

DISEÑO Y ELABORACION DE LOS PAQUETES DE TRABAJO DEL PLAN DE
MANTENIMIENTO DEL SISTEMA HORNOS H-4100 A/B/C.

DAVID CAICEDO GUERRERO
EDWARD ALEXIS URIBE

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2017

DISEÑO Y ELABORACION DE LOS PAQUETES DE TRABAJO DEL PLAN DE
MANTENIMIENTO DEL SISTEMA HORNOS H-4100 A/B/C.

DAVID CAICEDO GUERRERO
EDWARD ALEXIS URIBE

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

Director. HUMBERTO BALLESTAS MORENO
Magister en Ingeniería Mecánica

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA

2017.

DEDICATORIA.

*Doy gracias primordialmente a DIOS por darme inteligencia, sabiduría, paciencia, entendimiento y la capacidad para desarrollar este proyecto.
A mi familia por todo su apoyo comprensión y confianza.*

DAVID

En primer lugar a Dios por ser nuestro guía en cada paso dado para alcanzar esta anhelada meta, a mi esposa y mis hijos por su incondicional amor, apoyo, tolerancia y paciencia, que me impulsaron a llegar al final de este camino emprendido, a mis padres, familiares, amigos, compañeros y líderes de trabajo por su apoyo, ejemplo y confianza depositada, y por ultimo a los ingenieros y amigos Humberto Ballestas y José Luis Moreno por su valioso aporte, enseñanza y profesionalismo brindado.

EDWARD

AGRADECIMIENTOS.

Los autores de este proyecto expresan su más sincero agradecimiento a:

El MsC. Humberto Ballestas Moreno y MsC. José Luis Moreno Rojas, por su confianza, interés y aporte en la realización del proyecto. A la empresa Ecopetrol S.A, por su contribución en cada una de las áreas operativas y a sus trabajadores quienes nos apoyaron y brindaron sus conocimientos.

CONTENIDO.

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	19
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	20
2. JUSTIFICACIÓN	21
3. OBJETIVOS.....	23
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	23
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
4. ANÁLISIS DE LA LITERATURA.....	24
4.1. HISTORIA DE ECOPETROL.....	24
4.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO DE ETILENO II.....	27
4.3. MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.	32
4.4. CLASIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.	34
4.5. MATRICES DE SELECCIÓN.....	39
4.6. MARCO CONCEPTUAL.....	40
4.7. MARCO LEGAL.....	43
5. TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL Y SELECCIÓN DE METODOLOGÍA.....	46
5.1. TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.	46
5.2. CONSULTA CON PERSONAL OPERATIVO, MANTENIMIENTO E INGENIERÍA, PARA SELECCIONAR LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO A UTILIZAR.....	56
6. PROCEDIMIENTO PARA ELIMINACIÓN DE DEFECTOS E IDENTIFICACIÓN DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO.....	62
6.1. PARTICIPANTES.....	62

6.2.	ANÁLISIS CAUSA RAÍZ H-4100 A/B/C.	62
6.3.	FASE I, CAPTURA DEL INCIDENTE O INCIDENTES.....	63
6.4.	FASE II, ANÁLISIS DEL PROBLEMA.....	66
6.5.	FASE III, CAUSA RAÍZ.	67
6.6.	FASE IV, DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN.....	69
7.	DISEÑO DE PAQUETES DE MANTENIMIENTO DESPUÉS DE REALIZAR ANÁLISIS CAUSA RAÍZ.	71
7.1.	IDENTIFICACIÓN DE ACTIVIDADES CORRECTIVAS PARA EL H-4100A/B/C.....	72
7.2.	IDENTIFICACIÓN DE ACTIVIDADES PREVENTIVAS PARA EL H-4100A/B/C.....	76
8.	ELABORACIÓN DE PAQUETES DE MANTENIMIENTO.	79
8.1.	DESARROLLO DEL PAQUETE DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE LOS H-4100 A/B/C.....	79
8.2.	OBJETIVO DE ACTIVIDADES DEL E-4100.....	81
8.3.	OBJETIVO DE MANTENIMIENTO DE LG, CAMBIO DE VÁLVULAS E INSTALACIÓN Y RETIRO DE CIEGOS.	82
8.4.	DESARROLLO DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS H-4100 A/B/C.	88
9.	CONCLUSIONES.....	93
	BIBLIOGRAFÍA.....	94

ÍNDICE DE TABLAS.

	Pág.
Tabla 1 Costos totales de intervenciones en hornos de etileno II	22
Tabla 2 Escala para juzgar criterios.....	40
Tabla 3. Preguntas Fundamentales de la Metodología RCM	47
Tabla 4 Criterios de selección.....	58
Tabla 5 Seguridad vs metodología de mantenimiento.....	59
Tabla 6 Ambiente vs metodología de mantenimiento.....	59
Tabla 7 Costos de operación vs metodología de mantenimiento.....	59
Tabla 8 Matriz final de selección de metodología de mantenimiento.....	60
Tabla 9 Participantes RCA.....	62
Tabla 10 Modulo de eliminación de defectos.....	63
Tabla 11 Registro de incidentes.....	64
Tabla 12 Peligros y riesgos H-4100A/B/C, área metalmecánica e instrumentos. ..	65
Tabla 13 Verificación de causas	68
Tabla 14 Fines del desarrollo de solución.....	69

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Horas estimadas de mantenimiento desde 1997 hasta el año 2016	21
Figura 2 Horas hombre por equipo.	21
Figura 3 Costos totales reales	22
Figura 4 Diagrama general de la Refinería de Barrancabermeja.....	26
Figura 5 Horno de pirolisis Refinería Barrancabermeja.	30
Figura 6 Componentes del horno pirolisis.....	31
Figura 7 Etapas del mantenimiento industrial en el siglo XX.	34
Figura 8. Rol del AMEF en un Sistema de Calidad.....	49
Figura 9 Preguntas básicas del RCA.	52
Figura 10 Pasos Árbol Lógico de Fallas	55
Figura 11 Reunión de para seleccionar metodología de mantenimiento.	57
Figura 12 Factor de ponderación.....	58
Figura 13 Comparación de metodologías	60
Figura 14 Selección de metodología.....	61
Figura 15 Valoración RAM para actividades metalmecánica e instrumentos.	66
Figura 16 Diagrama causa efecto	67
Figura 17 Mantenimiento preventivo y correctivo.....	71
Figura 18 Mantenimiento correctivo, área metalmecánica.....	72
Figura 19 Procedimientos del paquete de mantenimiento correctivo del E-4100. .	72
Figura 20 Descripción de actividades misceláneas	73
Figura 21 Procedimiento del paquete de mantenimiento del LG.	73
Figura 22 Componentes del paquete de mantenimiento correctivo para la instalación y retiro de válvulas.	73
Figura 23 Componentes del paquete de mantenimiento correctivo para la instalación y retiro de ciegos.....	74
Figura 24 Componentes del paquete de mantenimiento para la calibración de soporteria.....	74

Figura 25 Componentes del paquete de mantenimiento correctivo para realizar cambio de tubería y serpentines.	74
Figura 26 Componentes del paquete de mantenimiento correctivo para realizar cambio de aislamiento térmico y refractario.	75
Figura 27 Componentes del paquete de mantenimiento correctivo para realizar la instalación de quemadores.	75
Figura 28 Componentes del paquete de mantenimiento correctivo para realizar cambio de laminas.	76
Figura 29 Mantenimiento preventivo, área instrumentos.	76
Figura 30 Componentes del paquete de mantenimiento preventivo para la calibración de transmisores.	77
Figura 31 Componentes del paquete de mantenimiento preventivo para realizar la instalación, retiro y mantenimiento de válvulas de control.	77
Figura 32 Componentes del paquete de mantenimiento preventivo para realizar la configuración de transmisores.	77
Figura 33 Componentes del paquete de mantenimiento preventivo para realizar el diagnóstico de transmisores de flujo.	78
Figura 34 Componentes del paquete de mantenimiento preventivo para realizar la calibración de SWITCH.	78
Figura 35 Componentes del paquete de mantenimiento preventivo para realizar el mantenimiento de válvulas solenoides.	78
Figura 36 Diseño de plantilla en Excel de paquetes de mantenimiento preventivo y correctivo.	79
Figura 37 Actividades de mantenimiento correctivo presentadas en la plantilla de Excel.	80
Figura 38 Contenido inicial de todos los paquetes de mantenimiento correctivo.	80
Figura 39 Actividades del procedimiento de prueba hidrostática.	81
Figura 40 Actividades del procedimiento para la aplicación de soldadura.	82
Figura 41 Misceláneos.	82
Figura 42 Actividades del mantenimiento del LG.	83

Figura 43 Actividades del instructivo para el retiro e instalación de válvulas.	83
Figura 44 Actividades del instructivo para la instalación y retiro de ciegos.	84
Figura 45 Actividades del instructivo para la calibración de soporteria.	85
Figura 46 Actividades del Instructivo para el retiro, limpieza e instalación de aislamiento externo para servicio en caliente PYROGEL	85
Figura 47 Actividades del procedimiento básico para la instalación de quemadores.	86
Figura 48 Actividades del Instructivo para aplicar soldadura a tuberías de acero al carbón con el proceso GTAW	87
Figura 49 Actividades del Instructivo para el corte de elementos metálicos con procesos OFC (Oxi-Combustible)	87
Figura 50 Actividades de mantenimiento preventivo presentadas en la plantilla de Excel	88
Figura 51 Instructivos de seguridad que debe contener el paquete de mantenimiento correctivo.	88
Figura 52 Actividades del instructivo para la calibración de transmisores.	89
Figura 53 Actividades del instructivo de mantenimiento de válvulas de control.	89
Figura 54 Actividades del instructivo para la configuración de transmisores.	90
Figura 55 Actividades del instructivo para el diagnóstico de transmisores de flujo.	90
Figura 56 Actividades del instructivo para mantenimiento y calibración de SWITCH	91
Figura 57 Actividades del instructivo para mantenimiento de válvulas solenoides.	92

GLOSARIO

Actividad Intrusiva: Son acciones realizadas en las fases de instalación, operación y/o mantenimiento, que para ejecutarlas requieren intervenir la integridad del diseño de las instalaciones, planta y/o equipos, con la posibilidad de liberar la energía presente, que pueda materializar los riesgos asociados al activo y exige la aplicación del sistema de seguro de plantas y equipos antes de proceder con su ejecución. La misma acción de instalación y retiro del aislamiento se considera actividad intrusiva.

Causa inmediata: Circunstancia que se presenta justamente antes del contacto, por lo general son observables o se hacen sentir. Se clasifican en condiciones inseguras o actos sub-estándar.

Causa Básica: Hecho real que se manifiesta detrás de los síntomas y razón por la cual ocurren los actos o condiciones inseguras.

Consecuencias: Evento o cadena de eventos con efectos reales o hipotéticos, inmediatos o no, sobre las personas, la economía, el ambiente y la imagen, que puede producirse a raíz de la liberación de un peligro y dentro de una situación hipotética creíble.

