perteneciente al sector Nutraceutico, tiene generado

un listado de equipo críticos, este listado está encabezado por la caldera de vapor POWER MASTER de 70 BHP.

La pérdida de la función de la caldera de vapor, genera un cuello de botella en múltiples procesos.

DESCRIPCION DE EQUIPOS Y COMPONENTES CRITICOS EN ZONA CALDERA DE LA PLANTA NATURMEGA			
EQUIPO/MAQUINA	REPUESTO	CODIGO SAP	EXISTENCIA BODEGA
CALDERA DE VAPOR, CAL-01	VISOR DE NIVEL DEL MAC DONALL		
	PRESSUOTROL DE MODULACION		
	PRESSUOTROL DE CORTE		
	MANOMETRO DE 0 - 200 PSI		
	VALVULA REGULADORA DE GAS DE 1/2		
	VALVULA DE SEGURIDAD		
	VALVULA SOLENOIDE , NORMALMENTE ABIERTA		
	VALVULA SOLENOIDE LINEA DE GAS PILOTO		
	VALVULA REGULADORA DE GAS DE 1 1/2		
	SENSOR DE LLAMA		
	CABLE TRNSFORMADOR DE IGNICION ELECTRODO DE IGNICION		
	ELECTRODO DE IGNICION		
	TRANSFORMADOR DE IGNICION		
	CHUMACERAS DEL BLOWER, PARA RODAMIENTO REFE 1208		
	BLOWER CALDERA DE VAPOR		
	RODAMIENTOS, 1208 KTOC3, 2 UNIDADES		
	MOTOR DEL BLOWER, 3HP, 3500RPM, 3.59AMP, 460		
	CORREAS, REF AX-51CANTIDAD 2		
	RODAMIENTOS DEL MOTOR DEL BLOWER		
	CONTROL WARRICK		
	TRANSFORMADOR TI500 , 220V-110V, EDISSON ET 403		
	RELEVO TRP 3 1/2 CVP		
	GUARDAMOTOR 15-20 AMPERIOS		
	GUARDAMOTOR 10-15 AMPERIOS		
	GUARDAMOTOR 4-6.3 AMPERIOS		
	Control de combustion GAS HONEYWELL		
	FILTRO TIPO Y DE 1 1/2", EN HIERRO		
	CHEQUE PARA LA LINEA DE AGUA QUE ENTRA A LA CALDERA		

Para disminuir el impacto de las perdida de la función de la caldera. La empresa tiene establecido como estrategia para el mantenimiento de la caldera de vapor del área de apoyo crítico, programas de mantenimiento preventivo y correctivo. Estos son ejecutados por personal técnico directo de la compañía.

La ejecución de las operaciones consignadas en las órdenes de trabajo que se generan de los programas de mantenimiento correctivo y preventivo en el área de mantenimiento de esta empresa, son realizadas con diferentes criterios de ejecución dependiendo del técnico que ejecuta la labor lo cual puede originar errores al momento de la ejecución.

Esta falta de estandarización en la ejecución de las tareas afecta la disponibilidad del equipo CAL-01 de apoyo crítico el cual es el objeto de estudio de este trabajo. Esta situación impacta la operatividad de la planta de Destilación Molecular, Refinación y Blanqueo debido a que este equipo trabaja en serie y su inoperatividad afecta el funcionamiento en la cadena de producción.

Siendo el proceso de Destilación molecular el más afectado obteniendo un promedio de disponibilidad durante todo el año 2016 del 90% seis puntos por debajo de la meta deseada del 96%, la falla en la caldera de vapor se vuelve una situación crítica para la continuidad de este proceso.

Paralelo a esto, se evidenció que no se tienen indicadores de gestión que midan la confiabilidad, disponibilidad y la utilización de los equipos del área de apoyo crítico, las ausencias de indicadores de gestión adecuados de los servicios de mantenimiento prestados a las diferentes áreas de la compañía impiden conocer de manera acertada, en tiempo real, de forma detallada, efectiva, eficiente el costo de la ejecución al igual que el cumplimiento de los programas de mantenimiento.

El personal técnico de mantenimiento compuesto por tres instrumentistas, tres mecánicos y dos operadores técnicos quienes no cuentan con la disposición para la ejecución de las actividades propias del mantenimiento. Adicional a esto, desconocen los procedimientos definidos para esta labor y, por otro lado, los manuales de mantenimiento de los equipos no son claros, disidentes y poco específicos en las tareas a ejecutar. En términos concluyentes, no se cuenta con un procedimiento de mantenimiento para la Caldera de vapor Power Master Cal-01, que facilite el desempeño óptimo de la misma siendo este un componente de suma importancia dentro de todo el proceso de destilación molecular.

Conociendo la problemática anteriormente descrita, se plantea desarrollar un Plan de mantenimiento basado en RBI para la caldera de vapor Power Master del área de apoyo crítico de una empresa del sector Nutracéutico (Omega 3). A continuación se muestra la imagen de la caldera:

Figura 4. Caldera de Vapor Power Master. 3HL-WB5-70-150



Fuente: Los Autores

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo general

Diseñar un Plan de mantenimiento basado en RBI para la caldera de vapor Power Master del área de apoyo crítico de una empresa del sector Nutracéutico (Omega 3),

1.3.2 Objetivos específicos

- Elaborar una matriz de criticidad de equipos y componentes basados en la norma API 580.
- Realizar un análisis AMFE que identifique los modos de falla y los actores que producen las fallas.

- Elaborar un plan de Inspección basado en RBI para mejorar la disponibilidad de la caldera.
- Establecer indicadores de gestión que midan la efectividad de la caldera de vapor Power Master del área de apoyo crítico.

1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN

El sistema de generación de vapor es un proceso de suma importancia dentro de una planta industrial o una central de cogeneración eléctrica. Este es el encargado de suministrar energía térmica en forma de vapor de agua, para generar movimiento o transferencia de calor en los procesos.

Existen varios tipos de calderas de generación de vapor. Calderas Pirotubulares y Acuotubulares.

Los sistemas de generación de vapor están considerados como equipos de alto riesgo, por considerarse un recipiente metálico, cerrado, destinado a producir vapor o calentar agua, mediante la acción del calor a una temperatura superior a la del ambiente y presión mayor que la atmosférica.

Generalmente en la empresa del sector industrial no se da la importancia requerida al funcionamiento, operación y mantenimiento de los sistemas de generación de vapor. Mucho menos al riesgo que pueden generar durante su operación y mantenimiento.

Por tanto las instalaciones industriales que empleen aparatos sometidos a presión interna, deberán necesariamente colocar en los lugares afectados, instrucciones escritas sobre procedimientos de maniobra y esquemas gráficos sobre la instalación detallada de cada uno de estos equipos.

La ausencia o la asignación de un plan de mantenimiento deficiente a una caldera de vapor trae como consecuencia accidentes que en el mayor de los casos son mortales, también conlleva a problemas de baja disponibilidad y confiabilidad de estos equipos a nivel industrial

La caldera de vapor que se encuentra ubicada en el área de servicios de la planta de C.I Naturmega es una caldera pirotubular de 3 pasos y 5 pies 2/ B.H.P. La marca de la caldera es POWERMASTER y modelo 3HL-WBS-70-150. Posee una potencia de trabajo de 70 B.H.P tiene una presión de diseño de 150 PSI. La producción de vapor saturado a 212 ° F, la atmósfera y agua de alimentación 212 ° F es de 2.415 Lbs / Hr. Se utiliza como combustible principal Gas (Gas natural comprimido) y combustible opcional ACPM. Que es el objeto de estudio y análisis propuesto en este anteproyecto de Monografía de grado

La legislación en Colombia exhorta al cumplimiento de las Normas de calidad ISO 9004-2008 y OSHA 18001 a las empresas que dentro de sus instalaciones operen equipos de alto riesgo (energía peligrosa).

La tabla presentada a continuación, muestra los resultados del Informe de incidentes en Calderas preparado por la National Board para el año 2002 (el del año 2003 está próximo a salir).

Tabla 1. Accidentes en calderas año 2002

Causa del Accidente	Número de Accidentes	Porcentaje
Bajo nivel de agua	359	49,0 %
Error en la operación o mantención deficiente	262	35,7 %
Diseño o fabricación deficiente	54	7,3 %
Controles límite	17	2,3 %
Falla en el quemador	16	2,2 %
Desconocido/Bajo investigación	16	2,2 %
Instalación inadecuada	5	0,6 %
Válvulas de seguridad	2	0,35 %
Reparación inadecuada	2	0,35 %
Totales	733	100 %

Fuente: Arnulfo Oelker Behn, Thermal engineering Ltda, www.thermal.cl

2. MARCO TEORICO

El análisis de un sistema de generación de vapor radica en la elección de los equipos y los componentes adecuados para la operación eficiente del sistema, el programa de mantenimiento empleado actualmente a la caldera de vapor Piro-tubular de una empresa del sector Nutracéutico (Omega 3). Se presenta como principal objetivo, determinar el tipo de mantenimiento programado y ejecutado, los controles empleados durante la operación, analizar los daños y las fallas presentadas en el equipo y el procedimiento de ejecución de los mantenimientos

Es de vital importancia determinar el mecanismo de cómo actúa ese daño para producir la falla, pero la finalidad es determinar cómo prevenir o eliminar la causa; evitando que se siga repitiendo y se convierta en una falla crónica. Dependiendo del riesgo encontrado y asociado, los análisis de las fallas deben ir soportados de un Análisis de Causa Raíz– RCA (Root Cause Analysis).

2.1 QUE ES EL MANTENIMIENTO

Es el proceso que una empresa responsable realiza a un óptimo costo con el fin de garantizar la disponibilidad de los activos productivos requeridos para ejecutar el plan de negocios de la compañía. Cumpliendo con las legislación Ambiental y las normas de seguridad industrial.

El objetivo final del mantenimiento industrial se puede sintetizar en los siguientes puntos:

- Evitar, reducir y reparar las fallas sobre los equipos.
- Disminuir la gravedad de las fallas que no se puedan evitar.
- Evitar paradas innecesarias en los equipos.
- Evitar accidentes.
- Evitar incidentes y aumentar la seguridad de las personas.
- Conservar los equipos productivos en condiciones seguras y preestablecidas de operación.
- Reducir los costos de mantenimiento.

2.2 QUE ES UN PLAN DE MANTENIMIENTO

Es el conjunto de actividades planeadas y programadas donde se establecen los métodos y recursos necesarios para realizar la labor, estas actividades se deben ejecutar en un periodo de tiempo determinado y con una frecuencia periódica definida, con el objetivo de prevenir que ocurra una falla y de esta manera garantizar la disponibilidad, confiabilidad y seguridad de los equipos.

2.3 INSPECCIÓN BASADA EN RIESGO (RBI)¹

La inspección basada en riesgo es una metodología de mantenimiento enfocada en el aseguramiento de la integridad de equipos estáticos de una manera costo-efectiva sin afectar la seguridad. La metodología consiste en evaluar el nivel de riesgo de cada componente estático de la planta. El nivel de riesgo será evaluado al calcular la frecuencia de falla de cada equipo como una función directa de los mecanismos de daños que pueden afectar a cada equipo y del cálculo de las consecuencias económicas, daños al personal, la planta, medio ambiente y pérdidas de producción.

Con esta metodología se pretende minimizar el potencial de falla en los equipos y a su vez racionalizar el uso de los recursos para la ejecución de ¹inspecciones.

El RBI por su definición, consiste en el análisis del riesgo: la probabilidad de ocurrencia de la falla por la consecuencia que genera la falla. Esto permite elaborar planes de mantenimiento que prioricen la operación de los equipos en unos niveles de riesgo aceptables

El código aplicable que rige la metodología es el API RP-580 que describe los aspectos conceptuales y elementos necesarios para un RBI de muy buena calidad. El API publication 581 describe la metodología específica de RBI desarrollado por

¹ Mantenimiento centrado en confiabilidad Jhon Moubray [en línea] publicado 2003 [citado en enero 2009] disponible en la página de internet www.confiabilidad.nert.art_05/RCM/rcm_10.pdf

su grupo patrocinador d API RBI, da una aproximación pasos a paso a RBU que es aceptable con respecto a API RP 580, el API 510/API RB-572 inspección de recipientes a presión y el API 570 – inspección de tubería.

2.3.1 Ventajas de la aplicación del RBI²

Las ventajas de la implementación de la metodología RBI son:

- Facilita la planeación de mantenimiento
- Aumenta la seguridad de las instalaciones
- Reduce riesgo en el personal mantenedor y operador
- Reduce los costos directos e indirectos

2.3.2 Aspectos técnicos para la implementación de la metodología RBI

El desarrollo de la metodología RB, sugiere tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Nivel de riesgo riesgo= frecuencia de falla x consecuencia
- Definición de lazos de corrosión
- Clasificación de confianza
- Análisis de criticidad
- Planeación de tareas
- Definición de recomendaciones
- Resultados del RBI

La metodología de la inspección basada en riesgo se fundamenta en normas API 580 : Risk Based Inspection y API 581: Risk based Inspection. Base resource Document

² INSPECCION BASADA EN RIESGO , Ing Víctor Ortiz Álvarez (consultor en sistema de gestión de mantenimiento) [en línea] publicado en 2004 [citado Enero 2009] disponible en la pagina de internet <http://www.industriaaldia.com/articulos/65-2.pdf>

2.3.3 Análisis de Falla. Se puede definir el análisis de falla como el procedimiento sistemático de recolección y análisis de datos y hechos para encontrar el ¿cuándo?, ¿dónde?, ¿cómo? y ¿por qué? de un componente estructural o sistema en estado de falla, con el fin de evitar su recurrencia en el tiempo y prevenir fallas en componentes y sistemas similares.

En el análisis de falla, se emplea el método de evaluación de la evidencia con métodos científicos, herramientas de análisis, revisión de históricos, registros y reportes de eventos e incidentes en la línea de tiempo.

