DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM, PARA SISTEMA DE SALVAGUARDAS EN LOS HORNOS DE COMBUSTIÓN DE REFINACIÓN DE FONDOS GRB

JHONATAN ISAAC DE JESÚS MENDOZA SERRANO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA EN MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2021

DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM, PARA SISTEMA DE SALVAGUARDAS EN LOS HORNOS DE COMBUSTIÓN DE REFINACIÓN DE FONDOS GRB

JHONATAN ISAAC DE JESÚS MENDOZA SERRANO

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

Director:
ÁLVARO FERNANDO PINEDA SUÁREZ
Ingeniero Electromecánico

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA EN MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2021

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por sus enormes bendiciones y sabiduría para llevarme de la mano en la transformación de mi vida. A mi esposa Andrea Lisseth Mejía Rosales, por su incondicional apoyo en nuestros objetivos propuestos. A mis docentes, por enseñar desde el corazón a nuestro proceso formativo. A Ecopetrol, por darme la oportunidad para desarrollar este proyecto y confiar en mi trabajo para la solución de problemas. Al Ingeniero Álvaro Fernando Pineda Suarez por brindarme su confianza en la construcción de esta valiosa estrategia para nuestra compañía.

CONTENIDO

Pág.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 12
2. OBJETIVOS 14
2.1 OBJETIVO GENERAL 14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 14
3. JUSTIFICACIÓN DEL PLAN PROPUESTO 15
4. MARCO TEÓRICO 16
4.1 CALENTADORES DE FUEGO DIRECTO U HORNOS 16
4.2 GASES DE COMBUSTION 16
4.3 TEMPERATURA DE IGNICIÓN 17
4.4 HORNOS VERTICALES 17
4.5 QUEMADORES 19
4.6 LLAMA PILOTO 19
4.7 SEGURIDAD EN HORNOS 20
4.7.1 Metodología. 21
4.8 SISTEMA SALVAGUARDAS REFINERÍA 22
4.8.1 Antecedentes. 22
4.8.2 Implementación. 22
4.8.3 Hardware instalado. 23
4.9 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM 26
4.9.1 Función. 29
4.9.2 Modos de falla. 29
4.9.3 Causa de Falla. 30
4.9.4 Que ocurre cuando se genera la falla. 31
4.9.5 Consecuencias. 31
4.9.5.1 Tareas a condición. 33
4.9.5.2 Tareas Preventivas. 34

4.9.6 Qué pasa si para evitar una falla no existen tareas preventivas ni predictivas. 36
4.10 CONOCIMIENTO DE LOS EQUIPOS 36
4.11 IDENTIFICACIÓN DE LA OPERACIÓN ACTUAL Y LA DE DISEÑO 37
4.12 ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LA CRITICIDAD DE CADA SISTEMA 37
4.13 IDENTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN PREDICTIVA O PREVENTIVA PARA EVITAR LA FALLA 38
DIAGRAMA DE DECISIONES R.C.M. 43
4.13.1 Programa de Mantenimiento. 48
5. PRUEBAS FUNCIONALES (IPF) AL SISTEMA DE SALVAGUARDAS 50
6. CONCLUSIONES 54
BIBLIOGRAFIA 55
ANEXOS 57

LISTA DE ILUSTRACIONES

Pág.

Ilustración 1. Horno vertical. 18
Ilustración 2. Quemador de Gas 19
Ilustración 3. Piloto de gas 20
Ilustración 4. Piloto Hegwein.....24
Ilustración 5. Detector de llama ABB. 25
Ilustración 6. Proceso PS&O Mantenimiento a sistema de salvaguardas en hornos. 27
Ilustración 7. Curva IPF 30
Ilustración 8. Matriz RAM 31
Ilustración 9. Equipo autogestionado para mantenimiento al sistema de salvaguarda en hornos de combustión. 33
Ilustración 10. Relación de probabilidad de falla y edad de los componentes 35
Ilustración 11. Diagrama de decisión. 36
Ilustración 12. Tabla de Factores ponderados 38
Ilustración 13. Árbol de decisión RCM 44
Ilustración 14. Pruebas funcionales (IPF) por bajo flujo en serpentín A-B. 50
Ilustración 15. Prueba Funcional (IPF) Corte por alta presión de gas combustible. 51
Ilustración 16. Prueba Funcional (IPF) Corte por baja presión de gas combustible. 51
Ilustración 17. Prueba Funcional (IPF) Corte por alta temperatura a la salida del producto 51
Ilustración 18. Prueba Funcional (IPF) Corte por baja presión de gas combustible a pilotos. 52
Ilustración 19. Prueba Funcional (IPF) Corte por alta presión gas combustible a pilotos. 52

Ilustración 20. Prueba Funcional (IPF) Corte por alto nivel drum 2507.....53
Ilustración 21. Prueba Funcional (IPF) Corte por disparo manual desde el cuarto de control local.....53

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Características del Piloto. 24
Tabla 2. Tag. Quemadores H2501A/B/C. 39
Tabla 3. Cuadro AMEF Salvaguardas Hornos de combustión.....40
Tabla 4. Hoja de decisión RCM salvaguardas 46
Tabla 5. Proyección de costos anuales mantenimiento salvaguardas.....47
Tabla 6. Análisis de financiero 48
Tabla 7. Programa de mantenimiento.....49

LISTA DE ANEXOS

Pág.

Anexo A. Mantenimiento piloto 57
Anexo B. Mantenimiento a detectores de quemadores. 61
Anexo C. Procedimiento para resetear detectores de llama quemadores h-2501 a/b/c que presenten mensaje de error en display. 63

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM, PARA SISTEMA DE SALVAGUARDAS EN LOS HORNOS DE COMBUSTIÓN DE REFINACIÓN DE FONDOS GRB.

AUTOR: JHONATAN ISAAC DE JESÚS MENDOZA SERRANO

PALABRAS CLAVE: Mantenimiento, RCM, Estrategia, Confiabilidad.

CONTENIDO:

El sistema de salvaguarda de Hornos se desarrolló para automatizar el control de los hornos de combustión de las unidades de DEMEX, VBK II, HCM y su protección ante posibles escenarios de emergencia que pueden llegar a comprometer la vida de los trabajadores o la integridad de los hornos, igualmente este sistema se tiene que integrar con el sistema de control distribuido de las plantas de refinación de fondos.

El presente proyecto tiene como propósito, el diseño de una estrategia de mantenimiento basada en RCM, para mejorar la confiabilidad del sistema de salvaguardas de los hornos de combustión del departamento de refinación de fondos de la GRB, evitar paradas no programadas por fallas en sistema de quemadores, pilotos, válvulas e instrumentación asociada. Con el fin de garantizar la calidad de los productos y de esta manera evitar accidentes de proceso que comprometan la integridad de las personas, el medio ambiente y la reputación de Ecopetrol S.A Con el diseño de esta estrategia de mantenimiento, se busca implementar a mediano plazo en todos los sistemas de salvaguardas de los hornos de combustión interna de la Refinería de Barrancabermeja, con el fin de asegurar la confiabilidad y operación óptima de las unidades de proceso.

Trabajo de grado

Facultad de Fisicoquímicas, escuela de Ingeniería Mecánica, director Álvaro Fernando Pineda Suárez

ABSTRACT

TITLE: DESIGN OF A MAINTENANCE STRATEGY FOCUSED ON RCM RELIABILITY, FOR A SAFEGUARD SYSTEM IN THE GRB BACKGROUND REFINING COMBUSTION FURNACES.

AUTHOR: JHONATAN ISAAC DE JESÚS MENDOZA SERRANO

KEY WORDS: Maintenance, RCM, Strategy, Reliability.

CONTENTS:

The Furnace safeguard system was developed to automate the control of the combustion furnaces of the DEMEX, VBK II, HCM units and their protection against possible emergency scenarios that could compromise the life of the workers or the integrity of the furnaces, this system also has to be integrated with the distributed control system of the bottom refining plants.

The purpose of this project is to design a maintenance strategy based on RCM, to improve the reliability of the safeguards system of the combustion furnaces of the GRB fund refining department, to avoid unscheduled shutdowns due to failures in the fuel system. Burners, pilots, valves and associated instrumentation. In order to guarantee the quality of the products and in this way avoid process accidents that compromise the integrity of people, the environment and the reputation of Ecopetrol SA. With the design of this maintenance strategy, it is sought to implement in the medium term in all the safeguard systems of the internal combustion furnaces of the Barrancabermeja Refinery, in order to ensure the reliability and optimal operation of the process units.

Degree work

Facultad de Fisicoquímicas, escuela de Ingeniería Mecánica, director Álvaro Fernando Pineda Suárez

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la Refinería de Barrancabermeja, el Departamento de Refinación de Fondos cuenta con las unidades de DEMEX, VBK II, HCM y generación de hidrogeno; estas plantas necesitan elevadas temperaturas en sus procesos. Los equipos más empleados en estos servicios son los hornos, generando energía a partir de la combustión, utilizando como combustible el gas natural de campos. La mayor parte de esta energía es entregada por radiación directa de la flama hacia los tubos, por donde viaja el fluido de proceso.

Los hornos operan básicamente utilizando fuego abierto. En consecuencia la combustión se desarrolla en los quemadores y así mismo la llama se extiende en el hogar para transferir calor al proceso de radiación. La forma tan agresiva en la que opera traen numerosos escenarios que pueden dar lugar a la ocurrencia de incidentes severos, como sucedió en el mes de marzo del año 2001 con la explosión del SH-2651 en la unidad de HCM.

A raíz de este tipo de eventos, en el año 2012 se implementó el sistema de salvaguarda de hornos. Realizando actividades de instalación de cableado, Conduit y bandejas la cual se asocia a la instrumentación desde los instrumentos instalados en campo hasta el DCS. Instalación de medidores de presión, flujo, nivel y temperatura para funciones de monitoreo, seguridad y control. Utilizando sus respectivas cajas de conexión, instalando válvulas de cierre automático de emergencia para funciones de seguridad en el suministro de gas, que conduzcan al quemador y al quemador piloto para evitar el suministro de gas antes de que opere el sistema de seguridad del horno.

Actualmente no se cuenta con una estrategia de mantenimiento integrada de planeación, programación y ejecución del mantenimiento para las salvaguardas en hornos del departamento de refinación de fondos, que permita a este sistema de control y protección operar de una manera confiable.

Es así como se propone el diseño de una estrategia de mantenimiento centrado en confiabilidad RCM para el sistema de salvaguarda de los hornos del departamento de refinación de fondos, que permita el desarrollo de las etapas de planeación, programación y ejecución al sistema de salvaguardas para garantizar una alta disponibilidad y alta fiabilidad, gestionando de manera oportuna las necesidades críticas, para evitar consecuencias sobre las personas, el medio ambiente, los activos o la reputación de Ecopetrol S.A.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un plan estratégico de mantenimiento basado en ingeniería de confiabilidad RCM para el sistema de salvaguarda en hornos de combustión.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un estudio de condiciones iniciales de operación de los hornos de combustión adscritos al departamento de refinación de fondos para establecer las fortalezas y debilidades del sistema.

- Establecer las actividades y frecuencias de mantenimiento de los elementos críticos del sistema de salvaguarda mediante la metodología de mantenimiento centrado en la confiabilidad.

- Establecer pruebas funcionales (IPF) a los equipos o instrumentos asociados al sistema instrumentación del sistema de salvaguardas para garantizar la confiabilidad operacional.

3. JUSTIFICACIÓN DEL PLAN PROPUESTO

El proyecto de salvaguardas de hornos del departamento de Refinación de fondos se desarrolló para automatizar el control de los hornos, y su protección ante eventos sucedidos anteriormente en la unidad de HCM, que puedan llegar a comprometer la vida de los trabajadores, el medio ambiente o las instalaciones.

Debido a las constantes fallas presentadas en los últimos años en el sistema de salvaguardas que han ocasionado paradas de plantas no programadas donde implica altos costos operativos, obligando a bajar carga a la refinería de Barrancabermeja. Debido a esta problemática nos permite diseñar una estrategia de mantenimiento basada en RCM para el sistema de salvaguardas de los hornos del departamento de Refinación de Fondos de ECOPETROL S.A. obteniendo una mayor confiabilidad en la operación, un ahorro por evitar paradas de emergencia, disminución de riesgos de explosión por combustión incompleta e ineficiente y una operación estructurada segura con mejora significativa en la producción.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 CALENTADORES DE FUEGO DIRECTO U HORNOS

El tipo de energía más importante utilizada en las refinerías es el calor. La energía térmica se obtiene mediante la combustión de un combustible. De tal manera, dado que la combustión implica fuego y alta temperatura, la combustión debe estar controlada para garantizar la seguridad en el proceso. En los calentadores de fuego directo, el oxígeno se proporciona introduciendo aire en el calentador. En algunos diseños, el aire ingresa al horno a través de un ventilador, pero en la mayoría de los casos, el aire ingresa al horno a través de la ventilación natural. Para garantizar que haya suficiente aire para una combustión completa, la cantidad de aire aspirado por el quemador debe ser mayor que la cantidad teórica de aire necesaria para quemar todo el combustible.[1]

4.2 GASES DE COMBUSTION

Uno de los tipos más comunes de combustible gaseoso es conocido como gas de refinería, el cual se conforma por la mezcla de todas las corrientes de gas obtenidas de varios recipientes de refinería. Por lo general, las corrientes de aire se recogen en un tambor, se mezclan y posteriormente se envían a diferentes calentadores. A partir de ello, se logra proporcionar combustible con un poder calorífico constante al calentador, en consecuencia la densidad y el contenido de calor del gas deben ser razonablemente constantes. Otro combustible gaseoso es el gas natural, que generalmente se recibe del exterior de la refinería. El gas natural tiene una densidad

[1] Des Plaines, Illinois U.S.A. Manual de Entrenamiento TYRO.

relativamente constante, principalmente metano, y se quema limpiamente, aunque puede resultar caro. [2]

