



DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN INTEGRAL DE MANTENIMIENTO PARA UN GENERADOR DE VAPOR POR RECUPERACIÓN DE CALOR DE UN SISTEMA DE COGENERACIÓN

DESIGN OF AN INTEGRAL MAINTENANCE MANAGEMENT SYSTEM FOR A VAPOR GENERATOR BY HEAT RECOVERY OF A COGENERATION SYSTEM

Edwin Ángel Jácome Domínguez

Docente. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
Riobamba - Ecuador
Ingeniera Mecánica, Magister en Eficiencia Energética
ejacome@esepoch.edu.ec / angel891611@hotmail.com

Lenin Santiago Orozco Cantos

Docente. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Riobamba – Ecuador
Ingeniero Mecánico, Magister en Eficiencia Energética
lsorozco@esepoch.edu.ec / leninomega6@hotmail.com

Sayuri Monserrath Bonilla Novillo

Docente. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Riobamba - Ecuador
Ingeniera Mecánica, Magister en Gestión Industrial y Sistemas Productivos
smonilla@esepoch.edu.ec / sayitomonse @hotmail.com

Juan Carlos Castelo Valdiviezo

Docente. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Riobamba – Ecuador
Ingeniero Automotriz, Magister en Sistemas Automotrices
j_castelo@esepoch.edu.ec

Gloria Elizabeth Miño Cascante

Vicerrectora Académica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Riobamba - Ecuador
Phd. en Ciencias Económicas, Magíster en Dirección de Empresas Mención Proyectos, Magíster en Docencia Universitaria e Investigación Educativa
gmino@esepoch.edu.ec / gloriaino@yahoo.es

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Edwin Ángel Jácome Domínguez, Lenin Santiago Orozco Cantos, Sayuri Monserrath Bonilla Novillo, Juan Carlos Castelo Valdiviezo y Gloria Elizabeth Miño Cascante (2018): "Diseño de un sistema de gestión integral de mantenimiento para un generador de vapor por recuperación de calor de un sistema de cogeneración", Revista Caribeña de Ciencias Sociales (marzo 2018). En línea:

[//www.eumed.net/rev/caribe/2018/03/gestion-integral-mantenimiento.html](http://www.eumed.net/rev/caribe/2018/03/gestion-integral-mantenimiento.html)

RESUMEN

El presente trabajo consiste en el diseño de la gestión de mantenimiento para un generador de vapor por recuperación de calor, con la finalidad de garantizar la disponibilidad de los activos fijos en estudio, para lo cual se pudo constatar el mantenimiento empleado actualmente en la empresa, recopilar la información necesaria, y apreciar los inconvenientes que se presentan en

la producción de la empresa cuando la caldera se encuentra fuera de funcionamiento. Para la elaboración de esta investigación se definió las condiciones técnicas y funcionales de los equipos de la caldera bajo una tabla de diagnóstico y mediante ensayos no destructivos, posteriormente se evaluó la criticidad de los equipos auxiliares y el nivel de riesgo que presenta la caldera, con la información adquirida se generó el plan de mantenimiento adecuado lo cual permitió conocer las actividades, necesarias, frecuencia de inspección, herramientas, repuestos, equipos, materiales y mano de obra que requiere la caldera para mantenerla en un nivel de fiabilidad alto. La investigación es no experimental de tipo evaluativa y descriptiva cuyos objetivos señalan el diseño de la gestión de mantenimiento, analizar la situación actual de la caldera, desarrollar un plan de mantenimiento, y automatizar la gestión de mantenimiento.

Palabras Clave: gestión – activos – criticidad – riesgo – disponibilidad – fiabilidad - automatizar.

ABSTRACT

This study is the design of a maintenance management system for a steam generator to recover heat, in order to ensure the availability of fixed assets in the study, for which it was found that the maintenance currently employed in the business, we also gathered the necessary information and observed the problems that arose during production when the boiler is out of operation. In preparing this research techniques and the functional condition of the boiler equipment using a diagnostic table non-destructive testing was defined, then the criticality of auxiliary equipment and the level of risk presented by the boiler was evaluated and information was acquired regarding a proper maintenance plan which allowed insight into the activities that are necessary activities, inspection frequency, tools, parts, equipment, materials and labor required to keep the boiler at a higher level of reliability. The experimental research is not evaluative and a descriptive type whose design objectives indicate maintenance management analysis of the current situation of the boiler and develop maintenance plan and maintenance management automation.

Keywords: managemen - asset critically – risk – availability – reliability - automation

1. INTRODUCCIÓN

El mundo industrial en la actualidad presenta una constante evolución, y su principal característica es el cambio de sus diferentes aspectos en cuanto tiene que ver a lo económico, social, comercial, tecnológico y por ende del mantenimiento de máquinas.

Entendiéndose por Mantenimiento a aquella función empresarial por la que se estatuye: “El control constante de la planta industrial, el conjunto de los trabajos de reparación y revisión necesarios, a fin de asegurar el funcionamiento regular, el buen estado de conservación de la planta productiva, de los servicios y de los equipos de una empresa”.

El presente trabajo tiene como finalidad diseñar la gestión de mantenimiento para una caldera HRSG perteneciente a la empresa pública Refinería La Libertad. La inclusión de programas de mantenimiento preventivo y el control del mantenimiento correctivo hace ya varias décadas son base fundamental de optimizar la disponibilidad de los equipos productores, esta visión primaria lleva a la Refinería La Libertad a centrar sus esfuerzos de mejora, y con ello los recursos, en función de la generación de vapor. Sobre la entrada al cantón La Libertad, en la provincia de Santa Elena se levanta, desde hace 70 años, la empresa pública Refinería La Libertad la cual produce el 35 por ciento del combustible del país, sus torres de refinación procesan normalmente 45 000 barriles diarios de crudo extraído del Oriente, dos plantas denominadas Universal y Parsons trabajan conjuntamente con el vapor proveniente de las calderas del área de generación eléctrica.

Debido a que el generador de vapor por recuperación de calor HRSG se encuentra sometido a trabajar de forma continua y en razón de que no cuenta con adecuados programas de

mantenimiento para tratar de mejorar la confiabilidad del equipo se presenta la necesidad de aplicar técnicas sofisticadas de control, realizar una evaluación de los procesos de la máquina empleando adecuadas técnicas de mantenimiento cuyo principal propósito es obtener la máxima eficiencia del producto con el mínimo de costo.

Al aplicar un adecuado mantenimiento en la caldera se podrá conocer la sensibilidad, la habilidad, y la funcionalidad del equipo, para así poder determinar si se están produciendo cambios en las condiciones físicas del mismo, esto se realiza mediante la medición de señales de vibración, sonido, temperatura, presión, desgaste, alineamiento, corrosión, erosión solo así podemos determinar cuál es el proceso que está funcionando de manera incorrecta y predecir un fallo antes que suceda.

Por lo que el siguiente estudio nos permitirá conocer y definir cuáles son los equipos críticos del generador HRSG, con qué frecuencia los equipos deberán ser intervenidos para realizar mantenimiento, las piezas que se deben reemplazar, controlar el mantenimiento a ejecutar, establecer parámetros de mantenimiento, entre otros.

Al aplicar un plan de mantenimiento en el generador de recuperación de calor HRSG entre la fecha establecida (inicio y final) se disminuirá la probabilidad de falla de los equipos ya que de esta manera se controlara los costos generados por mantenimiento, se garantizara la disponibilidad, la confiabilidad, y lo más importante se evitará la paralización no programada en el proceso productivo de la planta la cual generaría pérdidas económicas a la empresa.

En la actualidad la planta de generación de vapor cuenta con una caldera acuotubular especial denominado Generador de Vapor por Recuperación de Calor (HRSG por sus siglas en inglés) marca *Enviro Kinetics*, la cual recupera el calor de los gases de escape de una turbina de gas acoplada al sistema, y genera vapor a una presión de 150 Psig, y trabaja de manera continua.

En el evento de que la planta requiera más vapor del que se pueda obtener con la recuperación del calor remanente de los gases de escape de la turbina, la caldera HRSG está equipada con dos quemadores de fuel oil instalados en el ducto de quemadores, los cuales aportan más energía calorífica para generar el calor adicional requerido. La cantidad máxima de vapor generado por los gases de escape de la turbina es de 29,300 lb/h y con los quemadores de ducto adicionales en servicio, la capacidad completa, el sistema puede llegar a producir 40 000 lb/h.

La caldera HRSG marca *Enviro Kinetics* fue montada en el año 2013 y la misma fue puesta a punto para su funcionamiento con el apoyo de la empresa Seasteci Cia. Ltda. el (HRSG) actualmente no presenta un adecuado registro de documentación técnica, la máquina posee manuales que requieren ser organizados, y de la elaboración de un adecuado plan de mantenimiento ya que la máquina es nueva, debido a esto se hace necesario realizar el diseño para la Gestión Integral del mantenimiento buscando conservar y alcanzar la vida útil de la máquina.