Cuando se presenta una falla, ésta se percibe a través de manifestaciones o síntomas, sin ser estas la causa de la falla; esto lleva a actuar sobre las consecuencias y no sobre la causa raíz de la falla, de modo que esta se vuelve a repetirse una y otra vez. A mayor complejidad del sistema, habrá mayor dificultad en localizar el origen o raíz de la falla. Identificar la causa raíz es fundamental, pero sólo de por sí, no resuelve el problema, para ello habrá que estudiar distintas acciones correctivas.

2.3.4 Análisis de Sistemas en falla. Evaluación interdisciplinaria de todas las partes que intervienen en un proceso. Todas las partes están interconectadas, cada acción sobre alguna de las partes afecta las demás. Los sistemas complejos se pueden subdividir en componentes simples y para el resultado, se unen los análisis y las síntesis de cada uno. Principios Generales del RCA:

- Con el objetivo de mejoramiento continuo, es más efectivo determinar la causa raíz del problema que tratar los síntomas visibles del mismo.
- El Análisis de Causa Raíz, está basado en hechos y datos. Debe ser sistemático, con hipótesis y conclusiones evidentes y documentadas.
- Las causas y la solución de los problemas rara vez son obvias. Usualmente, pueden existir más de una causa raíz para un problema dado
- El análisis de causa raíz es confiable y eficaz, cuando existe una relación inequívoca entre la causa y la definición del problema. El análisis de causa raíz es una metodología proactiva, utilizada para mitigar el riesgo.

2.4 ANÁLISIS DE CAUSA RAÍZ Y DIFERENTES MÉTODOS

El análisis de causa raíz (ACR) se utiliza para investigar cuáles son las causas que han originado un determinado problema o incidencia. Determinar bien las causas

raíz de una incidencia es imprescindible para poder definir acciones correctivas apropiadas que la solventen y que eviten la repetición del problema en el futuro.

Es normal que de vez en cuando surjan incidencias en los procesos de todas las empresas. En algunas incidencias, la determinación de la causa que la ha producido es obvia, mientras que en otras puede no serlo tanto.

En algunos tipos de incidencias poco importantes, realmente da igual si las acciones correctivas que aplicamos son totalmente eficaces, en estos casos no es necesario hacer un análisis de causas.

Por otro lado, hay un pequeño porcentaje de las incidencias en las cuales sí que conviene realizar este análisis: En incidencias que supongan pérdidas significativas de dinero, o de seguridad, es prioritario asegurar que el problema se resuelve correctamente y que no se repetirá en el futuro. En estos casos, hacer un análisis de causa raíz es clave para asegurar que tomamos las acciones oportunas.

2.4.1. Metodología de un análisis de causa raíz.

2.4.1.1 Determinar qué incidencias necesitan análisis de causas. No todas las incidencias deben ser analizadas con esta metodología. Solamente hay que analizar las incidencias que se consideren importantes (que no deberían ser más del 5% o 10% del total, ya que hay que tener en cuenta que hacer este análisis lleva mucho tiempo).

2.4.1.2 Crear un equipo de trabajo y preparar el análisis. Una vez ocurrida la incidencia, se crea un grupo de trabajo de entre 2 y 10 personas que realizará el análisis. En este grupo de trabajo debe ser multidisciplinar y debe tener gente con conocimientos del proceso donde ocurrió el problema.

2.4.1.3 Obtención de información. Recopilar información sobre lo ocurrido: Recolectar registros, datos, pruebas, procedimientos aplicables, manuales de uso, hacer entrevistas a las personas involucradas, hacer fotos, guardar piezas, etc.

2.4.1.4 Analizar información. Para analizar la información podemos usar herramientas como análisis de tareas, diagramas causa-efecto, análisis de barreras, análisis de cambios, diagrama de árbol de fallos, diagramas de afinidad, análisis AMFE, los 5 porqués, diagramas de Pareto, etc.

2.5 ANÁLISIS AMFE.

Un análisis modal de fallos y efectos (AMFE) es un procedimiento de análisis de fallos potenciales en un sistema de clasificación determinado por la gravedad o por el efecto de los fallos en el sistema. Es utilizado habitualmente por empresas manufactureras en varias fases del ciclo de vida del producto, y recientemente se está utilizando también en la industria de servicios. Las causas de los fallos pueden ser cualquier error o defecto en los procesos o diseño, especialmente aquellos que afectan a los consumidores, y pueden ser potenciales o reales. El término análisis de efectos hace referencia al estudio de las consecuencias de esos fallos.

El sistema AMFE fue introducido formalmente a finales de los años 40 para su uso por las fuerzas armadas de los Estados Unidos.¹ Más adelante fue utilizado también en el desarrollo aeroespacial, con el fin de evitar fallos en pequeñas muestras y experimentos; fue utilizado por ejemplo en el programa espacial Apolo. El primer boom del uso de este sistema tuvo lugar durante los años 60, con los intentos de enviar un hombre a la luna y lograr su retorno a la tierra. En los años 70 Ford introdujo el sistema AMFE en la industria del automóvil para mejorar la seguridad, la producción y el diseño, tras el escándalo del Ford Pinto.

Aunque inicialmente fue desarrollado para el ejército, actualmente la metodología AMFE es utilizada en un gran número de industrias incluyendo la fabricación de semiconductores, software, industria alimentaria y salud. Está integrado en la planificación avanzada de la calidad de los productos (APQP) para ser utilizado como un instrumento para disminuir el riesgo y el tiempo de las estrategias preventivas, tanto en el diseño como en el desarrollo de procesos. El grupo de acción de la industria automovilística necesita utilizar AMFE en el proceso APQP y publica un manual detallado de cómo aplicar la metodología.

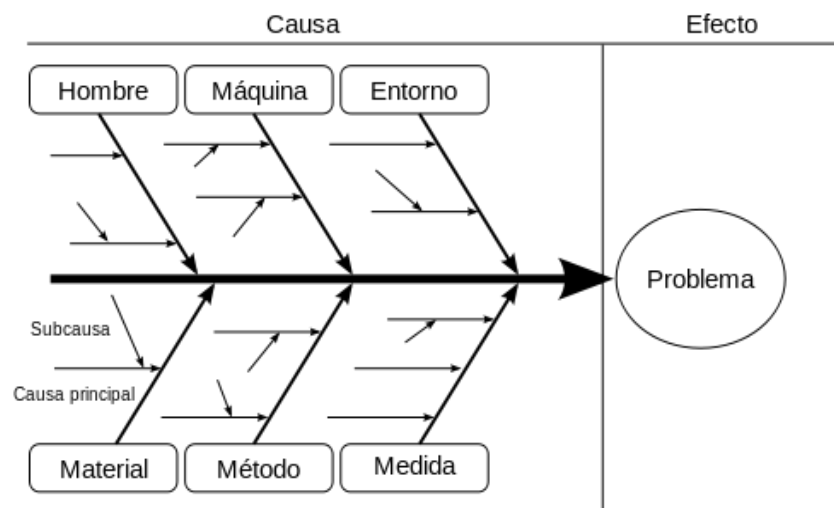
En un AMFE, se otorga una prioridad a los fallos dependiendo de cuán serias sean sus consecuencias, la frecuencia con la que ocurren y con qué dificultad pueden ser localizadas. Un AMFE también documenta el conocimiento existente y las acciones sobre riesgos o fallos que deben ser utilizadas para lograr una mejora continua. El AMFE se utiliza durante la fase de diseño para evitar fallos futuros. Posteriormente es utilizado en las fases de control de procesos, antes y durante estos procesos. Idealmente, un AMFE empieza durante los primeros niveles conceptuales del proyecto y continúa a lo largo de la vida del producto o servicio.

La finalidad de un AMFE es eliminar o reducir los fallos, comenzando por aquellos con una prioridad más alta. Puede ser también utilizado para evaluar las prioridades de la gestión del riesgo. El AMFE ayuda a seleccionar soluciones que reducen los impactos acumulativos de las consecuencias del ciclo de vida (riesgos) del fallo de un sistema (fallo).

2.5.1 Diagrama de Ishikawa. El diagrama de Ishikawa, conocido como diagrama de espina de pescado o diagrama causal, diagrama de causa-efecto. Consiste en una representación gráfica sencilla en la que puede verse de manera relacional una especie de espina central, que es una línea en el plano horizontal, representando el problema a analizar, que se escribe a su derecha. Es una de las diversas herramientas surgidas a lo largo del siglo XX en ámbitos de la industria y posteriormente en el de los servicios, para facilitar el análisis de problemas y sus soluciones en esferas como lo son; calidad de los procesos, los productos y servicios. Fue creado por japonés Kaoru Ishikawa en el año 1943.

Este diagrama causal es la representación gráfica de las relaciones múltiples de causa-efecto entre las diversas variables que intervienen en un proceso.

Figura 5. Diagrama de Ishikawa o Causa Efecto.



Fuente: Método de análisis de falla (2012), Presentación de MasCalidad.org, www.mascalidad.org

2.6 DESCRIPCIÓN DE CALDERAS Y GENERADORES DE VAPOR

Se utilizó el vapor para mover la primera máquina, esta trabaja con vapor húmedo razón por la cual no funcionaba durante mucho tiempo. Luego de otras experiencias, James Watt completó una máquina de vapor de funcionamiento continuo, que usó en su propia fábrica, ya que era un industrial inglés muy conocido.

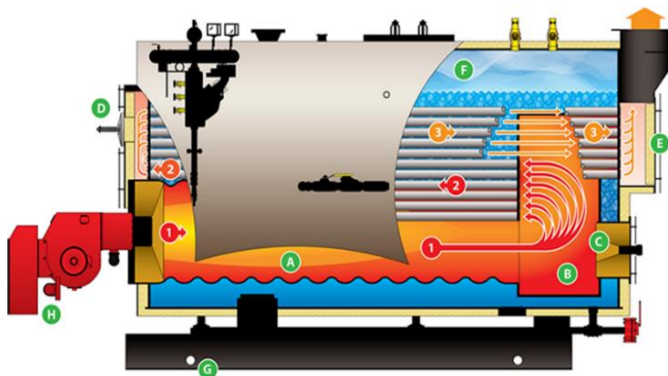
La máquina elemental de vapor fue inventada por Dionisio Papin en 1769 y desarrollada posteriormente por James Watt en 1776.

La caldera es dispositivo de ingeniería diseñado para producir vapor. Este vapor se produce por una transferencia de calor a presión constante, en donde el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia su fase.

Según la ITC-MIE-AP01, caldera es todo aparato de presión donde el calor procedente de cualquier fuente de energía se transforma en energía utilizable, a través de un medio de transporte en fase líquida o vapor

La estructura real de una caldera dependerá del tipo, no obstante, de forma general podemos describir las siguientes partes:

Figura 6. Diagrama de funcionamiento caldera Piro-tubular Power Master



Fuente: Absorsistem, Descripción de calderas y generadores de vapor, www.absorsistem.com

- Quemador: Sirve para quemar el combustible.
- Hogar: Alberga el quemador en su interior y en su interior se realiza la combustión del combustible utilizado y la generación de los gases calientes.
- Tubos de intercambio de calor: El flujo de calor desde los gases hasta el agua se efectúa a través de su superficie. También en ella se generan las burbujas de vapor.
- Separador líquido-vapor: Es necesario para separar las gotas de agua líquida con los gases aún calientes, antes de alimentarla a la caldera.
- Chimenea: Es la vía de escape de los humos y gases de combustión después de haber cedido calor al fluido.
- Carcasa: Contiene el hogar y el sistema de tubos de intercambio de calor.

En función de la posición relativa entre el fluido a calentar y los gases de combustión, se clasifican en:

- Con tubos múltiples de humo – **Pirotubulares**.
- Con tubos múltiples de tubos de agua – **Acuotubulares**.

En función del número de pasos se clasifican en:

- De un paso de recorrido de los gases.
- De varios pasos.

En función del tipo de tiro se clasifican en:

- De tiro natural.
- De tiro inducido.
- De tiro forzado.

En función de las necesidades energéticas del proceso se clasifican en:

- Calderas de agua caliente.
- Calderas de agua sobrecalentada.
- Calderas de vapor saturado.
- Calderas de vapor sobrecalentado.
- Calderas de fluido térmico.

2.6.1 Descripción de calderas y generadores de vapor piro-tubular. Como su nombre lo indica, en esta caldera el humo y los gases calientes circulan por el interior de los tubos y el agua se encuentra por el exterior. Estas calderas también son denominadas con el nombre de Igneotubulares o Piro-tubulares y pueden ser verticales u horizontales.

Figura 7. Diagrama de funcionamiento caldera Piro-tubular



Fuente: Absorsistem, Descripción de calderas piro-tubular, www.absorsistem.com

- Una caja de fuego donde va montado el hogar. Esta caja puede ser de sección rectangular o cilíndrica, es de doble pared, por lo que el hogar queda rodeado de una masa de agua.
- Un cuerpo cilíndrico atravesado, longitudinalmente, por tubos de pequeño diámetro, por cuyo interior circulan los gases calientes.
- Una caja de humos, que es la prolongación del cuerpo cilíndrico, a la cual llegan los gases después de pasar por el haz tubular, para salir hacia la chimenea. Estas calderas trabajan, casi siempre, con tiro forzado, el cual se consigue mediante un chorro de vapor de la misma caldera o utilizando vapor de escape de la máquina.

Pueden producir agua caliente o vapor saturado. En el primer caso, se les instala un estanque de expansión que permite absorber las dilataciones del agua. En el caso de las calderas de vapor poseen un nivel de agua a 10 o 20 cm sobre los tubos superiores.