4.3 TEMPERATURA DE IGNICIÓN

La temperatura de ignición se conoce como aquella temperatura a la que se debe calentar la mezcla de gas y aire para que se queme sin calentamiento externo. Dicha temperatura varía dependiendo del tipo de material. La temperatura de ignición del hidrógeno a presión atmosférica es de 580 ° C o 1076 ° F. Para el metano a presión atmosférica, es 650 ° C o 1202 ° F. El combustible No. 6 es de 407 ° C o 764 ° F. Entonces se puede ver alcanzar la temperatura de ignición del fueloil N°6 es mucho más fácil que la del hidrogeno o el metano. También se infiere que el combustible no se quemará si no hay una temperatura de ignición adecuada proporcionada por el calor proporcionado por la llama piloto o la antorcha o el calor radiante del bloque del quemador. [3]

4.4 HORNOS VERTICALES

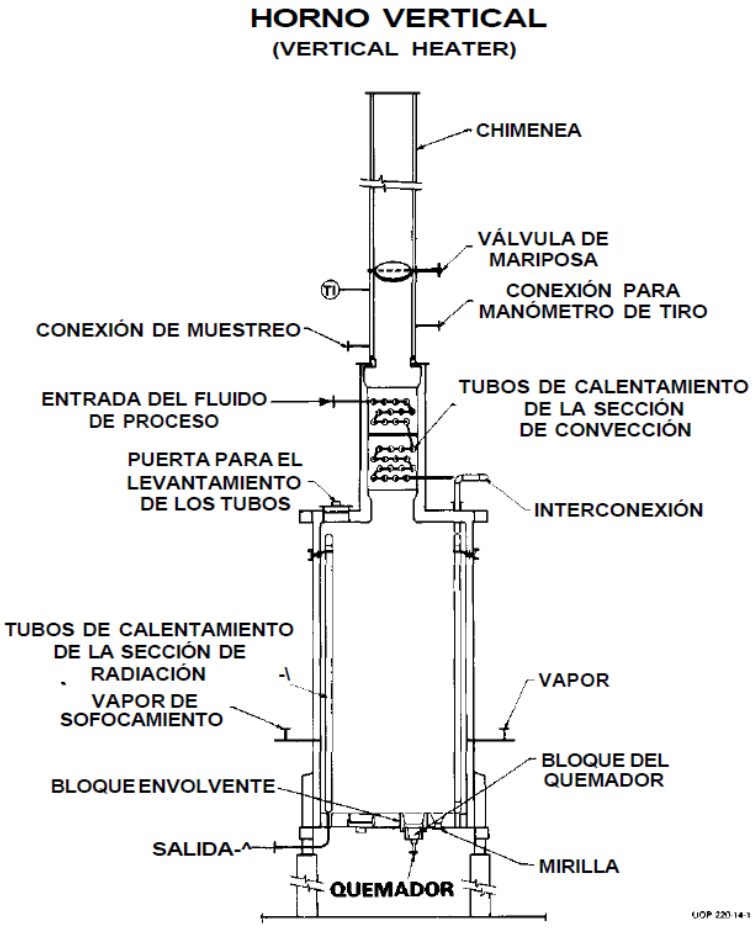
El horno vertical consiste en un tambor u hogar de acero vertical, que se instala en un soporte revestido de concreto para protegerlos del fuego. La base exterior del horno debe estar a 7 pies sobre el suelo para proporcionar suficiente espacio de trabajo. La superficie interior del horno está revestida con material refractario u hormigón aislante. El horno contiene tubos radiantes verticales, cuyos extremos superior e inferior están conectados por codos de 180 ° de radio corto. El tubo está soportado por un soporte de material de alta aleación. Ver ilustración 1.

---

[2] GUTIÉRREZ Alexis, Balance de Energía y Exergía de un Horno Vertical para producción de Cal. Barranquilla Colombia,
[3] ILLINOIS U.S.A. Des Plaines, Manual de Entrenamiento TYRO.

Los quemadores y sus bloques de carcasa están instalados en el piso del calentador. Según el tamaño del calentador y los requisitos del proceso, puede haber de 1 a 6 quemadores simétricos en la parte inferior. La temperatura está controlada por la cantidad de combustible quemado en el horno, en este caso, si el flujo de salida requiere alta temperatura, se debe aumentar el número de quemadores. Si el quemador está funcionando a su máxima capacidad y requiere más calor adicional, se debe encender otro quemador, cuidando de equilibrar la combustión hasta alcanzar la temperatura de salida requerida por el proceso.[4]

Ilustración 1. Horno vertical.



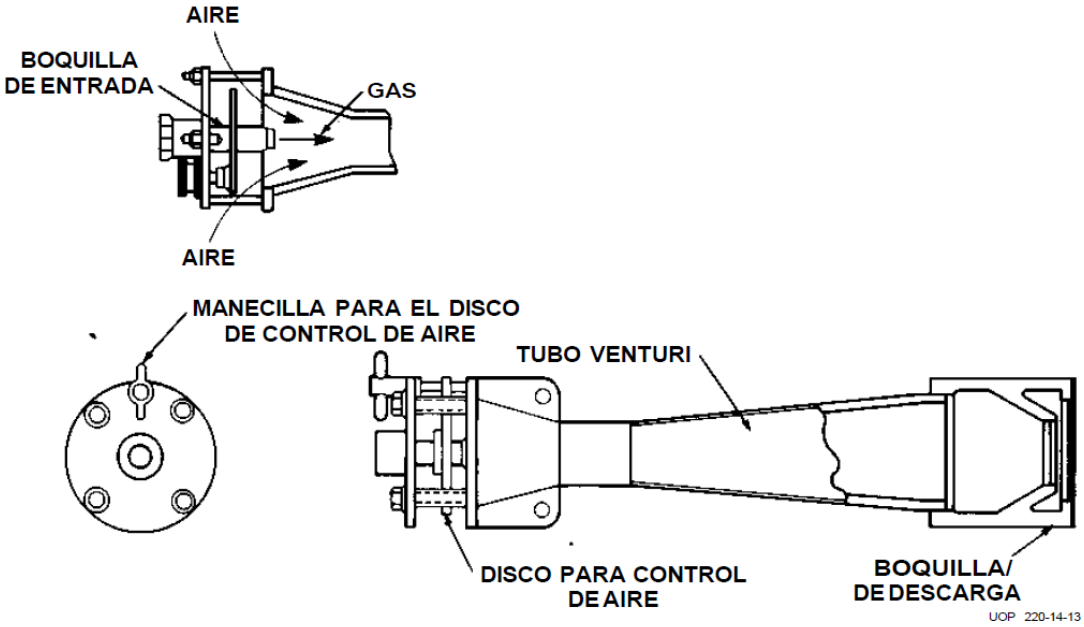
Fuente: TYRO, Capítulo 14, Pag. 9.

[4] Gutiérrez Alexis, Op. CIt.

4.5 QUEMADORES

Uno de los componentes más importantes de un horno de combustión interna son sus quemadores. El quemador se puede instalar en el interior, lateral, final o piso del horno. En los quemadores de gas originales, proporcionan aire primario y aire secundario, por lo que su nombre correcto debería llamarse simplemente "Regulador de aire". En el quemador de succión, el acondicionador de aire externo es un acondicionador de aire secundario porque el aire primario es aspirado a través del efecto venturi del propio quemador. [5]

Ilustración 2. Quemador de Gas



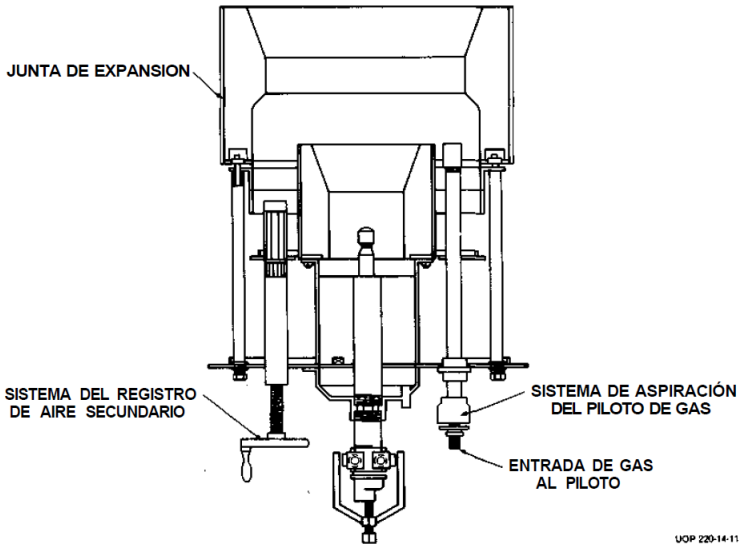
Fuente: Tyro, Capítulo 14, Pag 35.

4.6 LLAMA PILOTO

[5] ILLINOIS U.S.A. Op. Cit.

La llama debe encenderse con un quemador piloto, no utilice otros quemadores. En ausencia de un quemador piloto, se utilizará un soplete para encender la llama. En cualquier caso, se debe aplicar una antorcha o un piloto a la boquilla. Quemador antes de que el gas entre en el quemador. Ver ilustración 3.

Ilustración 3. Piloto de gas



Fuente: Tyro, Capítulo 14, Pag. 33

4.7 SEGURIDAD EN HORNOS

La NFPA, ISA, IEC y API son organizaciones han emitido documentos que contienen normas y legislación internacionales que cumplen con las regulaciones requeridas. Estos estándares también describen las acciones que el sistema de protección puede tomar cuando se detecta una condición insegura.

IEC (International Electrotechnical Commission) con la IEC 62508 data sobre los requisitos básicos y marco de trabajo para el diseño de sistemas asociados a la seguridad del hardware y software, independiente del sector industrial.

Con la NFPA 86 se cubre todo lo que se relaciona con los sistemas de protección en hornos de proceso aplicando recintos de calentamiento independiente de la fuente de calor.

La ISA (International Society of Automation) Se aplica a los sistemas de instrumentación de seguridad – SIS independientemente de la aplicación.

API (American Pretroleum Institute) recomienda una práctica, RP 556 la cual se aplica a los hornos calentados por gas, sin embargo excluye las calderas. El procedimiento tiene como alcance la medición, control y protección de los sistemas de protección, en la cual se definen las acciones básicas del sistema de control, acciones del operador y acciones del SIS, incluyendo dispositivos de entrada, solucionadores lógicos y dispositivos de salida.[6]

4.7.1 Metodología. Para el desarrollo de la presente monografía, es necesario establecer los pasos requeridos, para ello la metodología RCM plantea los siguientes pasos:

1. Selección del sistema a analizar, análisis de falla
2. Recopilación del estado actual del sistema, identificación de partes.
3. Describir la función del equipo y fallos funcionales
4. Aplicación del análisis de modo y efectos de falla (AMEF), determinar modos de fallo y severidad de cada componente
5. Análisis del árbol lógico de fallas
6. Elaboración del plan de mantenimiento

[6] API STANDARD 560, “Fired Heaters for General Refinery Service” 5th Edition, February 1, 2016.

4.8 SISTEMA SALVAGUARDAS REFINERÍA

4.8.1 Antecedentes. A raíz de la explosión del Horno H-1302 (abril de 1999) en la refinería de Barrancabermeja de ECOPETROL S.A, Se han tomado una serie de acciones y se han establecido una serie de lineamientos, tales como: "Norma de Monitoreo de Protección de Seguridad de Estufas" (derogada) y el actual "Sistema de Control y Protección de Hornos GRB". El contenido anterior es aplicarlo al horno de refino de petróleo como marco de referencia para el nuevo diseño, y el propósito principal es prevenir accidentes en el equipo.

Posteriormente, debido a la explosión del H-2651, la unidad Balance en las fábricas de Unibon e Hidrogeno (marzo de 2001). Como resultado de estos hechos, se desarrollo el taller de protección de equipos de combustión de noviembre a diciembre de 2002.

Gracias a estos encuentros con consultores y reaseguradoras. La autoridad técnica de GRB ha emitido la instrucción "Sistema de Control y Protección de Hornos GRB" para aplicarlo a la actualización del sistema de protección integrado con los instrumentos existentes, se aplicarán productos de equipos adicionales con requisitos mínimos y análisis de riesgo.[7]

4.8.2 Implementación. Debido a estos incidentes en la unidad de DEMEX, se implementó un sistema de protección de horno para el H-2501 A / B / C en el dispositivo de balance de la planta Demex en febrero de 2012.

Actualmente, estos hornos se cargan con 12.250 barriles de asfalto y solventes por día, que se utilizan como base para el fondo al vacío de materias primas combustibles como gasolina, ACPM y JET-A. Recibe a 200ºF y emite a 425ºF. Cada

[7]RAMOS SIERRA, Ecopetrol S.A, Sistema Salvaguarda De Hornos Unidad De Refinación De Fondos

horno tiene (2) dos bobinas y ocho (8) quemadores y sus quemadores piloto asociados.

La duración del proyecto fue de (3) tres meses y su implementación se realizó en la última parada de planta de la Unidad de Balance en enero de 2012.

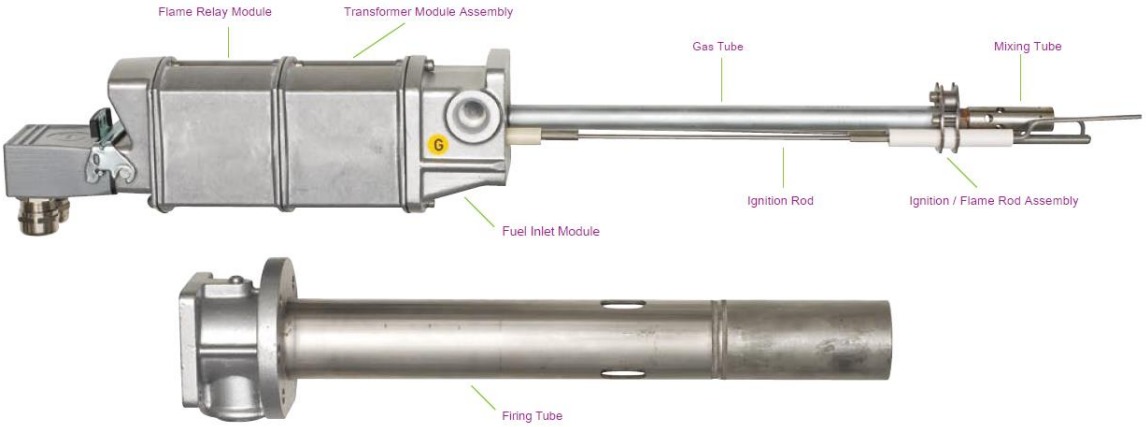
Para ello, se ha implementado un sistema de parada de emergencia certificado SIL 3 y sus correspondientes instrumentos relacionados. Las siguientes son algunas de las actividades realizadas durante el proyecto.