De ahí que esta investigación se justifica y se hace necesario realizar la gestión integral del mantenimiento del Generador de Vapor por Recuperación de Calor del sistema de cogeneración de Refinería La Libertad para poder garantizar que se prolongue la vida útil del sistema, se trabaje para producir beneficios, se alcance un máximo rendimiento y se reduzca en lo posible al mínimo el número de fallos.

Metodológicamente el trabajo se encuentra estructurado por: Primero, se describe el alcance, y las razones para el desarrollo del proyecto, después se menciona las bases teóricas para elaborar la gestión de mantenimiento, posteriormente se muestra la situación actual del generador y el desarrollo del análisis de criticidad de los equipos auxiliares y la evaluación del nivel de riesgo que presenta el generador, luego se realiza la gestión de mantenimiento en base al análisis de criticidad y riesgo del equipo, y se automatiza la gestión de mantenimiento mediante la aplicación del software RENOVEGEM, después se muestra los beneficios económicos de la aplicación del trabajo, finalmente se establecen las conclusiones y recomendaciones respectivas del proyecto.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Los métodos utilizados en este trabajo son: deductivo, análisis y síntesis.

. Método deductivo, pues a partir de la información general sobre el funcionamiento del caldero HRSG, se llegó a conclusiones particulares sobre el sistema de mantenimiento integral del mismo.

. Método de análisis, se estudió de forma individual cada uno de los factores que intervienen en él en el funcionamiento del caldero HRSG, así como las relaciones que existen entre ellos.

. Método de Síntesis, analizados cada uno de los factores de forma individual, se los unió para conformar un todo y obtener un resultado total.

3. DESARROLLO

3.1 MANTENIMIENTO. CONTEXTO GENERAL

Mantenimiento es aquella función empresarial por la que se establece “El control constante de la planta industrial y el conjunto de los trabajos de reparación y revisión necesarios, a fin de asegurar que todo activo físico continúe desempeñando las funciones para los cuales fueron creados de manera confiable y eficiente, garantizando, además del buen estado de conservación de la planta productiva la seguridad personal y ambiental”.

El “Mantenimiento de Máquinas e Instalaciones” no es otra cosa que la conservación, vigilancia y cuidados que las mismas requieren para evitar en lo posible averías imprevistas, o reparar éstas con la mayor presteza (CUADRADO, 2000, pág. 3).

Mantenimiento Preventivo. El Mantenimiento Preventivo, es un Sistema de Trabajo el mismo que procura disminuir la reparación de un equipo al inspeccionar, reparar y renovar antes de que se produzca la avería.

Con un buen Mantenimiento Preventivo, se detecta los puntos débiles en su fase inicial y se los corrige en el momento oportuno al realizar adecuadas inspecciones de equipos e instalaciones que nos permiten detectar fallas.

La programación de inspecciones debe realizarse en forma periódica de acuerdo a un plan establecido, tanto de funcionamiento como de seguridad, análisis, reparaciones, limpieza, y no a una demanda del usuario.

Este tipo de mantenimiento, es la única forma de asegurar al máximo que los sistemas de infraestructura, equipos e instalaciones productivas trabajen a los niveles y eficiencia óptimos.

Técnicamente hablando, lo ideal sería que un Servicio de Mantenimiento trabajara plenamente en preventivo, pero para determinados componentes que no son capaces de producir una parada importante, puede ser antieconómico incluirlas en este tipo de Mantenimiento (CUADRADO, 2000, pág. 39).

Características del Mantenimiento Preventivo. La principal característica de este tipo de mantenimiento es que elabora un plan de mantenimiento donde se especifica la realización de actividades necesarias: desmontaje, limpieza, engrase, cambio de correas, etc.

Lo que permite obtener una mayor disponibilidad de actividad de una máquina, mayor grado de calidad de la producción, ampliación de la vida útil de los equipos, disminución del tiempo de paradas y logra una programación estable de trabajos de mantenimiento.

La empresa pública EP PETROECUADOR Refinería La Libertad posee en sus instalaciones un generador de vapor por recuperación de calor HRSG que cumple la función de producir vapor utilizando los gases de combustión residuales de la turbina Typhoon.

3.1.1 GESTIÓN INTEGRAL DEL MANTENIMIENTO

La *Gestión Integral del Mantenimiento* es el medio por el cual se busca garantizar la disponibilidad de los activos fijos de una industria con *confiabilidad y seguridad total*, para producir bienes o servicios, elaborarlos y que los mismos satisfagan a los usuarios en un tiempo determinado, asegurando la eficiencia, eficacia y los mayores índices de productividad.

En este nuevo siglo el área de mantenimiento ha pasado a ser un proceso integral que ha colaborado para la generación de utilidades industriales (Confiabilidad.net, 2010).

3.1.2 DESEMPEÑO DE LA GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO

El desempeño de la gestión del mantenimiento se basa en el deterioro de los equipos industriales y de las consecuencias que se producen en el sistema productivo.

En una determinada empresa la gestión del mantenimiento se lo realiza para incrementar la fiabilidad, la seguridad de las personas y de los equipos, mediante la optimización de sus cuatro áreas fundamentales: gestión del talento humano, definición de estrategias, optimización de los activos fijos, y la optimización de procesos y sistemas, fomentando para cada uno de ellos sus aspectos conceptuales y un eficaz proceso de implementación (Confiabilidad.net, 2010).

3.1.3 ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Es un procedimiento que permite clasificar y jerarquizar instalaciones, sistemas, equipos y dispositivos en función de su impacto global, con el propósito de facilitar la toma de decisiones direccionando recursos y esfuerzos hacia las áreas de acuerdo a su impacto en el negocio (MONTAÑA L. R., 2006, pág. 56).



Figura 1. Criterios y parámetros del análisis de criticidad

Fuente: MONTAÑA, Leonardo. Diseño de sistema de mantenimiento con base en análisis de criticidad, p. 55

La información almacenada en este estudio podrá ser empleada para:

- Distinguir órdenes de trabajo de operaciones y mantenimiento
- Distinguir los proyectos de inversión.
- Diseñar políticas de mantenimiento.
- Elegir una política de manejo de materiales y repuestos.
- Controlar políticas de mantenimiento a los sistemas y a las actividades más críticas.

3.1.4 ANÁLISIS DE CRITICIDAD POR CRITERIOS PONDERADOS

La base principal para este análisis es el establecimiento de un sistema de puntos para valorar la criticidad y de una matriz cuyos rangos de frecuencia se expresan como indica la siguiente figura 2. (GUTIERREZ, AGUERO, & CALIXTO, 2007).

Los pasos a seguir en el estudio de criticidad por el método de criterios ponderados, para una planta de cualquier naturaleza son (MONTAÑA L. R., 2006, pág. 59):

- Reconocer los equipos a estudiar
- Instruir al personal sobre la importancia del estudio
- Selección del personal a entrevistar
- Recolección de datos
- Verificación y análisis de estudio
- Elaboración y realización de encuestas bajo un formato preestablecido
- Resultados del estudio

Bajo los aspectos mencionados se observa la utilidad del análisis de criticidad lo cual nos permite:

- Utilizar de una manera óptima los recursos humanos y económicos dirigidos hacia sistemas claves de alto impacto.
- Potencializar desarrollo de habilidades en el personal basado en la criticidad de los procesos y sistemas.
- Priorizar la ejecución y detección de oportunidades pérdidas y aplicación de otras herramientas de confiabilidad operacional.

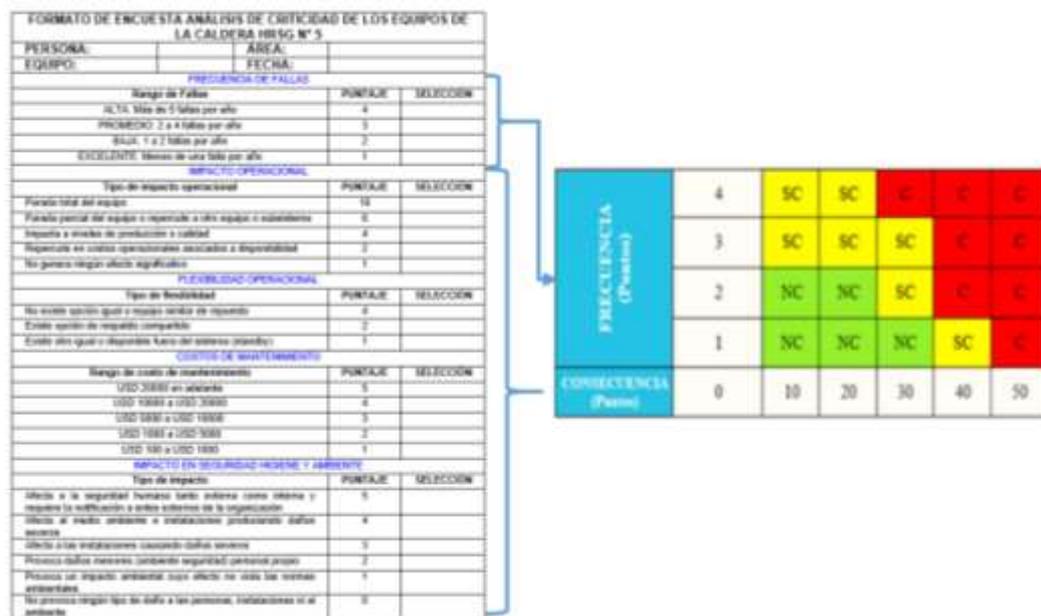


Figura 2. Metodología de criticidad por criterios ponderados

Fuente: GUTIERREZ, E; AGÜERO M; CALIXTO I, Análisis de criticidad integral de activos, p. 8