Ventajas

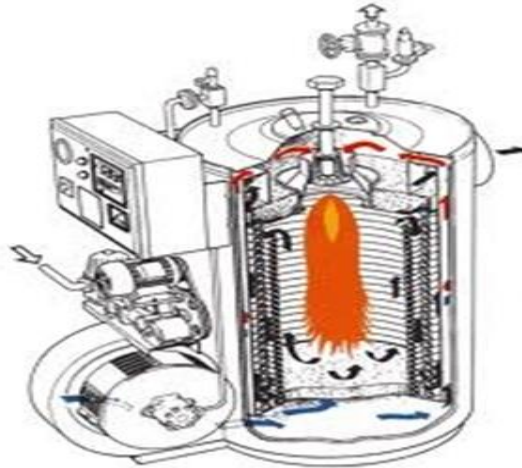
- Menor costo inicial, debido a la simplicidad de diseño en comparación con las acuotubulares de igual capacidad.
- Mayor flexibilidad de operación, ya que el gran volumen de agua permite absorber fácilmente las fluctuaciones en la demanda.
- Menores exigencias de pureza en el agua de alimentación porque las incrustaciones formadas en el exterior de los tubos son más fáciles de atacar y son eliminadas por las purgas.
- Facilidad de inspección, reparación y limpieza.

Desventajas

- Mayor tamaño y peso que las acuotubulares de igual capacidad.
- Mayor tiempo para subir presión y entrar en funcionamiento.
- Gran peligro en caso de exposición o ruptura, debido al gran volumen de agua almacenado.
- No son empleadas para altas presiones.

2.6.2 Calderas con tubos múltiples de agua – acuotubular. En estas calderas, por el interior de los tubos pasa agua o vapor y los gases calientes se encuentran en contacto con las caras exteriores de ellos. La limpieza de estas calderas se lleva a cabo fácilmente porque las incrustaciones se quitan utilizando dispositivos limpiadores de tubos accionados mecánicamente o por medio de aire. Son de pequeño volumen de agua. Las calderas acuotubulares son las empleadas casi exclusivamente cuando interesa obtener elevadas presiones y rendimiento, debido a que los esfuerzos desarrollados en los tubos por las altas presiones se traducen en esfuerzos de tracción en toda su extensión.

Figura 8. Diagrama de funcionamiento calderas de vapor acuatubular vertical.



Fuente: Absorsistem, Calderas acuatubular, www.absorsistem.com

Ventajas

- Menor peso por unidad de potencia generada.
- Por tener pequeño volumen de agua en relación a su capacidad de evaporación, puede ser puesta en marcha rápidamente.
- Mayor seguridad para altas presiones.
- Mayor eficiencia.
- Son inexplosivas.

Desventajas

- Su costo es superior.
- Deben ser alimentadas con agua de gran pureza, ya que las incrustaciones en el interior de los tubos son inaccesibles y pueden provocar roturas de los mismos.
- Debido al pequeño volumen de agua, le es más difícil ajustarse a las grandes variaciones del consumo de vapor, siendo necesario hacerlas funcionar a mayor presión de la requerida.

2.6.3 Analizador de combustión (Equipo de medición). Equipo de alta gama que analiza la combustión del gas; identifica la concentración de los componentes al tomar muestras en el conducto de escape de la caldera o chimenea. De forma práctica conocerá y controlara la combustión ya sea para mantenimiento, inspección o instalaciones de gas y calderas

Equipo con aprobación de la normativa europea EN-50379-1 y EN-50379-2 y aprobada por la empresa Gas Natural Fenosa.

- Análisis de combustión.
- Cálculo de las pérdidas de calor por la chimenea y rendimiento.
- Medida del CO ambiente.
- Prueba de estanquidad de las tuberías de gas conforme a UNI 7129 y UNI 11137.
- Guarda el valor negro de humo, y calcula el valor en el ambiente.
- Medida de presión diferencial.
- Medida del tiro según UNI 10845.

Figura 9. Analizador De Combustión SEITRON CHEMIST 500



Fuente: Seitron Innovation Technology, Analizador de combustión, www.seitron.com

2.7 METODOLOGIA NORMA API-580

La norma guía para el desarrollo de este trabajo es la API-580 la cual nos indica los lineamientos para la elaboración del plan de mantenimiento basado en RBI, el resultado que se espera obtener es la asociación de los riesgos identificados en los equipos con la inspección apropiada para prevenir las fallas en estos.

Los pasos a seguir se describen a continuación:

1. Planeación de la evaluación del RBI.
2. Recolección de la información.
3. Identificación de los mecanismos de deterioro y modos de falla.
4. Evaluación de la probabilidad de falla.
5. Evaluación de la consecuencia de falla.
6. Determinación, evaluación y administración del riesgo.
7. Administración del riesgo con actividades de inspección.
8. Otras actividades de mitigación del riesgo.
9. Reevaluación y actualización.
10. Roles, responsabilidades, entrenamiento y calificaciones.
11. Documentación y registros almacenados.

3. METODOLOGIA

El desarrollo de este trabajo es de tipo investigativo el cual basa su análisis de manera individual sobre el objeto de estudio lo que nos permitirá determinar las fallas críticas presentes en la caldera de vapor con el fin de determinar el plan requerido para minimizarlas.

3.1 TIPO DE INVESTIGACION

La investigación desarrollada en este trabajo es de campo - aplicada, esta se centra en hacer el estudio en el lugar donde se encuentra el equipo con el fin de determinar las condiciones de trabajo reales y poder conseguir datos exactos de la situación que se está presentando, a través del uso de técnicas de recolección como inspecciones, entrevistas y encuestas con el fin de dar una solución al problema planteado.

3.2. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de Investigación de este trabajo es de tipo Descriptivo el cual tiene como objeto la descripción precisa del evento de estudio, este tipo de investigación se asocia al diagnóstico realizado de la situación. Su propósito se basa en exponer el evento estudiado, haciendo una enumeración detallada de sus características, de modo tal que en los resultados se pueden obtener dos niveles, dependiendo del fenómeno y del propósito del investigador:

Nivel más elemental: se logra una clasificación de la información en función de características comunes.

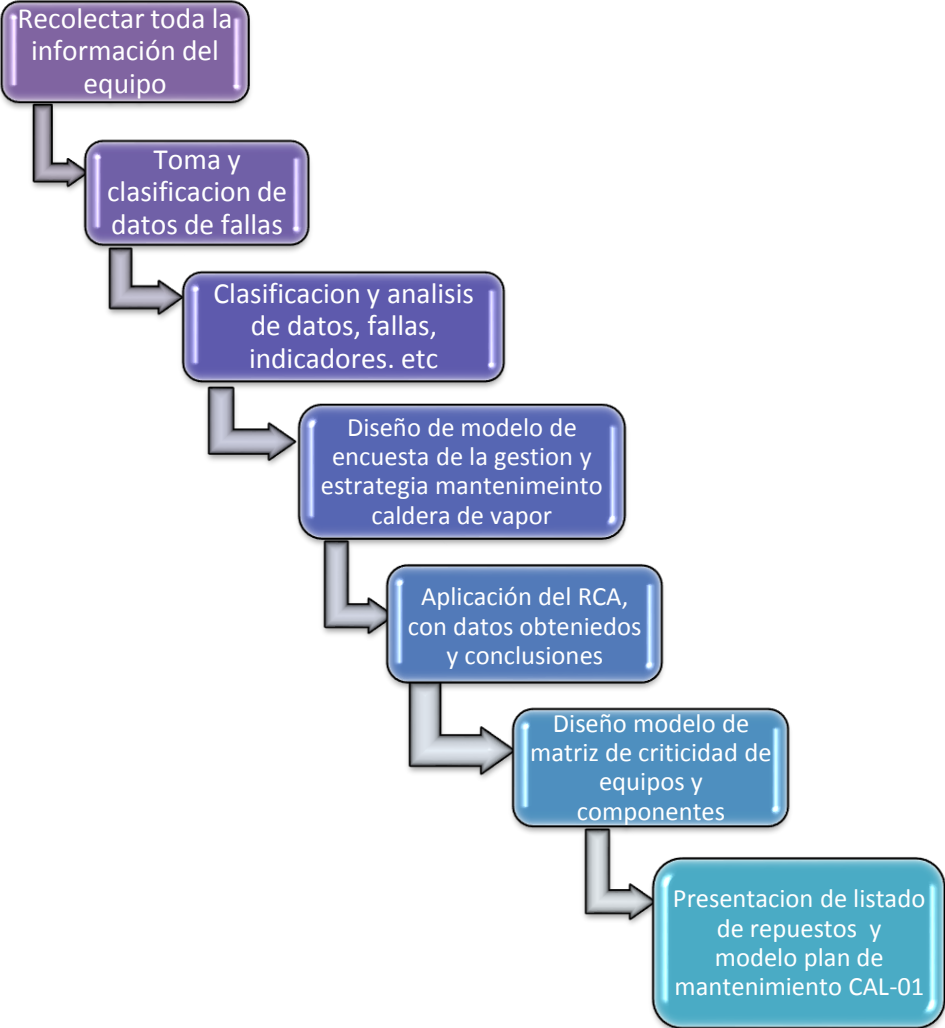
Nivel más sofisticado: se ponen en relación los elementos observados a fin de obtener una descripción más detallada.

3.3 METODOLOGIA DE DESARROLLO

En la elaboración de este trabajo desarrollaremos la siguiente metodología la cual se describen a continuación:

- Recolectar toda la información del equipo, hoja de vida, manual del equipo, historial del equipo y procedimiento de operación si existen.
- Iniciar con la recopilación de información de las fallas presentadas en el equipo, la cual debe estar reportado en la hoja de vida del equipo en el año 2016.
- Verificar si existe listado de componentes y repuestos de la caldera de vapor.
- Después de tener toda la información del equipo que es objeto de estudio. Se procederá a realizar un análisis detallado de la información, estableciendo el Pareto de las fallas, análisis de indicadores del equipo el área donde pertenece el equipo, revisar la eficiencia actual del equipo vs la nominal.
- Diseñar un modelo de encuesta para establecer la imagen de los clientes internos y la imagen de los mantenedores del estado actual de las estrategias de mantenimiento que se realizan a la caldera de vapor Power Master.
- Clasificar los tipos de fallas de forma jerárquica. Aplicándole una técnica de RCA conocida como árbol de Causalidad, para poder relacionar por medio de preguntas y respuestas para la identificación de las causas de las fallas.
- Desarrollar un modelo de matriz de criticidad y riesgo al equipo con sus componentes, para establecer los componentes más críticos y las estrategias que nos ayuden a mitigar el impacto de la pérdida de función de sus componentes.
- Realizar una propuesta de listado de repuestos y estrategia de almacenamiento y rotación de los repuestos por medio de un análisis ABC.
- Teniendo los datos necesarios, se procede a realizar una propuesta de modelo de plan de mantenimiento basado en RBI para la caldera de vapor Power Master.

Figura 10. Metodología de trabajo



Fuente: Los Autores

3.4 POBLACION

La población que participara en el desarrollo del presente trabajo es:

- Empresa Naturmega.
- Área de mantenimiento.
- Área de apoyo crítico.
- Proceso de destilación molecular.
- Caldera de vapor.
- Personal de mantenimiento.

3.5 TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

- Visita de campo a la empresa.
- Inspección de formatos.
- Inspección de programa de mantenimiento.
- Inspección del estado del equipo.
- Reuniones con personal de mantenimiento.
- Matriz de riesgos.

4. ANÁLISIS DE RESULTADO

4.1 RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

Se realiza visita a la empresa C.I Naturmega, empresa dedicada a la producción de ácidos grasos omega 3 de alta concentración. Para verificar el estado, funcionamiento y programas de mantenimiento de la caldera de vapor Power Master que se encuentra instalada en su área de servicios

Como evidencia de los planes de mantenimiento se encontraron los siguientes documentos:


- Hoja de Vida del equipo
- Historial del equipo
- Ruta de mantenimiento
- Programa de Mantenimiento preventivo