Controles: Son los controles pro-activos que se deben implementar para evitar que se den las causas de liberación de los peligros, como por ejemplo: emplear personal competente, usar las herramientas adecuadas, etc.

Especificación Técnica: Documento que establece características técnicas de un producto o servicio.

HAZOP: Es una técnica de identificación de riesgos inductiva basada en la premisa de que los riesgos, los accidentes o los problemas de operabilidad¹.

Incidente: Accidente sin consecuencias reales o con consecuencias potenciales.

Impericia: Falta de habilidad para desarrollar una tarea.

IMAC: Integridad mecánica y aseguramiento de calidad. El aseguramiento y el cumplimiento de los elementos de la integridad mecánica (IMAC) provienen de la ocurrencia de pérdidas de contención, de fluidos peligrosos o energía mediante la aplicación sistemática con calidad de normas, estándares, procedimientos y guías en todas las etapas del ciclo de vida de un activo (diseño, construcción, suministro, instalación, operación, mantenimiento y disposición final).

Mantenimiento: Conjunto de acciones o procedimientos tendientes a preservar o restablecer un bien, a un estado tal que le permita operar en forma confiable y segura.

Spring Hanger: Soporte de resorte que se instala en líneas calientes normalmente de hornos y calderas.

Señalización: Conjunto de actuaciones y medios dispuestos para reflejar las advertencias de seguridad en una instalación.

Peligro: Es una fuente, elemento, condición o situación que tiene el potencial de causar daño a las personas (lesión o enfermedad), la economía, equipos, el medio ambiente o la imagen.

Responsables: Es la persona responsable de ejecutar el control establecido.

Riesgo: Producto de combinar la probabilidad de que un evento específico indeseado ocurra con la gravedad de las consecuencias del mismo.

¹ HAZOP, [en línea]. [Citado 7 Febrero 2017]. Disponible en internet https://www.unizar.es/guiar/1/Accident/An_riesgo/HAZOP.htm

RBI: La Inspección basada en Riesgos (**RBI**) es un proceso que identifica, evalúa y realiza un mapeo de los riesgos industriales (debido a corrosión y grietas por esfuerzo), los cuales pueden comprometer la integridad del equipo, tanto en equipo presurizado como en elementos estructurales²

RCA: El análisis de causa raíz (ACR) se utiliza para investigar cuáles son las causas que han originado un determinado problema o incidencia (ej: no conformidades). Determinar bien las causas raíz de una incidencia es imprescindible para poder definir acciones correctivas apropiadas que la solventen y que eviten la repetición del problema en el futuro³.

RCM: Reliability Centred Maintenance, (Mantenimiento Centrado en Fiabilidad/Confiabilidad) es una técnica más dentro de las posibles para elaborar un plan de mantenimiento en una planta industrial y que presenta algunas ventajas importantes sobre otras técnicas⁴.

² RBI [en línea]. [Citado 7 Febrero 2017]. Disponible en internet http://www.bureauveritas.com.mx/services+sheet/service_sheet_10514

³ RCA [en línea]. [Citado 7 Febrero 2017]. Disponible en internet <http://www.pdcahome.com/7642/analisis-de-causa-raiz-metodologia-para-investigar-y-resolver-incidencias/>

⁴ RCM [en línea]. [Citado 7 Febrero 2017]. Disponible en internet <http://www.mantenimientopetroquimica.com/rcm.html>

RESUMEN.

TÍTULO:	Diseño y elaboración de los paquetes de trabajo del plan de mantenimiento del sistema hornos h-4100 A/B/C*.
AUTOR(ES):	David Caicedo Guerrero, Edward Alexis Uribe**
PALABRAS CLAVES:	Metodología, RCA, RBI, RCM, HAZOP, Mantenimiento.
DESCRIPCIÓN	<p>La planta Etileno II tiene como objetivo producir etileno a partir de un proceso de pirolisis del etano y recuperar el etileno contenido en las corrientes que cargan la unidad. La Unidad de Etileno inició su construcción en el año 1974 y entró en operación en marzo de 1981. A lo largo de los años en los hornos H-4100 A/B/C de Etileno II han presentado diversas fallas (Instrumentación y metalmecánica), de ahí la necesidad de desarrollar un análisis mediante la metodología RCA, a través de la creación de los paquetes de mantenimiento que contengan de forma organizada de cada una de las actividades que han surgido de la metodología RCA, garantizando la ejecución de las mismas de una forma confiable y segura. Por tal motivo el presente trabajo inicialmente presenta las características del mantenimiento industrial, seguido a esto se realiza el procedimiento con el cual se logra realizar la identificación de las fallas más comunes para posterior a esto clasificarlas en mantenimientos preventivos o correctivos, finalmente se diseñan los paquetes de mantenimiento de tal forma que se logren estandarizar las actividades de mantenimiento con el fin principal de ejecutarlas siempre de una forma segura, la elaboración deja a su paso un documento en Microsoft Excel, el cual recopila todos los procedimientos, certificados de apoyo y permisos de trabajo tanto para las actividades de metalmecánica como instrumentos.</p>

* Monografía.

** Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Especialización en Gerencia de Mantenimiento, Director: MsC. Humberto Ballestas Moreno.

SUMMARY

TITLE: Design and preparation of work packages of the h-4100 A / B / C system maintenance plan.

AUTHORS: David Caicedo Guerrero, Edward Alexis Uribe

KEYWORDS: Methodology, RCA, RBI, RCM, HAZOP, Maintenance.

DESCRIPTION: The Ethylene II plant aims to produce ethylene from a pyrolysis process of ethane and recover the ethylene contained in the streams that charge the unit. The Ethylene Unit began its construction in 1974 and entered into operation in March 1981. Over the years in the H-4100 A / B / C furnaces of Ethylene II have presented several faults (Instrumentation and metalworking) Hence the need to develop an analysis through the RCA methodology, through the creation of maintenance packages containing in an organized way each of the activities that have emerged from the RCA methodology, ensuring the execution of the same ones Reliable and secure way. For this reason the present work initially presents the characteristics of the industrial maintenance, followed to this is done the procedure with which it is possible to perform the identification of the most common faults for later to classify them in preventive or corrective maintenance, finally the packages are designed Maintenance in order to standardize the maintenance activities with the main purpose of always executing them in a safe way, the elaboration leaves in step a document in Microsoft Excel, which collects all the procedures, certificates of support and permissions of Work for both metalworking and tools.

* Monograph.

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. Specialization in Maintenance Management, Director: MsC. Humberto Ballestas Moreno.

INTRODUCCIÓN.

El diseño y elaboración de paquetes de mantenimiento de trabajo del plan de mantenimiento del sistema hornos H-4100 A/B/C, busca identificar las fallas del sistema mediante la metodología de mantenimiento (Análisis de Causa Raíz o RCA) y de esta forma presentar alternativas que minimicen las paradas de planta no programadas, que genera altos impactos de índole económico y corporativo. Por tal motivo el desarrollo de esta monografía presenta el diseño y la elaboración de los paquetes de trabajo del plan de mantenimiento en las especialidades de instrumentos y metalmecánica de los sistemas de los H-4100 A/B/C.

Según los objetivos planteados, el presente proyecto será de tipo aplicado, dado que diseña y elabora planes de mantenimiento a través de la metodología RCA la cual se dividió de la siguiente forma, revisión bibliográfica, entrevista a especialistas, análisis de información, elaboración de propuesta, presentación de propuesta, recopilación de información de campo, diseño del plan de mantenimiento, revisión de plan con expertos y entrega de memorias.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La petroquímica es la rama de la refinación que genera mayores dividendos en el ámbito actual al tratarse de productos derivados del petróleo, entre estos encontramos el etileno, producto de un proceso de craqueo térmico realizado al etano en plantas de Etileno donde su equipo más importante es el horno de pirolisis.

Al presentarse paradas de planta programadas y no programadas, debido a fallas en los diferentes componentes de los hornos "H-4100 A/B/C", en ocasiones algunas de estas recurrentes, o reprocesos a mantenimientos realizados, se generan altos impactos de índole económico y corporativo, porque se espera que después de un mantenimiento este equipo entre en servicio brindando una operación confiable, segura y prolongada.

Visualizando el hacer actual del departamento de mantenimiento encargado de mantener disponible este equipo, y todo el proceso que se requiere para cumplir con las metas corporativas, se concluye que hay un amplio margen de opción de mejora buscando optimizar tiempo, recursos, repuestos, talento humano entre otros, al mejorar el plan de mantenimiento actual.

Para responder a las diferentes necesidades de mantenimiento que requieren los hornos H-4100 A/B/C, se hace necesario diseñar y elaborar paquetes de trabajo de mantenimiento en las especialidades de instrumentos y metalmecánica brindando no solo la más adecuada utilización de los recursos en el mantenimiento realizado, sino la mayor disponibilidad y confiabilidad, de estos equipos.

2. JUSTIFICACIÓN

Desde el año 1997 hasta la fecha la planta de Etileno II ha presentado diversas intervenciones de mantenimiento, centradas en las áreas de metalmecánica e instrumentos. La figura 1 presenta las horas estimadas de mantenimiento desde el año 1997 hasta el año 2016 y la figura 2 presenta las horas estimadas por equipo en el mismo intervalo de tiempo dando como resultado 29402,82 horas en actividades de mantenimiento.

Figura 1 Horas estimadas de mantenimiento desde 1997 hasta el año 2016

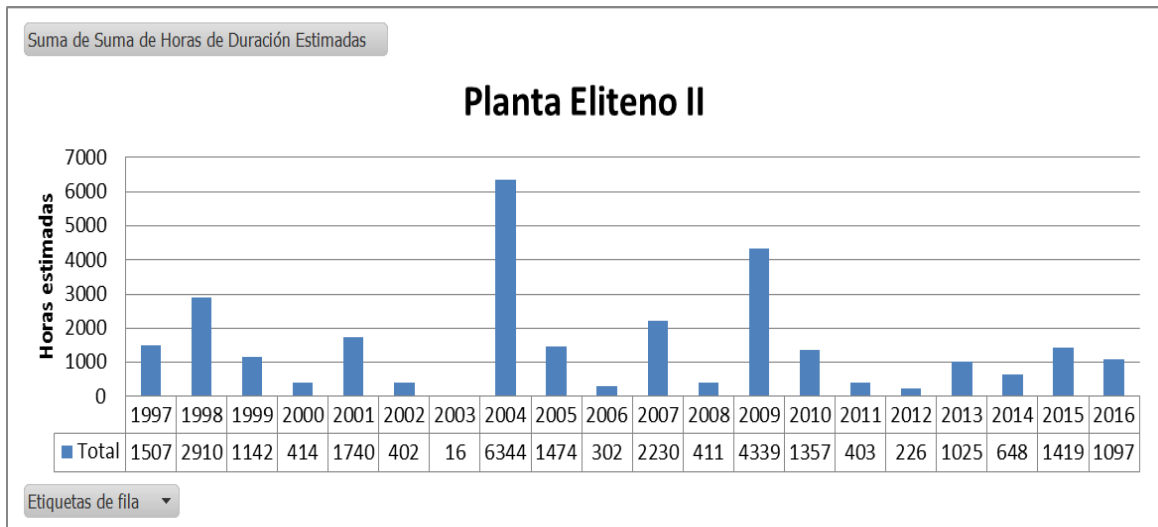
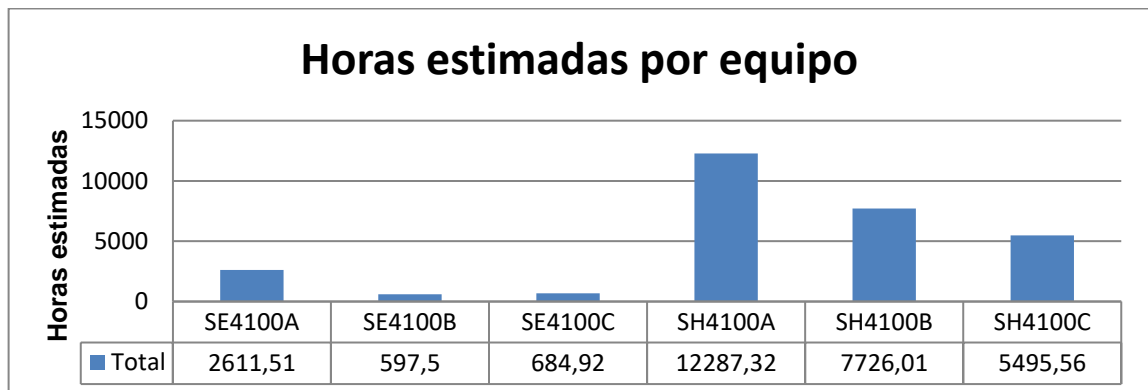


Figura 2 Horas hombre por equipo.