3.1.5 PLAN DE MANTENIMIENTO

Es el conjunto debidamente organizado de gamas de mantenimiento, que contiene todas las actividades necesarias para prevenir y evitar las principales fallas que puede tener una instalación o equipo, utilizando de una manera adecuada recursos materiales y humanos (URBAN, 2008). El plan de mantenimiento debe desarrollarse anticipadamente y la información

contenida en el Plan nos servirá para ubicarla en un programa informático GMAO (Gestión de mantenimiento asistido por ordenador), este software permite la gestión de mantenimiento de equipos y/o instalaciones de una o más empresas y trabajar bajo un sistema de acción cíclica, PDCA.

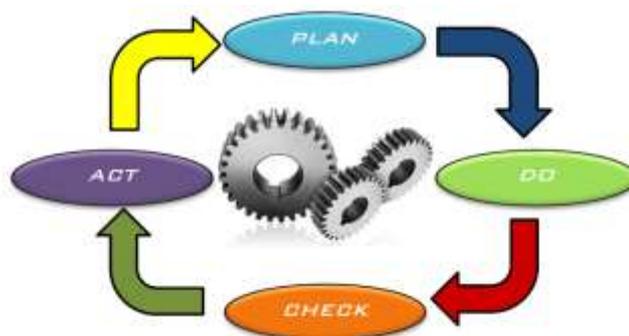


Figura 3. Plan de mantenimiento
Fuente: Propia

P.D.C.A. expresa lo siguiente:

P = Plan = Planificar

D = Do = Ejecutar

C = Check = Controlar

A = Act = Actuar

Planificar. Elaboración del plan en base al análisis de la situación actual de los equipos, donde se define los objetivos que se desean alcanzar en un tiempo determinado con la gestión de mantenimiento, el plan debe contener las tareas necesarias, frecuencia, costos, carga de trabajo, y el tiempo de ejecución que se demorará en realizar el mantenimiento.

Ejecutar el plan. Al haber establecido los objetivos que se desea conseguir debemos implementar y ejecutar los nuevos procesos, tareas u órdenes de trabajo preestablecidas en el sistema CMMS, gestionando adecuadamente los recursos de los que se dispone y realizando un seguimiento de cómo se ejecuta, quien lo ejecuta, secuencias, materiales seguridad, información técnica, etc.

Controlar. Al transcurrir un determinado período es necesario evaluar el cumplimiento de los objetivos que se establecieron, volviendo a recopilar datos para analizar y comparar con las metas prefijadas ya que solo así se evaluará si se ha producido la mejora esperada. Se deberá realizar las respectivas conclusiones y documentarlas.

Actuar. Si se han detectado errores, incidencias o desviaciones entre el modelo prefijado y los resultados, se debe proceder a modificar los estándares o el plan, comprobando la evolución del ciclo de mejora mediante los indicadores de mantenimiento y actuando sobre la planificación nuevamente, estableciéndose así la retroalimentación al sistema.

3.1.6 CALDERAS

Las calderas o generadores de vapor son instalaciones industriales que aplican el calor de un combustible líquido, sólido, o gaseoso, para vaporizar el agua y utilizarlo en diferentes procesos en la industria. A pesar de que existen numerosos diseños de calderas, de manera general los principales tipos de calderas se pueden clasificar en dos grandes grupos; calderas pirotubulares y acuotubulares (MUÑOZ & Veintimilla, 2008, pág. 2).

3.1.7 SISTEMAS DE COGENERACIÓN

Los sistemas de cogeneración son sistemas que producen simultáneamente electricidad y vapor, a partir de una misma fuente de energía primaria. Estos sistemas funcionan con los gases de combustión de una turbina de gas los mismos que poseen una gran cantidad de energía térmica ya que alcanzan temperaturas entre 500 y 600 °C y se suelen representar, específicamente, por dos tipos básicos de ciclos de potencia: los de tipo superior y los de tipo

inferior (AGUIÑAGA & GALÁN, 2009). En el ciclo de tipo superior el calor de desecho de un proceso se dirige hacia una caldera de recuperación de calor HRSG, la misma que produce vapor el cual se destina posteriormente para el calentamiento de recintos, este tipo de proceso se lo denomina cogeneración con turbinas de gas en ciclo abierto.

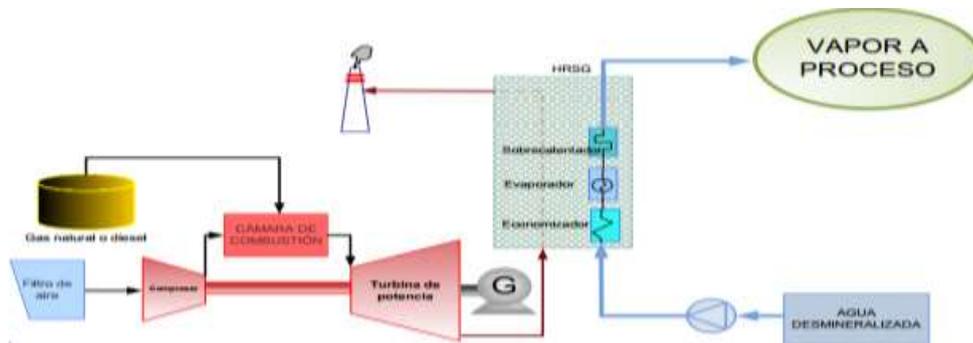


Figura 4. Central de cogeneración en ciclo abierto

Fuente: AGUIÑAGA Arturo, GALÁN Ángel. Alternativas de cogeneración, p. 10

En el ciclo de tipo inferior, el calor de desecho de un proceso se dirige hacia una caldera de recuperación de calor HRSG, la misma que produce vapor, y este es transportado a una nueva turbina de vapor la cual genera energía eléctrica, este tipo de proceso se le denomina cogeneración con turbinas de gas en ciclo combinado.

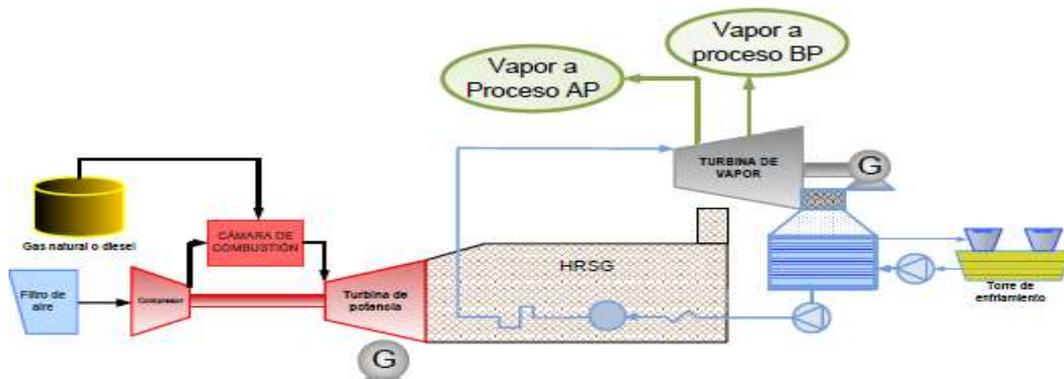


Figura 5. Central de cogeneración en ciclo combinado

Fuente: AGUIÑAGA Arturo, GALÁN Ángel. Alternativas de cogeneración, p. 11

3.1.8 Caldera HRSG

La caldera de recuperación o HRSG en un ciclo combinado es el elemento encargado de aprovechar la energía de los gases de combustión de la turbina de gas transformando la energía térmica en vapor, este equipo puede funcionar mediante una circulación natural (efecto termosifón) o circulación forzada (Bombas) (AGUIÑAGA & GALÁN, 2009, pág. 48).

Conforme sea la configuración del ciclo el HRSG puede incluir de uno (1) a cuatro (4) circuitos independientes de caldera (uno de alta presión, uno o dos de presión intermedia y uno de baja presión), dentro de la misma envolvente.

El circuito de alta presión, puede llegar a los 540°C y se utiliza para la generación de energía con sobre calentador.