Figura 11. Formato de tarjeta maestra

NATURMEGA S.A.		FOM-04 TARJETA MAESTRA									
EQUIPO: CALDERA DE VAPOR											
				MARCA: POWERMASTER		TAG: CAL-01					
				MODELO: 3HL-WB5-70-150		PEDIDO No: N.D.					
				TIPO: PIROTUBULAR		FECHA: 1987					
				SERIE: A-2304		VALOR: N.D.					
				TIEMPO DE OPERACIÓN : 24 HORAS <input checked="" type="checkbox"/> INTERMITENTE							
CONTACTO:				N.D.							
PROVEEDOR:				DISTRAL S.A							
DIRECCIÓN Y TEL:				CARRERA 9A No 74-62 Tel: 2170200							
OTROS DATOS:				CALDERA PIROTUBULAR DE 3 PASO, 5 #2/BHP Y 70 BHP, CUYA PRESION NOMINAL ES DE 150 PSI, POSEE UN QUEMADOR CUYO MODELO ES V0RIFLOW3HG, AL IGUAL QUE UNA BOMBA PARA MANEJO DE ACPM, MARCA SUNTEO MODELO JGPB-B1000G. LA PRODUCCION DE VAPOR SATURADO ES DE 2415 LBS/H A 212 °F Y 1 ATM. EL TANQUE DE ALIMENTACION ES MARCA Mc DONNELL, CON P max inlet = 150 psi, P max body = 35 psi. LA REFERENCIA DE LA CORREA DE TRANSMISION DEL BLOWER ES AX-51 CANT: 2							
SERVICIOS:											
AIRE		N.A.									
PRESION		N.A.									
ENERGIA		X									
VOLTIOS		460									
VAPOR		N.A.									
PRESION		N.A.									
AGUA		X									
PRESION		150-170 PSI									
GAS		X									
TIPO		NATURAL									
CAUDAL		N.A.									
AMPERIOS		3,59									
CAUDAL		N.A.									
CAUDAL								TEMPERATURA (°C)		N.A.	
CAUDAL								PRESION		N.A.	
MOTORES ELECTRICOS											
IT	VOLTIOS	RPM	HP	AMP	UBICACIÓN	MARCA	MODELO	SERIE			
1	460	1695	1	1,74	BOMBA ACPM	ABB	M20A80DM4B	3GQA082302-A.XA			
2	460	3500	3	3,59	BLOWER	MUNTER	336EP3187F	N.D.			
REDUCTORES											
IT	HP ENTRADA	RPM SALIDA	HP	RELACIÓN	MARCA	MODELO	TIPO	SERIE			
	N.A.	N.A.		N.A.	N.A.	N.A.		N.A.			
LUBRICACIÓN											
PARTES A LUBRICAR		MÉTODO	LUBRICANTE	TIEMPO (h)	FRECUENCIA	OBSERVACIONES					
CHUMACERAS		GRASERA	Mobilith SHC-460	0,25	Quincenal	N.A.					
ELECTRICO											
TRABAJOS A EJECUTAR				TIEMPO (h)	FRECUENCIA	OBSERVACIONES					
Limpiar el polvo de los controles eléctricos y revisar contactos de los arrancadores				4	Mensual	N.A.					
Revisar conexiones terminales y aprietes de los arrancadores, contactores y breakers				2	Mensual	N.A.					
Mantenimiento del motor				N.A.	Anual	Trabajo subcontratado					
MECÁNICO											
TRABAJOS A EJECUTAR				TIEMPO (h)	FRECUENCIA	OBSERVACIONES					
Revisar tornillos de anclaje de los motores y bombas				0,5	Mensual	N.A.					
Limpiar los filtro de agua de alimentación de la caldera.				1	Mensual	N.A.					
Revisar la tensión de las correas en V				0,25	Mensual	N.A.					
Revisar ventilador: limpiar aletas, revisar pernos, analisis de vibración				2	Trimestral	N.A.					
Vaciar el tanque de alimentación de la caldera. Revisar la válvula flotadora y revisar el interior del tanque				4	Trimestral	N.A.					
Limpiar el lado fuego de los tubos				8	Semestral	Trabajo subcontratado					
Revisar conductos de aire y el mezclador de gas				2	Semestral	N.A.					
Inspeccionar las superficies de evaporación, para ver si hay indicios de corrosión, picadura o incrustación				2	Semestral	N.A.					
Probar funcionamiento de las válvulas solenoides para verificar si cierran bien bajo presión normal				1	Semestral	N.A.					
Verificar el estado de todas las trampas de vapor en el sistema de retorno de condensado				8	Semestral	N.A.					
Revisar lado agua de la caldera: Quitar las tapas de inspección y lavar bien con agua				8	Semestral	Trabajo subcontratado					
CALIBRACION											
PARAMETROS				ENTRADA	SALIDA	OBSERVACIONES					
N.A.				N.A.	N.A.	N.A.					

Fuente: Formato set. C.I Naturmega 2017

Figura 12. Formato Historia del equipo

		FOM-05		HISTORIA DEL EQUIPO				
MAQUINA:	CALDERA DE VAPOR	TAG:	CAL-01	MARCA:	POWERMASTER	MODELO:	3HL-WB5-70-150	
SERIE:	A-2304	UBICACIÓN:	ZONA CALDERA	CRITICIDAD:				
FECHA	DESCRIPCION DEL TRABAJO	HORAS PROD. PERDIDA	REPUESTOS/CONSUMIBLES/ MATERIALES UTILIZADOS	COSTO REPUESTOS/ CONSUMIBLES/ MATERIALES	MANO DE OBRA	COSTO MANO DE OBRA	COSTO TOTAL DEL MTT	OBSERVACIONES/RESULTADOS DE PRUEBAS/MEDICIONES
08-07-30.	Se trabaja en los manholes de la caldera, para su revision o mantenimiento y se deja aireandose para seguir trabajando en ella al día siguiente.		0	0	\$ 5.700			
08-07-31.	Se inicia revision y limpieza de la caldera, se arregla el visor del tanque de alimentacion, se baja la bolla y se hace pruebas para consultar que este funcionando bien. Se hace empaques grafitados para instalar en los manholes de la caldera, se instalo la bomba que se trajo de procaps, pero esta presento problemas electricos, esta se reparo con ayuda del tecnico de procaps, se probó la bomba y esta quedo disponible para su funcionamiento, una ves realizada todas estas operaciones se finalizó con el mantenimiento de la caldera, y se probó la hermetecidad de esta.		(1) visor tanque alimentacion (2) empaques grafitados		\$ 5.700			
08-08-11.	Se detubo la caldera y se destapo el blower, ya que este presento ruidos extraños, se reviso y se determino que se habia presentado un desplazamiento del ventilador o blower, por lo que fue necesario el aflojarto y desplazarlo hasta la posicion adecuada.		0	0	\$ 5.700			
08-08-19.	Se corrige roce del ventilador del blower.		0	0	\$ 5.700			
08-09-01.	Se corrigio la fuga en la valvula de compuerta que da paso al vapor hacia destilacion molecular, se instalaron 2 empaques de asbesto.	15 min	(2) empaques de asbesto		\$ 5.700	\$ 1.425		

Fuente: SST C.I Naturmega 2016

Tabla 2. Hoja de Ruta Mantenimiento

ACTIVIDAD	FRECUENCIA
Limpieza de los filtros de las bombas de alimentación	15 Días
Limpieza de la línea de alimentación y los de cheques de la línea	Semestral
Limpieza general de la placa tubos, Shell, vaso de presión y tubos.	Semestral
Apertura e Inspección de las Calderas	Semestral
Prueba Hidrostática a 150 psi, quitando válvulas de seguridad, desmontando los controles de presión y taponando sus conexiones	Semestral
Desmante y Mantenimiento del Quemador.	Semestral
Limpieza de línea piloto, verificando chispa del transformador de ignición y de los electrodos; verificando el censo de llama por la foto celda.	Semestral
Desmante y Mantenimiento de la línea de alimentación de gas, agua; y purga de las calderas con los accesorios que lo conforman.	Semestral
Limpieza de los tubos y de la placa tubos con churrusco y grata.	Semestral
Limpieza y Mantenimiento del controle de nivel de agua Warrick y el Control de Nivel de agua Mc Donal MILLER.	Semestral
8.Limpieza del lado del agua, retirando con agua a presión los sólidos acondicionados y cualquier otra suciedad	Semestral
Limpieza y Mantenimiento del tablero eléctrico.	Semestral
Instalación de los empaques de Manholes y Hanholes, y de la empaquetadura de las tapas	Semestral
Calibración de la combustión	Semestral
Registrar actividad en la hoja de inspección de bombas. Código FOM-06	

Fuente: Procedimiento de mantenimiento PRM-02 C.I Naturmega. 2016

4.2.1 Historial de Fallas. El historial de falla en un equipo es una herramienta de estadística muy disiente de los problemas más frecuentes en este. Para tomar el historial de falla de la caldera de vapor Power Master de la empresa Naturmega se toma la muestra de fallas del último año (año 2016).

4.2.1.1 Tiempos Perdidos Por Fallos Año 2016. Se realizó un análisis de los tiempos perdidos reportados en los últimos 12 meses por fallos en la caldera de vapor, el resultado del análisis muestra que se han perdido 61 horas por fallas asociadas a la caldera de vapor. Estas fallas han generado incumplimiento en el programa de producción afectando la utilidad de la compañía.

Figura 14. Tiempo perdido caldera Power Master en Horas/meses año

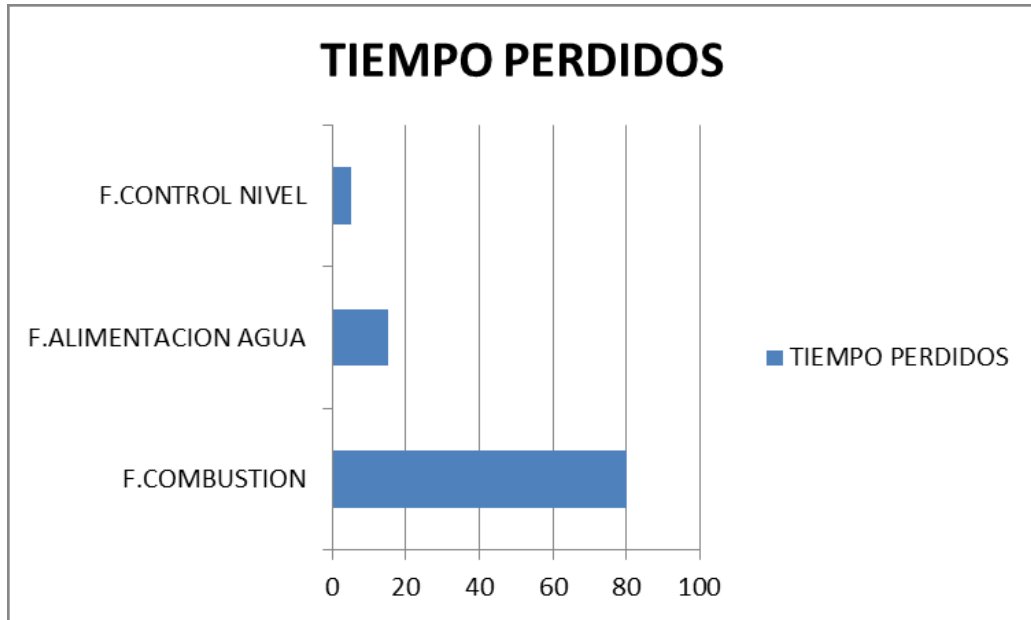


Fuente: Informe de mantenimiento caldera de vapor C.I Naturmega año 2016 El 80% de estas fallas son asociadas al sistema de combustión de la caldera.

El 15% problemas con el agua de alimentación de la caldera.

El 5% restante a problemas con el sistema de nivel de la caldera.

Figura 15. Caldera Power Master en horas



Fuente: Informe de mantenimiento caldera de vapor C.I Naturmega año 2016

Se realiza revisión de los análisis de combustión de la caldera y el último análisis Orsat de la caldera se consigue una eficiencia del 83%, el Tratamiento químico que se realiza al agua de alimentación de la caldera de vapor no está siendo efectivo, dado que el deterioro y corrosión en los tubos de la caldera evidencian la falla del sistema.

Las Cenizas y el Hollín encontrado en la caldera confirman que el sistema de combustión de la caldera Power Master no es eficiente.

El mantenimiento se ejecutó desde el lunes 6 de julio del 2016 hasta el miércoles 9 de julio del 2016, se trabajó con 1 persona del área de mantenimiento de Naturmega y 4 de la firma contratista Industrias RRS. Durante este mantenimiento se encontraron los tubos internos de la caldera en mal estado con picaduras, dureza y fuga. La caldera se encontró con 12 tubos condenados, los cuales equivalen al 15% de la tubería de esta. También se encontró fuga por la placa de tubos.

Figura 16. Tubos condenados caldera



Fuente: Informe técnico caldera de vapor CAL-01 Naturmega 2016

Figura 17. Fuga placa tubos caldera



Fuente: Informe técnico caldera de vapor CAL-01 Naturmega 2016

Figura 18. Estado de los tubos lado agua caldera



Fuente: Informe técnico caldera de vapor CAL-01 Naturmega 2016

4.2.1.2 Análisis de datos y fallas de la caldera de vapor

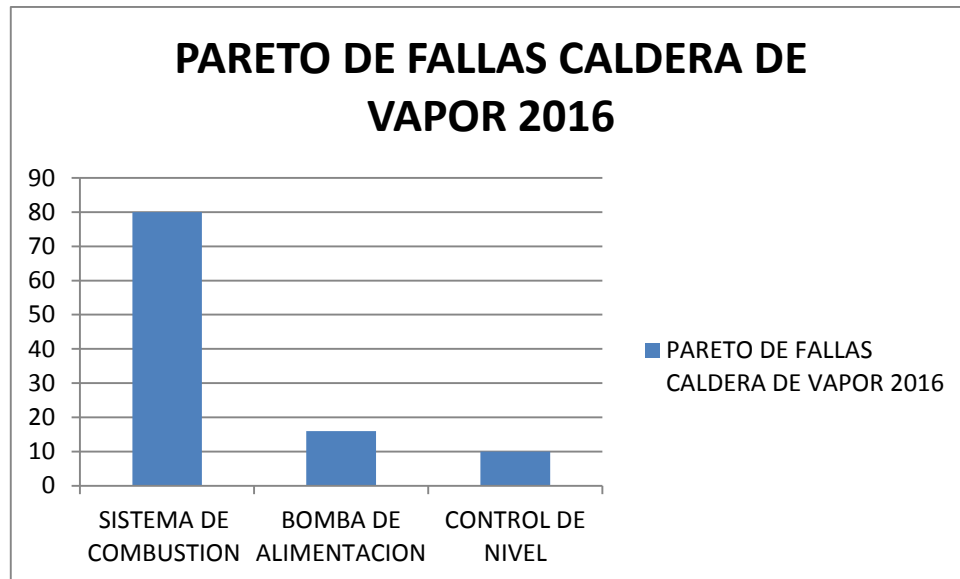
Con la colaboración de todo el personal técnico y de ingeniería del área de mantenimiento de Naturmega se logró recopilar la mayor información posible sobre la caldera de vapor correspondiente a datos técnicos, repuestos, historia del equipo, fallas e incidentes.

Con toda la información organizada y documentada se pudieron establecer las siguientes conclusiones sobre el estado actual de la caldera de vapor:

- La caldera presenta una ineficiencia en el proceso de generación de vapor del 16 % comparado con el nominal del 95%, esto se debe al obsoleto sistema de combustión carente de actividades de mantenimiento en sus partes móviles.
- No existe un listado actualizado de los componentes y repuestos de la caldera dónde se discriminen cuáles son los críticos y los no críticos.
- No existe una matriz de riesgos y fallas de componentes de la caldera.
- No existe un programa de mantenimiento predictivo que ayude a predecir fallas e identificar pérdidas de energía por mal aislamiento térmico.
- El análisis de Pareto de las fallas de la caldera evidenció que el factor más predominante durante el año 2016 fue el que se presentó en el sistema de

combustión con un total de 80 horas que corresponden al 81% del tiempo perdido del año 2016.