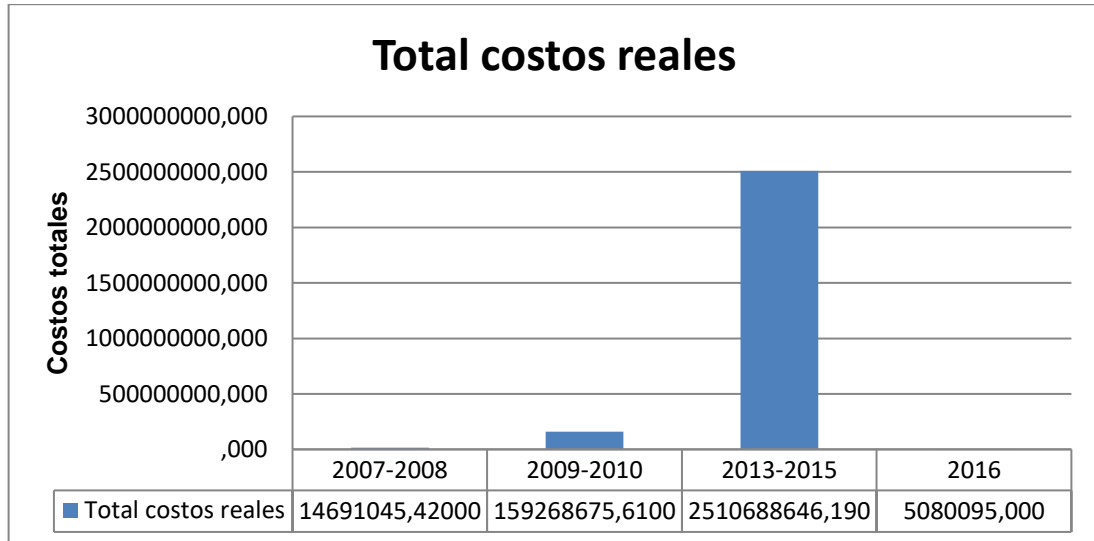


La tabla 1 y la figura 3 presentan los costos reales de las actividades de mantenimiento desde el año 2007 dando como resultado \$ 2.689.728.552,22, esta razón constituye la justificación de realizar un proyecto encaminado a optimizar el mantenimiento y las intervenciones de los hornos H-4100A/B/C.

Tabla 1 Costos totales de intervenciones en hornos de etileno II

Años	Costo HH	Costo materiales	Total costos reales
2007-2008	\$8.226.068,00	6.464.977,42	14.691.045,42
2009-2010	11.278.165,00	131.751.357,91	159.268.675,61
2013-2015	90.287.628,50	2.420.401.017,69	2.510.688.646,19
2016	2.677.584,00	2.402.511,00	5.080.095,00
Total	112.469.445,50	2.561.019.864,02	2.689.728.552,22

Figura 3 Costos totales reales



3. OBJETIVOS.

3.1. OBJETIVO GENERAL.

Diseñar y elaborar los paquetes de trabajo del plan de mantenimiento en las especialidades de instrumentos y metalmecánica de los sistemas de los H-4100 A/B/C.

3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- ✓ Identificar las actividades de mantenimiento preventivas y correctivas en las especialidades de instrumentos y metalmecánica de la estrategia de confiabilidad los H-4100 A/B/C
- ✓ Diseñar el modelo de paquetes de trabajo para las intervenciones preventivas y correctivas de los hornos H-4100 A/B/C, mediante la técnica de mantenimiento de mejor se ajuste a las necesidades de las condiciones de la planta.
- ✓ Elaborar los paquetes de trabajo en la especialidad de instrumentos y metalmecánica para las diferentes intervenciones planeadas de origen preventivo y correctivo de los H-4100 A/B/C

4. ANÁLISIS DE LA LITERATURA.

4.1. HISTORIA DE ECOPETROL.

La reversión al Estado Colombiano de la Concesión De Mares, el 25 de agosto de 1951, dio origen a la Empresa Colombiana de Petróleos. La naciente empresa asumió los activos revertidos de la Tropical Oil Company que en 1921 inició la actividad petrolera en Colombia con la puesta en producción del Campo La Cira-Infantas en el Valle Medio del Río Magdalena, localizado a unos 300 kilómetros al nororiente de Bogotá. Ecopetrol emprendió actividades en la cadena del petróleo como una Empresa Industrial y Comercial del Estado, encargada de administrar el recurso hidrocarburífero de la nación, y creció en la medida en que otras concesiones revirtieron e incorporó su operación. En 1970 adoptó su primer estatuto orgánico que ratificó su naturaleza de empresa industrial y comercial del Estado, vinculada al Ministerio de Minas y Energía, cuya vigilancia fiscal es ejercida por la Contraloría General de la República. En 2003 el gobierno colombiano reestructuró la Empresa Colombiana de Petróleos, con el objetivo de internacionalizarla y hacerla más competitiva en el marco de la industria mundial de hidrocarburos. Con la expedición del Decreto 1760 del 26 de Junio de 2003 modificó la estructura orgánica de la Empresa Colombiana de Petróleos y la convirtió en Ecopetrol S.A., una sociedad pública por acciones, ciento por ciento estatal, vinculada al Ministerio de Minas y Energía y regida por sus estatutos protocolizados en la Escritura Pública número 4832 del 31 de octubre de 2005, otorgada en la Notaría Segunda del Circuito Notarial de Bogotá D.C., y aclarada por la Escritura Pública número 5773 del 23 de diciembre de 2005. Con la transformación de la Empresa Colombiana de Petróleos en la nueva Ecopetrol S.A., la Compañía se liberó de las funciones de Estado como administrador del recurso petrolero y para realizar esta función fue creada La ANH (Agencia Nacional de Hidrocarburos). A partir de 2003, Ecopetrol S.A. inició una era en la que, con mayor autonomía, ha acelerado sus actividades

de exploración, su capacidad de obtener resultados con visión empresarial y comercial y el interés por mejorar su competitividad en el mercado petrolero mundial⁵.

Descripción general de la refinería. El 18 de febrero de 1922 se inicia la historia de la refinería de Barrancabermeja con la llegada de los primeros equipos procedentes Talara, Perú. El alambique diseñado para destilar crudo, fue instalado cerca de la entrada principal de la refinería, exactamente en donde hoy se encuentran las oficinas de la Gerencia General. Los primeros procesos se realizaron con leña y su capacidad máxima alcanzaba una destilación sólo de 1.500 Barriles diarios⁶. El complejo procesa crudos de varias calidades para producir diferentes tipos de productos requeridos por el mercado nacional. El área de refinación produce principalmente gasolinas y destilados. El área de petroquímica elabora productos petroquímicos tales como: bases lubricantes, parafinas, aromáticos y polietilenos. En el área de cracking se cargan gasóleos principalmente para producir GLP y nafta por medio del rompimiento de moléculas de hidrocarburos grandes. Los productos terminados y el recibo de crudos se realizan en el área de materias primas. Los servicios industriales son generados en la refinería con recurso propio. Las principales plantas de la Refinería son las que se presentan en la figura 4 y se mencionan a continuación:

Topping, Demex, Unibón, Viscorredutora, Cracking Catalítico, Alquilación, Turboexpander, Etileno, Polietileno I y II, Nitrógeno, Parafinas, Aromáticos, Servicios Industriales.

⁵ Nuestra historia [en línea]. [Citado 24 enero 2017]. Disponible en internet http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/?urile=wcm%3Apath%3A/Ecopetrol_ES/Ecopetrol/nuestra-empresa/Quienes-Somos/acerca-de-nosotros/Nuestra+Historia

⁶ Refinería de Barrancabermeja cumplió 93 años [en línea]. [Citado 24 enero 2017]. Disponible en internet <http://www.vanguardia.com/santander/barrancabermeja/299892-la-refineria-de-barrancabermeja-cumplio-93-anos>

Planta de Etileno II. La planta tiene como objetivo producir etileno a partir de un proceso de pirolisis del etano y recuperar el etileno contenido en las corrientes que cargan la unidad. La Unidad de Etileno inició su construcción en el año 1974 y entró en operación en marzo de 1981. Hasta la fecha, la planta no ha tenido ampliaciones en su capacidad instalada, pero a través de los años ha tenido algunos avances tecnológicos, se han realizado algunos cambios de equipos, se han diseñado e implementado facilidades en el proceso y se han sacado de servicio otros sistemas; con lo que se ha obtenido mejorar la eficiencia de la planta. La Unidad de Etileno está diseñada para recibir 57,630 lb/h de carga y puede cargar corrientes de diferentes unidades. La planta está diseñada para producir 100,000 ton/año de etileno. El etileno producto de la unidad contiene un porcentaje en volumen de 99.9% de etileno y su flujo de producción promedio es de 20,000 lb/h y se envían para las Plantas de Polietileno I/II⁷.

4.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO DE ETILENO II.

Pirolisis y Generación de Vapor: El etano que entra a los hornos se craquea por medio de altas temperaturas formando el gas de pirolisis. La alta temperatura del gas se aprovecha para generar vapor.