Los circuitos de presiones intermedias se utilizan para la generación de vapor en los cuales suelen inyectarse vapor mezclado con amoníaco a fin de controlar los NOx de los gases de combustión.

El circuito de baja presión, se usa habitualmente para calentar el agua de alimentación “make up” y/o desaireación (desgasificación).

Componentes principales de la caldera HRSG

- *Desaireador*. Llamado también desgasificador, es el encargado de eliminar los gases disueltos en el agua de alimentación, oxígeno principalmente y otros gases que podrían originar corrosiones.
- *Tanque de agua de alimentación*. Recipiente donde se acumula el agua que alimenta a este sistema, el agua se tiene que desmineralizar para impedir que las impurezas puedan obstruir los conductos, erosionarlos o corroerlos, por las sustancias que podrían estar presentes.
- *Calderin*. Llamado también domo de vapor, es un recipiente cuya forma es cilíndrica en el que se mantienen estables los estados de vapor y líquido, y a donde llega el agua líquida a la temperatura próxima a la de saturación que proviene de los economizadores, posee dos salidas las cuales proveen por medio de tubos de alimentación; de agua a los evaporadores y de vapor a los sobrecalentadores, además es el lugar donde se recogen los lodos de la caldera acuotubular.
- *Bombas de alimentación*. Son máquinas encargadas de enviar el agua desde el desaireador al calderin correspondiente.
- *Economizadores*. Intercambiadores de calor que se ocupan de precalentar el agua de alimentación con el calor residual de los gases de escape, con estos equipos se aprovecha energía y son con los que aumentamos el rendimiento de la instalación.
- *Evaporadores*. Intercambiadores de calor que utilizan el calor de los gases de escape de temperatura intermedia para evaporar el agua a la presión del circuito correspondiente, el paso del agua a través de los intercambiadores puede ser forzada o natural en la forzada se utilizan bombas y en la natural el efecto termosifón.
- *Sobrecalentadores y Recalentadores*. Intercambiadores de calor que se encuentran en la parte más cercana a la entrada de los gases de combustión que provienen de la turbina de gas, la temperatura y presión del vapor debe ser controlada para evitar estrés térmico en los diferentes componentes.

3.2 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA DE VAPOR

Este generador está compuesto de varios equipos auxiliares, el mismo fue construido hace un año bajo norma ASME, material ASTM A36 para sus carcasas y ASTM SA 178 para sus haces tubulares, que fueron diseñados para producir 40 000 lb/h de vapor y operar a una presión máxima de 200 psi.



Figura 6. Caldera HRSG
Fuente: Propia

El generador consta de 10 secciones y 8 sistemas principales como se observa en la siguiente figura.

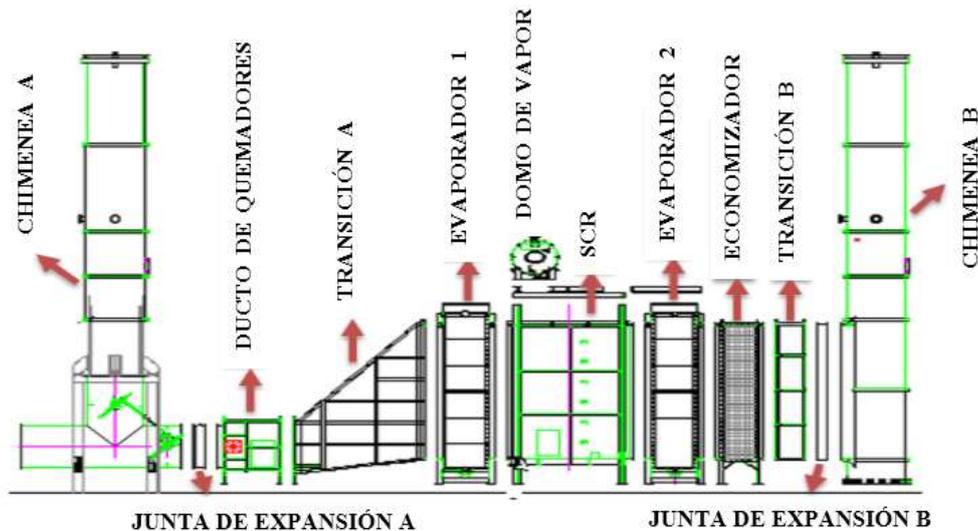


Figura 7. Secciones de la caldera

Fuente: Propia

El generador posee intercambiadores de calor tipo “o” en sus evaporadores y en el economizador los cuales son los encargados de producir el vapor.

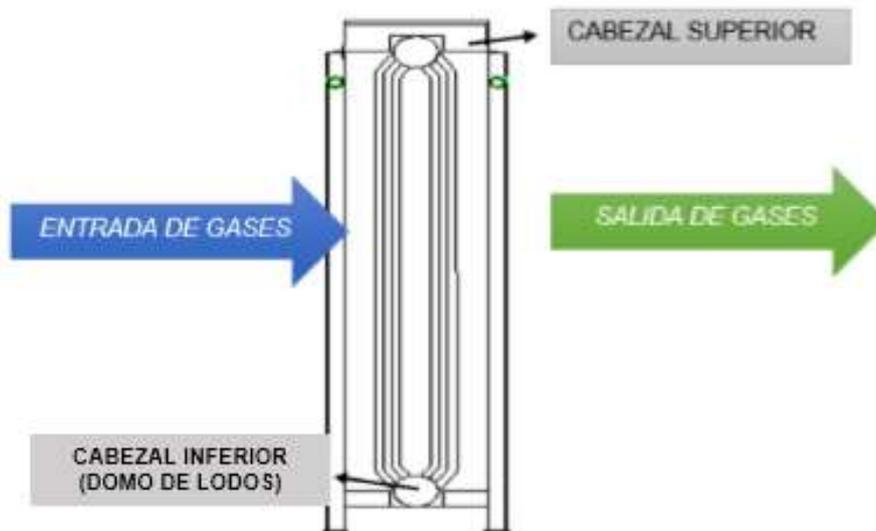


Figura 8. Intercambiador de calor Tipo “O”

Fuente: Propia

El generador produce vapor las 24 horas, y lo envía hacia las torres de fraccionamiento Parsons, Universal y hacia la planta de agua. El vapor ayuda en el proceso de refinación del petróleo y desaliniza el agua de mar.

Esta caldera no poseía un adecuado plan de mantenimiento, programa de inspección, stock de repuestos para alargar la vida remanente de la misma es por ello que se justificó la realización del presente trabajo.

3.3 SISTEMÁTICA DE TRABAJO

3.3.1 GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

Es el medio por el cual se busca garantizar la disponibilidad de los activos fijos de una industria con confiabilidad y seguridad total, para producir bienes o servicios, elaborarlos y que los mismos satisfagan a los usuarios en un tiempo determinado, asegurando la eficiencia, eficacia y los mayores índices de productividad.



Figura 9. Áreas fundamentales de la gestión de mantenimiento
Fuente: Propia

Mediante la optimización de las cuatro áreas fundamentales y la aplicación del mantenimiento se incrementa la fiabilidad de los equipos (Confiabilidad.net, 2010).

3.3.2 ANÁLISIS DE CRITICIDAD POR CRITERIOS PONDERADOS

El análisis de criticidad permite clasificar y jerarquizar instalaciones, sistemas, equipos y dispositivos para diseñar políticas de mantenimiento en las actividades de mayor impacto (MONTAÑA L. , 2006, pág. 56) .



Figura 10. Procedimiento de análisis de criticidad
Fuente: propia

La figura 10 describe el proceso para la realización del análisis de criticidad en el cual se debe desarrollar encuestas bajo un formato establecido como indica en la tabla 1.

Tabla 1.

Formato de encuesta

FORMATO DE ENCUESTA ANÁLISIS DE CRITICIDAD DE LOS EQUIPOS DE LA CALDERA HRSN N° 5

PERSONA:		ÁREA:	
EQUIPO:		FECHA:	
FRECUENCIA DE FALLAS			
Rango de Fallas		PUNTAJE	SELECCIÓN
ALTA: Más de 5 fallas por año		4	
PROMEDIO: 2 a 4 fallas por año		3	
BAJA: 1 a 2 fallas por año		2	
EXCELENTE: Menos de una falla por año		1	
IMPACTO OPERACIONAL			
Tipo de impacto operacional		PUNTAJE	SELECCIÓN

Parada total del equipo	10	
Parada parcial del equipo o repercute a otro equipo o subsistema	6	
Impacta a niveles de producción o calidad	4	
Repercute en costos operacionales asociados a disponibilidad	2	
No genera ningún efecto significativo	1	
FLEXIBILIDAD OPERACIONAL		
Tipo de flexibilidad	PUNTAJE	SELECCIÓN
No existe opción igual o equipo similar de repuesto	4	
Existe opción de respaldo compartido	2	
Existe otro igual o disponible fuera del sistema (standby)	1	
COSTOS DE MANTENIMIENTO		
Rango de costo de mantenimiento	PUNTAJE	SELECCIÓN
USD 20000 en adelante	5	
USD 10000 a USD 20000	4	
USD 5000 a USD 10000	3	
USD 1000 a USD 5000	2	
USD 100 a USD 1000	1	
IMPACTO EN SEGURIDAD HIGIENE Y AMBIENTE		
Tipo de impacto	PUNTAJE	SELECCIÓN
Afecta a la seguridad humana tanto externa como interna y requiere la notificación a entes externos de la organización	5	
Afecta al medio ambiente e instalaciones produciendo daños severos	4	
Afecta a las instalaciones causando daños severos	3	
Provoca daños menores (ambiente seguridad) personal propio	2	
Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	1	
No provoca ningún tipo de daño a las personas, instalaciones ni al ambiente	0	

Los resultados de las encuestas permitirán evaluar la criticidad de los equipos al utilizar la matriz de la figura 11.