Figura 19. Pareto de fallas caldera año 2016



Fuente: Informe técnico caldera de vapor CAL-01 Naturmega 2016.

El análisis de Pareto nos muestra un panorama del comportamiento de la caldera durante el año 2016, la falla que generó mayor impacto en el área de producción fue la relacionada con el sistema de combustión de la caldera.

Este sistema es el que mantiene la eficiencia en la generación de vapor de esta, un sistema de modulación instalado en la caldera, el cual compara el valor de presión seteado versus la presión real del sistema el cual después de comparar las presiones del sistema y del seting, el modulador (Modutrol) envía señales de control a la válvula de gas y el dámper de aire de la caldera para mezclarlos y buscar que la caldera genere más vapor o menos vapor según sea el caso.

Durante el año 2016 también se presentaron más fallas las cuales se consideran irrelevantes por no haber generado un mayor impacto en el área de Producción, estas fueron:

- Falla Bomba de alimentación de agua de la caldera.
- Falla sistema de control de Nivel de la Caldera Madnonell.

Estas fallas al no ser las más críticas no están exentas de análisis y generación acciones correctivas de fondo para evitar su recurrencia.

4.2.2 Indicadores. Los indicadores de disponibilidad de equipos nos muestran una claridad del comportamiento de equipos del área de servicio. Debido a que estos solo miden la disponibilidad de los equipos de los procesos productivos y no tienen cuenta los equipos de apoyo crítico.

Los Indicadores de disponibilidad de equipos Naturmega se realizan a los siguientes procesos:

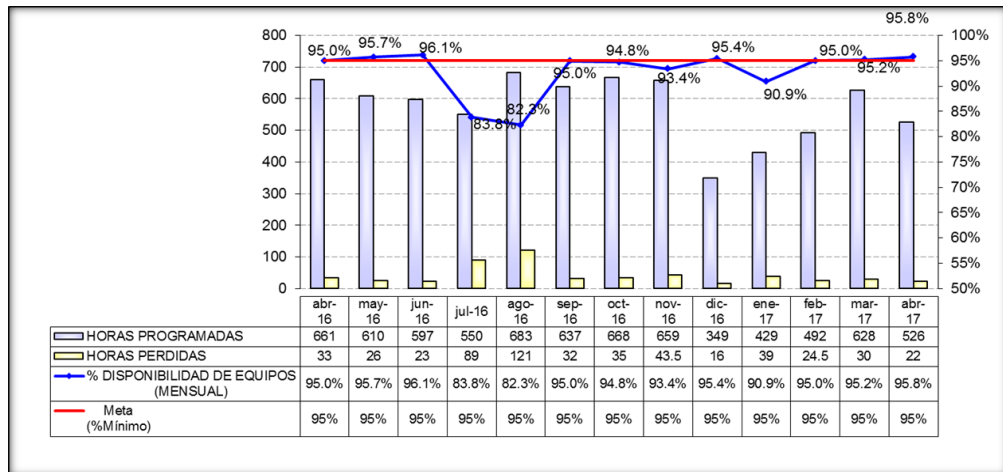
- REFINACION
- DESTILACION MOLECULAR
- TRANSESTERIFICACION
- BLANQUEO
- WINTERIZACION
- CONVERSION A TRIGLICERIDOS TG

4.2.2.1 Modelo De Indicador De Disponibilidad

Formula: Disponibilidad de equipos = (Horas programadas-Horas perdidas) / Horas programadas x 100

Meta: Mínimo 95%

Figura 20. Indicador de disponibilidad proceso destilación molecular



Fuente: Indicadores de mantenimiento Naturmega 2016

Lo anterior indica que no existe una medición directa de la disponibilidad, ni la utilización de los equipos del área de servicios donde se encuentran los equipos que brindan apoyo a los procesos productivos, entre esos la caldera de vapor Power Master de 70 BHP.

4.2.3 Análisis RCA. La tendencia mundial hacia la implementación de sistemas de gestión y mantenimiento más efectivo obliga a que los departamentos de mantenimiento de las organizaciones implementen análisis de causa raíz a las fallas funcionales presentadas en sus sistemas o componentes.

En el desarrollo de esta monografía tenemos como análisis de estudio la caldera de vapor Power Master, en los análisis de Pareto de las fallas presentadas en esta caldera se muestra que la de más impacto fue la falla del sistema de combustión.

Por lo manifestado anteriormente se toma como objeto de estudio para el análisis de causa Raíz la falla del sistema de combustión de la caldera de vapor Power Master, para este análisis se desarrollará la metodología de árbol de decisiones.

CALDERA DE VAPOR POWER MASTER 70 BHP

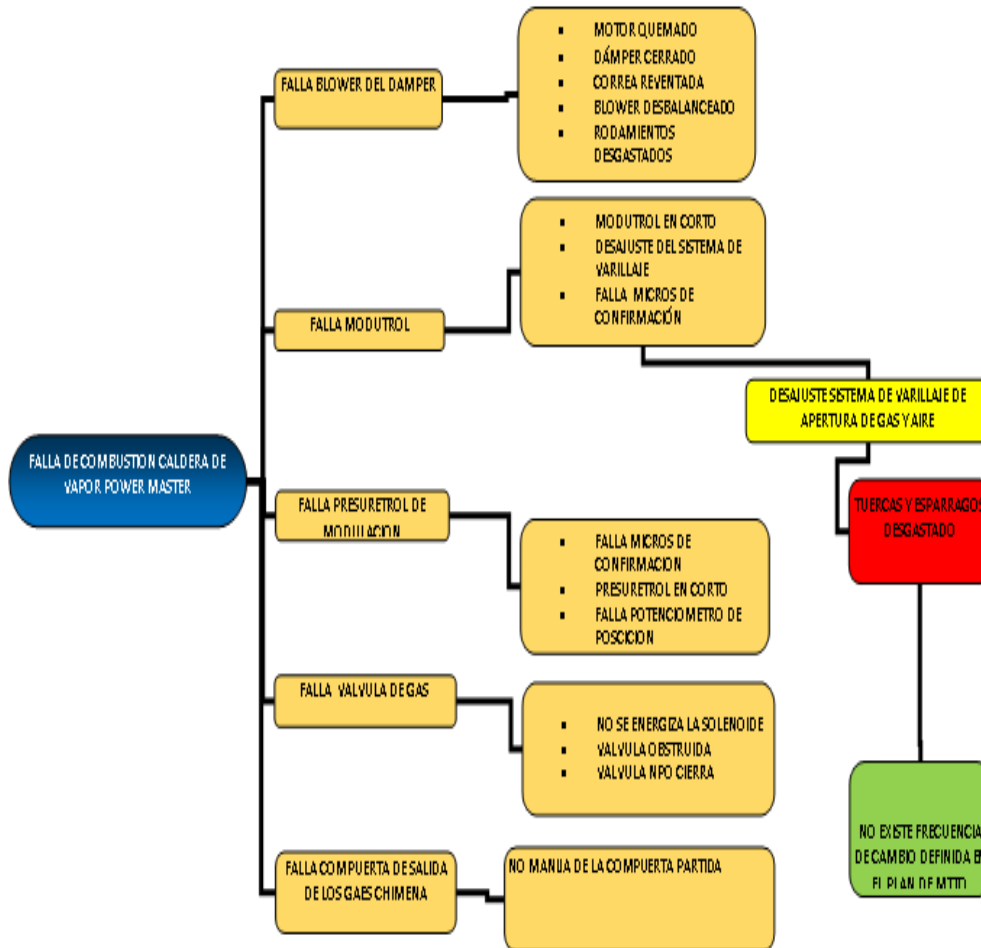
INVESTIGACIÓN DE FALLA	Falla de combustión caldera de vapor Power Master del área de servicios
FECHA DEL INCIDENTE	15 junio de 2017
ORIGINADOR DEL RCA	Omar Herrera
LIDER DEL RCA	Roberto Castilla

PARTICIPANTES

Nombre	Iniciales	Rol en el Taller RCFA
Omar Herrera	OH	Participante
Alejandro Aparicio	AA	Participante
Guido Amaya	GA	Participante
Jairo Villamizar	JV	Facilitador
Roberto Castilla	RC	Líder

4.2.3.1 Descripción de la situación. Durante el año 2016 se presentaron múltiples fallas que impactaron la producción y la entrega de producto final de la compañía, el objetivo de este análisis es detectar la causa raíz de la falla más repetitiva durante el año 2016, lo cual ocasionó una parada en el proceso de conversión a TG (Triglicéridos) de 80 horas durante todo el año. Afectando el cumplimiento de la entrega de producto terminado de 2.280 kilogramos lo que equivale a \$ 130.000.000, el costo de los mantenimientos realizados asociados a esta falla fue de \$ 14.000.000.

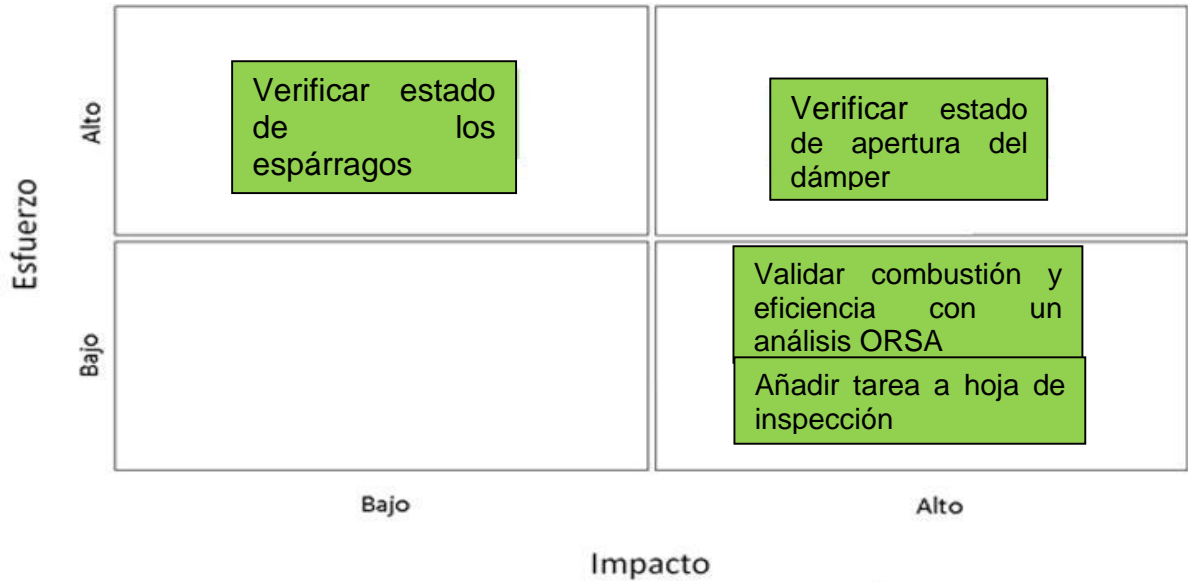
Figura 21. Árbol de fallas



Fuente: Los Autores

4.2.3.2 Selección de la solución. Las soluciones deben ser probadas con la calificación de criterio absoluto/ Resultado Final (Pay off).

Figura 22. Matriz de Resultado Final (Pay-off Matrix) (Sección Obligatoria)



Fuente: Los Autores

Tabla 3. Lista de Actividades

Solución	Cuadrante	Prioridad	Comentario
Verificar estado de tuercas y espárragos	I	Alejandro Aparicio	
Verificar estado de apertura del dámper	II	Omar Herrera	
Validar combustión y eficiencia con un análisis ORSA	IV	Omar Herrera	
Añadir tarea a hoja de inspección	IV	Alejandro Aparicio	

Fuente: Los Autores

5. SOLUCIÓN DE OBJETIVOS

5.1. MATRIZ DE CRITICIDAD

La definición de criticidad se acerca a la determinación de la estrategia para definir prioridades en la planeación y ejecución de mantenimiento de componentes de un sistema o equipo con el fin de prevenir paradas innecesarias.

En un plan de mantenimiento basado en RBI lo más importante es la determinación de la Matriz de criticidad de los componentes de un sistema, los criterios para la evaluación de la Matriz parten de la norma API-580, esta se establece basada en cinco etapas de evaluación.

- SALUD
- AMBIENTE
- SEGURIDAD
- COSTO
- PRODUCCIÓN (SERVICIO)

En cada etapa se cuantifica el impacto que una falla funcional de un componente genere en cada uno de ellos, para la evaluación de la matriz de criticidad de la caldera de vapor Power Master de 70 BHP se planea el siguiente criterio, el cual fue soportado mediante un análisis multidisciplinario de la empresa Naturmega, en el cual participaron los siguientes cargos.

- Planeador de Producción
- Supervisor de Producción
- Coordinador de Mantenimiento
- Analista HSQ
- Director de Producción
- Analista de compras

En este modelo de criterio se plantearon fallas funcionales de los componentes de la caldera de vapor y se determinó por consenso los niveles de impacto que estas tenían en el área de producción, seguridad, ambiente y mantenimiento (costo de la mantenibilidad del componente).