Quench: En la Torre de Quench se enfría el gas de pirolisis completamente antes de fluir hacia el sistema de compresión. En la torre de quench el gas de pirolisis hace contacto con agua de quench que desciende a través de los platos de la torre. El agua enfría el gas y condensa el vapor de dilución y los hidrocarburos pesados presentes en la corriente del gas de pirolisis. El vapor y los hidrocarburos descienden por diferencia de nivel hacia el Separador de Hidrocarburo del Agua de Quench donde son enviados al sistema de aguas aceitosas. El condensado

⁷ Manual De Descripción De Procesos Planta de Etileno II, Refinería Barrancabermeja Ecopetrol S.A

acumulado en el fondo de la torre se enfría y retorna a la torre para continuar con el enfriamiento y la condensación. El gas de pirólisis enfriado sale por la cima de la torre y se envía a compresión.

Compresión, Lavado Cáustico y Conversión: Por requerimientos del proceso el gas de pirólisis se comprime inicialmente hasta un nivel de presión con el propósito de neutralizar los gases ácidos y realizar conversión de acetilenos. Posteriormente, se termina de aumentar la presión para garantizar la operación de los otros procesos.

Secado y Enfriamiento: En la etapa de secado se retira la humedad presente en el gas de pirólisis con el propósito de evitar la formación de hielo en la etapa de enfriamiento. El enfriamiento se hace con el objetivo de ajustar las condiciones adecuadas para el fraccionamiento de los componentes del gas de pirólisis.

Fraccionamiento: El material condensado del gas de pirólisis entra a un tren de fraccionamiento donde se separan los componentes del gas de pirólisis, entre ellos el etileno producto de la unidad.

Almacenamiento Intermedio: El etileno líquido se almacena en las Balas de Almacenamiento Intermedio donde se analiza su calidad para enviarlo a almacenamiento final o para reprocesarlo en planta. Cuando el etileno producto almacenado en las balas cumple especificaciones, se envía a enfriamiento y almacenamiento en el Tanque Criogénico. El enfriamiento asegura el estado líquido del producto y evita el presionamiento en el tanque por arrastre de vapores. Cuando el etileno almacenado en las balas no cumple especificaciones, se vaporiza en un intercambiador con metanol y se reprocesa en la unidad o se envía a la red de gas combustible

Ciclo de Enfriamiento con Propileno: Este ciclo de enfriamiento asegura la disponibilidad del propileno refrigerante en tres niveles de temperatura requeridos por el proceso con el propósito de garantizar la operación de la unidad. El ciclo es un circuito cerrado de dos etapas donde el Compresor de Propileno Refrigerante succiona los vapores producidos en el ciclo y descarga a presiones que permiten la condensación del propileno por medio de agua enfriante. El propileno condensado

se envía a un Acumulador de Propileno donde se separan los incondensables y el líquido de fondo se envía como refrigerante a diferentes usuarios en la unidad para enfriar y condensar corrientes de proceso.

Ciclo de Enfriamiento con Etileno: Este ciclo de enfriamiento asegura la disponibilidad de etileno refrigerante en dos niveles de temperatura requeridos por el proceso con el propósito de garantizar la operación de la unidad.

El ciclo es un circuito cerrado de dos etapas donde el Compresor de Etileno Refrigerante succiona los vapores producidos en el ciclo y descarga a presiones que permiten la condensación del etileno por medio de propileno refrigerante. El etileno condensado se envía a un Acumulador de Etileno donde el líquido de fondo se envía como refrigerante a diferentes usuarios en la unidad para enfriar y condensar corrientes de proceso.

Recuperación de Condensado y Decalentamiento del Vapor: En esta sección se recuperan los condensados de la unidad y se decalientan los diferentes tipos de vapor con el propósito de enviarlos a diferentes usuarios a condiciones adecuadas.

Horno de Pirolisis. El diseño típico de los hornos de pirolisis es tipo cabina, tal como lo indica la figura 5. El horno se divide en dos zonas, una de convección y otra de radiación. En la zona de convección, se precalienta la alimentación y en la zona de radiación, ocurren las reacciones de pirolisis térmica. El horno de tipo caja se llama así, o se denomina también horno de tipo cabina, debido a su forma. Este tipo de calentador se usa generalmente en unidades de crudo y de vacío. Este horno es más largo que alto. Tiene quemadores laterales y los tubos de la sección de radiación están colocados horizontalmente a lo largo de la pared vertical y en el techo inclinado o sección intermedia. Ésta abarca toda la sección de radiación. Los tubos de la sección de radiación se llaman tubos de pared.

Figura 5 Horno de pirolisis Refinería Barrancabermeja.

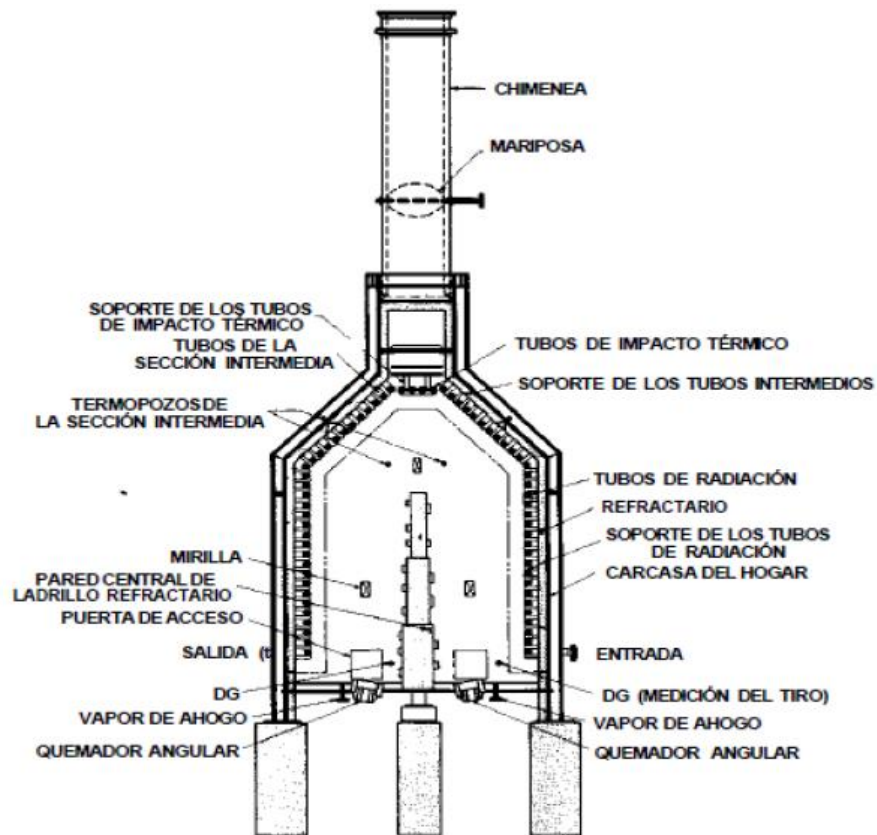


Generalmente hay muchos quemadores a ambos lados del horno, lo cual da una buena distribución del calor dentro del hogar. En el centro del hogar hay una pared de radiación o pared central por lo cual a veces se los denomina también hornos de pared central. Esta pared central está construida de ladrillo refractario. La llama de los quemadores está limitada a las paredes laterales, el ladrillo refractario de las paredes se calienta e irradia calor a los tubos. Esto tiene la ventaja de que existe muy poca probabilidad de que la llama toque a los tubos. El contacto con la llama podría producir una zona caliente localizada, lo que a su vez podría causar formación de depósitos de coque en el interior de los tubos. El coque actúa como aislante y el líquido o el gas de proceso no pueden remover suficiente calor al pasar por este punto, por lo que en este sitio el tubo se recalentará en exceso pudiendo excederse los límites de resistencia térmica del metal y produciéndose la rotura del tubo. La sección de convección de los hornos tipo caja está montada en el techo y opera de la misma forma que la sección de convección de los calentadores

verticales. La entrada del fluido de proceso puede realizarse por la sección de convección. En los Hornos de Pirólisis H-4100A-C se craquea el etano de carga, generando etileno y una serie de productos que van desde hidrógeno hasta gasolina. Los tres hornos tienen el mismo diseño, flujo y control.

Principales componentes del horno Pirolisis. La figura 6 presenta el horno pirolisis y sus principales componentes.

Figura 6 Componentes del horno pirolisis.



Fuente: Manual de descripción de procesos de la unidad de Etileno

A continuación se mencionan los principales componentes del horno pirolisis:

- ✓ Quemadores.
- ✓ Carcasa del hogar.

- ✓ Soporte de tubos de radiación.
- ✓ Tubos de Radiación.
- ✓ Soporte de tubos intermedios.
- ✓ Soporte de los tubos de impacto térmico.
- ✓ Tubos de Impacto térmico.
- ✓ Refractario.
- ✓ Válvula Mariposa.
- ✓ Chimenea.
- ✓ Pared central de ladrillo refractario.
- ✓ Mirillas.
- ✓ Instrumentación

4.3. MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.

Hablar de mantenimiento industrial obliga a remontarse a épocas primitivas, pues este procedimiento es tan antiguo como lo son las actividades cotidianas que tuvo que instrumentar el hombre para sobrevivir y mejorar su calidad de vida. Así, las primeras armas de caza, defensa, y herramientas creadas para satisfacer sus necesidades básicas, son consideradas máquinas primitivas⁸, la cuales, naturalmente requerían de procesos de asistencia y cuidado con el propósito de favorecer su conservación y garantizar su uso continuo.

Hacia la segunda mitad del siglo XVIII, con la llegada de nuevos inventos tales como la imprenta, la máquina de vapor, el motor de combustión y la máquina de hilar, inicia el periodo histórico de Revolución Industrial, extendido posteriormente a gran parte del territorio Europeo y Norteamericano. Durante este lapso de tiempo, principalmente el fenómeno conocido como el maquinismo, el cual consistió en la

⁸ García Méndez, Alejandra. 2011. Conceptos básicos sobre mantenimiento Industrial. Revista TEC. Universidad Teziutlan.