FRECUENCIA (Puntos)	4	SC	SC	C	C	C
	3	SC	SC	SC	C	C
	2	NC	NC	SC	C	C
	1	NC	NC	NC	SC	C
CONSECUENCIA (Puntos)	0	10	20	30	40	50

Figura 11. Matriz de criticidad
Fuente: Propia

3.3.3 INSPECCIÓN BASADA EN RIESGO (IBR)

Este procedimiento se fundamenta en la norma API 581 y nos permite generar los planes de inspección y de mantenimiento para cada equipo en estudio. La IBR podrá ser aplicada cualitativamente y cuantitativamente. El análisis cualitativo proporciona de una forma general el nivel de riesgo en el que se encuentra determinado equipo (American Petroleum Institute, 2000, págs. A-2 A-10).



Figura 12. Procedimiento IBR cualitativo
Fuente: Propia

El cofactor de riesgo se determina cualitativamente al utilizar las tablas de la norma API 581 y siguiendo el proceso de la figura 12. Posteriormente se evalúan bajo la siguiente matriz de riesgo (American Petroleum Institute, 2000, págs. 5-3):

CATEGORÍA DE PROBABILIDAD	5					
	4					
	3					
	2					
	1					
CATEGORÍA DE CONSECUENCIA	0	A	B	C	D	E

	Riesgo bajo
	Riesgo medio
	Riesgo medio alto
	Riesgo alto

Figura 13. Matriz de riesgo
Fuente: Propia

Para determinar el adecuado plan de inspección se calcula bajo normas específicas la frecuencia de inspección de los haces tubulares del generador mediante el siguiente procedimiento (FERRERO, www.materiales-sam.org.ar, 2012, pág. 24).



Figura 14. Proceso cálculo frecuencia de inspección
Fuente: Propia

Al emplear el procedimiento indicado se debe considerar lo siguiente:

La velocidad de corrosión es constante en el tiempo, la cual no cambia drásticamente cuando ocurren pequeñas variaciones en las condiciones de proceso, esta velocidad de corrosión se define en 0,127 mm/año por ANSI-NB23.

Obtener la información general de la caldera y realizar ensayos no destructivos específicamente por el método de ultrasonido para conocer el espesor del material en una primera inspección del equipo.

Obtenidos los datos necesarios puede calcularse la frecuencia de inspección de la caldera al emplear las siguientes ecuaciones.

Tabla 2.
Ecuaciones para el cálculo de la frecuencia de inspección

PARÁMETRO	ECUACIONES
Espesor admisible	$t_{adm} = \frac{P * D}{2 * S + P} + 0,005D + e$ P = Presión máxima permitida D = Diámetro del tubo S = Esfuerzo máximo ASME II e = Factor de espesor
Corrosión permitida	$CA = t_{nominal} - t_{min admisible}$ tnom = Espesor nominal
Tolerancia de corrosión remanente	$RCA = CA - (t_{nominal} - t_{actual})$
Vida remanente	$Vr = \frac{RCA (mm)}{VC (año)}$
Factor de criticidad	$Fc = \text{de IBR}$
Frecuencia de inspección	$FI = Vr * Fc$

Plan de mantenimiento Es el conjunto debidamente organizado de gamas de mantenimiento, que contiene todas las actividades necesarias para prevenir y evitar las principales fallas que puede tener una instalación, maquinaria, o equipo.

Con la elaboración del plan de mantenimiento se conocerá las actividades necesarias para gestionar herramientas, materiales, equipos, y recursos humanos. La determinación del recurso humano así como el costo total de mantenimiento se conocerá al realizar los siguientes cálculos (MOROCHO, Administración del mantenimiento, págs. 13-71).

Tabla 3.
Ecuaciones para elaborar la gestión del recurso humano

PARÁMETRO	ECUACIONES
Cantidad de obreros	$N = \frac{Q}{FT}$ Q = Carga de trabajo FT= Fondo de tiempo mensual
Fondo de tiempo mensual	$FT = HT * DLM$ HT = Horas de trabajo al mes DLM = Días laborables al mes
Total horas de mantenimiento	$THM = HMP + HRI$ HMP = Horas de mantenimiento preventivo Q HRI = Horas de reparación imprevista (10 a 15% de HMP)
Costo de mano de obra	$CMO = THM * \left(\frac{C}{H}\right) * CP$ C/H = Costo hora-hombre CP = N

4. RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE CRITICIDAD

Para conocer la priorización de programas y planes de mantenimiento en los equipos que permiten el funcionamiento de la caldera el análisis de criticidad se lo realizó por el método de criterios ponderados.

Para la realización de este método se llevó a cabo una encuesta a los ingenieros y operarios de la planta de vapor, el mismo que permite recolectar la información los factores a ser evaluados para el caldero se presentan a continuación:

- Frecuencia de fallas (FF)
- Impacto operacional (IO)
- Flexibilidad operacional (FO)
- Costos de mantenimiento (CM)
- Impacto en seguridad higiene y ambiente (SHA)

4.1.1 IDENTIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS A ESTUDIAR

La identificación de los equipos se lo realizó como se indica en la tabla 10 estos equipos fueron seleccionados por ser los más importantes para el proceso de generación de vapor.

4.1.2. SELECCIÓN DEL PERSONAL A ENTREVISTAR

El personal seleccionado para contestar las encuestas del estudio de análisis de criticidad se basa en el orgánico funcional de la figura 19 de la planta de vapor que es el siguiente:

- Coordinador senior de facilidades de refinación
- Supervisor de operaciones de generación eléctrica, aire y vapor
- Tres técnicos de operaciones de generación de vapor
- Tres técnicos de operaciones de generación de aire

4.1.3. IMPORTANCIA DEL ESTUDIO

A las personas entrevistadas se les realizó una adecuada explicación de los alcances y la importancia de los resultados, para esto se dieron instrucciones sobre cómo llenar el formato de encuesta. El formato de encuesta se muestra en la tabla 23 la misma que consta de 5 preguntas, cada pregunta posee una serie de respuestas con una ponderación diferente.

Al evaluar a los equipos auxiliares de la caldera los valores de criticidad se muestran en la tabla 4.

Tabla 4.
Jerarquía de equipos

EQUIPOS	NIVEL
Indicadores de nivel	C
Válvula Bypass VBP	C
Actuador neumático	C
Desaireador	C
Domo de Vapor	C
Válvula de control de alimentación de agua	SC
Compresor	SC
Válvula de control de alimentación de vapor	SC
Ablandador	SC
Bombas de alimentación	SC
Tanque de amoniaco	SC
Ventilador de alta presión	SC
Bombas de condensado	SC
Carcasas caldera HRSG	SC
Tanque Fuel Oil N° 4	SC
Motor de agitación	NC
Válvulas TRIAC	NC
Cabezal de distribución de vapor	NC
Bombas dosificadora de químicos	NC

Tanque A5	NC
Quemadores	NC
Válvula de control de nivel del domo	NC
Bombas de combustible	NC
Sopladores de hollín	NC

Los equipos auxiliares de mayor rango de criticidad son: los indicadores de nivel, válvula bypass, actuador neumático, desaireador, y el domo de vapor.

4.2 INSPECCIÓN BASADA EN RIESGO

Para conocer el adecuado programa de inspección para la caldera se utilizará las indicaciones de la norma API 581 y mediante el análisis cualitativo se determinara de manera general el nivel de (riesgo) del equipo.

Para determinar la probabilidad de falla se utilizan las tablas recomendadas por API 581 las cuales indican los diferentes factores a los que se les debe asignar un valor de puntaje

La categoría de probabilidad de falla por API 581 indica los siguientes valores:

Tabla 5.
Categoría de probabilidad

FACTORES	Puntaje
Factor de equipo	5
Factor de daño	18
Factor de inspección	-2
Factor de condición	6
Factor de proceso	6
Factor de diseño mecánico	2
Total	35
CATEGORÍA DE PROBABILIDAD	4

En la tabla 5 se observa los valores de los factores que permitieron obtener un valor de probabilidad de falla de 4.