Figura 23. Modelo de matriz de criterio de evaluación del impacto de la falla e un componente

Impacto	1 (Bajo)	2 (Menor)	3 (Medio)	4 (Alto)	5 (Muy alto)
Salud	Sin efecto	Atención médica primaria	Incapacidad temporal	Incapacidad parcial permanente	Incapacidad total permanente
Seguridad	Primeros auxilios	Lesión con atención médica no incapacitante	Lesión moderada y/o incapacitante temporal	Lesión con incapacidad permanente	Lesión con fatalidad
Ambiente	Impacto ambiental insignificante y reversible requiriendo menor o ninguna remediación. Menor de 1M	Impacto menor reversible requiriendo remediación menor. Entre 1M y 9M	Impacto ambiental moderado reversible con efectos a corto plazo requiriendo remediación moderada. Entre 9M y 90M	Impacto ambiental serio con efectos medios requiriendo remediación significativa. Entre 90M y 300M	Impacto ambiental desastroso con efectos a largo plazo que requieren remediación mayor. Mayor de 300M
Costos	< 0,5 M	Entre 0,5 y 2 M	Entre 2 M y 5 M	Entre 5 M y 10 M	> 10 M
Producción (Servicios)	Parada 100 % de producción < 1 h	Parada 100 % de producción entre 1 y 2 h	Parada 100 % de producción entre 2 y 4 h	Parada 100 % de producción entre 4 y 6 h	Parada 100 % de producción > 6 h

Fuente: Los Autores

5.1.2 Matriz probabilidad/consecuencia. La Matriz de calificación se toma basada en la norma API-580, la cual establece un semáforo de calificación. La evaluación de la probabilidad y la consecuencia de la ocurrencia de la falla, se realiza después de cruzar cada una de las anteriores en la matriz de consecuencia por probabilidad. Donde el valor de mayor criticidad es el que relaciona el concepto probabilidad (casi-probable) y consecuencia (muy alto) generando un valor cualitativo de 30.

Figura 24. Matriz probabilidad - consecuencia

		PROBABILIDAD					
		Raro	Improbable	Posible	Probable	Muy probable	Casi probable
CONSECUENCIAS	Bajo	1	2	3	4	5	6
	Menor	2	4	6	8	10	12
	Medio	3	6	9	12	15	18
	Alto	4	8	12	16	20	24
	Muy alto	5	10	15	20	25	30

Críticos	Medianamente críticos	No críticos

Fuente: Material clase de Integridad Mecánica y Confiabilidad, Profesor Anibal Serna, Especialización Gerencia de Mantenimiento.

Posterior a la creación de la matriz de criterios y de consecuencia por probabilidad, se diseña un modelo de matriz de análisis de riesgo para la caldera de vapor, para la creación de este modelo se establecieron una serie de parámetros considerados fundamentales para desarrollar el análisis.

Definición de los campos a evaluar en la matriz de riesgo

NUMERO (N°)

Numero de ítems descritos en la tabla, determinar un orden ascendente de los componentes.

PLANTA

El lugar de instalación física o ubicación técnica del sistema a analizar en la matriz de riesgo.

SISTEMA

Conjunto de componentes unidos de forma física con principio mecánico o eléctrico para ejercer una función.

SUBSISTEMA

Componente del sistema que cumple una función secundaria o complementaria de la función principal.

EQUIPO

Descripción o identificación alfanumérica de un equipo, esta identificación se realiza según criterio de cada empresa u organización.

TIPO DE FALLA, EVENTO O PREOCUPACIÓN

Perdida de la función principal de un componente, evento o preocupación que pueda generar un impacto en las instalaciones, equipo o personas.

SALUD

Impacto generado en la salud de un colaborador por la falla de un componente o evento presentado.

SEGURIDAD

Impacto generado en las instalaciones físicas o aparato productivo de la organización por la ocurrencia de una falla funcional de un componente del sistema.

AMBIENTAL

Impacto generado en el medio ambiente o vecinos de la comunidad por la falla funcional de un componente del sistema.

COSTOS

Costos incurridos en la reparación o cambio del componente que perdió la función secundaria. Estos deben ser calculados después de sumar el costo del repuesto más el costo de la mano de obra utilizada en la reparación o cambio del componente.

PRODUCCIÓN

Impacto generado en el programa de producción. Este impacto debe ser dimensionado con el incumplimiento del programa de producción y la afectación al Cliente.

SEVERIDAD

Es el dimensionamiento del impacto general de un fallo funcional de un componente dentro de un sistema, se toma el valor máximo del impacto en la salud, ambiental, seguridad, costos y producción.

PROBABILIDAD OCURRENCIA

Es la probabilidad de que exista un fallo funcional de un componente en el último año.

Tabla 4. Nivel de probabilidad.

PROBABILIDAD		
Nivel	Narrativa	Probabilidad en un año
6	Casi probable	> 95%
5	Muy probable	80% a 95%
4	Probable	50% a 80%
3	Posible	20% a 50%
2	Improbable	6% a 20%
1	Raro	< 5%

Fuente: Los Autores

NIVEL DE CRITICIDAD

Es el valor que indica si un componente es crítico, el resultado del nivel de criticidad se toma de multiplicar la probabilidad por la severidad, se definen los siguientes rangos para los valores de criticidad.

Figura 25. Rangos valores de criticidad.

Críticos	Medianamente críticos	No críticos
20-----30	10-----19	1----- 9

Fuente: Los Autores

5.1.2.1 Modelo de matriz de criticidad y riesgo

Figura 26. Matriz de criticidad y riesgo.

No.	Planta	SISTEMA	SUB - SISTEMA	DESCRIPCION SUB - SISTEMA	EQUIPO	Tipo de falla, evento o preocupación	Salud (H)	Seguridad (S)	Ambiente (E)	Costos (O)	Producción (P)	SEVERIDAD	Probabilidad Ocurrencia	Nivel de Criticidad
1	Servicios	Generación de vapor	Caldera de vapor	Programador	CAL-01	No programa inicio de caldera	2	5	4	3	3	5	4	20
2	Servicios	Generación de vapor	Caldera de vapor	Válvula solenoide o piloto	CAL-01	No hay llama piloto	2	3	3	3	3	3	5	15
3	Servicios	Generación de vapor	Caldera de vapor	Válvula principal de gas	CAL-01	No hay llama principal	2	5	3	3	3	5	3	15
4	Servicios	Generación de vapor	Caldera de vapor	Fotocelda	CAL-01	No hay detección del sistema	1	5	3	2	3	5	5	25
5	Servicios	Generación de vapor	Caldera de vapor	Presostato	CAL-01	No envía señal de encendido o apagado a la caldera	2	5	4	3	2	5	4	20
6	Servicios	Generación de vapor	Caldera de vapor	Control de nivel Magdonell	CAL-01	No hay control de nivel	1	3	3	3	3	3	5	15
7	Servicios	Generación de vapor	Caldera de vapor	Modutrol	CAL-01	No hay control en la combustión	1	1	2	3	4	4	4	16
8	Servicios	Generación de vapor	Caldera de vapor	Transformador de ignición	CAL-01	No hay chispa	4	5	1	3	4	5	4	20
9	Servicios	Generación de vapor	Caldera de vapor	Electrodo	CAL-01	No hay chispa	1	1	1	2	5	5	5	25
10	Servicios	Generación de vapor	Caldera de vapor	Motor blow er	CAL-01	No genera aire	1	1	1	3	5	5	3	15

Fuente: Los Autores

5.2. ANÁLISIS DE MODOS DE FALLA CALDERA DE VAPOR

Figura 27. Matriz de análisis modos de falla caldera de vapor AMEF

RESPONSABLE	CORD. MANTENIMIENTO	AMEF PROCESO DE GENERACION DE VAPOR						TAG	CAL-01
PROCESO	ELABORACION DE VAPOR							UBICACION	AREA DE SERVICIOS
PRODUCTO	VAPOR								
FECHA	30/10/2017								
COMPONENTE	FUNCION	FALLO FUNCIONAL	MODOS DE FALLAS	EFECTO FALLA	SEVERIDAD	CORRENCIA DE LA FALLA	ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO	REPUESTOS	ACTIVIDAD
PROGRAMADOR	MANEJA SISTEMA DE IGNICION Y ENCENDIDO AUTOMATICAMENTE	NO PROGRAMA INICIO DEL SISTEMA(NO HAY IGNICION)	FALLA TARJETA DE PURGA	NO INICIA EL SISTEMA NO GENERA VAPOR	5	1	NINGUN MANTENIMIENTO	TARJETA PRINCIPAL	CAMBIO TARJETA DE PURGA
			FALLA AMPULADOR DE LLAMA					AMPLIFICADOR DE LLAMA	CAMBIO AMPULADOR DE LLAMA
			FALLA TARJETA PRINCIPAL DE CONTROL SULFATACION EN LOS PINES Y BORNES					TARJETA PRINCIPAL	CAMBIO TARJETA PRINCIPAL DEL PROGRAMADOR
TRANSFORMADOR DE IGNICION	GENERAR 6000 VOLTIOS PARA ENCENDER LLAMA PILOTO	NO GENERA VOLTAGE	FALLA ALIMENTACION EXTERNA FALLA TRANSFORMADOR	NO HAY GENERACION DE CHISPA	5	3	TAREA A CONDICION SUSTITUCION CICLICA	CONEXIONES TRANSFORMADOR	REVISAR CONEXIONES Y PROBAR TRANSFORMADOR EN EL TALLER CAMBIO TRANSFORMADOR
VALVULA SOLENOIDE O PILOTO	REGULAR PASO DE COMBUSTIBLE (GAS /OIL)	NO HAY REGULACION DE COMBUSTIBLE	OBSTRUCCION CALIBRACION OBSTRUCCION DE LA BOQUILLA	NO HAY LLAMA PILOTO	5	2	TAREA A CONDICION	TRANSFORMADOR	LIMPIEZA Y CALIBRACION DEL REGULADOR O CAMBIO DEL REGULADOR
VALVULA PRINCIPAL DE GAS	REGULAR PASO DE COMBUSTIBLE (GAS /OIL)	NO HAY REGULACION DE COMBUSTIBLE	OBSTRUCCION	NO HAY LLAMA PRINCIPAL	4	2	TAREA A CONDICION	VALVULA SOLENOIDE	LIMPIEZA O CAMBIO DE VALVULA SOLENOIDE
			FALLA DE CALIBRACION					VALVULA SOLENOIDE	
ELECTRODO	REFLEJA LA CHISPA PARA ENCENDER EL PILOTO	NO HAY CHISPA	CALIBRACION SULFATACION	BLOQUEO DEL SISTEMA	4	3	REACONDICIONAMIENTO CICLICO	ELECTRODO	AJUSTAR DISTANCIA ELECTRODO
FOTOCELDA	DETECTAR LLAMA INICIAL	NO HAY DETECCION DE LLAMA	SUCIO/CONTAMINADA	BLOQUEO DEL SISTEMA	5	3	REACONDICIONAMIENTO CICLICO	FOTOCELDA	LIMPIEZA ELECTRODO LIMPIEZA O CAMBIO DE FOTOCELDA
MOTOR BLOWER	GENERAR AIRE PARA LA COMBUSTION DEL HOGAR	NO GENERA AIRE	NO ENCIENDE EL MOTOR	SE BLOQUEA EL SISTEMA NO HAY LLAMA INICIAL NO HAY ALTO FUEGO	5	2	TARERA ACONDICION	MOTOR DE STOP	REVISAR MOTOR Y SISTEMA DE CONTROL DE POTENCIA O CAMBIO DEL MOTOR
			DAMPER CERRADO	5	2	TARERA ACONDICION	BLOWER	LIMPIEZA DEL BLOWER O CAMBIO	
PRESOSTATO	ACTIVAR LA SEÑAL DE ENCENDIDO O APAGADO DEL CONTROLADOR	NO ENVIA LA SEÑAL DE ENCENDIDO O APAGADO AL CONTROLADOR	INCRUSTACIONES ROMPIMIENTO DEL DIAFRAGMA	SE PARA LA CALDERA ACTIVA VALVULA DE SEGURIDAD DE LA CALDERA	5	1	SUSTITUCION CICLICA	PRESOSTATO	CAMBIO DE PRESOSTATO
CONTROL DE NIVEL MAGDONELL	CONTROLAR NIVEL DE AGUA DE LA CALDERA	NO HAY CONTROL DE NIVEL	FALLA SISTEMA DE ALIMENTACION DE AGUA	BLOQUEO DE LA CALDERA POR SEGURIDAD	5	4	TAREA A CONDICION	CORTO EN EL MOTOR / FUGA EN EL SELLO DE FALLA	COLOCAR A TRABAJAR BOMBA DE STOP Y PROGRAMAR
			CONTROL MAGDONELL DAÑADO					1	2
SEGURIDAD CALDERA	CONTROLAR QUE LAS CONDICIONES INICIALES DE SEGURIDAD SE MANTENGAN DURANTE EL ARRANQUE YE EL PROCESO DE GENERACION DE VAPOR	NO HAY CONTROL EN LAS SEGURIDADES DE LA CALDERA	LIMITE INFERIOR NIVEL	SE BLOQUEA EL EQUIPO NO ARRANCA	5	11	SUSTITUCION CICLICA	ELECTRODO	REVISAR ELECTRODO O CAMBIO
			SWITCH DE GAS DE ALTA Y BAJA					5	1
MODUTROL	CONTROLAR LA COMBUSTION DE LA CALDERA	NO HAY CONTROL EN LA COMBUSTION	SWITCH DE AIRE	NO HAY MODULACION EN LA LLAMA DE LA CALDERA	5	1	SUSTITUCION CICLICA	MICRO SWITCH	REVISAR ESTADO MICROS
			FALLA TARJETA PRINCIPAL DE CONTROL					5	1
BOMBA ALIMENTACION CALDERA	BOMBLEAR AGUA DE ALIMENTACION A LA CALDERA	NO BOMBEA LIQUIDO	FALLA ESPARRAGOS DE AJUSTE BAJA NIVEL TANQUE DE ALIMENTACION	SE BLOQUEA NO HAY INICIO DEL SISTEMA DE GENERACION DE VAPORO	4	1	SUSTITUCION CICLICA	ESPARRAGOS DE 3/8	REVISAR AJUSTE DE LAS TUERCAS O CAMBIO DE ESPARRAGOS
			Bajo nivel de presion en la bomba					5	2

INDICE DE SEVERIDAD	
VALORACION	RIESGO
5	GENERA PARADA DE PLANTA Y PELIGRO A LA COMPAÑIA Y LA COMUNIDAD
4	GENERA PARADA DE PLANTA Y PELIGRO PARA LA COMPAÑIA
3	GENERA PARADA DE PLANTA
2	GENERA PARADA DE EQUIPO
1	NO GENERA PARADA DE EQUIPO

Fuente. Los Autores.