- Instalación de cableado, Conduit y bandejas asociada a la instrumentación tomando los instrumentos de campo que van hacia el SIS y DCS.
- Instalación de medidores de flujo, presión, temperatura y nivel, que serán utilizadas para funciones de monitoreo, control y seguridad. La cual viene con su propia caja de conexiones.
- Instale una válvula de cierre automático de emergencia para funciones de seguridad en el cabezal de suministro de gas, que conduzca al quemador y al quemador piloto para evitar el suministro de gas cuando se activa el sistema de seguridad del horno.
- Instalación y conexión el equipo necesario para implementar dos nuevos SIS relacionados con la función de seguridad del horno H-2501 A/B/C.
- Programación y pruebas relacionadas con la implementación de las funciones nuevas en el control del DCS y ESD. [8]

4.8.3 Hardware instalado. El sistema de salvaguarda implica el cambio del piloto convencional por un piloto Hegwein instalado por la empresa Jhon Zing, ver ilustración 4.

[8] Ibíd.

Ilustración 4. Piloto Hegwein



Fuente: ZINK John Manual de instrucciones Z-STAR Pilot Clase I, pag 24

Sus características principales, ver tabla 1.

Tabla 1. Características del Piloto.

CARACTERISTICAS	
CARACTERISTICAS	**VALOR**
LIBERACION DE CALOR	máx. 136.000 BTU / h (40 kW) máx.
Longitud de la llama (según el gas)	19,7 "(500 mm)
Longitud del tubo exterior en incrementos de 0,4 ”(10 mm) desde - hasta	9,4 - 394 "(240 - 10000 mm)
Diámetro exterior del tubo Longitud del tubo hasta 157 ”(4000 mm) Longitud del tubo desde 157” (4000 mm) Diseño de brida de gas a presión Conexión de gas	dia. 48 mm (1,89 ”) de diámetro 1.97 ”(50 mm) máx. 145 psi (10 bar) ½ "NPT, izquierda o derecha
Aire	debe estar disponible desde la cámara de combustión o desde el exterior del horno
Temperatura ambiente máxima del tubo exterior Si la temperatura es más alta, consulte el capítulo "Montaje y conexión eléctrica".	932 ° F (500 ° C)

Para los quemadores se instaló un sistema de detección de llama, su función principal es proporcionar el sistema de protección, con información fiable de la situación de la llama del quemador asociado (ON / OFF), ver ilustración 5.

Ilustración 5. Detector de llama ABB.

Fuente: Digital Flame Scanners, ABB

Cuyas principales características son:

- Sensores de estado sólido tipo UV, VL, IR
- Sensor dual UVIR•
- Continúo self-check (autodiagnóstico)
- Respuesta rápida a falla de llama
- Autotune (Calibración automática)
- Puerto redundante Profibus DP-V1.
- Puerto redundante Modbus
- Salida 4-20 mA. Aislada
- Contacto de Fail-safe n.a.
- Contacto de falla de Llama Flame Relay n.a.
- Contacto de Falla Relay n.a
- Medida continúa de la frecuencia de Lama

- Medida continúa de la intensidad de la llama
- Indicación continúa de la calidad de llama
- Rechaza las frecuencias de la red eléctrica e iluminación artificial

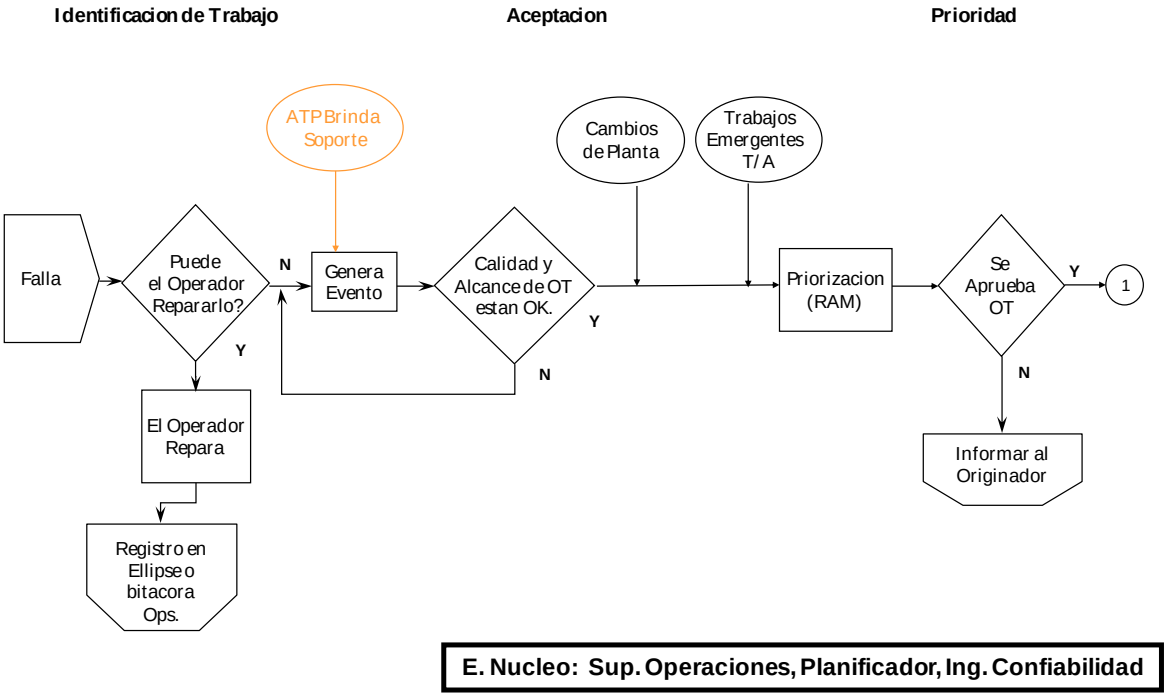
4.9 MANTENIMIENTO CENTRADO EN CONFIABILIDAD RCM

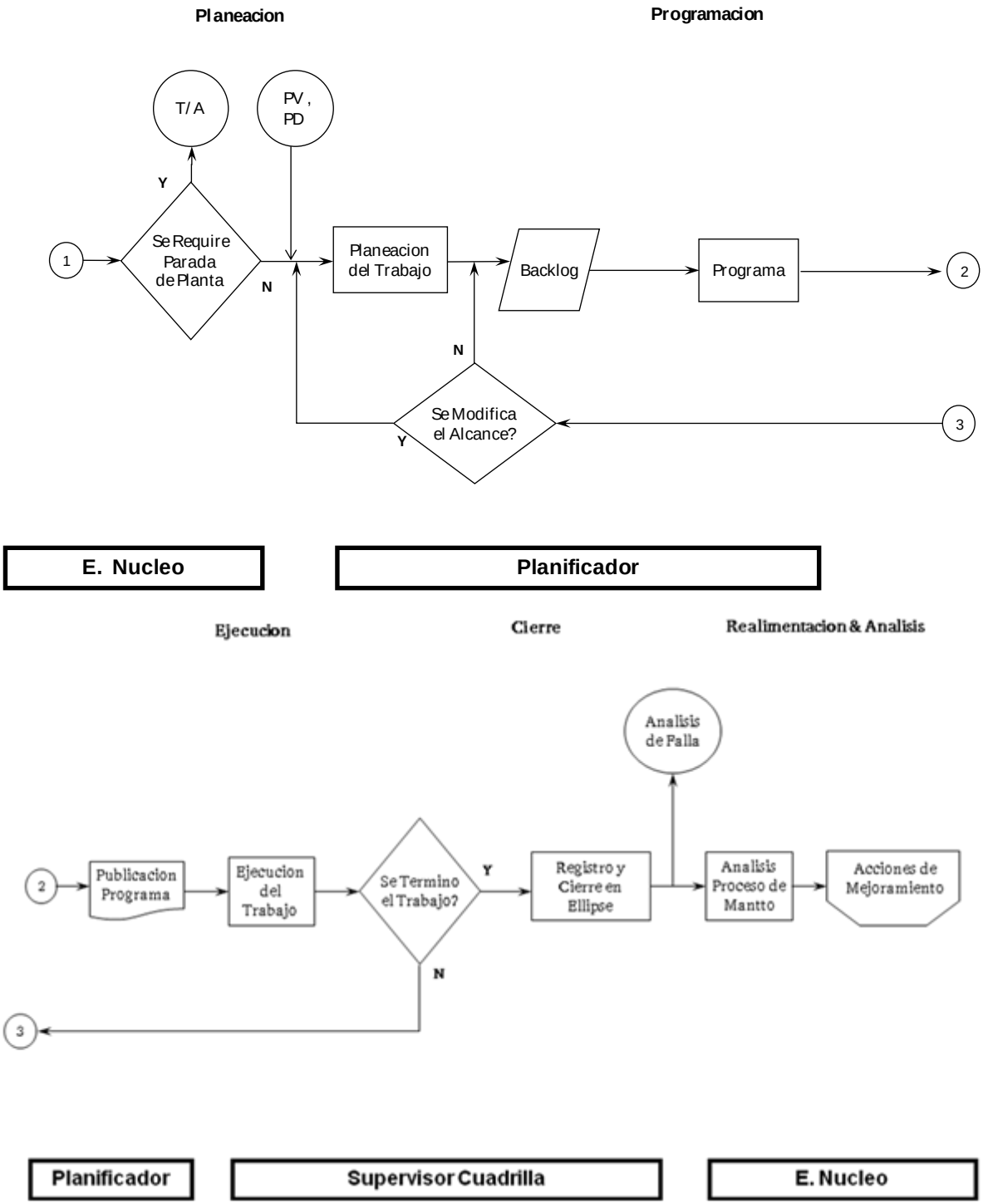
Es un método que plantea la elaboración de un plan de mantenimiento basado en el análisis de las funciones que debe realizar el equipo, sus posibles fallas y posibles modos de falla. Se puede inferir que este es un método preventivo útil. Este método fue desarrollado por los ingenieros F.S. Nolan y H.F. Heap y publicado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América en 1978, y más tarde fue documentado por John Moubray en su libro RCM Reliability Centered Maintenance. De manera similar, este método tiene dos estándares, SAE JA1011 y SAE JA1012, que definen respectivamente los requisitos de un plan de mantenimiento basado en RCM y explican la aplicación de los estándares. El método se basa en la comprensión del entorno operativo de los activos físicos que necesitan ser analizados, su criticidad o riesgo, y una solución satisfactoria a siete (7) problemas básicos. Estos problemas son:

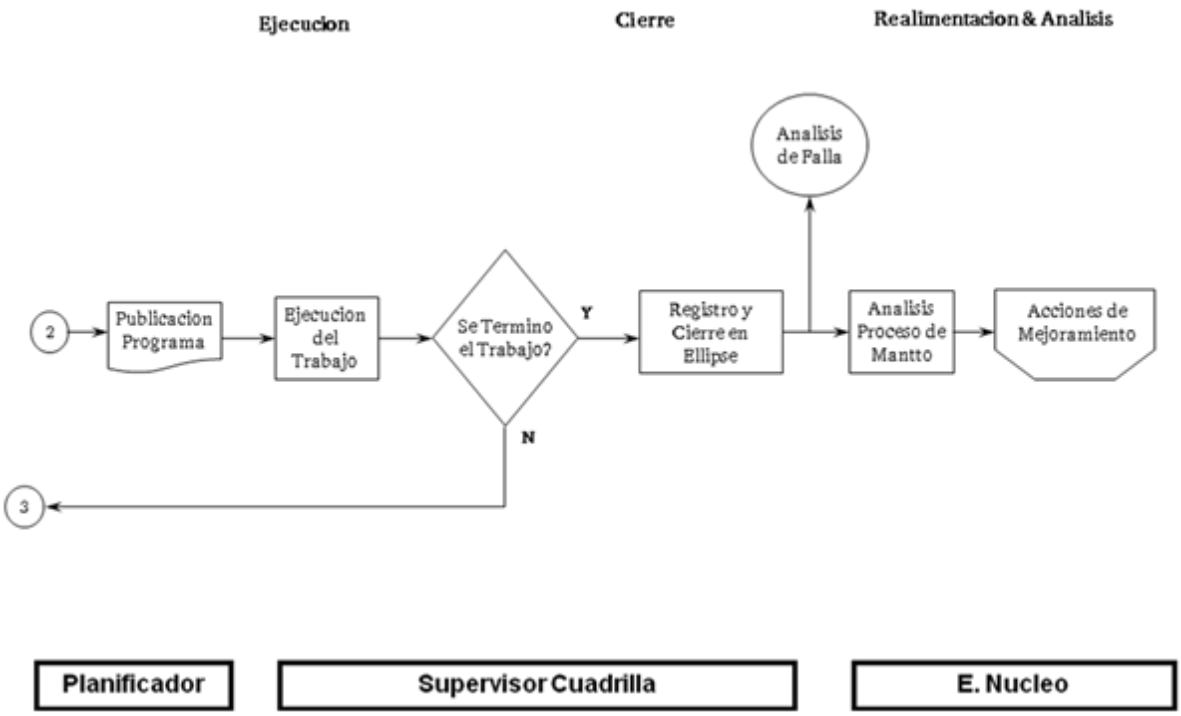
1. ¿Cuáles serían aquellas funciones y niveles de desempeño del sistema bajo el contexto operacional actual?
2. ¿De qué manera el sistema no cumple sus funciones para el cual fue asignado?
3. ¿Qué ocasiona cada una de las fallas funcionales en sistema?
4. ¿Qué efectos trae cada una de las fallas funcionariales en el sistema?
5. ¿Qué consecuencias genera cada una de las fallas funcionales del equipo?
6. ¿Qué puede hacerse para predecir o prevenir cada una de las fallas y con qué frecuencia?
7. ¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva apropiada?