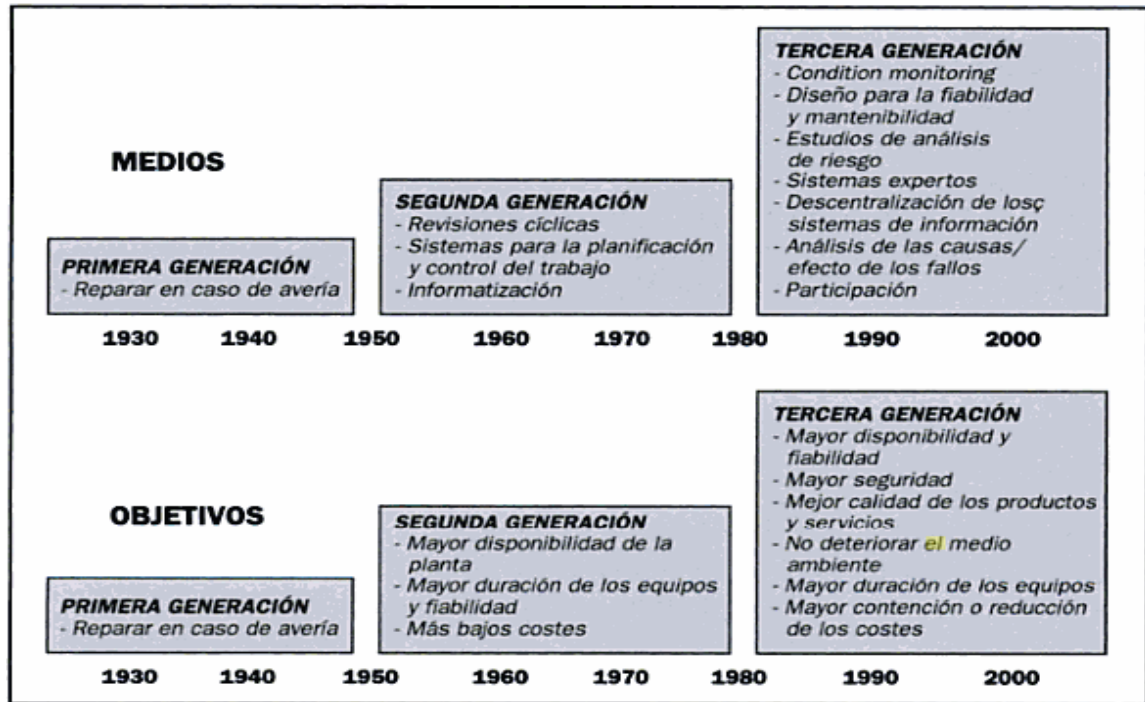
invención y puesta en marcha en forma masiva de nuevas máquinas motrices que, o bien multiplicaban el trabajo del hombre o bien sustituían el esfuerzo humano por otras fuentes de energía, revolucionó la industria; en este momento histórico se aumentó la demanda en procesos de conservación y cuidado de estas máquinas. Así, el advenimiento de la industrialización incrementó la necesidad de mantenimiento para obtener una mayor disponibilidad de la maquinaria y equipo para la producción; y con ello las máquinas aumentaron su volumen, complejidad e importancia⁹.

De esta manera el proceso de mantenimiento industrial ha evolucionado junto con la revolución tecnológica y científica que ha caracterizado los últimos siglos, cobrando importancia técnica y científica a través de la historia, y siendo definido formalmente como toda actividad humana encaminada a conservar y asegurar la calidad del servicio que prestan las máquinas, instalaciones, y/o sistemas, para que continúen haciendo lo que los usuarios quieren que hagan, con el propósito de brindar condiciones seguras, eficientes y económicas¹⁰. Durante el siglo XX, el mantenimiento industrial ha progresado, por lo que se han definido tres etapas por las que ha transitado, a las cuales se les denominó Primera, Segunda y Tercera Generación. La figura 7, muestra brevemente las mismas y sus objetivos.

⁹ E.T. NEWBROUGH Y PERSONAL DE ALBET RAMOND Y ASOCIADOS, INC. 1998. Administración de mantenimiento industrial. Es Diana 12ª. Edición. México.

¹⁰ E.T. NEWBROUGH Y PERSONAL DE ALBET RAMOND Y ASOCIADOS, INC. 1998. Administración de mantenimiento industrial. Es Diana 12ª. Edición. México.

Figura 7 Etapas del mantenimiento industrial en el siglo XX.



Fuente: González Fernández, Francisco Javier. 2005. Teoría y práctica del mantenimiento industrial avanzado. Fundación Confemetal Editorial.

4.4. CLASIFICACIÓN DEL MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.

Mantenimiento Predictivo. Es el conjunto de actividades de seguimiento y diagnóstico continuo (monitorización) de un sistema, que permiten una intervención correctora inmediata como consecuencia de la detección de algún síntoma de fallo. El mantenimiento predictivo se basa en el hecho de que la mayoría de los fallos se producen lentamente y previamente, en algunos casos, arrojan indicios evidentes de un futuro fallo, bien a simple vista, o bien mediante la monitorización, es decir, mediante la elección, medición y de algunos parámetros relevantes que representen el buen funcionamiento del equipo analizado. Por ejemplo, estos parámetros pueden ser: la temperatura, la presión, la velocidad lineal, la velocidad angular, la resistencia eléctrica, los ruidos y vibraciones, la rigidez dieléctrica, la viscosidad, el

contenido de humedad, de impurezas y de cenizas en aceites aislantes, el espesor de chapas, el nivel de un fluido, etc. En otras palabras, con este método, se intenta seguir la evolución de los futuros fallos.¹¹

Mantenimiento Preventivo. Es una técnica de tipo científico del trabajo industrial focalizada principalmente en el soporte, conservación y eficiencia de las instalaciones en dentro de una industria determinada, lo cual favorece la producción en general de la misma.¹² El mantenimiento preventivo es realizado generalmente por el hombre en los recursos físicos de una empresa, con la finalidad de garantizar que la calidad de servicio que éstos proporcionan siga dentro de los límites establecidos¹³. El mantenimiento preventivo, incluye actividades de Inspección periódica de activos y de equipos para descubrir las condiciones que conducen a paros imprevistos de producción o depreciación perjudicial. Aunado a actividades que comprenden pretensión en cuanto a la conservación de activos físicos para anular dichos aspectos, adaptarlos o repararlos cuando se encuentren aun en una etapa incipiente.¹⁴ Este tipo de mantenimiento industrial tiene como ventajas:

- ✓ Disminución del tiempo ocioso del equipo
- ✓ Disminución de imprevistos y paros de la maquina, que perjudican la productividad empresarial

¹¹ Muñoz, María Belén. Mantenimiento Industrial. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Carlos III. Madrid: España.

¹² N. Orozco Álzate. 1981. Biblioteca digital. Universidad Nacional de Colombia.

¹³ DOUNCE Villanueva, enrique. 1998. La productividad en el mantenimiento industrial. Editorial Cecs. 4ª. Edición. México.

¹⁴ N. Orozco Álzate. 1981. Biblioteca digital. Universidad Nacional de Colombia.

- ✓ Disminución de pagos por tiempo extra de los trabajadores de mantenimiento en ajustes ordinarios y reparaciones en paros imprevistos
- ✓ Disminución de costos en reparaciones de los defectos sencillos realizados antes de los paros imprevistos
- ✓ Menor necesidad de equipo en operación, reduciendo con ello la inversión de capital y aumenta la vida útil de los existentes.
- ✓ Mayor seguridad para los trabajadores y mejor protección para la planta.
- ✓ Cumplimiento con los cupos y plazos de producción comprometida.
- ✓ Conocer anticipadamente el presupuesto de costos de mantenimiento.
- ✓ Conocer los índices- de productividad por sector.
- ✓ Accionar armónico del servicio de mantenimiento para atender la producción¹⁵.

Cabe resaltar que el mantenimiento preventivo es relativamente moderno y la aceptación que ha tenido en los últimos tiempos ha supuesto el que se haya aplicado, en ocasiones, indiscriminadamente, por tanto hay que tener en cuenta que no siempre es conveniente aplicarlo. En ese orden de ideas, es posible afirmar también que el mantenimiento preventivo siempre es programable y cuenta con diversos procedimientos para llevarlo a cabo, entre los cuales se observa:

- ✓ **Predictivo.** Es un sistema permanente de diagnóstico que permite identificar con anterioridad la probable pérdida de calidad de servicio que esté entregando la máquina, este se realiza a través de tomas de diferentes pruebas diagnósticas según lo requiera la máquina.
- ✓ **Periódico.** Este procedimiento se lleva a cabo periódicamente como su nombre lo señala con el fin de inspeccionar los equipos o máquinas, después de determinadas horas de funcionamiento del equipo. Este proceso se

¹⁵ Ibíd.

caracteriza por la aplicación de pruebas, ejecución de las mismas y realización de algunos cambios de piezas pertinentes.

- ✓ **Analítico.** Se basa en un análisis muy profundo de la información que se obtiene de las máquinas más importantes de la empresa o del campo industrial, a través de de visitas de inspección con la frecuencia necesaria para que el analista pueda recolectar información pertinente en el tiempo que lo considere para posteriormente contar con material de consulta necesario sobre el comportamiento del equipo.
- ✓ **Progresivo.** Consiste en efectuar el mantenimiento por partes, progresando en él de acuerdo a los tiempos ociosos de la máquina.
- ✓ **Técnico.** Es una combinación del mantenimiento periódico y progresivo.¹⁶

Mantenimiento Correctivo. Es la actividad que el ser humano realiza en los recursos físicos de una empresa, cuando a consecuencia de una falla han dejado de brindar la calidad de servicio estipulado. Este se subdivide a su vez en:

- ✓ **Correctivo Contingente.** Refiriéndose a las actividades que se realizan de forma inmediatas.
- ✓ **Correctivo Programable.** Refiriéndose a las actividades que se llevan a cabo en aquellas máquinas que aún no lo necesitan, pero por proporcionar un mejor servicio se realizan con anterioridad¹⁷.

El mantenimiento correctivo, es el más antiguo junto con el mantenimiento sistemático; sus objetivos radican en colocar en marcha un equipo que se ha descompuesto es una necesidad latente en el primer instante en el cual los bienes productivos se inventaron. El mantenimiento correctivo en los últimos tiempos ha

¹⁶ DOUNCE Villanueva, Enrique. 1998. La productividad en el mantenimiento industrial. Ed. Cecs. 4ª. Edición. México.

¹⁷ Ibíd.

tenido buenos avances gracias a la técnica de investigación de operaciones. Su organización es igual a la técnica de producción bajo pedido. Para solicitar un servicio de mantenimiento correctivo es necesario que haya sucedido una descompostura en un bien productivo o en uno auxiliar a éste. Es de notar aquí que tanto para el mantenimiento correctivo como para la otra clase de mantenimiento se establecen formatos especiales, estudiados por el departamento de mantenimiento y el de organización y métodos, asimismo, es aplicable a sistemas eléctricos y electrónicos complejos, sistemas en los que es imposible predecir fallos, y aquellos que admiten ser interrumpidos en cualquier momento y con cualquier duración. El mantenimiento correctivo tiene como desventaja que por ser aplicado en casos de emergencia, estos fallos pueden causar daños irreparables a todo el sistema o a parte de ellos, teniendo que invertirse así gran capital en piezas de repuesto, aunado a que el fallo puede aparecer en el momento más inoportuno. Por otra parte, dado que el mantenimiento correctivo se produce por el hecho de averías producidas al azar es necesario establecer un tipo de clasificación de las averías; dicha clasificación ya se vio anteriormente, pero aquí toma gran importancia en cuanto se refiere a la clase del bien productivo, no tendrá la misma urgencia que aquella avería que permite seguir funcionando al equipo aunque no sea en las mejores condiciones que aquella que puede producir una parada parcial del equipo. Hay que tener en cuenta que las averías se clasifican en avería de emergencia, avería de urgencia y periodo normal¹⁸.