Para el análisis de modos de falla de la caldera de vapor se analizaron sus componentes, interpretando la función de cada componente y sus fallos funcionales.

Para este análisis se conformó un grupo de trabajo, el cual estuvo constituido por:

- 1 Ingeniero electrónico
- 1 Ingeniero mecánico
- 1 Supervisor de Mantenimiento Naturmega

5.3 PLAN DE INSPECCION BASADO EN RBI

5.3.1 Listado de componentes críticos caldera de vapor

Se elaboró un listado de componentes críticos con base a la información recopilada de los formatos de la hoja de vida Tarjeta Maestra (FOM-04).

Tabla 5. Listado de componentes críticos caldera de vapor

ITEM	DESCRIPCIÓN
1	VALVULA PRINCIPAL DE GAS
2	VALVULA PILOTO DE GAS
3	MOTOR BLOWER 5HP
4	PROGRAMADOR HONEYWELL
5	FOTOCELDA
6	MODUTROL
7	CONTROL DE NIVEL MAGDONELL
8	WARRICK CONTROLS
9	TRANSFORMADOR DE IGNICION 230 V 50/60Hz 100VA
10	PRESURETROL DE CORTE
11	PRESURETROL DE MODULACION
12	ELECTRODO

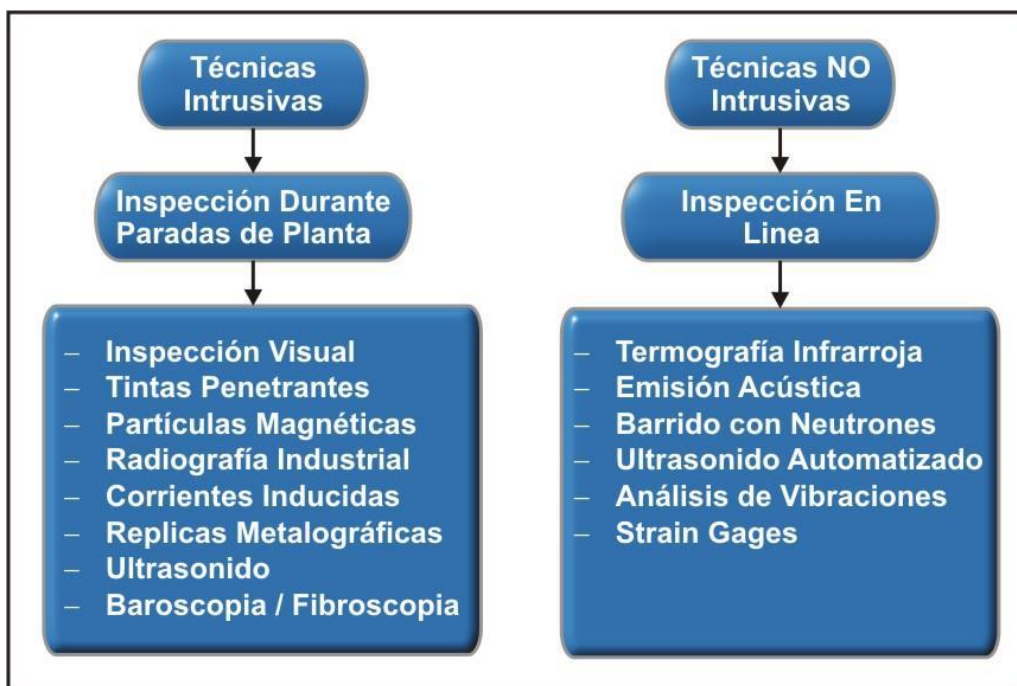
Fuente: Los Autores

5.3.2 Inspección basada en RBI. El alcance y los objetivos de un programa de inspección basada en riesgo es definir y realizar aquellas actividades necesarias para detectar el deterioro de los materiales y componentes en servicio antes de que se produzca una falla.

Con la inspección sistemática se identifica:

- Tipos de daño.
- Dónde se presentan.
- Cómo se detectan.
- Frecuencia de inspección.

5.3.3 Métodos / Técnicas de inspección



Fuente: Material clase de Integridad Mecánica y Confiabilidad, Profesor Aníbal Serna, Especialización Gerencia de Mantenimiento.

Para la elaboración del plan de Inspección se establecen técnicas intrusivas y técnicas no intrusivas

Las técnicas intrusivas que deben desarrollarse en el plan de mantenimiento son: Inspección visual a los componentes y elementos de control de la caldera de vapor,

para la realización de la inspección visual de la caldera se plantea un formato de inspecciones.

Las técnicas no intrusivas planteadas son técnicas que apuntan a identificar riesgos y fallas potenciales de los componentes de la caldera de vapor son:

- Termografía.
- Análisis de vibraciones.

Realizando un análisis de la información de la hoja de ruta de mantenimiento de la caldera de vapor con respecto a metodología de inspección basada en riesgo se proponen unas actividades adicionales en la hoja de ruta de mantenimiento las cuales se relacionan a continuación:

Tabla 6. Actividades adicionales a la hoja de ruta de mantenimiento existente.

Realizar análisis de vibraciones a los rodamientos del motor del blower	Mensual
Realizar análisis de vibraciones a las chumaceras del eje del blower	Mensual
Realizar análisis de termografía al cuerpo de la caldera y elementos móviles sujetos a fricción	Trimestral
Análisis de termografía al tablero eléctrico	Trimestral

Fuente: Los Autores

La hoja de ruta es la información de entrada para la elaboración de un plan de mantenimiento, en el modelo de hoja de ruta propuesto se plantean una frecuencia de ejecución de las tareas intrusivas y no intrusivas planteadas en la metodología RBI.

Termografía: Se plantea una frecuencia trimestral, se toma esta frecuencia soportada en un programa de mantenimiento predictivo planteado por una empresa dedicada a la realización de actividades no intrusivas.

Análisis de vibraciones: Se plantea una frecuencia mensual sustentada en el análisis de criticidad y riesgo de equipos, el cual arroja que la caldera es un equipo crítico, motivo que obliga a mantener la mínima frecuencia de monitoreo.

Tabla 7. Hoja de ruta de mantenimiento de la caldera de vapor Power Master basada en RBI

ACTIVIDAD	FRECUENCIA
Limpieza de los filtros de las bombas de alimentación	15 Días
Limpieza de la línea de alimentación y los chequeos de la línea	Semestral
Limpieza general de la placa tubos, Shell, vaso de presión y tubos.	Semestral
Apertura e Inspección de las Calderas	Semestral
Prueba Hidrostática a 150 psi, quitando válvulas de seguridad, desmontando los controles de presión y taponando sus conexiones	Semestral
Desmonte y Mantenimiento del Quemador.	Semestral
Limpieza de línea piloto, verificando chispa del transformador de ignición y de los electrodos; verificando el censo de llama por la foto celda.	Semestral
Desmonte y Mantenimiento de la línea de alimentación de gas, agua; y purga de las calderas con los accesorios que lo conforman.	Semestral
Limpieza de los tubos y de la placa tubos con churrusco y grata.	Semestral
Limpieza y Mantenimiento del control de nivel de agua Warrick y el Control de Nivel de agua Mc Donal MILLER.	Semestral
Limpieza del lado del agua, retirando con agua a presión los sólidos acondicionados y cualquier otra suciedad	Semestral
Limpieza y Mantenimiento del tablero eléctrico.	Semestral
Instalación de los empaques de Manholes y Hanholes, y de la empaquetadura de las tapas	Semestral
Calibración de la combustión	Semestral
Realizar Análisis de vibraciones a los rodamientos de lo motor del blower	Mensual
Realizar Análisis de vibraciones a los chumaceras del eje del blower	Mensual
Realizar análisis de termografía al cuerpo de la caldera y elementos móviles sujetos a fricción	Trimestral
Análisis de termografía al tablero eléctrico	Trimestral

Fuente: Los Autores

Posterior a la realización del análisis de criticidad se deben establecer estrategias para mitigar el impacto de los componentes que se consideran críticos, se plantea monitorear la condición de los componentes de la caldera de vapor debido a esto se establece un modelo de formato de inspecciones.

Tabla 8. Hoja de inspección de la caldera

FECHA:		SECCION: ZONA DE CALDERAS				
EQUIPO:						
AMPERAJE MOTOR (3.59 NOMINAL):	Linea1:		Linea 2:		Linea 3:	
VOLTAJE (460 VOLTIOS):						
LIMPIEZA DE LA ZONA:	BUENA		MALA			
PRESION DE GAS	ALTA		BAJA			
FUGA DE GAS:						
ESTADO DE LAS CORREAS/TENSION (EQUIPO PARADO):						
VERIFICAR APRIETES DE TORNILLERIA:			OK	AJUSTAR		
PRESION DE TRABAJO						
LIMPIEZA DEL EQUIPO:	BUENA		MALA			
CHEQUEAR MODUTROL:						
SOLENOIDE DE ALTA (15 IN WC):	BUENA		MALA			
SOLENOIDE DE BAJA (9 IN WC):	BUENA		MALA			
NIVEL DE AGUA MC DONNELL:	ALTO	MEDIO	BAJO			
FUGA DE AGUA/VAPOR POR EL MC DONNELL:						
NIVEL DE AGUA TANQUE ALIMENTACIÓN:	ALTO	MEDIO	BAJO			
TEMPERATURA DEL TANQUE.						
FUGAS DE AGUA POR EL TANQUE DE ALIMENTACION:						
CHEQUEAR VISUALMENTE BOMBAS ALIMENTACION:						
AMPERAJE MOTOR BOM ALIME (6.2 NOMINAL):	Linea1:		Linea 2:		Linea 3:	
ESTADO DE VALVULAS Y TUBERIAS:						
ESTADO ACOPLA OMEGA BOMBAS ALIMENT:						
COLOR GASES DE LA CHIMENEA:						
TEMPERATURA DE LOS GASES DE CHIMENEA:						
TABLERO ELECTRICO BOMBAS (LIMPIEZA, CABLES SUELTOS):						
FUGAS DE VAPOR POR DISTRIBUIDOR ALTA Y BAJA.						
ESTADO DE LAS VALVULAS:						
OBSERVACIONES:						
TIEMPO DE LA INSPECCION:						
TECNICO QUE REALIZA LA INSPECCION:						
REVISADO POR:						

Fuente: Los Autores

5.3.4 Actividades complementarias propuestas para el mantenimiento. Para disminuir el impacto generado por los componentes críticos se determinaron unas acciones que ayudaran a bajar la calificación del nivel de criticidad.

- Cambio de las resina del sistemas de suavización de agua con los dos tanques de almacenamiento de resina.
- Instalación de un sistema automático de purgas para la caldera de vapor.
- Reubicación de la purga continua de la caldera de vapor para garantizar la salida de la espuma flotante en el interior de la caldera.
- Cambio del tiempo de purgas realizadas en la caldera de vapor, pasar de purga una vez por turno por 20 seg a realizar 4 purgas por turno de 5 seg.
- Instalar un nuevo sistema de combustión (Control Link) que garantice la corrección inmediata de la combustión y evitar ineficiencias energéticas en la caldera.
- Instalar un sistema de medición de vapor en la salida de la caldera para evaluar la producción real de vapor y la eficiencia.
- Evaluar la efectividad del tratamiento químico realizado al agua de entrada de vapor.