Estas preguntas, junto con una metodología denominada árbol de decisiones lógicas, proporcionan un plan de mantenimiento diseñado para las condiciones específicas del activo.

Ilustración 6. Proceso PS&O Mantenimiento a sistema de salvaguardas en hornos.




Planeacion
Programacion
T/ A
PV , PD
Y
1
Se Require Parada de Planta
N
Planeacion del Trabajo
Backlog
Programa
2
N
Se Modifica el Alcance?
Y
3
E. Nucleo
Planificador
Ejecucion
Cierre
Realimentacion & Analisis
Analisis de Falla
2
Publicacion Programa
Ejecucion del Trabajo
Se Termino el Trabajo?
Y
Registro y Cierre en Ellipse
Analisis Proceso de Mantto
Acciones de Mejoramiento
N
3
Planificador
Supervisor Cuadrilla
E. Nucleo



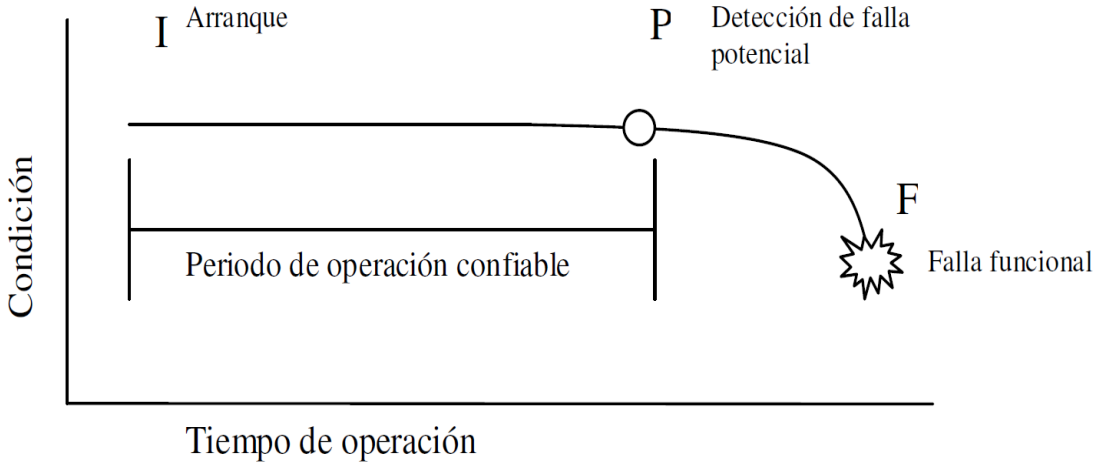
Algunas palabras claves son: RCM, RCA, AMEF, FRACAS, Falla funcional, Tasa de falla, Falla potencial, mantenimiento preventivo, mantenimiento correctivo.

4.9.1 Función. Cada activo se obtiene para lograr la función requerida, el equipo definido por este método puede realizar dos tipos de funciones, la función principal, esta función define el motivo de compra del activo y la rentabilidad esperada a mantener. La segunda función es la función auxiliar o función de apoyo. La función de apoyo es la función que hace posible el funcionamiento del sistema. La pérdida de cualquiera de estas funciones resultará en la reducción o pérdida de las principales funciones del sistema, riesgos ambientales, seguridad, personal u operaciones.

4.9.2 Modos de falla. La falla es una situación insatisfactoria, generalmente se presentan dos tipos de fallas, unas son las fallas funcionales y otras son las fallas latentes, de esta definición se puede ver que el equipo puede estar funcionando, pero no puede realizar satisfactoriamente sus funciones diseñadas. Las fallas

latentes sin un estado reconocible indican una falla funcional inminente, que se puede ver en la curva IPF, ilustración 7. Esta curva muestra el comienzo de la falla, como se va deteriorando el sistema hasta el punto en que puede ser identificada por el punto (P) y muestra que si no es detectada a tiempo y corregida de inmediato puede continuar el deterioro de forma acelerada y continua hasta llegar a la falla funcional (F).

Ilustración 7. Curva IPF



4.9.3 Causa de Falla. En la selección de las tareas apropiadas para prevenir fallas, es necesario determinar completamente qué está limitando el desempeño funcional del activo. Puede haber dos razones para la falla: falla de los componentes del equipo o falla provocada por el hombre, como un ensamblaje inadecuado o falla del equipo.

Es muy importante una descripción adecuada del modo de falla de los componentes del equipo para así generar un adecuado programa de mantenimiento, basado en la mejora continua de su desempeño. (F.R.A.C.A.S) “Failure Reporting, Analysis, and Corrective Action System”, Sistema de reporte de fallas, análisis y acciones correctivas; en el caso de la GRB se tiene el reporte de tasa de falla semanal de los

equipos, el análisis estadístico de desempeño y la priorización semanal del mantenimiento.

4.9.4 Que ocurre cuando se genera la falla. En este punto se define el impacto de la falla, se describe la falla del equipo para ello, se especifica el primer síntoma que indica una falla inminente y se analizan las evidencias, efectos secundarios y condiciones del evento requeridas para normalizar el sistema. Eventos confiables.

4.9.5 Consecuencias. En este paso, se definen el modo de influencia y el grado de influencia de cada falla. Tiene un impacto en la seguridad del personal, medio ambiente, las operaciones y la economía. La importancia de lograr los objetivos planteados por la empresa define los riesgos que enfrenta la compañia en caso de una falla. Para evaluar cada aspecto se utiliza una matriz RAM, Ilustración 8.

Ilustración 8. Matriz RAM

ecopetrol	DIRECCIÓN DE HSE Y GESTIÓN SOCIAL	ECP-DHS-F-018	
	MATRIZ DE VALORACIÓN DE RIESGOS - RAM	VERSION: 3	1/1
		23 de Julio de 2008	

Para mayor información sobre el uso y manejo de este formato consulte instructivo ECP-DRI-I-007

CONSECUENCIAS						PROBABILIDAD				
						A	B	C	D	E
Personas	Economica	Ambiental	Clientes	Imagen de la Empresa		No ha ocurrido en la Industria	Ha ocurrido en la Industria	Ha ocurrido en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Empresa	Sucede varias veces al año en la Unidad, Superintendencia o Departamento
Una o mas fatalidades **Nota 1**	Catastrofica > $10M	Contaminación Irreparable	Veto como proveedor	Internacional	5	M	M	H	H	VH
Incapacidad permanente (parcial o total)	Grave $1M a $10M	Contaminación Mayor	Pérdida de participacion en el mercado	Nacional	4	L	M	M	H	H
Incapacidad temporal (>1 dia)	Severo $100k a $1M	Contaminación Localizada	Pérdida de clientes y/o desabastecimiento	Regional	3	N	L	M	M	H
Lesión menor (sin incapacidad)	Importante $10k a $100k	Efecto Menor	Quejas y/o reclamos	Local	2	N	N	L	L	M
Lesión leve (primeros auxilios)	Marginal <$10k	Efecto Leve	Incumplir especificaciones	Interna	1	N	N	N	L	L
Ninguna lesión	Ninguna	Ningún efecto	Ningún impacto	Ningún impacto	0	N	N	N	N	N

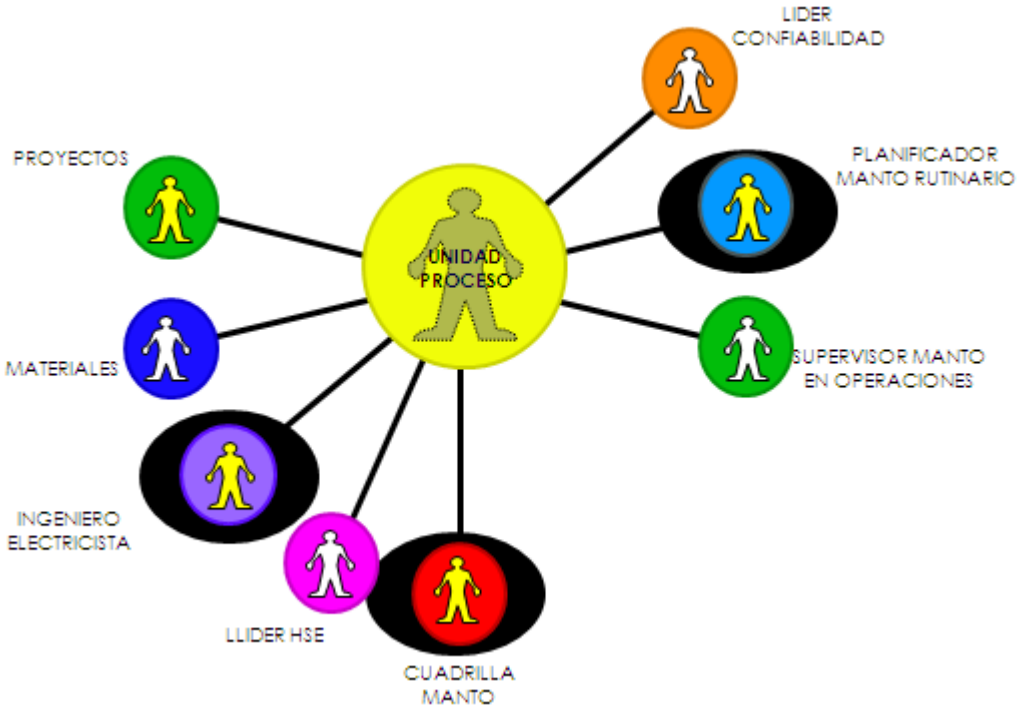
Nota 1. **Todo accidente con fatalidad(es) debe ser valorado como MUY ALTO (VH) ; teniendo en cuenta que toda fatalidad es un riesgo intolerable.**

Alta (H) ***Media*** (M) ***Baja*** (L, N) Prevención, predicción y mitigación de consecuencias.

Con el fin de evitar o reducir las consecuencias catastróficas del negocio, analizar según el modo y la causa de falla, qué tareas de mantenimiento del sistema se realizarán o cuáles se realizarán. Para seleccionar las tareas adecuadas, el primer paso es determinar la función del tiempo de operación, Ilustración 8.

En la industria aérea se muestra que aproximadamente el 11% de las fallas generadas en los equipos están asociadas con la antigüedad de los componentes, por lo que en la mayoría de los casos el mantenimiento preventivo invasivo no es la mejor opción, por lo que las tareas se definen en dos grupos, que serán revisadas por un nuevo equipo autogestionado conformado de la siguiente manera: Los líderes de confiabilidad e ingenieros mecánicos definen los estándares y alcance de las intervenciones de mantenimiento, y el planificador de mantenimiento liderará el proceso de planificación, programación y ejecución del mantenimiento; además, será responsable de actualizar los procedimientos establecidos en el sistema de información del mantenimiento. El Supervisor operativo, quien en últimas es el que define las necesidades de mantenimiento del sistema salvaguardas. Todo el equipo que trabajará conectado, cubrirá y garantizará la confiabilidad al sistema de salvaguarda en los hornos de combustión.

Ilustración 9. Equipo autogestionado para mantenimiento al sistema de salvaguarda en hornos de combustión.



4.9.5.1 Tareas a condición. La tecnología utilizada para tales tareas se basa en la idea de que la mayoría de las fallas emitirán algún aviso de que están sucediendo o están a punto de suceder. En este momento, se pueden tomar medidas para evitar posibles averías. La falla latente es un estado en el que indica que está a punto de ocurrir una falla funcional.

Una tarea de condición es factible técnicamente siempre y cuando:

- Se puedan definir condiciones claras de falla potencial.
- El intervalo P-F es estable antes de transformarse en una falla de función
- Es factible monitorear elementos a intervalos menores que el intervalo P-F
- Si el intervalo P-F es factible, realice operaciones de mantenimiento antes de que ocurra la falla

Las técnicas utilizadas en el mantenimiento predictivo se clasifican en:

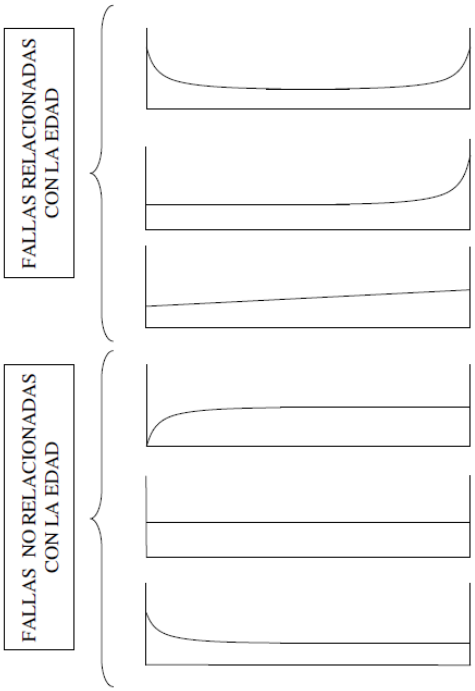
- Efectos generados por respuestas dinámicas
- Efectos producidos por las partículas
- Efectos del tipo químicos
- Efectos asociados a propiedades físicas
- Efectos de naturaleza termo-fluida
- Efectos de índole eléctrica.

4.9.5.2 Tareas Preventivas. También se denominan tareas de reparación y sustitución cíclica. Las tareas de reparación incluyen restaurar el componente antes de que llegue al final de su vida útil, y las tareas de reemplazo cíclico incluyen reemplazar el componente o componente antes o al final de su vida útil, independientemente de su condición actual.

Son técnicamente factible las tareas preventivas siempre y cuando:

- Se logre identificar el tiempo en el cual el elemento pueda presentar un aumento en la probabilidad de falla.
- La mayoría de los componentes lleguen a una edad establecida.
- Se logre volver a una condición inicial del estándar del sistema.