Para determinar la categoría de consecuencia se procedió similarmente al desarrollo anterior. Debido a que existen consecuencias toxicas considerando los gases de escape de la turbina typhoon sgt 100 se obviara la parte B de la norma.

Al seguir con el debido procedimiento se obtuvo la categoría de consecuencia obteniendo los siguientes valores:

Tabla 5.
Categoría de consecuencia

FACTORES	Puntaje
Factor de cantidad	35
Factor de dispersibilidad	1
Factor de crédito	0
Factor de población	7
Total	43
CATEGORÍA DE CONSECUENCIA	C

En la tabla 5 se muestra que la categoría de consecuencia tiene un valor C. Al evaluar el riesgo mediante la matriz de API 581 obtenemos el siguiente cofactor de riesgo.

CATEGORIA DE PROBABILIDAD	5	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
	4	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
	3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
	2	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
	1	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
CATEGORIA DE CONSECUENCIA	0	A	B	C	D	E

Figura 15. Determinación cofactor de riesgo
Fuente: propia

De la figura 16 se obtiene que el cofactor de riesgo es 0,4 este valor ayudará a realizar el cálculo de la frecuencia de inspección del generador.

Mediante los ensayos no destructivos realizados por parte del personal de la empresa se obtuvieron valores de espesor para los haces tubulares lo cual se indica a continuación.

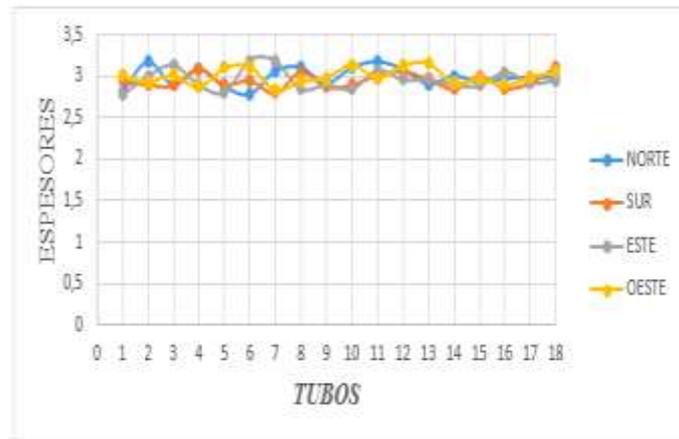


Figura 16. Distribución de espesores evaporador 1
Fuente: Propia

En la figura 16 se detalla los valores de espesor de los haces tubulares del evaporador 1 el mismo que presenta un valor puntual mínimo de 2,67 mm.

4.3 PARÁMETROS CALCULADOS

Los datos correspondientes de los haces tubulares del generador son:

Tabla 7.
Datos HRSG

HACES TUBULARES HRSG						
MAWP	Diámetro externo	Esfuerzo máximo ASME Sección II	Factor de espesor ASME	de	Espesor nominal	Velocidad de corrosión ANSI NB-23
P (psi)	D (in)	S (psi)	E		t nominal (mm)	Vc (mm/año)
200	2	2500	0		3,175	0,127

Con los datos obtenidos del generador se realizó los siguientes cálculos:

Tabla 8.
Cálculo de la FI para el tubo de espesor mínimo

CÁLCULO FRECUENCIA DE INSPECCIÓN TUBO ESPESOR MÍNIMO	
PARÁMETRO	RESULTADO
Espesor admisible	$t_{adm} = 2,2 \text{ mm}$
Corrosión permitida	$CA = 0,97 \text{ mm}$
Tolerancia de corrosión remanente	$RCA = 0,5 \text{ mm}$
Vida remanente	$Vr = 3,5 \text{ años}$
Factor de criticidad	$Fc = 0,4$
Frecuencia de inspección	$FI = 1,5 \text{ años}$

El cálculo realizado se refiere al tubo que presento el mínimo valor de espesor, de esta manera se procedió a realizar para los demás tubos inspeccionados.

Tabla 9.
Frecuencia de inspección evaporador 1 y 2

CÁLCULO FRECUENCIA DE INSPECCIÓN INTERCAMBIADORES DE CALOR									
EVAPORADOR 1		t actual (mm)		RCA (mm)		Vr (años)		FI (años)	
Haces (inferior)	tubulares	2,67		0,46		3,62		1,45	
Haces (superior)	tubulares	No registro	hubo	No registro	hubo	No registro	hubo	No registro	hubo
EVAPORADOR 2		t actual (mm)		RCA (mm)		Vr (años)		FI (años)	
Haces (inferior)	tubulares	2,78		0,57		4,49		1,80	
Haces (superior)	tubulares	2,97		0,76		5,98		2,39	

4.4 PLAN DE MANTENIMIENTO

Con el análisis detallado de criticidad, el nivel de riesgo y con los datos calculados se elaboró el plan de mantenimiento el cual consta de las actividades preventivas y predictivas adecuadas para los diferentes sistemas de la caldera.

Tabla 10.
Gama de mantenimiento sistema de gases

Nº	ACTIVIDAD	FRECUENCIA	HORAS
1	Llevar una data histórica de la temperatura de la chimenea esto ayudara a conocer cuando deberá ser necesario limpiar los tubos	Diario	20
2	Examinar externamente las carcasas por fuga de gases de escape	Diario	20
3	Revisar el estado del motor neumático y del mecanismo de accionamiento de la válvula de bypass	Diario	20
4	Inspección termográfica de las carcasas	Trimestral	4
5	Inspección y limpieza ejes de los dámpers del HRSG y chimenea A	Trimestral	4
6	Inspección de la chimenea A por fuga de gases de combustión	Semestral	1
7	Lubricación de chumaceras tipo brida	Semestral	2
8	Cambio de chumaceras tipo brida de los ejes de regulación de la válvula bypass	Anual	4

9	Limpieza válvula bypass y chimenea A	Anual	5
10	Reajuste de pernos de la válvula bypass y del alojamiento de rodamientos tipo brida	Anual	1
11	Cambio de chumaceras tipo brida de los ejes de regulación de la válvula bypass	24000 H	NE

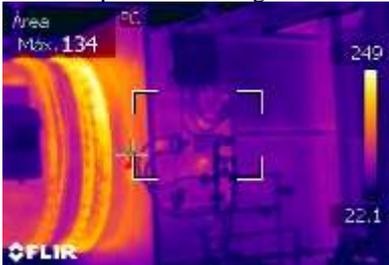
Al elaborar las gamas de mantenimiento como se muestra en la tabla 9 se obtuvo las horas totales que se deberá cumplir en la caldera correspondiendo a 1095 horas.

4.5 GESTIÓN DE ACTIVIDADES

La gestión de tareas se lo realiza en base al plan de mantenimiento, a continuación se detalla las principales actividades, procedimiento de trabajo, repuesto, material y equipos que se requerirá para realizar el mantenimiento.

Mediante las actividades del plan de mantenimiento se procedió a elaborar la gestión de actividades de la siguiente manera:

Tabla 11
Gestión de inspección termográfica

EQUIPO:	CARCASAS CALDERO HRSG
ACTIVIDAD:	Inspección termográfica de las carcassas.
	
	FRECUENCIA: Trimestral
	PROCEDIMIENTO DE TRABAJO:
	<ul style="list-style-type: none"> • Seguir el procedimiento de seguridad. • Prepare la cámara termográfica y ajuste los valores preestablecidos de emisividad y temperatura reflejada. • Para realizar la inspección se debe tener en cuenta lo siguiente: <ul style="list-style-type: none"> Las superficies radiantes alrededor de las carcassas. Un cielo nublado son condiciones ideales para realizar este proceso. • Inspeccione las secciones que se muestran a continuación. • Llevar el historial de las inspecciones para su comparación. • Si durante el transcurso de las inspecciones se manifiestan variaciones con tendencia de incremento de temperatura nos indicaran pérdidas excesivas de calor que usualmente son síntomas de aislamiento defectuoso o inadecuado.
	PROCEDIMIENTO DE SEGURIDAD:
	<ul style="list-style-type: none"> • Utilice elementos de seguridad personal. <ul style="list-style-type: none"> Ropa de seguridad Botas de seguridad Guantes
	MATERIALES:
	<ul style="list-style-type: none"> • No se requiere el uso de materiales.
	REPUESTOS:
	<ul style="list-style-type: none"> • No se requiere el uso de repuestos.
	HERRAMIENTAS:
	<ul style="list-style-type: none"> • No se requiere el uso de herramientas.
	EQUIPOS:
	<ul style="list-style-type: none"> • Cámara termográfica (FLIR)
	OBSERVACIONES
	<ul style="list-style-type: none"> • Ver Anexo S • El procedimiento indicado en este trabajo es una guía para realizar el seguimiento termográfico de la caldera, el mismo está sujeto a cambios que deberá considerar el

- experto en este tema.
 - El estudio de termografía en las secciones de la caldera se hace importante considerando que:
 - ✓ En la inspección realizada en febrero del 2014 la sección del ducto de quemadores como la sección de transición A presento en sus áreas internas defectos como se observa en la figura 38 y 39.
 - ✓ El empleo de termografía en las secciones de la caldera proporcionara una reducción en los tiempos de parada al minimizar la probabilidad de detenciones imprevistas o no programadas, gracias al aporte que brinda en cuanto a la planificación de mantenimiento y al cuidado de este equipo tan valioso.
-

Como se observa en la tabla 11 la gestión de actividades se realizó al diseñar las fichas de procedimiento las mismas que constan de la frecuencia, materiales, herramientas, repuestos y equipos que se deberán utilizar para realizar el mantenimiento del generador.