Figura 28. Matriz de riesgo y criticidad con las acciones de mejora

EQUIPO	Tipo de falla, evento o preocupación	Salud (H)	Seguridad (S)	Medio Ambiente (E)	Costos (O)	Producción (P)	SEVERIDAD	Probabilidad de ocurrencia	Nivel de Criticidad	Acción	Salud (H)	Seguridad (S)	Medio Ambiente (E)	Costos (O)	Producción (P)	SEVERIDAD	Probabilidad de ocurrencia	Nivel de Criticidad con control
CAL-01	No hay detección del sistema	1	5	3	2	3	5	4	20	1. Definir ruta de limpieza del sensor (12S) 20min/sensor (Incluirlo en SAP) 2. Tener este componente en stock	1	5	3	2	3	5	4	20
CAL-01	No hay chispa	1	1	1	2	5	5	5	25	1. Asegurar limpieza e inspección semestral 2. Tener este componente en stock	1	1	1	2	5	5	5	25
CAL-01	No hay chispa	4	5	1	3	4	5	4	20	1. Terminar estandarización de este componente. 2. Tener este componente en stock	4	5	1	3	4	5	4	20
CAL-01	No programa inicio de caldera	2	5	4	3	3	5	4	20	1. Implementar ruta de limpieza de contactos 2. Tener este componente en stock	2	5	4	3	3	5	4	20
CAL-01	No envía señal de encendido o apagado a la caldera	2	5	4	3	2	5	4	20	1. Implementar ruta de limpieza de contactos 2. Tener este componente en stock 3. Gestionar compra de equipo para calibración de este componente	2	5	4	3	2	5	4	20

Fuente: Los Autores

Figura 29. Hoja de ruta de mantenimiento después del análisis de criticidad

Resumen general operación								
Op.	SOp	PstoTbjo	Ce.	Ctrl	Descripción operación	T.	Trabajo	Un.
0010		C013N000	C013	ZM01	Serv Mec Limp Placa Tubo Shel VP 26S PDA	<input type="checkbox"/>	3	H
0020		C013N000	C013	ZM01	Serv Mec Realizar Prueba Hidrost 26S PDA	<input type="checkbox"/>	4	H
0030		C013N000	C013	ZM01	Serv Mec Limpiar Quemador 26S PDA	<input type="checkbox"/>	3	H
0040		C013N000	C013	ZM01	Serv Mec Limp LPiloto y Electrodo 26S PDA	<input type="checkbox"/>	1	H
0050		C013N000	C013	ZM01	Serv Mec Hacer Mtto Lin Aliment 26S PDA	<input type="checkbox"/>	2	H
0060		C013N000	C013	ZM01	Serv Elec Limpiar Controles Nivl 26S PDA	<input type="checkbox"/>	0.5	H
0070		C013N000	C013	ZM01	Insp Elec Revisar Sist Eléctrico 26S PDA	<input type="checkbox"/>	1	H
0080		C013N000	C013	ZM01	Serv Mec Cambiar Empaques 26S PDA	<input type="checkbox"/>	5	H
0090		C013N000	C013	ZM01	Serv Elec Calibrar y Ajustr Comb 26S PDA	<input type="checkbox"/>	4	H
0100		C013N000	C013	ZM01	Serv Elec Revisar Sistem Lubricac 4S RUT	<input type="checkbox"/>	1	H
0110		C013N000	C013	ZM01	Insp Elec Revisar Func Válvulas 16S PDA	<input type="checkbox"/>	0.5	H
0120		C013N000	C013	ZM01	Serv Mec Engrasar Chumacheras 2S RUT	<input type="checkbox"/>	1	H
0130		C013N000	C013	ZM01	Serv Elec Limpiar Fococelda 12S PDA	<input type="checkbox"/>	0.3	H
0140		C013N000	C013	ZM01	Serv Elec Limpiar Electrodo 26S PDA	<input type="checkbox"/>	0.3	H
0150		C013N000	C013	ZM01	Serv Elec Limpiar Contactos 12S PDA	<input type="checkbox"/>	0.2	H

Fuente: Reporte de hoja de ruta caldera de vapor Cal-01. Empresa Naturmega, MRP SAP.

5.4 MODELO DE INDICADORES DE GESTIÓN QUE MIDAN LA EFECTIVIDAD DE LA CALDERA DE VAPOR POWER MASTER

5.4.1 Propósito de los indicadores

- **Eficiencia de la caldera**

La intención de este indicador es medir la eficiencia de la caldera en el proceso de generación de vapor.

Fórmula: eficiencia caldera =

$$\eta = \frac{w(hv - ha)}{\dot{V}_{cald} \times LHV}$$

n=eficiencia de la caldera

w=flujo de vapor (lbm/hr)

hv=entalpia del vapor a la presión promedio de la caldera (BTU/lbm)

ha=entalpia del agua de alimentación promedio (BTU/lbm)

Vcald= Consumo de gas natural de la caldera (m3/hr)

LHV= poder calorífico inferior del gas natural. (Btu/m3)

((Producción real vapor / Producción nominal) *eficiencia nominal del equipo) 100

- **Disponibilidad y utilización de equipos del área de servicios**

La intención de este indicador es medir el porcentaje mensual de disponibilidad y utilización de equipos y ver su influencia en la producción.

Fórmula: % Disp. diaria proyectada a la semana = ((24-Horas perdidas por mtto)/24)*100

% Utiliz. diaria proyectada a la semana = ((24-Horas perdidas por cualquier motivo)/24)*100

- **Trabajo planeado y programado**

La intención de este indicador es medir el porcentaje anual de trabajo planeado y programado respecto al total.

Fórmula: % Trabajo plan. y prog. = (# OT's plan. y prog. / # OT's totales)*100

- **Cumplimiento de OT's planeadas y programadas**

La intención de este indicador es medir el cumplimiento del programa. Se calcula mediante la relación del número de OT's notificadas sobre el número de OT's programadas.

Fórmula: % Cumpl. = (# OT's preventivas ejecutadas y notificadas / # OT's totales preventivas)*100

- **Cumplimiento de OT's urgentes e inmediatas**

La intención de este indicador es medir el cumplimiento del trabajo correctivo. Se calcula mediante la relación del número de OT's notificadas sobre el número de OT's urgentes e inmediatas.

Fórmula: % Cumpl. = (# OT's urgentes e inmediatas notificadas / # OT's totales urgentes e inmediatas)*100

- **Carga de trabajo programado**

La intención de este indicador es medir qué proporción de la capacidad de las horas hombre es programada para la ejecución de actividades de mantenimiento.

Fórmula: % Carga de trabajo = (Horas hombre totales de trabajo / Horas Hombre disponibles)*100

5.4.2 Modelo de encuesta

Esta debe ser del interés de toda área que presta servicios, conocer el nivel de satisfacción del servicio prestado a los diferentes procesos de la empresa. De esta manera evaluamos nuestra gestión en busca de proporcionar un nivel de servicio que satisfaga a todos los que requieren de este.

Para el modelo de encuesta se plantean una serie de parámetros a evaluar:

- Calidad
- Entrega
- Servicio al cliente

En cada uno de los parámetros a evaluar se plantean unas preguntas que apuntan a conocer el nivel de satisfacción con respecto a cada uno de estos.

El encuestado deberá calificar de 1 a 5 según sea su percepción del servicio, siendo 5 el mayor valor y cero el de menor valor.

Valoración de la encuesta

0-----	0
1-----	20
2-----	40
3-----	60
4-----	80
5-----	100

Para obtener el resultado total se deben promediar las calificaciones obtenidas en cada parámetro entre el número de encuestas realizadas. Es importante plantear un indicador con una meta.

6. PRESUPUESTO

El costo del proyecto se encuentra sustentado de la siguiente manera:

Tabla 9. Gastos y costos del proyecto.

<i>DESCRIPCIÓN DEL GASTO</i>	<i>VALOR</i>
<i>Gastos de papelería</i>	<i>\$250.000</i>
<i>Gasto en asesoría de equipo técnico</i>	<i>\$3.000.000</i>
<i>Horas de ingeniería tabulación de información</i>	<i>\$2.600.000</i>
<i>Material de soporte para la investigación (LIBROS, REVISTAS, ETC)</i>	<i>\$550.000</i>
<i>Gastos de movilización (viajes, visitas planta, visita talleres especializados)</i>	<i>\$1.500.000</i>
<i>Administración e imprevistos</i>	<i>\$1.000.000</i>
<i>TOTAL COSTO DEL PROYECTO</i>	<i>\$8.900.000</i>

Fuente: Los Autores

7. CONCLUSIONES

El plan de mantenimiento basado en RBI elaborado para la caldera Power Master nos permitió determinar la criticidad de los equipos y sus componentes. Teniendo en cuenta esta información se analizaron los modos de fallas y los actores que la causaban, interpretando la función de cada componente y sus fallos funcionales, para determinar cuál era el de mayor frecuencia, donde se presentaba y como se podía detectar la falla.

Tomando como base análisis lo planteado anteriormente se detectó cual era la falla más recurrente de la caldera de vapor y en qué sistema se presentaba, esta información fue vital para detectar que componente dejó de cumplir su función.

Se elaboró y desarrollo un modelo de matriz de riesgo y criticidad de la caldera de vapor Power Master y como resultado del análisis de criticidad se obtuvo una calificación que determino que componentes eran considerados críticos.

Es importante establecer acciones de mejora o estrategias que apunten a disminuir el riesgo de la consecuencia de la falla en cada componente considerado crítico. Evitando afectar la seguridad, integridad y el medio ambiente en el que se encuentra operando.

Se realizó una estandarizaron de las actividades en la hoja de ruta de mantenimiento de la caldera con la frecuencia establecida, con el fin de que la información sea de conocimiento general y sea manejada de manera homogénea por todo el personal que realiza trabajos en el equipo, con este método se realizaran las paradas necesarias en el tiempo requerido mejorando de esta forma los costos de mantenimiento, el nivel de confiabilidad y disponibilidad del equipo. Se estipularon los métodos y técnicas de inspección que se deben emplear para el desarrollo de esta rutina de mantenimiento basada en la inspección.

Se plantea un modelo de check-list o formato de inspección el cual es de mucha importancia para la aplicación de los principios del plan de mantenimiento basado en RBI, la medición o verificación del estado de las variables y componentes de la caldera de vapor permitirán detectar de una manera temprana cualquier falla que coloque en riesgo la operación o la integridad de las instalaciones, técnicos mantenedores y operadores de la caldera de vapor.

La ejecución de un plan de mantenimiento basado en RBI no basta para garantizar una buena disponibilidad y gestión del mantenimiento u operación del equipo objeto de estudio en esta monografía. Se es necesario establecer un modelo de indicadores de gestión que contribuyan a la medición de la disponibilidad, utilización y efectividad de la caldera de vapor Power Master. Lo anterior con el fin de poder determinar planes de acción que contengan actividades de fondo que garanticen la

no repetición del incumplimiento de un indicador, causado por la pérdida de función de un componente.

Se recomienda establecer un modelo de medición del servicio de generación de vapor entregado por la caldera a las áreas o procesos que lo demanden, lo anterior ayudara a establecer picos de demanda de vapor, procesos con prioridades en la atención de demandas ante eventos de fallas del sistema y la percepción de la gestión de mantenimiento del sistema de generación de vapor entregado por la caldera.

Se recomienda extender este modelo de plan de mantenimiento basado en RBI a equipos de transferencia de calor, reactores, destiladores y calderas de aceite térmico, con el propósito de mejorar la disponibilidad y mantenibilidad de los equipos. Establecer matrices de análisis de riesgo para todos los equipos de apoyo crítico del área de servicio. Criterios claros para aplicación de metodologías de análisis de causa raíz (RCA) para fallas repetitivas presentadas en todos los equipos de esta área.

BIBLIOGRAFIA

Descripción de Calderas y Generadores de vapor

<http://www.absorsistem.com/tecnologia/calderas/descripci%C3%B3n-de-calderas-y-generadores-de-vapor>

Arnulfo Oelker Behn

THERMAL ENGINEERING LTDA. / info@thermal.cl

González, Francisco Javier. Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado. Madrid:

Fundacion Confemetal, 2003. ISBN: 8496169030.

http://docs.wixstatic.com/ugd/c40170_c197ddf2fdae4299b6693c56c8704aa5.pdf.
www.equiposymediciones.com - info@equiposymediciones.com

BORRAS PINILLA, Carlos Pinilla (2015). Mantenimiento preventivo. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

SERNA, Anibal José (2015). Integridad mecánica y confiabilidad operacional, Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

Método de análisis de falla, (2012), Presentación de MasCalidad.org, www.mascalidad.org.

Mantenimiento centrado en confiabilidad Jhon Moubray [en línea] publicado 2003 [citado en enero 2009] disponible en la pagina de internet www.confiabilidad.nert.art_05/RCM/rcm_10.pdf

ANEXOS

ANEXO A. Cronograma de actividades

ACTIVIDADES	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE
1) Recolectar toda la información del equipo				
2) Toma y clasificación de datos de las fallas				
3) Tabulación, clasificación y análisis de datos, fallas, indicadores. etc				
4) Diseño de modelo de encuesta de la gestión y estrategia mantenimiento caldera de vapor				
5) Identificación de causa raíz, jerarquización				
6) Diseño modelo de matriz de criticidad de equipos y componentes				
7) Presentación de listado de repuestos y modelo plan de mantenimiento CAL-01				
8) Conclusiones del proyecto				

Fuente: Los Autores

ANEXO B. Modelo de encuesta

PERIODO A EVALUAR: _____

¿Cuántos servicios solicitó al área de Mantenimiento en el periodo evaluado?

Ninguno _____ Entre 1-2 _____ Entre 3 - 4 _____ 5 o más _____

¿Cómo califica usted el grado de satisfacción con respecto a las siguientes características?

Excelente	Bueno	Aceptable	Deficiente	Muy Deficiente
5	4	3	2	1

2.1. CALIDAD

2.1.1. Cumplimiento de los requisitos descritos en la solicitud de servicio.

Excelente	Bueno	Aceptable	Deficiente	Muy Deficiente
5	4	3	2	1

2.1.2. Información de soporte brindada por el personal del proceso.

Excelente	Bueno	Aceptable	Deficiente	Muy Deficiente
5	4	3	2	1

2.1.3. Efectividad de los mantenimientos ejecutados.

Excelente	Bueno	Aceptable	Deficiente	Muy Deficiente
5	4	3	2	1

2.2. SERVICIO AL CLIENTE

2.2.1. Facilidad con que usted puede solicitar un servicio.

Excelente	Bueno	Aceptable	Deficiente	Muy Deficiente
5	4	3	2	1

2.2.2. Actitud del personal en la atención al cliente.

Excelente	Bueno	Aceptable	Deficiente	Muy Deficiente
5	4	3	2	1

2.2.3. Capacidad de nuestro personal para comprender y resolver sus problemas y necesidades especiales.

Excelente	Bueno	Aceptable	Deficiente	Muy Deficiente
5	4	3	2	1

ENTREGA

Excelente	Bueno	Aceptable	Deficiente	Muy Deficiente
5	4	3	2	1

2.3.1. Cumplimiento en la entrega del servicio.

Excelente	Bueno	Aceptable	Deficiente	Muy Deficiente
5	4	3	2	1

3. Información acerca del manejo de quejas:

¿En el periodo evaluado se han presentado alguna vez inconvenientes en la prestación del servicio que hayan afectado su proceso?

Si No

Por qué? _____

3.2. ¿El tiempo de respuesta a quejas o inconvenientes presentados fueron satisfactorios?

Si N.A.

4. Globalmente, ¿Cuál es su nivel de satisfacción respecto a nuestro proceso?

Excelente	Bueno	Aceptable	Deficiente	Muy Deficiente
5	4	3	2	1