Ilustración 10. Relación de probabilidad de falla y edad de los componentes

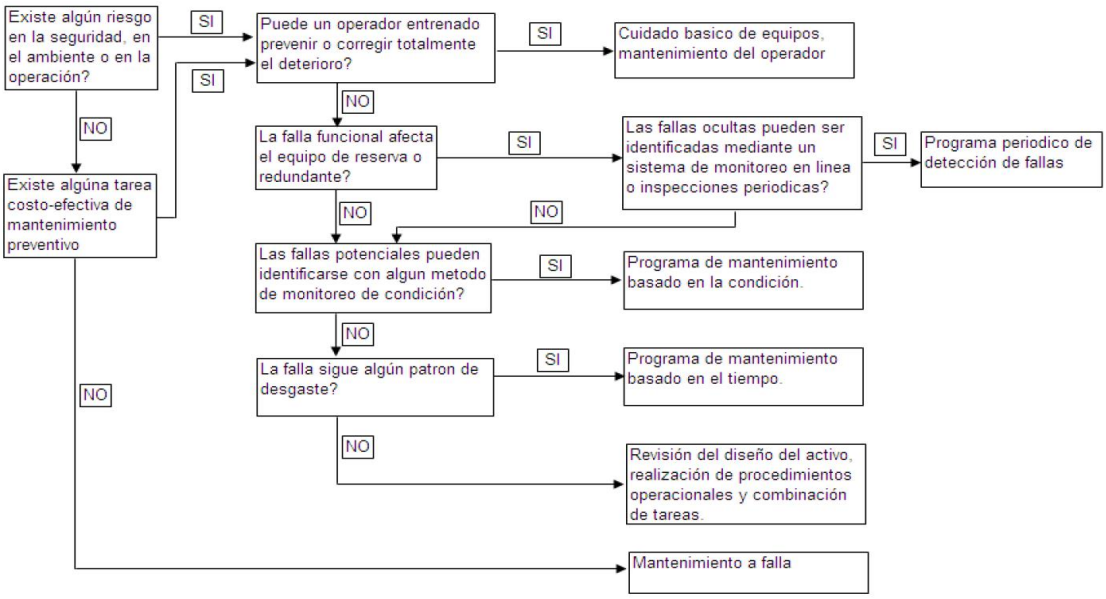


La primera pregunta del diagrama de decisión es determinar si las fallas son ocultas o evidentes, las fallas que muestran algún tipo de advertencia son fallas evidentes, mientras que las fallas ocultas se hacen presentes cuando otra ocurre, ejemplo de falla oculta son la válvula de seguridad o los equipos de sistemas en paralelo donde un equipo opera y el otro permanece en stand by hasta cuando es requerido.

Las ventajas de realizar el análisis incluyendo un diagrama de decisión, ilustración 9, son:

Se evita que el grupo de trabajo se enfoque en la selección de las tareas que actualmente hace. El equipo de trabajo es guiado hacia el tipo de mantenimiento adecuado. Se realiza un análisis comprensivo de los activos con gran reducción de tiempo.

Ilustración 11. Diagrama de decisión.



4.9.6 Qué pasa si para evitar una falla no existen tareas preventivas ni predictivas. Existen muchas razones por las que no se puede encontrar una tarea de mantenimiento factible, una de ellas es que una vez ejecutada la tarea, el riesgo no se evita ni se mitiga, por lo que la probabilidad de falla sigue siendo alta. Otra razón es la viabilidad económica, en algunos casos la relación costo-beneficio no es buena para la empresa. El primero se puede reducir modificando el diseño del activo, mientras que el segundo debe tener en cuenta que el plan de mantenimiento de averías requiere procedimientos, servicios de mantenimiento de alto nivel y una cantidad suficiente de repuestos.

4.10 CONOCIMIENTO DE LOS EQUIPOS

Para el taller del RCM se obtuvo información detallada del estado de los equipos, historia de mantenimiento, ventanas operativas y tendencias de las variables de proceso tomadas de los sistemas informáticos con que cuenta la refinería como son RIS, PI y Ellipse.

4.11 IDENTIFICACIÓN DE LA OPERACIÓN ACTUAL Y LA DE DISEÑO

Se realizó una revisión de la operación de los sistemas en las condiciones actuales, con el fin de comparar las condiciones para las cuales fueron diseñados y/o seleccionados según data sheet y la curva de cada equipo.

4.12 ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LA CRITICIDAD DE CADA SISTEMA

Identificar los equipos más importantes para el proceso y realizar jerarquización de acuerdo con características como: impacto en la operación, en HSE, mantenibilidad, disponibilidad y costos de mantenimiento.

El estudio de criticidad permite establecer oportunidades sobre las cuales la planta requiere de atención inmediata, sirve para crear planes de mantenimiento y compra de repuestos e identificar cuáles de los sistemas requiere un seguimiento y control más estricto.

Se utilizó la metodología de los factores ponderados, la cual es soportada en el concepto del riesgo:

Frecuencia de fallas x Consecuencia.

Criticidad total = Frecuencia x Consecuencias

Frecuencia = Rango de falla en un tiempo determinado (Fallas/Año)

Ilustración 12. Tabla de Factores ponderados

Criticidad Total = Frecuencia de fallas x Consecuencia

Consecuencia = ((Impacto Operacional x Flexibilidad) + Costo Mtto. + Impacto SAH)

Frecuencia de Fallas:		**Costo de Mtto.:**	
Pobre mayor a 4 fallas/año	4	Mayor o igual a 20000 $	2
Promedio 2 - 4 fallas/año	3	Inferior a 20000 $	1
Buena 1 - 2 fallas/año	2		
Excelente menos de 1 falla/año	1	**Impacto en Seguridad Ambiente Higiene (SAH):**	
Impacto Operacional:		Afecta la seguridad humana tanto externa como interna y requiere la notificación a entes externos de la organización	8
Parada inmediata de toda la refinería	10	Afecta el ambiente produciendo daños irreversibles	6
Parada del complejo o planta y tiene repercusión en otros complejos.	6	Afecta las instalaciones causando daños severos	4
Impacta en niveles de de producción o calidad	4	Provoca daños menores (accidentes e incidentes) personal propio	2
Repercute en costos operacionales adicionales asociados a la indisponibilidad	2	Provoca un impacto ambiental cuyo efecto no viola las normas ambientales	1
No genera ningín efecto significativo sobre operaciones y producción	1	No provoca ningún tipo de daños a personas, instalaciones o al ambiente	0
Flexibilidad Operacional:			
No existe opción de producción y no hay función de repuesto.	4		
Hay opción de repuesto compartido	2		
Función de repuesto disponible	1		

Fuente: PARRA Carlos, Diplomado en ingeniería y gestión de mantenimiento, Curso 5, Mantenimiento centrado en la confiabilidad

4.13 IDENTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN PREDICTIVA O PREVENTIVA PARA EVITAR LA FALLA

Existe cuatro tareas posibles de mantenimiento que se le pueden realizar a los pilotos y por recomendación del fabricante, con frecuencia de tres meses, pero depende si el aire de suministro al piloto contiene partículas suspendidas o no. En el anexo 1 se identifican los cuatro mantenimientos que se le pueden realizar al piloto.

Para el mantenimiento de los quemadores instalados, ver tabla 4, se cuenta con un procedimiento, ver anexo 2, los cuales se ensucian con mayor facilidad por ingreso de aislamiento, insectos y remanente de la misma combustión.

Otra situación que ha presentado en operación del sistema de salvaguardas son los errores en la electrónica del display. En el anexo 3 se puede encontrar el procedimiento para reiniciar detectores de llama quemadores h-2501 a/b/c que presenten mensaje de error en display.

Tabla 2. Tag. Quemadores H2501A/B/C.

HORNO	TAG QUEMADOR
H2501A	XV25110A
	XV25111A
	XV25112A
	XV25113A
	XV25114A
	XV25115A
	XV25116A
	XV25117A
H2501B	XV25118A
	XV25119A
	XV25120A
	XV25121A
	XV25122A
	XV25123A
	XV25124A
H2501C	XV25125A
	XV25126A
	XV25127A
	XV25128A
	XV25129A
	XV25130A
	XV25131A
	XV25132A
	XV25132A

Tabla 3. Cuadro AMEF Salvaguardas Hornos de combustión.

Cuadro AMEF Salvaguardas Hornos									
Cod	**Componente**	**Funcion**	**Modo**	**Causa de falla**	**Efecto**	**G**	**F**	**D**	**Ipr**
1.1	Cableado sistema de control	Transmitir señal eléctrica a competente s de control.	No hay presencia de chispa	El piloto de gas no recibe voltaje.	Desenergizado de componentes eléctricos.	8	4	5	160
				El electrodo de encendido está quemado.		6	2	3	36
				La distancia del electrodo es demasiado grande o el electrodo tiene un cortocircuito.		8	2	2	32
				Transformador de chispa defectuoso		7	4	4	112
				Capa de escala en el electrodo de chispa o varilla / perno de tierra.		7	2	2	28
1.2	Sistema de protección de quemadores	Controlar llama de quemadores	Falla de llama	No hay gas disponible porque la línea de suministro es demasiado larga	Bajo nivel de trasmisión de calor.	10	2	2	40
				No hay gas disponible, ya que la línea de suministro de gas sigue inerte con N2		9	3	3	81

Cuadro AMEF Salvaguardas Hornos									
Cod	**Componente**	**Funcion**	**Modo**	**Causa de falla**	**Efecto**	**G**	**F**	**D**	**Ipr**
				No hay gas disponible, ya que la válvula de gas está defectuosa.		9	3	2	54
				Gas equivocado		9	4	5	180
				Aire de admisión contaminado		8	2	3	48
1.3	Aislamiento cerámico	Disminuir la mayor cantidad posible de transferencia de calor hacia el exterior.	La llama se enciende brevemente, pero se dispara una vez transcurrido el tiempo de seguridad de encendido.	La varilla de llama está quemada, deformada o tiene un cortocircuito.	Aumento en el calor trasmitido hacia el exterior.	7	4	6	168
				Aislante cerámico de varilla de llama roto.		8	3	2	48
				Cuando se conecta junto con la unidad de control Hegwein, la tensión de funcionamiento se habilita al mismo tiempo que la tensión de polarización		6	4	5	120
				El ajuste de los niveles de presión de gas en el piloto de gas no es correcto, la raíz de la llama no está en el área de la varilla de la llama.		7	3	2	42

Cuadro AMEF Salvaguardas Hornos									
Cod	**Componente**	**Funcion**	**Modo**	**Causa de falla**	**Efecto**	**G**	**F**	**D**	**Ipr**
1.4	Piloto de control de llama	Activar y desactivar encendido de llama.	El piloto de gas y la unidad de control están operativos, pero no se transmiten señales a través del relé de llama integrado	Fusible externo defectuoso	Encendido o apagado de llama inesperado.	9	3	4	108

Para poder seleccionar las acciones recomendadas para el plan de mantenimiento de las salvaguardas, se toman aquellas cuyos valores de IPR son superior a 100, los cuales se indican en color rojo en la tabla previamente mostrada.

DIAGRAMA DE DECISIONES R.C.M.

Se considera como una herramienta usada por el R.C.M, cuyo fin es la selección de las actividades y tareas de mantenimiento que se deben realizar interpretando los valores de obtenidos de los modos de falla analizados.

A través del diagrama de decisión se responde a la pregunta sobre las posibles consecuencias de cada modo de falla, la cual está relacionada con falla oculta, seguridad o ambiente, operación y no operación. Este tipo de pregunta está guiada por las letras H, S, E, O, que definen las preguntas que se muestran a continuación, y elige entre cuatro o cinco niveles diferentes en función de la respuesta, como se muestra en el diagrama de flujo de R.C.M.

- **H**: ¿La pérdida de función causada por este modo de falla será obvia para el operador solo en circunstancias normales?

- **S**: ¿Este modo de falla provocará la pérdida de funcionamiento y otros daños que podrían provocar lesiones personales o la muerte?

- **E**: ¿Este modo de falla causará la pérdida de funcionalidad u otros daños que puedan violar las regulaciones o regulaciones ambientales?

- **O**: ¿El modo de falla tiene un efecto adverso directo sobre las capacidades operativas (producción, calidad, costos de servicio u operativos y costos operativos)?

- **H1-S1-O1-N1**: ¿Son las tareas condicionales técnicamente viables y valiosas?

- **H2-S2-O2-N2**: ¿Es técnicamente factible, y merece la pena realizar, una tardea de reacondicionamiento cíclico?

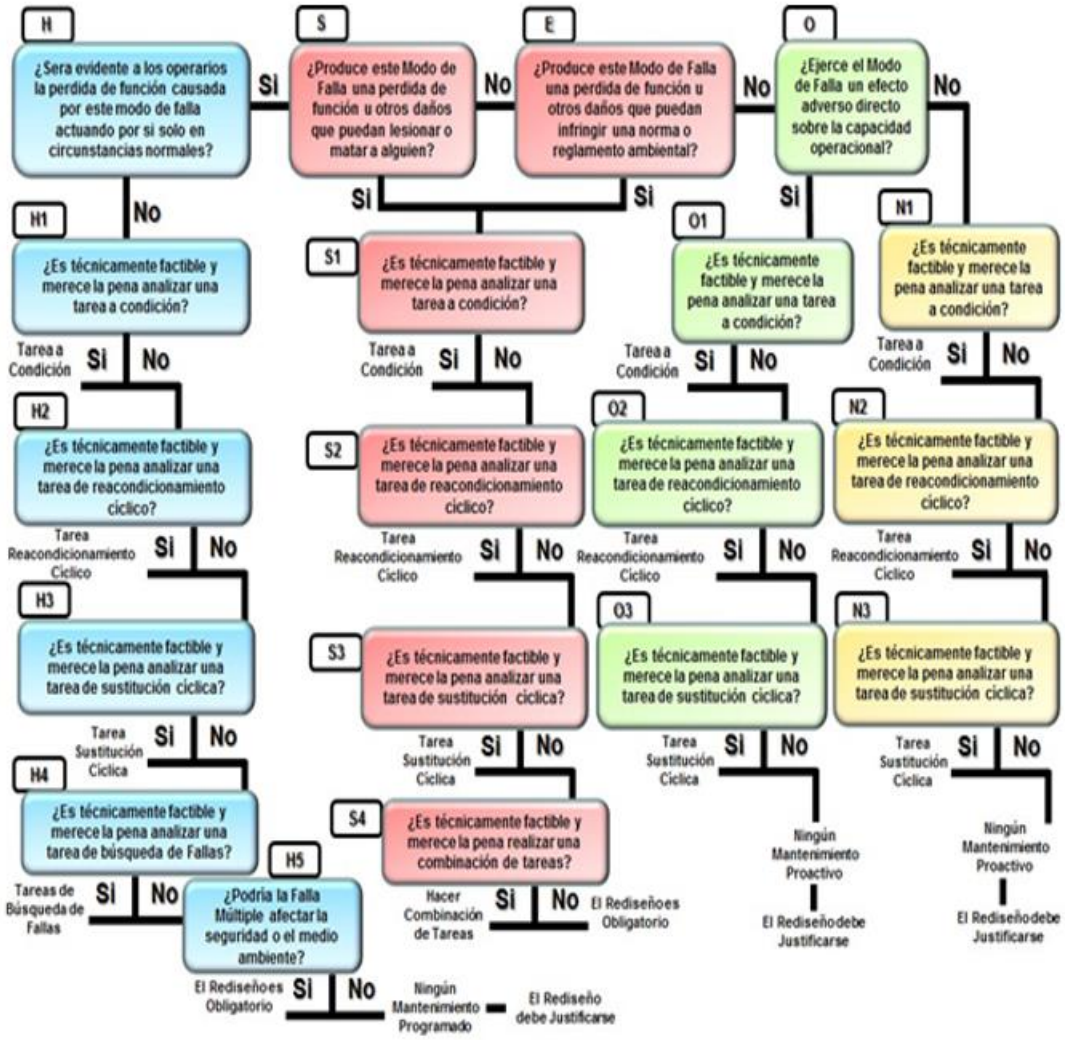
- **H3-S3-O3-N3**: ¿Es la tarea de sustitución periódica técnicamente viable y rentable?