Mantenimiento Productivo Total. Este sistema está basado en la concepción japonesa del "Mantenimiento al primer nivel", en la que el propio usuario realiza pequeñas tareas de mantenimiento como: reglaje, inspección, sustitución de pequeñas cosas, etc., facilitando al jefe de mantenimiento la información necesaria para que luego las otras tareas se puedan hacer mejor y con mayor conocimiento de causa. La frase Mantenimiento Productivo Total puede desglosarse así:

¹⁸ N. Orozco Alzate. 1981. Biblioteca digital. Universidad Nacional de Colombia

- ✓ **Mantenimiento:** Para mantener siempre las instalaciones en buen estado
- ✓ **Productivo:** Está enfocado a aumentar la productividad
- ✓ **Total:** Implica a la totalidad del personal, (no solo al servicio de mantenimiento). Este sistema coloca a todos los integrantes de la organización en la tarea de ejecutar un programa de mantenimiento preventivo, con el objetivo de maximizar la efectividad de los bienes. Centra el programa en el factor humano de toda la compañía, para lo cual se asignan tareas de mantenimiento que deben ser realizadas en pequeños grupos, mediante una dirección motivadora¹⁹.

4.5. MATRICES DE SELECCIÓN.

Es una herramienta para tomar decisiones en equipo, utilizando criterios ponderados y acordados. Esta herramienta se emplea para asignar prioridades a problemas, tareas, soluciones u otras opciones posibles. Debido a que la Matriz de Selección proporciona un enfoque lógico a la elección de un conjunto de opciones, es ideal para elegir un problema. Así mismo es posible usarla para evaluar y disminuir una lista de soluciones potenciales para un problema²⁰.

Como utilizar una matriz de selección. Pasos para utilizar una matriz de selección:

- ✓ Establecer el objetivo general.

¹⁹ Muñoz, María Belén. Mantenimiento Industrial. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Carlos III. Madrid: España.

²⁰ Matrices de selección [en línea] [citado 30 Enero 2017]. Disponible en internet www.idea.edu.pe/herramientas/6taherramientadecalidadmatrizdeseleccion.doc

- ✓ Generar los criterios por los que se juzgaran las opciones.
- ✓ Juzgar cada criterio contra todos los demás, tal como lo indica la tabla 2.

Tabla 2 Escala para juzgar criterios.

Valor	Descripción	Valor	Descripción.
10	Mucho más importante	1/5	Menos importante
5	Mas importante	1/10	Mucho menos importante.
1	Igual		

Fuente: Matrices de selección [en línea] [citado 30 Enero 2017]. Disponible en internet www.idea.edu.pe/herramientas/6taherramientadecalidadmatrizdeseleccion.doc

- ✓ Comparar cada opción.
- ✓ Construir la matriz final.

4.6. MARCO CONCEPTUAL.

Para el desarrollo del proyecto este quipo cuenta con un RBI (Inspección basada en riesgo), el cual será revisado de forma detallada junto al actual plan de mantenimiento utilizado, para el diseño y elaboración de los nuevos paquetes de trabajo del plan de mantenimiento del sistema hornos H-4100 A/B/C, para las especialidades de instrumentos y metalmecánica.

Paquetes de Trabajo: Acorde al componente a preservar o mantener, se diseñará y elaborará los paquetes de trabajo, con las tareas de mantenimiento tanto preventivas como correctivas que sean requeridas, estos paquetes tendrán un consecutivo y serán estructurados desde las tareas más críticas hasta las tareas rutinarias. Los paquetes de trabajo estarán enmarcados bajo la metodología RBI,

optimizando al actual plan de mantenimiento, generando un orden en la ejecución, estándares al realizar tareas, utilizando recursos y tiempo eficazmente y brindando mejores resultados de desempeño.

Inspección Basada en Riesgo (RBI): La inspección basada en el riesgo es un proceso que sirve para identificar, evaluar y definir los riesgos industriales (debido a la corrosión y fracturas por exceso de tensión), que pudieran poner en peligro la integridad de los equipos, tanto presurizados como estructurales. La RBI aborda los riesgos que se pueden controlar mediante inspecciones y análisis adecuados. Durante el proceso de RBI, los ingenieros diseñan la estrategia a seguir en la inspección (qué, cuándo, cómo inspeccionar) que encaje mejor con los mecanismos de degradación que se hubieran previsto u observado²¹.

¿Por qué necesitamos RBI? La inspección basada en riesgo puede reducir el riesgo de fallas de alta consecuencia.

- ✓ Mejorar la rentabilidad de los recursos de inspección y mantenimiento.
- ✓ Proporcionar una base para la transferencia de recursos de menor a equipos de mayor riesgo.
- ✓ Medir y comprender los riesgos asociados a los programas de inspección en curso
- ✓ Medida de reducción del riesgo como consecuencia de las prácticas de inspección

La Inspección Basa en el Riesgo (RBI) tiene la capacidad de hacer lo siguiente:

- ✓ Evaluar los planes actuales de inspección para determinar las prioridades para las inspecciones
- ✓ Evaluar los planes de futuro para la toma de decisiones

²¹ Inspección basada en riesgo [en línea]. [Citado 24 Enero 2017]. Disponible en internet http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v13_n26/pdf2/a05v13n26.pdf

- ✓ Evaluar los cambios a las operaciones básicas que afectan a la integridad del equipo
- ✓ Identificar crítica contribuyente al riesgo que de otro modo puede ser pasado por alto
- ✓ Establecer niveles óptimos económicos de la inspección pesadas contra la reducción del riesgo
- ✓ Incorporar los niveles de "riesgo aceptable"

Metodología de inspección basada en riesgo: Está fundamentada en las normativas API RP-580 y API PUB-581 y que permite caracterizar el riesgo asociado a los componentes estáticos de un sistema de producción sometidos a corrosión, con base en el análisis del comportamiento histórico de fallas, modos de degradación o deterioro, características de diseño, condiciones de operación, mantenimiento, inspección y políticas gerenciales tomando en cuenta al mismo tiempo la calidad y efectividad de la inspección, así como las consecuencias asociadas a las potenciales fallas. El objetivo fundamental del RBI es definir planes de inspección basados en la caracterización probabilística del deterioro y el modelaje probabilístico de la consecuencia de una falla (caracterización del riesgo). La aplicación de la metodología RBI en instalaciones de proceso se fundamenta en el desarrollo de las siguientes etapas²²:

- ✓ **Análisis de riesgo** Consiste en evaluar el riesgo de cada uno de los equipos que forman parte de la instalación, orientando sus resultados a la gestión del mantenimiento de los mismos.
- ✓ **Revisión del plan de mantenimiento/inspección:** El análisis de riesgos realizado permite identificar los componentes que más influyen en el riesgo de la instalación, al objeto de focalizar en ellos los esfuerzos de inspección, y definir el programa óptimo de inspección, en función de su influencia en el

²² Ibíd.

riesgo, determinándose el alcance, la periodicidad y la técnica de mantenimiento a aplicar. Asimismo, la evaluación de la relación entre la reducción del riesgo conseguida y los costes asociados a las medidas adoptadas ayudara al gestor de mantenimiento a la selección de la opción más óptima.

4.7. MARCO LEGAL

Normatividad legal: Ecopetrol S.A. es una Sociedad de Economía Mixta, de carácter comercial, organizada bajo la forma de sociedad anónima, del orden nacional, vinculada al Ministerio de Minas y Energía, de conformidad con lo establecido en la Ley 1118 de 2006, regida por los Estatutos Sociales que se encuentran contenidos en la Escritura Pública No. 5314 del 14 de diciembre de 2007, otorgada en la Notaría Segunda del Círculo Notarial de Bogotá D.C., modificados por la Escritura Pública No. 560 del 23 de mayo de 2011, otorgada en la Notaría Cuarenta y Seis del Círculo Notarial de Bogotá D.C., la Escritura Pública No. 666 del 7 de mayo de 2013, otorgada en la Notaría Sesenta y Cinco del Círculo Notarial de Bogotá D.C. y la Escritura Pública No. 1049 del 19 de mayo de 2015, otorgada en la Notaría Segunda del Círculo Notarial de Bogotá D.C.²³. La normatividad vigente para la empresa:

- ✓ Ley 1118 de 2006

²³ Normatividad legal [en línea]. [Citado 24 Enero 2017]. Disponible en internet <http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/responsabilidad-corporativa/gobierno-corporativo/normatividad>

- ✓ Código de Buen Gobierno
- ✓ Código de Ética
- ✓ Estatutos sociales
- ✓ Reglamento de la Asamblea de Accionistas
- ✓ Reglamento de la Junta Directiva

Viabilidad Ambiental: Esta línea estratégica tiene como finalidad habilitar oportunamente los proyectos y operaciones de la Empresa, para lo cual busca mejorar el proceso de obtención de autorizaciones ambientales e implementar acciones concretas para fortalecer el relacionamiento interinstitucional ambiental. Entre las principales actividades de esta línea están la implementación del proyecto de intervención anticipada, el mejoramiento en la definición y elaboración de diseños de los proyectos, el aseguramiento de la calidad de estudios que se presentan ante las autoridades ambientales y el seguimiento sistemático al avance de las autoridades ambientales liderado por la alta dirección de la Empresa. Así mismo, se desarrollan proyectos de fortalecimiento institucional y técnico con las autoridades ambientales de orden regional y nacional que tiene los siguientes objetivos:

- ✓ Reducir conflictos y presión sobre Ecopetrol por el uso y aprovechamiento de recursos naturales para satisfacer necesidades del Plan Operativo 2014 – 2015 y Mega al 2020. (captaciones, vertimientos, aprovechamiento forestal, etc.).
- ✓ Mejora de la reputación de Ecopetrol, logrando visibilidad con proyectos regionales para la protección de recursos naturales estratégicos.
- ✓ Motivar acciones regionales a partir de información real y objetiva acerca de la presión ejercida por todos los actores (otras industrias, cambio climático, comunidad, etc.) sobre recursos naturales de la región y evitar que el tema gravite sobre Ecopetrol.

- ✓ Fortalecer reconocimiento de Ecopetrol por instituciones del Sistema Nacional Ambiental como apalancador del cumplimiento de metas ambientales del Plan Nacional de Desarrollo.

Durante el año 2013 se obtuvo 25 autorizaciones ambientales con la ANLA (Autoridad Nacional de Licencias Ambientales) las cuales incluyen Licencias Ambientales, modificaciones de licencias y establecimientos de PMA y 268 con las Corporaciones Autónomas Regionales, incluyendo permisos de uso y aprovechamiento de recursos naturales.

5. TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL Y SELECCIÓN DE METODOLOGÍA.

5.1. TÉCNICAS DE MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.

Mantenimiento centrado en confiabilidad o RCM. En los últimos años, se ha experimentado un crecimiento explosivo de nuevos conceptos y técnicas de mantenimiento. Cientos de ellos han sido desarrollados en los últimos 20 años, emergiendo aún más a medida que avanza el tiempo. Ya se ha mencionado las tres generaciones por las cuales ha pasado el mantenimiento, así como los retos y el progreso que en cada una se ha mencionado. No obstante, es importante mencionar los nuevos desarrollos, los cuales incluyen:

- ✓ Herramientas de soporte para la toma de decisiones, tales como el estudio de riesgo, análisis de modos de falla y sus efectos y sistemas expertos.
- ✓ Nuevos métodos de mantenimiento, tal como el monitoreo de condición.
- ✓ Diseño de equipos, con un mayor énfasis en la confiabilidad y facilidad para el mantenimiento.
- ✓ Un drástico cambio en el modo de pensar la organización hacia la participación, trabajo en grupo y flexibilidad²⁴.