4.6 AUTOMATIZACIÓN DE LA GESTIÓN DE MANTENIMIENTO

En la actualidad el concepto de mantenimiento no involucra solo reparar un equipo cuando este falla sino más bien garantizar que el equipo trabaje adecuadamente mediante el seguimiento adecuado y bajo el establecimiento de un programa de mantenimiento.

Hoy en día existen diversos programas computacionales para la gestión de mantenimiento denominado software GMAO los mismos que permiten llevar un adecuado control del programa de mantenimiento, carga de trabajo, gestión de repuestos, gestión económica, etc. De entre todo el software gratuito que existe en la red se ha seleccionado el software RENOVEGEM 3.0.

RENOVEGEM 3.0 es el software GMAO desarrollado por la empresa RENOVETEC, el cual permite gestionar la mayor parte de las plantas pequeñas y medianas adaptándose a las necesidades concretas de cada una de ellas mediante el control de todas las operaciones habituales de gestión del mantenimiento en una planta industrial:

- Gestiona los activos
- Gestiona completamente el mantenimiento preventivo, y lo crea de forma automatizada
- Gestiona el mantenimiento correctivo
- Gestiona los descargos para realizar intervenciones de mantenimiento de forma segura
- Gestiona las compras de material
- Gestiona el stock de repuesto

Para automatizar la gestión de mantenimiento se seleccionó el software RENOVEGEM 3.0 el cual nos permitió ingresar la base de datos de gamas de mantenimiento, stock de repuestos y frecuencias de actividades. La gestión se encuentra alojada en el archivo denominado HRSG.journal.

El software RENOVEGEM trabaja bajo una parametrización completa del programa de forma sencilla y versátil, el programa necesita como mínimo una computadora Intel core 2 duo con 500 MB en Ram y Windows XP.

El software es un archivo autoejecutable lo que significa que no se instala en el computador ya que al ser descomprimido se muestra una carpeta en donde se encuentra el ejecutable del programa.



Figura 17. Ventana principal software
Fuente: Propia

- Módulo plantas. Permite visualizar el generador de vapor con sus respectivas características.
- Módulo equipos. Permite añadir la ficha técnica de los equipos auxiliares del generador así como las actividades de mantenimiento.
- Módulo empleados. Permite registrar los empleados que trabajan en la planta de vapor.
- Módulo usuarios. Permite visualizar los usuarios y crearlos para acceder a todo lo referente al sistema.
- Módulo gamas de mantenimiento. Permite visualizar las actividades de mantenimiento a cumplirse en el generador de vapor y también programarlas.
- Módulo orden de trabajo. En base a la de gamas de mantenimiento este módulo nos permite generar órdenes de trabajo a cumplir en los equipos del generador por parte de los empleados de la planta.
- Módulo repuestos. Contiene el stock de repuestos necesario para los equipos del generador en este módulo se registra si existe un egreso del repuesto lo cual permite verificar a que equipo se le asigno y cuál es la cantidad que existe en bodega.

4.7 COSTOS DE MANTENIMIENTO

La gestión del recurso humano se lo realiza al calcular el número de personas, el costo de mano de obra, repuestos, equipos, materiales y herramientas que se necesitan para cubrir las 1095 horas de mantenimiento de la caldera es así que se obtuvo los siguientes cálculos.

Tabla 12.
Costos de mantenimiento

PARÁMETRO	RESULTADO
Cantidad de obreros	$N = 5$
Fondo de tiempo mensual	$FT = 8 * 26 = 208 \text{ horas}$
Total horas de mantenimiento	$THM = 1095 + 1095 (10\%) = 1204,5 \text{ horas}$
Costo de mano de obra	$CMO = 1204,5 * 8,75 = 52\ 696,88$
Costo repuestos, equipos, materiales y	$\text{Costo REMH} = 79\ 607,14 \text{ USD}$

herramientas

**COSTO TOTAL
DE MANTENIMIENTO** *CTM = 132 304,02 USD*

La tabla 12 muestra que el costo de implementación de mantenimiento es 132 304,02 USD.

4.7 COSTOS DE PARADA DE PLANTA

La caldera HRSG en conjunto con las demás calderas instaladas en la planta de vapor suministran su producción a la planta de agua, parsons y universal.

En el caso de que la caldera HRSG salga de operación por una falla de sus equipos las consecuencias que se producen son las siguientes:

Tabla 13.
Consecuencias en planta de agua

EQUIPO FUERA DE OPERACIÓN	
CONSECUENCIAS	
	Corte en el suministro de agua potable para servicios básicos
CALDERA HRSG N° 5	Corte en el suministro de agua para refrigeración en intercambiadores de calor

Plantas de refinación. Planta Universal y Parsons producen en conjunto 34 500 Bls/día, al considerar un paro de la caldera de 4 horas tenemos una pérdida de producción de:

$$P_p = 571\,722,05\text{ USD}$$

4.8 AHORRO EN CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Uno de los objetivos de la implantación de la caldera HRSG fue el ahorro de combustible en la planta de vapor, es así que la caldera puede generar vapor quemando combustible (Fuel Oil #4) o solo con los gases de combustión de la turbina typhoon. En la actualidad se genera 13 000 lb/h de vapor con los gases de combustión; generando un ahorro de combustible como se indica en el siguiente análisis.



Figura 18. Consumo de combustible
Fuente: Propia

En el cálculo realizado se obtiene que; cuando la caldera HRSG se encuentra prendida el consumo de combustible se reduce a la mitad lo que permite el ahorro y la mayor comercialización del combustible hacia otro sector.

5 DISCUSIÓN

La gestión de mantenimiento realizada muestra todas las actividades que se deberán cumplir para elevar la fiabilidad y disponibilidad de la caldera.

De esta manera el desarrollo del presente trabajo muestra que su aplicación en Refinería es mucho menor a un paro de la caldera imprevisto.

Por una deficiente gestión de mantenimiento la producción de la empresa se ve afectada cuando surge un paro imprevisto en la caldera, este suceso produce el siguiente costo:

$$P_p = USD$$

Con la gestión de mantenimiento que se propone llevar, la inversión para la conservación de la caldera es:

$$CTM = 132\,304,02\ USD$$

Relacionando los costos anteriores obtenemos lo siguiente:

$$CTM < P_p$$

$$132\,304,02\ USD < 571\,722,05\ USD$$

A medida que la aplicación de mantenimiento se mantenga, esta producirá beneficios no solo por reducir pérdidas a la empresa respecto de la refinación de petróleo sino también para recuperar la inversión inicial.

Para realizar el análisis de recuperación de la inversión del equipo se realizó la tabla 62 en la cual se muestra los egresos, ingresos, y el flujo de efectivo que produce la caldera. En las celdas de la tabla constan los valores de costos de mantenimiento, el valor de ahorro de combustible y demás datos obtenidos en el presente trabajo.

Tabla 12.
Flujo de efectivo

PERÍODO (AÑO)	FE HISTÓRICO ANUAL	FE HISTÓRICO ACUMULADO
1	-2 450 652	-2 450 652
2	1 198 562,8	-1 252 089,2
3	1 198 562,8	-53 526,4
4	1 198 562,8	1 145 036,5

El generador al trabajar diariamente y con un control adecuado del mantenimiento reducirá los paros en su funcionamiento, el flujo de dinero efectivo se ira acumulando año tras año es así que la recuperación de la inversión se da a los tres años 17 días como se indica a continuación.

Tabla 13.
Recuperación de la inversión

RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN		
PERÍODO (AÑO)	FE HISTÓRICO ANUAL	FE HISTÓRICO ACUMULADO
3,05	53 526,4	0

Luego de este cálculo se se procede a calcular el VAN y el TIR como se indica en la siguiente tabla.

Tabla14.
Cálculo del VAN y el TIR

Años	Flujo efectivo (FE) \$
2013	-2 450 652
2014	1 198 562,8
2015	1 198 562,8
2016	1 198 562,8
2017	1 198 562,8
2018	1 198 562,8
2019	1 198 562,8
2020	1 198 562,8
2021	1 148 562,8
2022	1 148 562,8
VAN	\$ 3 897 365,43
TIR	47%

En el análisis financiero realizado se justifica que la aplicación de la gestión de mantenimiento es la adecuada debido los siguientes factores:

- El valor del VAN con datos reales de la aplicación de mantenimiento es mayor que cero esto indica que las cantidades de dinero futuras compensan todas las inversiones, los costos generados y el costo inicial de inversión.
- La TIR indica que mientras se encuentre funcionando la caldera y se aplique el mantenimiento propuesto el proyecto será rentable.
- Después de los 17 días del cuarto año la inversión realizada para la construcción de la caldera quedara saldada y se comenzara a obtener mayores beneficios.