- **H4**: ¿Es la tarea de resolución de problemas técnicamente viable y rentable?

- **S4**: ¿Es la combinación de tareas técnicamente factible y valiosa?

- **H5**: ¿Las fallas múltiples afectarán la seguridad o el medio ambiente?

Ilustración 13. Árbol de decisión RCM



Actividades de mantenimiento:

Como se planteó previamente, el diagrama de decisión proporciona las actividades correspondientes a cada modo de falla analizado. Dichas actividades se centran principalmente en mantenimientos de tipo reactivo y preventivo.

Las actividades preventivas se pueden clasificar de la siguiente forma:

- **Actividades de sustitución cíclica**: Entienden las tareas que deben realizarse a intervalos regulares. Estos solo son aplicables cuando hay un patrón de desgaste, por lo que se debe seleccionar la tarea preventiva correcta de acuerdo a la situación, para no reemplazar piezas nuevas o sin desgaste.
- **Actividades programadas predictivas o sujetas a condición**: Estas actividades le permiten descubrir fallas antes de que ocurran, a través de actividades de revisión, análisis y monitoreo.

Para aplicar la decisión del diagrama de flujo y las actividades a realizar, se debe completar un formulario, que contiene la información correspondiente a cada modo de falla.

Hoja de Información RCM.

En esta hoja se almacena la información obtenida al dar respuesta a las cuatro primeras preguntas de la metodología. Por lo tanto, está compuesta por todo lo concerniente al Análisis de los Modos y Efectos de Falla (AMEF), adicional a ello, se incorporó un ítem que permite identificar el componente del sistema que está asociada a cada función específica. La Hoja de Información RCM fue diseñada tal y como muestra en la tabla, basados en el libro RCM II de John Moubray.

Tabla 4. Hoja de decisión RCM salvaguardas

HOJA DE DECISIÓN RCM					EQUIPO: Salvaguardas de Hornos ECP.						REALIZADO POR:	FECHA:16/06/2021 HOJA No. 1	
					CODIGO:						APROBADO POR:		
Ítem	Evaluación de las consecuencias				H1 S1 O1	H2 S2 O2	H3 S3 O3	Acciones "a falta de"			Tarea propuesta	Intervalo inicial	A realizarse por
	H	S	E	O	N1	N2	N3	H4	H5	S4			
1.1	S	N	N	S	N	S					Inspección del suministro de energía apropiado.	Diario	Operadores
1.1	S	N	N	S	N	S					Comprobar los contactos de puesta a tierra y líneas eléctricas	Semanal	Operadores
1.2	S	N	N	S	N	S					Verificar el tipo de gas suministrado.	Semanal	Operadores
1.3	S	N	N	S	S						Cambio de varilla de llama por ciclo de vida útil.	Semestral	Operadores
1.3	S	N	N	S	S						Verificar que la tensión de funcionamiento este por detrás de la tensión de polarización en al menos 0,5 s.	Diario	Operadores
1.4	S	N	N	S	N	N	S				Reemplazar fusibles externos.	Mensual	Operadores

Análisis financiero

Para el desarrollo del análisis financiero se tuvieron en cuenta los costos proyectados en el mantenimiento de las actividades de mantenimiento previamente establecidos por la hoja de decisión del RCM a un tiempo de un año.

Tabla 5. Proyección de costos anuales mantenimiento salvaguardas.

Costos de mantenimiento salvaguardas anual				
Ítem	Consumible/Servicio	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
1	Inspección del suministro de energía apropiado.	1	$ 12.000.000	$ 12.000.000
2	Comprobar los contactos de puesta a tierra y líneas eléctricas	1	$ 12.000.000	$ 12.000.000
3	Verificar el tipo de gas suministrado.	1	$ 12.000.000	$ 12.000.000
4	Cambio de varilla de llama por ciclo de vida útil.	1	$ 10.500.000	$ 10.500.000
5	Verificar que la tensión de funcionamiento este por detrás de la tensión de polarización en al menos 0,5 s.	1	$ 12.000.000	$ 12.000.000
6	Reemplazar fusibles externos.	2	$ 5.000.000	$ 10.000.000
Costo Total				**$68.500.000**

Para determinar la factibilidad de la inversión en un plan de mantenimiento centrado en confiabilidad de las salvaguardas se debe establecer la perdida en dinero por la parada no programa del sistema en un día, tal como se muestra en la tabla 6.

Tabla 6. Análisis de financiero

Servicio	Costo por 1 día de parada	Inversión en mantenimiento anual	Ahorro
Inspección del suministro de energía apropiado.	**$1.135.215.000**	**$68.500.000**	Se prevé un ahorro de más del 90% del costo de un día de pérdidas en la planta por parada de emergencia.
Comprobar los contactos de puesta a tierra y líneas eléctricas			
Verificar el tipo de gas suministrado.			
Cambio de varilla de llama por ciclo de vida útil.			
Verificar que la tensión de funcionamiento este por detrás de la tensión de polarización en al menos 0,5 s.			
Reemplazar fusibles externos.			

4.13.1 Programa de Mantenimiento. La realización satisfactoria de un plan requiere de la realización de revisiones regulares con todo el equipo autogestionado como se muestra en la tabla 7. La planeación contiene las siguientes revisiones y visiones:

- **Plan semestral** revisión trimestral
- **Plan a 60 Días** revisión mensual
- **Plan a 15 Días** revisión semanal
- **Listado de Trabajos Diarios** revisión diaria

El objetivo principal del plan semestral es proporcionar la siguiente visión a largo plazo:

- Trabajos regulares de mantenimiento
- Trabajos de supervisión e inspección (de acuerdo con la normativa)
- Apagadas del sistema Mayores ó menores.

En la tabla 7 se muestran las actividades de mantenimiento establecidas a partir del cuadro AMEF realizado para el salvaguardas.

Tabla 7. Programa de mantenimiento

Ítem	Actividad	Frecuencia	Responsable
1	Inspección del suministro de energía apropiado.	Diario	Operador/ Mantenedor.
2	Comprobar los contactos de puesta a tierra y líneas eléctricas	Semanal	Operador/ Mantenedor.
3	Verificar el tipo de gas suministrado.	Semana	Operador/ Mantenedor.
4	Cambio de varilla de llama por ciclo de vida útil.	Semanal	Operador/ Mantenedor.
5	Verificar que la tensión de funcionamiento este por detrás de la tensión de polarización en al menos 0,5 s.	Diario	Operador/ Mantenedor.
6	Reemplazar fusibles externos.	Mensual	Operador/ Mantenedor.

5. PRUEBAS FUNCIONALES (IPF) AL SISTEMA DE SALVAGUARDAS

Pruebas funcionales establecidas al sistema salvaguardas de los hornos H-2501-A/B/C.

Ilustración 14. Pruebas funcionales (IPF) por bajo flujo en serpentín A-B.

ecopetrol	CERTIFICADO GENERAL DE PRUEBAS FUNCIONALES INTERLOCK'S H-2501A/B/C PRE-PTB-IPF-020				FECHA : _____			
INTERLOCK	**CONDICIONES INICIALES**	✔	**CAUSA**	✔	**EFECTO**	✔	**VERIFICACIONES EN DCS**	✔
I012-A CORTE POR BAJO FLUJO EN EL SERPENTÍN A.	Ventana operativa flujo de carga serpentín A: (0-12601 BPD)		Muy bajo flujo de carga (<= **2550 BPD**) medido en campo por el transmisor **FT-25301A**		Cierre valvula de corte cabezal de quemadores XV25013A		Verificar en la pantalla del DCS alarma de corte FALL-25301A	
	Verificar que está normalizado el boton de BYPASS XR-25012 en la pantalla de DCS.				Apertura valvula de Venteo cabezal de quemadores XV25013B			
	Llevar a la normalidad la instrumentación asociada a los siguientes cortes :				Cierre valvula de corte cabezal de quemadores XV25013C			
	Interlock I09				Cierre valvula Quemador 1 XV25110A			
	Interlock I010				Cierre valvula Quemador 2 XV25111A			
	Interlock I011				Cierre valvula Quemador 3 XV25112A			
	Interlock I013				Cierre valvula Quemador 4 XV25113A			
					Cierre valvula Quemador 5 XV25114A			
					Cierre valvula Quemador 6 XV25115A			
					Cierre valvula Quemador 7 XV25116A			
					Cierre valvula Quemador 8 XV25117A			
	FECHA:		**MANTENIMIENTO**		**ACEPTADO OPERACIONES**		**ACEPTADO CONFIABILIDAD**	
	NOMBRE							
	FIRMA							
	IDENTIFICACION							
I012-B CORTE POR BAJO FLUJO EN EL SERPENTÍN B.	Ventana operativa flujo de carga serpentín B: (0-12601 BPD)		Muy bajo flujo de carga (<= **2550 BPD**) medido en campo por el transmisor **FT-25301B**		Cierre valvula de corte cabezal de quemadores XV25013A		Verificar en la pantalla del DCS alarma de corte FALL-25301B	
	Verificar que está normalizado el boton de BYPASS XR-25012 en la pantalla de DCS.				Apertura valvula de Venteo cabezal de quemadores XV25013B			
	Llevar a la normalidad la instrumentación asociada a los siguientes cortes :				Cierre valvula de corte cabezal de quemadores XV25013C			
	Interlock I09				Cierre valvula Quemador 1 XV25110A			
	Interlock I010				Cierre valvula Quemador 2 XV25111A			
	Interlock I011				Cierre valvula Quemador 3 XV25112A			
	Interlock I013				Cierre valvula Quemador 4 XV25113A			
					Cierre valvula Quemador 5 XV25114A			
					Cierre valvula Quemador 6 XV25115A			
					Cierre valvula Quemador 7 XV25116A			
					Cierre valvula Quemador 8 XV25117A			

Ilustración 15. Prueba Funcional (IPF) Corte por alta presión de gas combustible.

I011 CORTE POR MUY ALTA PRESION GAS COMBUSTIBLE QUEMADORES.	Ventana operativa presion de gas a quemadores: (0 - 50 psig)		Muy ALTA presion de gas combustible a quemadores (=> **22 psig**) medido en campo por el transmisor **PT-25303**		Cierre valvula de corte cabezal de quemadores XV25013A		Verificar en la pantalla del DCS alarma de corte PAHH-25303	
	Verificar que está normalizado el boton de BYPASS XR-25013 en la pantalla de DCS.				Apertura valvula de Venteo cabezal de quemadores XV25013B			
	Llevar a la normalidad la instrumentación asociada a los siguientes cortes :				Cierre valvula de corte cabezal de quemadores XV25013C			
	Interlock I09				Cierre valvula Quemador 1 XV25110A			
	Interlock I010				Cierre valvula Quemador 2 XV25111A			
	Interlock I012 A/B				Cierre valvula Quemador 3 XV25112A			
	Interlock I013				Cierre valvula Quemador 4 XV25113A			
					Cierre valvula Quemador 5 XV25114A			
					Cierre valvula Quemador 6 XV25115A			
					Cierre valvula Quemador 7 XV25116A			
					Cierre valvula Quemador 8 XV25117A			

Ilustración 16. Prueba Funcional (IPF) Corte por baja presión de gas combustible.

I011 CORTE POR MUY BAJA PRESION GAS COMBUSTIBLE QUEMADORES.	Ventana operativa presion de gas a quemadores: (0 - 50 psig)		Muy baja presion de gas combustible a quemadores (<= **2,5 psig**) medido en campo por el transmisor **PT-25303**		Cierre valvula de corte cabezal de quemadores XV25013A		Verificar en la pantalla del DCS alarma de corte PALL-25303	
	Verificar que está normalizado el boton de BYPASS XR-25013 en la pantalla de DCS.				Apertura valvula de Venteo cabezal de quemadores XV25013B			
	Llevar a la normalidad la instrumentación asociada a los siguientes cortes :				Cierre valvula de corte cabezal de quemadores XV25013C			
	Interlock I09				Cierre valvula Quemador 1 XV25110A			
	Interlock I010				Cierre valvula Quemador 2 XV25111A			
	Interlock I012 A/B				Cierre valvula Quemador 3 XV25112A			
	Interlock I013				Cierre valvula Quemador 4 XV25113A			
					Cierre valvula Quemador 5 XV25114A			
					Cierre valvula Quemador 6 XV25115A			
					Cierre valvula Quemador 7 XV25116A			
					Cierre valvula Quemador 8 XV25117A			

Ilustración 17. Prueba Funcional (IPF) Corte por alta temperatura a la salida del producto

I013 CORTE POR MUY ALTA TEMPERATURA A LA SALIDA DE PRODUCTO .	Ventana operativa temperatura salida serpentines: (0 - 600 °F)		Muy alta temperatura de salida de producto (=> **505 °F**) medido en campo por el transmisor **TT-25302**		Cierre valvula de corte cabezal de quemadores XV25013A		Verificar en la pantalla del DCS alarma de corte TAHH-25302	
	Verificar que está normalizado el boton de BYPASS XR-25014 en la pantalla de DCS.				Apertura valvula de Venteo cabezal de quemadores XV25013B			
	Llevar a la normalidad la instrumentación asociada a los siguientes cortes :				Cierre valvula de corte cabezal de quemadores XV25013C			
	Interlock I09				Cierre valvula Quemador 1 XV25110A			
	Interlock I010				Cierre valvula Quemador 2 XV25111A			
	Interlock I012 A/B				Cierre valvula Quemador 3 XV25112A			
	Interlock I011				Cierre valvula Quemador 4 XV25113A			
					Cierre valvula Quemador 5 XV25114A			
					Cierre valvula Quemador 6 XV25115A			
					Cierre valvula Quemador 7 XV25116A			
					Cierre valvula Quemador 8 XV25117A			

Ilustración 18. Prueba Funcional (IPF) Corte por baja presión de gas combustible a pilotos.