En ese orden de ideas, el personal de mantenimiento enfrenta el desafío de aprender estas nuevas técnicas y discernir cuales valen la pena y cuáles no para sus propias organizaciones.

²⁴ John, Moubray. 2000. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Aladon Editores. Carolina del Norte: USA

Las Siete Preguntas Básicas de la Metodología RCM. Las siete preguntas fundamentales de la metodología RCM se presentan en la tabla 3.

Tabla 3. Preguntas Fundamentales de la Metodología RCM

	Pregunta Básica	Eje Evaluativo
1	¿Cuáles son las funciones y los parámetros de funcionamiento asociados al activo en su actual contexto operacional?	Funciones Parámetros de funcionamiento Contexto operacional
2	¿De qué manera falla en satisfacer dichas funciones?	Falla
3	¿Cuál es la Causa de cada falla funcional?	Causa
4	¿Qué sucede cuando ocurre cada falla?	Efectos
5	¿En qué sentido es importante cada falla?	Consecuencias
6	¿Qué puede hacerse para prevenir o predecir cada falla?	Proactivo
7	¿Qué debe hacerse si no se encuentra una tarea proactiva adecuada?	Correctivos

Fuente: Moubray, John. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad

El o mantenimiento Centrado en confiabilidad o RCM (Reliability Centred Maintenance) como procedimiento utilizado para decidir lo que se debe hacer para asegurar que un sistema, máquina, o proceso continúe funcionando dentro de su contexto cotidiano operacional, reconoce que es necesario emplear tareas proactivas para eliminar los eventos que causan fallas. Los efectos de fallas y sus consecuencias en las operaciones, seguridad y medio ambiente son evaluados para priorizar las tareas de mantenimiento proactivo. La seguridad del ser humano es vital para la metodología RCM, y por ello representa y presenta un esfuerzo por

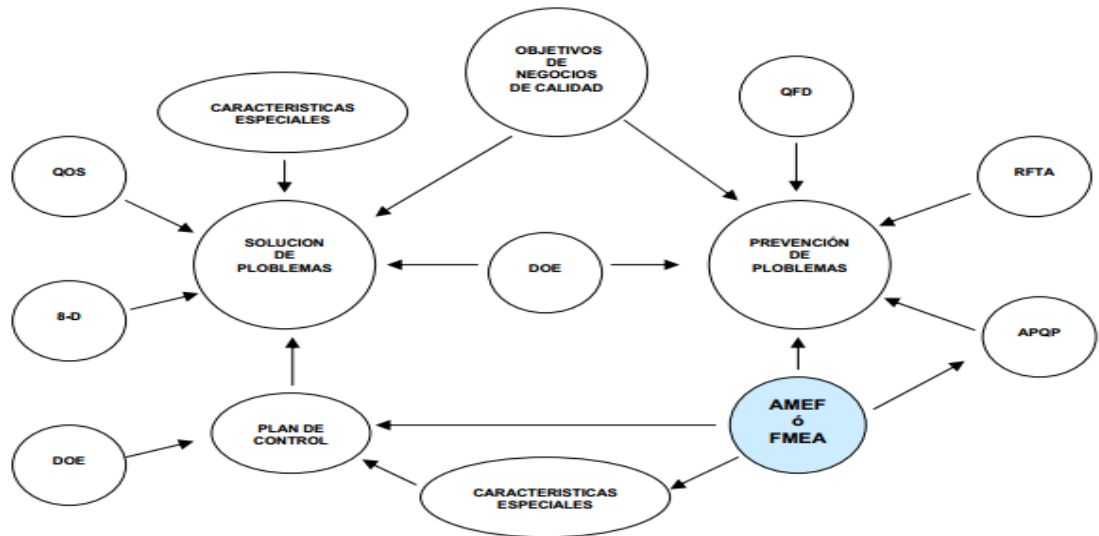
predecir lo que podría suceder²⁵, es por ello, que desarrolla, siete preguntas esenciales sobre el sistema, activo, equipo o planto de estudio. Es importante aclarar que esta metodología provee criterios simples pero precisos y fáciles de entender para decidir cuál de las tareas es técnicamente factible en el contexto operacional y para decidir quién debería hacerlas y con qué frecuencia.

AMEF. La disciplina del AMEF fue desarrollada en el ejército de los Estados Unidos de Norteamérica por los ingenieros de la National Aeronautics and Space Administration. Con base en un procedimiento militar (MIL-P-1629) denominado "Procedimiento para la Ejecución de un Modo de Falla, Efectos y Análisis de criticidad". empleado como una técnica para evaluar la confiabilidad y determinar los efectos de las fallas de los equipos y sistemas, en el éxito de la misión y la seguridad del personal o de los equipos. Este procedimiento fue elaborado el 9 de noviembre de 1949. La figura 8 presenta el rol del AMEF en un sistema de calidad. El AMEF es un método utilizado ampliamente utilizado dentro de los sistemas de calidad, que hoy por hoy, se imponen contundentemente en el mundo moderno. Y como todos métodos de mejora y calidad el AMEF busca la mejora continua de diversas formas. Es por eso que las acciones que se realizan en muchas ocasiones son implícitas, ya que se introducen con éxito diariamente como fruto de la perseverancia por hacer cada vez mejor las cosas. También, de manera explícita se expresa en forma organizada con una planeación y metodología ajustada a las necesidades de cada organización.²⁶

²⁵ Torres, Lyda. 2010. Metodología RCM aplicada a transformadores de potencia. Tesis de Grado. Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Universidad Industrial de Santander.

²⁶ American Supplier Institute, Inc. Dearborn Michigan. "ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA (AMEF), MANUAL" Copyright, 1993

Figura 8. Rol del AMEF en un Sistema de Calidad



Fuente: American Supplier Institute, Inc. Dearborn Michigan. "ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA (AMEF), MANUAL

Así, el análisis del modo y efectos de las fallas potenciales, AMEF, es un proceso Sistemático para la identificación de las fallas potenciales del diseño de un producto o de un proceso antes de que éstas ocurran, con el propósito de eliminarlas o de minimizar el riesgo asociado a las mismas. Por lo tanto, el AMEF puede ser considerado como un método analítico estandarizado para detectar y eliminar problemas de forma sistemática y total, cuyos objetivos principales son:

- ✓ Identificar, definir, priorizar y eliminar fallas conocidas y/o potenciales de un sistema, diseño o proceso de manufactura, antes de que lleguen al cliente.
- ✓ Reconocer y evaluar los modos de fallas potenciales y las causas asociadas con el diseño y manufactura de un producto.
- ✓ Determinar los efectos de las fallas potenciales en el desempeño del sistema
- ✓ Identificar las acciones que podrán eliminar o reducir la oportunidad de que ocurra la falla potencial
- ✓ Analizar la confiabilidad del sistema
- ✓ Documentar el proceso

AMEF puede estar enfocado a tres tipos de aplicaciones específicamente, como son:

- ✓ El AMEF de Concepto tiene como alcance plasmar la percepción del sistema, subsistema o componente.
- ✓ El AMEF de Diseño se usa para analizar un producto al nivel de sistema o subsistema, antes de que se libere para la producción.
- ✓ El AMEF de Proceso es utilizado para analizar las etapas en la fabricación, montaje y los planes de control resultantes.

En el 2000, la actualización del AMEF incorpora aplicaciones para el Medio Ambiente, Maquinaria, Software y de Atributos. Los cuales, no serán profundizados en el presente trabajo. Sin embargo, este método es comúnmente utilizado para evaluar diseño de productos y diseño de procesos y ambos son básicamente idénticos en su construcción. Aunque tienen objetivos muy diferentes son a la vez interdependientes; es decir, el AMEF de diseño de un producto responde a la pregunta de “Cómo podría fallar este diseño para hacer lo que la ingeniería quiere que haga”, mientras que el AMEF de procesos responde a la pregunta de “Cómo podría fallar este proceso de producción para operar efectivamente o para fabricar productos que conscientemente cumplan con los requerimientos de ingeniería”.

Inspección basada en riesgo o RBI. La Inspección Basada en Riesgos (RBI, por sus siglas en inglés: “Risk Based Inspection”) es una estrategia de gestión tecnológica que identifica, evalúa y realiza un tamizaje de los riesgos industriales partiendo del estudio de la integridad de los equipos, conducciones, sistemas y estructuras. Partiendo de proyecciones de tiempo de vida media y falla de los equipos, la Inspección Basada en Riesgos induce a que los ingenieros deban diseñar estrategias de inspección que coinciden de la manera más eficiente con los mecanismos de degradación proyectados. Esta metodología deberá responder de

manera proactiva a las preguntas sobre el qué, el cuándo y el cómo inspeccionar. Dando prioridad a los elementos con alta probabilidad y consecuencia de falla (elementos de alto riesgo), esta estrategia permite una inversión racional de los recursos de inspección y mantenimiento²⁷.

Importancia del RBI²⁸

- ✓ Reduce el riesgo de fallas de alta consecuencia.
- ✓ Mejorará la rentabilidad de los recursos de inspección y mantenimiento.
- ✓ Proporciona una base para la transferencia de recursos de menor a equipos de mayor riesgo.
- ✓ Medir y comprender los riesgos asociados a los programas de inspección en curso.
- ✓ Medida de reducción del riesgo como consecuencia de las prácticas de inspección.

Análisis de causa raíz o RCA. Cuando ocurre una falla, ésta se percibe a través de ciertas manifestaciones o síntomas, no así la causa de falla. Esto lleva en muchas oportunidades a actuar sobre las consecuencias y no sobre la raíz del problema, de modo que la falla vuelve a repetirse una y otra vez. A mayor complejidad del sistema, habrá mayor dificultad en localizar el origen o raíz de la falla. Identificar la causa raíz es fundamental, pero sólo de por sí, no resuelve el problema, para ello habrá que estudiar distintas acciones correctivas. El Análisis de Causa Raíz es una herramienta utilizada para identificar causa de falla, de manera de evitar sus consecuencias. Un análisis más profundo es mejor para ayudar a

²⁷ Inspección basada en riesgo [en línea]. [Citado 25 Enero 2017]. Disponible en internet <http://www.indisa.com/indisaonline/anteriores/Indisa%20On%20line%20111-%20%20INSPECCION%20BASADA%20EN%20RIESGO%20GENERALIDADES%20Y%20UN%20CASO%20PR%C3%81CTICO.pdf>

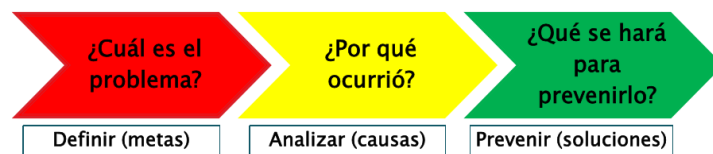
²⁸ Inspección basada en riesgo [en línea]. [Citado 25 Enero 2017]. Disponible en internet http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v13_n26/pdf2/a05v13n26.pdf

comprender los eventos y mecanismos que actuaron como raíz del problema, los cuales se pueden clasificar de la siguiente forma²⁹:

- ✓ Análisis de falla de componentes (CFA), la cual implica el estudio de las piezas dañadas.
- ✓ Investigación de Causa de Raíz (RCI), ésta herramienta incluye a la anterior, e investiga las causas físicas.
- ✓ Análisis de Causa Raíz (RCA), ésta herramienta incluye a los dos anteriores, y estudia además el error humano.