Mediante el software GMAO se automatizo la gestión de mantenimiento propuesta en el presente trabajo ya que en el software se posee la base de datos respectiva de gamas de mantenimiento, stock de repuestos, sistemas, operadores y encargados de mantener la caldera de esta manera se puede elaborar ordenes de trabajo, gestionar compras y asignar actividades a los técnicos de mantenimiento en el tiempo establecido.

Con la elaboración del plan de mantenimiento se conocerá las actividades necesarias para gestionar herramientas, materiales, equipos, y recursos humanos. La determinación del recurso humano así como el costo total de mantenimiento se conocerá al realizar los siguientes cálculos (MOROCHO, Administración del mantenimiento, págs. 13-71).

6 CONCLUSIONES

- La información recolectada de la caldera HRSG de Refinería La Libertad es muy importante ya que permite conocer los datos técnicos de cada equipo y parámetros de trabajo los cuales nos han permitido desarrollar la gestión de mantenimiento para garantizar la disponibilidad de los equipos.
- Se conoció la estructura tecnológica del generador de vapor así como el funcionamiento y la operación que realizan los operadores del área de planta de vapor.
- Mediante el debido proceso se diagnosticó la criticidad y el nivel de riesgo que presenta cada uno de los equipos de la caldera, de esta manera se diseñó las políticas de mantenimiento adecuadas para los sistemas de alto impacto.

- Con la elaboración del plan de mantenimiento para la caldera HRSG N° 5 se determinó las gamas de mantenimiento así como las actividades que se proponen a cumplir con la frecuencia respectiva en un tiempo determinado.
- La elaboración de las fichas de mantenimiento nos permite conocer el procedimiento adecuado de ejecución de las actividades, conocer los repuestos, herramientas, equipos y materiales necesarios que se deben utilizar y poseer en stock en la empresa para el adecuado mantenimiento de la caldera.
- Los beneficios económicos que se obtienen mediante la gestión de mantenimiento muestra que su aplicación reduce pérdidas económicas para la empresa y el tiempo de recuperación de la inversión se reduce al llevar en un buen estado a la caldera.
- Mediante el software GMAO se automatizo la gestión de mantenimiento propuesta en el presente trabajo ya que en el software se posee la base de datos respectiva de gamas de mantenimiento, stock de repuestos, sistemas, operadores y encargados de mantener la caldera de esta manera se puede elaborar ordenes de trabajo, gestionar compras y asignar actividades a los técnicos de mantenimiento en el tiempo establecido.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguñaga, A., & Galán, Á. (2009). *Alternativas De Cogeneración Con Ciclo Combinado Entre Cfe Y Pemex En Salamanca, Guanajuato. [Tesis]*. México D.F.
- American Petroleum Institute 581. (2000). *Risk Based Inspection*. Washington.
- Balbir, D. (1985). *Quality Control, Reliability And Engineering Design*. New York.
- Calvo, R. (2011). *Modelado Del Sistema De Caldera Hrsg De Un Ciclo Combinado Con El Simulador Ecosimpro Y Control Del Modeolo. [Tesis]*. Madrid.
- Confiabilidad.Net. (2010). *Www.Confiabilidad.Net*. Recuperado El 12 De 05 De 2010, De Www.Confiabilidad.Net: [Http://Confiabilidad.Net/Articulos/Gestion-Integral-De-Mantenimiento-Basada-En-Confiabilidad/](http://Confiabilidad.Net/Articulos/Gestion-Integral-De-Mantenimiento-Basada-En-Confiabilidad/)
- Coordinación General De Imagen Empresarial Ep Petroecuador. (2013). *El Petróleo En El Ecuador La Nueva Era Petrolera*. Quito.
- Cuadrado, E. (2000). *Principios Básicos Del Mantenimiento*. Riobamba.
- Ferrero, L. (2012). *Www.Materiales-Sam.Org.Ar*. Recuperado El 10 De 09 De 2012, De Www.Materiales-Sam.Org.Ar: [Http://Www.Materiales-Sam.Org.Ar/Sitio/Revista/22007/FerreroCompleto.Pdf](http://Www.Materiales-Sam.Org.Ar/Sitio/Revista/22007/FerreroCompleto.Pdf)
- García, S. (2011). *Operación Y Mantenimiento De Centrales De Ciclo Combinado*. Madrid: Diaz De Santos.
- Gutiérrez, E., Agüero, M., & Calixto, I. (2007). *R2menlinea*. Recuperado El Mayo De 2007, De [Http://R2menlinea.Com/W3/Pt/Pt013_Analisis_De_Criticidad_Integral_De_Activos.Pdf](http://R2menlinea.Com/W3/Pt/Pt013_Analisis_De_Criticidad_Integral_De_Activos.Pdf)
- Mena, José. (2010). *Elaboración De Estrategias De Inspeccion Y Mantenimiento Para Equipos Estáticos Basadas En Riesgo. Tesis*. Recuperado El 12 De 08 De 2010, De [Http://Hdl.Handle.Net/123456789/3138](http://Hdl.Handle.Net/123456789/3138)
- Montaña, L. R. (2006). *Diseño De Sistema De Mantenimiento Con Base En Análisis De Criticidad Y Análisis De Modos Y Efectos De Falla En Una Planta De Coque. Tesis*. Duitama.
- Mora, J. (2004). *Desarrollo De Un Programa De Inspección Bajo Análisis De Riesgo Aplicado A La Caldera Acuotubular Yb-7005 Rfinería Esmeraldas. Tesis*. Guayaquil.
- Morocho, M. (2003). *Administración Del Mantenimiento*. Riobamba.
- Muñoz, G., & Veintimilla, R. (2008). *Diseño E Implementacion De Un Sistema Hmi Para La Seccion Decalderos Y Generacion Electrica De La Empresa Enchapes. Tesis*. Latacunga.
- Parra, C. (2005). *Implantacion Del Mantenimiento Centrado En Confiabilidad (Mcc) En Un Sistema De Producción*. Sevilla.
- Petroecuador, Ep. (2013). [Http://Www.Eppetroecuador.Ec/Gerenciarefinacion/Index.Htm](http://Www.Eppetroecuador.Ec/Gerenciarefinacion/Index.Htm). Quito. Recuperado El 2012, De [Http://Idt.Eppetroecuador.Ec/Modelogth/Estructuras_Pdf/Gerencia_General.Pdf](http://Idt.Eppetroecuador.Ec/Modelogth/Estructuras_Pdf/Gerencia_General.Pdf)
- Port, R. (1997). *Guía Nalco Para El Análisis De Fallas En Calderas*. México D.F: Mcgraw Hill.
- Sección Española Isa. (Noviembre De 2000). *Www.Isamex.Org*. Recuperado El 22 De Noviembre De 2000, De [Www.Isamex.Org](http://190.64.69.75/Archivos/Mecanica-General/Calderas/Curso%20isa%20control%20calderas%20de%20vapor.Pdf): [Http://190.64.69.75/Archivos/Mecanica-General/Calderas/Curso%20isa%20control%20calderas%20de%20vapor.Pdf](http://190.64.69.75/Archivos/Mecanica-General/Calderas/Curso%20isa%20control%20calderas%20de%20vapor.Pdf)

Solano, H. (2012). *Desarrollo Del Programa De Inspección En La Caldera De Recuperación De La Empresa Carvajal*. Santiago De Cali.

Spirax Sarco. (S.F.).

Tavares, A. (14 De Septiembre De 2006). *Administración Moderna Del Mantenimiento*. Rio De Janeiro. Obtenido De [Www.Slideshare.Net](http://www.slideshare.net): [Http://Www.Slideshare.Net/Juanparc/Ciclo-Y-Control-Del-Mantenimiento](http://www.slideshare.net/Juanparc/Ciclo-Y-Control-Del-Mantenimiento)

Trujillo, G. (2002). *El Mantenimiento Proactivo Como Una Herramienta*. México.

Urban, J. (28 De Agosto De 2008). [Http://Mcsost-Jur.Blogspot.Com/](http://Mcsost-Jur.Blogspot.Com/). Obtenido De [Http://Mcsost-Jur.Blogspot.Com/](http://Mcsost-Jur.Blogspot.Com/): [Http://Mcsost-Jur.Blogspot.Com/2008/08/Pdca-Mantenimiento-Planificado.Html](http://Mcsost-Jur.Blogspot.Com/2008/08/Pdca-Mantenimiento-Planificado.Html)