I010 CORTE POR MUY BAJA PRESION GAS COMBUSTIBLE PILOTOS.	Ventana operativa presion de gas a pilotos (0 - 50 psig)		Muy baja presion de gas combustible a quemadores (<= **3 psig**) medido en campo por el transmisor **PT-25304**		Cierre valvula de corte cabezal de quemadores XV25013A		Verificar en la pantalla del DCS alarma de corte PALL-25304	
	Verificar que está normalizado el boton de BYPASS XR-25011 en la pantalla de DCS.				Apertura valvula de Venteo cabezal de quemadores XV25013B			
	Llevar a la normalidad la instrumentación asociada a los siguientes cortes :				Cierre valvula de corte cabezal de quemadores XV25013C			
	Interlock I09				Cierre valvula Quemador 1 XV25110A			
	Interlock I013				Cierre valvula Quemador 2 XV25111A			
	Interlock I012 A/B				Cierre valvula Quemador 3 XV25112A			
	Interlock I011				Cierre valvula Quemador 4 XV25113A			
					Cierre valvula Quemador 5 XV25114A			
					Cierre valvula Quemador 6 XV25115A			
					Cierre valvula Quemador 7 XV25116A			
					Cierre valvula Quemador 8 XV25117A			
					Cierre valvula de corte cabezal de pilotos XV25015A			
					Apertura valvula de Venteo cabezal de pilotos XV25015B			
					Cierre valvula de corte cabezal de pilotos XV25015C			
					Cierre valvula Piloto 1 XV25110B			
					Cierre valvula Piloto 2 XV25111B			
					Cierre valvula Piloto 3 XV25112B			
					Cierre valvula Piloto 4 XV25113B			
					Cierre valvula Piloto 5 XV25114B			
					Cierre valvula Piloto 6 XV25115B			
					Cierre valvula Piloto 7 XV25116B			
					Cierre valvula Piloto 8 XV25117B			

Ilustración 19. Prueba Funcional (IPF) Corte por alta presión gas combustible a pilotos.

I010 CORTE POR MUY ALTA PRESION GAS COMBUSTIBLE PILOTOS.	Ventana operativa presion de gas a pilotos (0 - 50 psig)		Muy baja presion de gas combustible a quemadores (=> **18 psig**) medido en campo por el transmisor **PT-25304**		Cierre valvula de corte cabezal de quemadores XV25013A		Verificar en la pantalla del DCS alarma de corte PAHH-25304	
	Verificar que está normalizado el boton de BYPASS XR-25011 en la pantalla de DCS.				Apertura valvula de Venteo cabezal de quemadores XV25013B			
	Llevar a la normalidad la instrumentación asociada a los siguientes cortes :				Cierre valvula de corte cabezal de quemadores XV25013C			
	Interlock I09				Cierre valvula Quemador 1 XV25110A			
	Interlock I013				Cierre valvula Quemador 2 XV25111A			
	Interlock I012 A/B				Cierre valvula Quemador 3 XV25112A			
	Interlock I011				Cierre valvula Quemador 4 XV25113A			
					Cierre valvula Quemador 5 XV25114A			
					Cierre valvula Quemador 6 XV25115A			
					Cierre valvula Quemador 7 XV25116A			
					Cierre valvula Quemador 8 XV25117A			
					Cierre valvula de corte cabezal de pilotos XV25015A			
					Apertura valvula de Venteo cabezal de pilotos XV25015B			
					Cierre valvula de corte cabezal de pilotos XV25015C			
					Cierre valvula Piloto 1 XV25110B			
					Cierre valvula Piloto 2 XV25111B			
					Cierre valvula Piloto 3 XV25112B			
					Cierre valvula Piloto 4 XV25113B			
					Cierre valvula Piloto 5 XV25114B			
					Cierre valvula Piloto 6 XV25115B			
					Cierre valvula Piloto 7 XV25116B			
					Cierre valvula Piloto 8 XV25117B			

Ilustración 20. Prueba Funcional (IPF) Corte por alto nivel drum 2507.

I009 CORTE POR MUY ALTO NIVEL DRUM 2507	Ventana operativa presion de gas a quemadores: (0 - 100 %)		Muy alto nivel drum de gas combustible (=> **75 %**) medido en campo por los trasmisores **LT-25016A/B** en arreglo 2oo2		Cierre valvula de corte cabezal de quemadores XV25013A		Verificar en la pantalla del DCS alarma de corte LAHH-25016A y LAHH-25016B	
	Verificar que está normalizado el boton de BYPASS XR-25010 en la pantalla de DCS.				Apertura valvula de Venteo cabezal de quemadores XV25013B			
	Llevar a la normalidad la instrumentación asociada a los siguientes cortes :				Cierre valvula de corte cabezal de quemadores XV25013C			
	Interlock I010				Cierre valvula Quemador 1 XV25110A			
	Interlock I013				Cierre valvula Quemador 2 XV25111A			
	Interlock I012 A/B				Cierre valvula Quemador 3 XV25112A			
	Interlock I011				Cierre valvula Quemador 4 XV25113A			
					Cierre valvula Quemador 5 XV25114A			
					Cierre valvula Quemador 6 XV25115A			
					Cierre valvula Quemador 7 XV25116A			
					Cierre valvula Quemador 8 XV25117A			
					Cierre valvula de corte cabezal de pilotos XV25015A			
					Apertura valvula de Venteo cabezal de pilotos XV25015B			
					Cierre valvula de corte cabezal de pilotos XV25015C			
					Cierre valvula Piloto 1 XV25110B			
					Cierre valvula Piloto 2 XV25111B			
					Cierre valvula Piloto 3 XV25112B			
					Cierre valvula Piloto 4 XV25113B			
					Cierre valvula Piloto 5 XV25114B			
					Cierre valvula Piloto 6 XV25115B			
					Cierre valvula Piloto 7 XV25116B			
					Cierre valvula Piloto 8 XV25117B			

Ilustración 21. Prueba Funcional (IPF) Corte por disparo manual desde el cuarto de control local.

I020 DISPARO MANUAL H2501A BOTON HS-25010 DESDE EL CUARTO DE CONTROL LOCAL	Llevar a la normalidad la instrumentación asociada a los siguientes cortes :		Accionamiento del botón de disparo manual del horno H-2501B **(DISPARO MANUAL H-2501B)** ubicado en el cuarto de control local		Cierre valvula de corte cabezal de quemadores XV25013A		Verificar en el DCS alarma de corte relaccionada con el boton HS-25010	
	Interlock I09				Apertura valvula de Venteo cabezal de quemadores XV25013B			
	Interlock I010				Cierre valvula de corte cabezal de quemadores XV25013C			
	Interlock I011				Cierre valvula Quemador 1 XV25110A			
	Interlock I012 A/B				Cierre valvula Quemador 2 XV25111A			
	Interlock I013				Cierre valvula Quemador 3 XV25112A			
					Cierre valvula Quemador 4 XV25113A			
					Cierre valvula Quemador 5 XV25114A			
					Cierre valvula Quemador 6 XV25115A			
					Cierre valvula Quemador 7 XV25116A			
					Cierre valvula Quemador 8 XV25117A			
					Cierre valvula de corte cabezal de pilotos XV25015A			
					Apertura valvula de Venteo cabezal de pilotos XV25015B			
					Cierre valvula de corte cabezal de pilotos XV25015C			
					Cierre valvula Piloto 1 XV25110B			
					Cierre valvula Piloto 2 XV25111B			
					Cierre valvula Piloto 3 XV25112B			
					Cierre valvula Piloto 4 XV25113B			
					Cierre valvula Piloto 5 XV25114B			
					Cierre valvula Piloto 6 XV25115B			
					Cierre valvula Piloto 7 XV25116B			
					Cierre valvula Piloto 8 XV25117B			

6. CONCLUSIONES

1. Las fallas ocultas se pueden descubrir mediante la ejecución de un procedimiento de verificación de fallas de procedimiento. En el caso de GRB, se utilizan estrategias alternativas o procedimientos de rotación de equipos.

2. El RCM se considera como una táctica de mantenimiento que unida a otras técnicas como TPM, BEC, RCA y AMEF logran complementar una estrategia global que permite a la empresa optimizar la ejecución del mantenimiento y con ello mejorar indicadores como mantenibilidad, disponibilidad y confiabilidad.

3. RCM es una estrategia de mantenimiento que se asocia adecuadamente con otras estrategias como TPM, BEC, RCA, FMEA y mantenimiento activo, y complementa la estrategia de mantenimiento global de la compañía para optimizar la mantenibilidad, confiabilidad y disponibilidad del sistema.

4. La elección de una tarea de mantenimiento correcta depende de varios aspectos donde el contexto operativo juega un papel importante.

BIBLIOGRAFÍA

API STANDARD 560, “Fired Heaters for General Refinery Service” 5th Edition, February 1, 2016

BRAVO, J. C. Formulación de un modelo de plan de mantenimiento basado en PMO para una planta de cogeneración de energía con un motogenerador a gas Hyundai Himsen 14H35/40GV de 6.5 MW y una caldera pirotubular JCT PHG145-3 de 145 BHP. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. 2019

CRESPO, P. V. Propuesta de un modelo de gestión de mantenimiento y sus principales herramientas de apoyo. Revista chilena de ingeniería – Scielo.

ILLINOIS U.S.A. Des Plaines, Manual de Entrenamiento TYRO.

FLORES, A. E. Plan de Mantenimiento de la sala de calderas del hospital de apoyo chepen. Trujillo: Universidad nacional de Trujillo. 2017

GUTIÉRREZ Alexis, Barranquilla Colombia, Balance de Energía y Exergía de un Horno Vertical para producción de Cal.

GUARÍN, H. E. Caracterización térmica de los equipos críticos de las áreas de calderas y hornos verticales, planta 2 basado de modelos de gestión integral (MGIE). Santiago de Cali: Universidad Autónoma de Occidente. 2013

HERNÁNDEZ, A. M. Procedimiento de puesta en marcha, operación y mantenimiento para Hornos verticales. Azcapotzalco: Instituto Politécnico Nacional. 2016

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO-14224. Industrias del petróleo, petroquímicas y del gas natural .Recogida e intercambio de datos de mantenimiento y fiabilidad de los equipos. AEN/CTN 62,2006.117p

MOUBRAY, J. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. España: Aladon Ltd. 2015

OREDA.Offshore Reliability Data.Norway: SINTEF,2009.835P.

PARRA Carlos, Diplomado en ingeniería y gestión de mantenimiento, Curso 5, Mantenimiento centrado en la confiabilidad

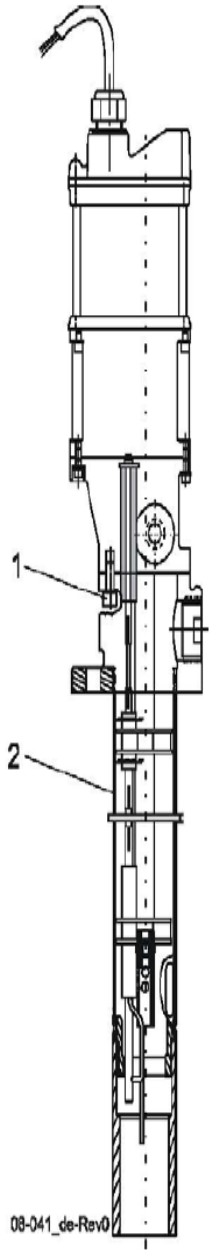
PINEDA, S. A. Desarrollo de una metodología para la evaluación de integridad y extensión de vida util de Hornos verticales, basada en inspección y mantenimiento. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira. 2015

RAMOS SIERRA, Ecopetrol S.A, Sistema Salvaguarda De Hornos Unidad De Refinación De Fondos.

ANEXOS

Anexo A. Mantenimiento piloto

a) CAMBIO DEL TUBO EXTERIOR



Esto solo puede ser realizado por personal debidamente calificado.

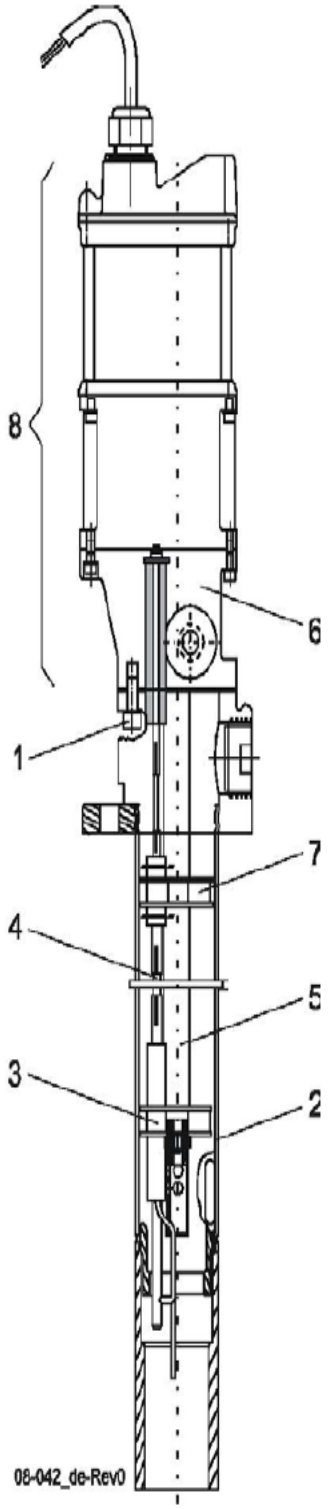
1. Suelte los cuatro tornillos Allen (1).

2. Retire el tubo exterior (2).

3. Coloque el nuevo tubo exterior (2).

4. Vuelva a apretar los cuatro tornillos Allen (1).

b) CAMBIO DEL CABEZAL DE POTENCIA



Esto solo puede ser realizado por personal debidamente calificado.

1. Suelte los cuatro tornillos Allen (1).

2. Retire el tubo exterior (2).

3. Retire el anillo de soporte del electrodo final (3) y cualquier anillos de soporte intermedios (7) así como las bielas (4).

4. Desatornille el tubo de gas (5) de la brida de gas (6).

¡OBSERVACIÓN!

Al mover el suministro de gas al otro lado, el orificio reductor de presión, si se suministra, también debe ser reubicado.

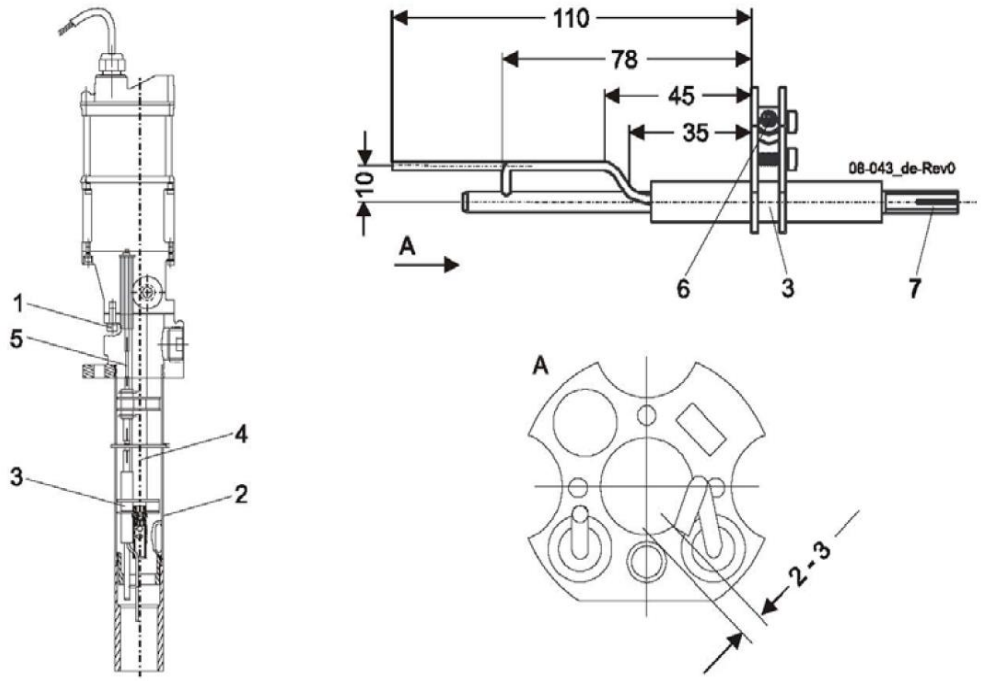
5. Desatornille el orificio reductor de presión, si se incluye, del puerto de gas y atornillado en el nuevo cabezal de potencia (8).

6. El montaje se realiza en secuencia inversa.

7. Monte la placa de características en el nuevo cabezal de potencia (8).

8. Utilice un compuesto antiagarrotante para roscas de tubería cuando reemplace la línea de combustible.

c) CAMBIO DEL ANILLO DE SOPORTE DEL ELECTRODO FINAL



Esto solo puede ser realizado por personal debidamente calificado.

¡OBSERVACIÓN!

El anillo de soporte del electrodo final cuenta como un componente prescindible y no está incluido en la cobertura de la garantía.

Los anillos de soporte de electrodo completos con electrodos pre-doblados y ajustados listos se pueden pedir a John Zink (para la dirección, consulte la portada de la tabla de contenido).

1. Suelte los cuatro tornillos Allen (1).

2. Retire el tubo exterior (2).

3. Suelte el tornillo de apriete (6) del anillo de soporte del electrodo final (3) y extraiga el anillo del tubo de gas (4).

4. Coloque el nuevo anillo de soporte del electrodo final (3).

5. Todas las fundas enchufables (artículo 7) deben apretarse con cuidado con un par de alicates para asegurar un ajuste perfecto de las bielas (elemento 5) en los manguitos enchufables.

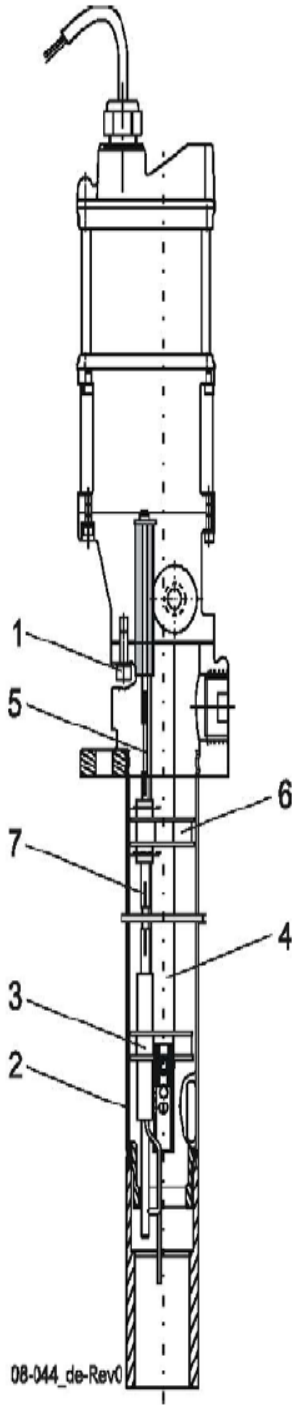
6. Inserte las bielas (5) en los manguitos enchufables en el cabezal piloto y en el enchufe manguitos (7) en el anillo de soporte del electrodo final (3). Asegúrese de que las bielas (5) no estén torcidas ni dobladas.

7. Compruebe las distancias en el anillo de soporte del electrodo final (3) y alinee si es necesario.

8. Apretar el tornillo de apriete (6).

9. Monte el tubo exterior (2).

d) CAMBIO DE LOS ANILLOS DE SOPORTE INTERMEDIOS



Esto solo puede ser realizado por personal debidamente calificado.

¡OBSERVACIÓN!

Los anillos de soporte intermedios se utilizan a partir de una longitud de tubo de 23,6 "(600 mm). Se deben insertar nuevos anillos de soporte intermedios en la posición anterior.

1. Suelte los cuatro tornillos Allen (1).

2. Retire el tubo exterior (2).

3. Suelte el tornillo de apriete del anillo de soporte del electrodo final y tire del anillo de soporte del electrodo final (3) del tubo de gas (4).

4. Soltar los tornillos de apriete de los anillos de soporte intermedios.

5. Extraiga los anillos de soporte intermedios (6) del tubo de gas (4).

6. Empuje los nuevos anillos de soporte intermedio en el tubo de gas (4).

7. Empuje el anillo de soporte del electrodo final (3).

8. Todas las fundas enchufables (7) deben apretarse con cuidado con un par de pinzas para asegurar un ajuste perfecto de las bielas (5) en los manguitos enchufables.

9. Inserte las bielas (5) en los manguitos enchufables en el cabezal piloto y en los manguitos enchufables del anillo de soporte del electrodo final (3). Asegúrese de que las bielas (5) no estén torcidas ni dobladas.

10. Monte el anillo de soporte del electrodo final (3) y alinee.

11. Apretar todos los tornillos de apriete de los anillos de soporte intermedios (6).

12. Monte el tubo exterior (2).

Anexo B. Mantenimiento a detectores de quemadores.

PROCEDIMIENTO PARA LIMPIEZA DETECTORES DE LLAMA QUEMADORES H-2501 A/B/C

a) Ubicar la pantalla del DCS que contiene el gráfico donde están ubicados los quemadores de los hornos.
b) Seleccionar el quemador al cual se le quiere realizar limpieza en el detector de llama.
c) Apagar el quemador desde el DCS.
d) En campo verificar que el quemador este apagado.
e) Cerrar la válvula de purga de aire.

f) Girar en el sentido de las manecillas del reloj la pieza que se encuentra encerrada en el círculo amarillo para retirar el detector.

g) Una vez suelto el detector retirar del lente del detector las partículas de mugre y revisar el estado del tubo internamente para verificar que este no tenga mugre en su interior y en caso de estar con partículas retirar.

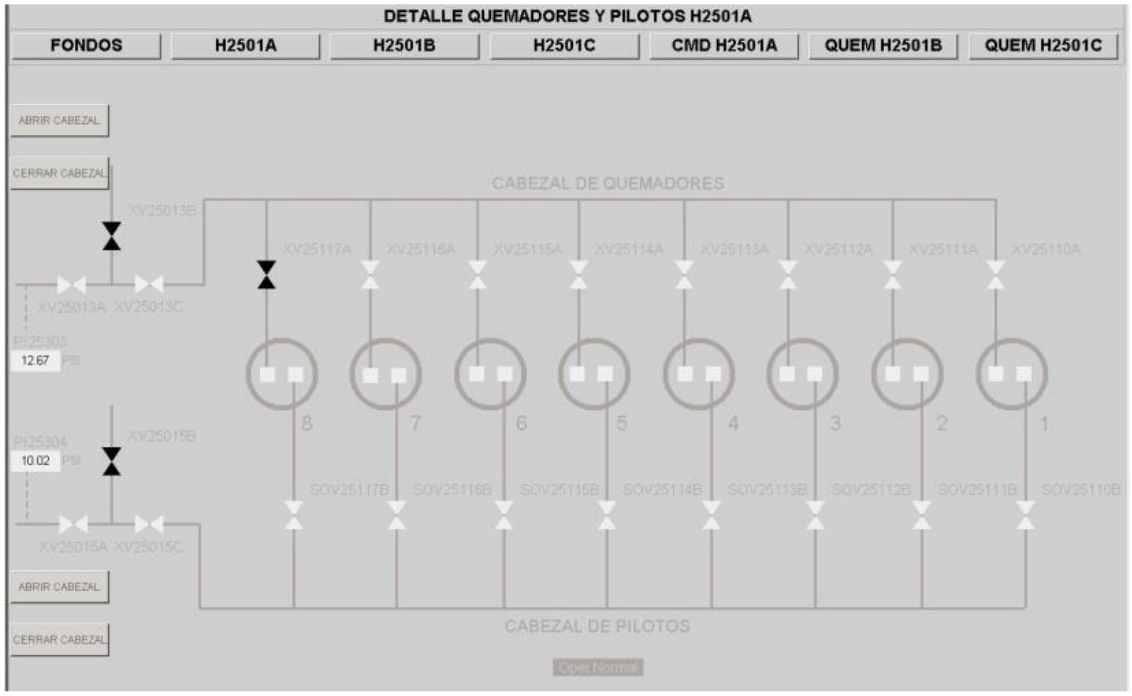
h) Colocar el detector de nuevo en el puesto y apretar girando la pieza en contra de las manecillas del reloj.

i) Abrir la válvula de purga de aire.

j) Desde el DCS encender el quemador y verificar en campo.

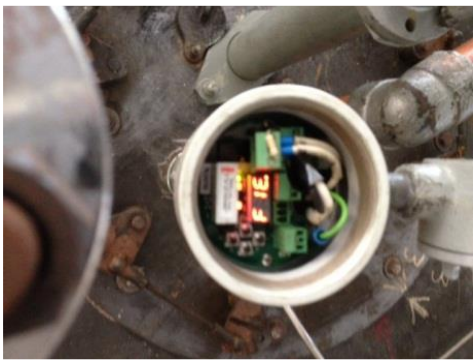
Anexo C. Procedimiento para resetear detectores de llama quemadores h-2501 a/b/c que presenten mensaje de error en display.

a) Ubicar en la pantalla del DCS el gráfico que contiene la indicación de los detectores de llama de los quemadores para cada horno y verificar cuál de ellos está apagado.



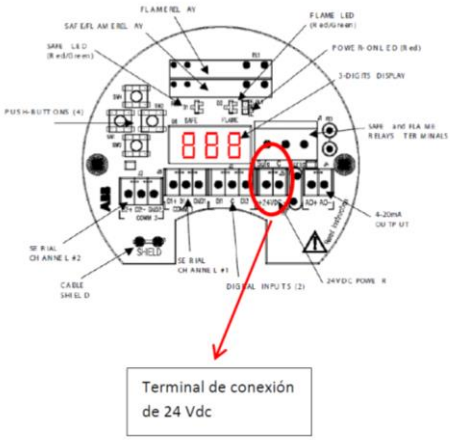
b) Ubicar en campo el detector de llama al cual se le quiere realizar un RESET.

c) Observar en el display del detector si se está indicando algún mensaje de error. Por ejemplo, E01, o F1E.



d) Una vez comprobada alguna condición de error, retirar la tapa que se encuentra en el detector girándola hacia la izquierda para poder acceder a las borneras de conexión.

e) Identificar la terminal de conexión donde está la bornera con los 2 cables de alimentación de 24 Vdc. Los cables están identificados con +24 VOLT y -24 VOLT, estos a su vez están conectados en una bornera de conexiones de color verde.



f) Desconectar la bornera halando los dos cables de alimentación para así apagar el detector. Una vez se esté desconectando observe el display y cuando se apague no retire por completo el plug.

NOTA: En caso de que los cables se suelten de la bornera tenga la precaución de que estos no se unan, ya que ocasionarían una falla en la fuente de alimentación provocando falla en todos los detectores de llama del horno, y solicitar soporte de instrumentistas para colocar nuevamente los cables en la bornera.

g) Conecte nuevamente la bornera en el mismo terminal y verifique que el display encienda quedando con una indicación de cero.

h) Coloque nuevamente la tapa para dejar en servicio el detector.