Para realizar el Análisis de Causa Raíz a fondo, se debe ir más allá de los componentes físicos de la falla o raíces físicas y analizar las acciones humanas o raíces humanas que desataron la cadena causa –efecto que llevó a la causa física, lo cual implica analizar por qué hicieron eso, si debido a procedimientos incorrectos, a especificaciones equivocadas o a falta de capacitación, lo cual puede sacar a la luz raíces latentes, es decir deficiencias en el gerenciamiento, que de no corregirse, pueden hacer que la falla se repita nuevamente. Dentro de una organización, la resolución de problemas, la investigación de incidentes y análisis de causa raíz están conectados fundamentalmente por tres preguntas básicas, tal como lo indica la figura 9.

Figura 9 Preguntas básicas del RCA.



Fuente: Pequeñas charlas de gestión de mantenimiento [en línea]. [Citado 25 Enero 2017].
Disponible en internet
<http://www.ridsso.com/documentos/muro/fbe6005572088684d7d45c9bcf0436ee.pdf>

²⁹ El Análisis de Causa Raíz, como herramienta en la mejora de la Confiabilidad [en línea]. [Citado 25 Enero 2017]. Disponible en internet
<http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/causaraizaltmann.pdf>

Equipo de trabajo para elaboración de RCA. El equipo RCA es muy importante a la hora de analizar la falla, la conformación varía dependiendo del problema que se esté analizando, el RCA está integrado por las siguientes personas³⁰:

- ✓ **Un Líder o Analista Principal:** Encargado de liderar el análisis RCA, conocedor de la metodología y especialista
- ✓ **Un Facilitador:** integrante del equipo entrenado en la aplicación de la metodología RCA y encargado de explicar detalladamente los pasos a seguir por el equipo.
- ✓ **Un Supervisor:** cada estación cuenta con supervisores de área que tienen a su cargo los equipos.
- ✓ **Técnico:** encargados de brindar información acerca del armado y funcionamiento de las diferentes partes que componen el equipo compresor en especial el elemento afectado ventiladores.

Aplicación del análisis causa raíz. En la aplicación del análisis de causa raíz consta de cuatro etapas básicas que se definirán a continuación:

Definición del problema: Esta etapa consiste en identificar cual es el problema o situación que se desea solucionar, en este punto se decide la aplicación de la herramienta ACR en busca de mejoras para el funcionamiento de los equipos o erradicar problemas complejos

Análisis del problema: Costa del análisis preliminar y el desarrollo en pleno de la herramienta y definición de los pasos para la aplicación del RCA, los cuales son:

- ✓ Recolectar datos de la falla
- ✓ Ordenar el análisis (equipo multidisciplinario)

³⁰ Aplicación de la metodología análisis causa raíz (RCA), para la eliminación de un mal actor en equipos críticos de la SOM – Ecopetrol s.a. [en línea]. [Citado 25 Enero 2017]. Disponible en internet <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/5972/2/138036.pdf>

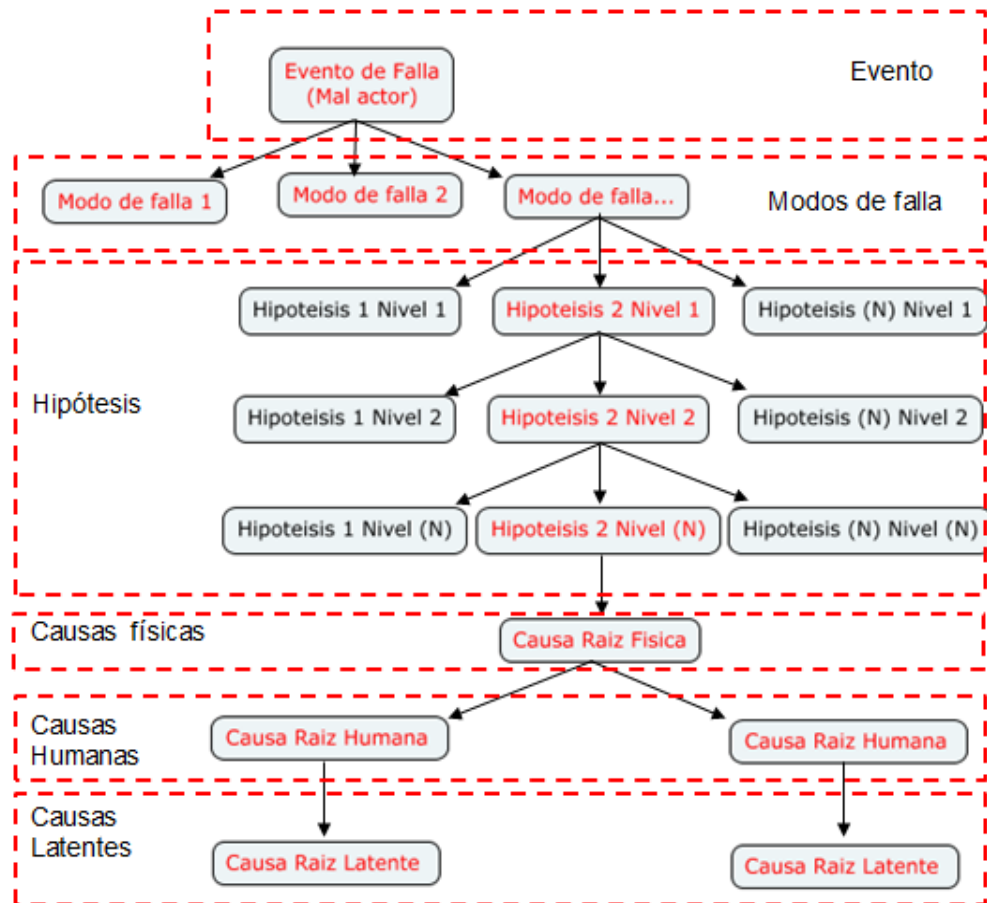
- ✓ Analizar los datos (El equipo toma cada pieza del rompecabeza y la pone en su lugar)

Identificar soluciones efectivas: Esta etapa está ligada a los hallazgos y conclusiones obtenidas a lo largo de la aplicación del análisis causa raíz al problema estudiado, donde ya localizadas las causas de fondo se identifican las correcciones que se deberían realizar para asegurar la no ocurrencia del fallo.

Implementar soluciones: Cuando se realizan las correcciones propuestas a eliminar la falla, basadas en el plan de seguimiento propuesto a las recomendaciones emitidas en el informe RCA.

Pasos del Árbol Lógico de Fallas. En la elaboración del árbol lógico de falla se debe efectuar mediante un proceso ordenado, donde las diferentes etapas que lo componen guiaran al grupo de análisis del RCA a encontrar la causa raíz que está originando el problema, la estructura para el análisis de los elementos encontrados en cada una de las etapas genera un análisis combinatorio o ramificado llamado árbol lógico de falla cuya estructura conceptual como lo indica la figura 10.

Figura 10 Pasos Árbol Lógico de Fallas



Fuente: ECOPETROL S.A y CONFIPETROL S.A. Grupo RCA – Falla Repetitiva en Ventiladores

HAZOP “HAZARD AND OPERABILITY”. La técnica del HAZOP fue desarrollada en el Reino Unido en la década del 60, por la compañía Imperial Chemical Industries en el estudio de procesos químicos. Las demás metodologías de análisis de riesgos han surgido a partir de ésta. El HAZOP es el método más completo y riguroso por lo que es generalmente la técnica preferida por las empresas. El análisis de HAZOP se basa en identificar cuatro elementos clave³¹:

- ✓ La fuente o **causa** del riesgo.

³¹ Freedman, Pablo. HAZOP como metodología de análisis de riesgo. Argentina, 2003. p. 61.

- ✓ 2 La **consecuencia**, impacto o efecto resultante de la exposición a este riesgo.
- ✓ Las **salvaguardas** existentes o controles, destinados a prevenir la ocurrencia de la causa o mitigar las consecuencias asociadas.
- ✓ Las **recomendaciones** o acciones que pueden ser tomadas si se considera que las salvaguardas o controles son inadecuados o directamente no existen.

El HAZOP es una técnica de identificación de riesgos inductiva basada en la premisa de que los riesgos, los accidentes o los problemas de operabilidad, se producen como consecuencia de una desviación de las variables de proceso con respecto a los parámetros normales de operación en un sistema dado y en una etapa determinada. Por tanto, ya se aplique en la etapa de diseño, como en la etapa de operación, la sistemática consiste en evaluar, en todas las líneas y en todos los sistemas las consecuencias de posibles desviaciones en todas las unidades de proceso, tanto si es continuo como discontinuo. La técnica consiste en analizar sistemáticamente las causas y las consecuencias de unas desviaciones de las variables de proceso, planteadas a través de unas "palabras guía"³².

5.2. CONSULTA CON PERSONAL OPERATIVO, MANTENIMIENTO E INGENIERÍA, PARA SELECCIONAR LA METODOLOGÍA DE MANTENIMIENTO A UTILIZAR.

Para determinar la mejor alternativa de las metodologías de mantenimiento, se desarrolló una reunión (ver figura 11) con el siguiente grupo de expertos:

- ✓ Ing. Humberto Ballestas, director de monografía
- ✓ Ing. José Luis Moreno, Ingeniero de procesos.

³² Hazop [en línea]. [Citado 26 Enero 2017]. Disponible en internet https://www.unizar.es/guiar/1/Accident/An_riesgo/HAZOP.htm

- ✓ Ing. Elkin David Becerra, Coordinación de integridad de equipo estático CRAKING I.
- ✓ Estudiantes de especialización en gerencia de mantenimiento, David Caicedo Guerrero y Edward Alexis Uribe.

Figura 11 Reunión de para seleccionar metodología de mantenimiento.



Para seleccionar la metodología de mantenimiento a utilizar se desarrolló una matriz de selección utilizando los siguientes pasos.

Paso 1: Se tiene como objetivo seleccionar una metodología de mantenimiento para los hornos H-4100 A/B/C y las metodologías a comparar son RCM, RBI, RCA.

Paso 2: Los criterios para evaluar cada metodología son, Seguridad (Personas), Medio Ambiente, Costo de operación y mantenimiento COM.

Paso 3: La tabla 4 compara los diferentes criterios de la matriz, y la ecuación 1 presenta la forma como se calcula el factor de ponderación.

Ecuación 1 Factor de ponderación.

$$Factor_ponderacion = \frac{Suma}{Total} \quad (1)$$

Fuente: Matrices de selección [en línea] [citado 30 Enero 2017]. Disponible en internet www.idea.edu.pe/herramientas/6taherramientadecalidadmatrizdeseleccion.doc

Tabla 4 Criterios de selección.

	Seguridad	Ambiente	COM	Suma	Factor de ponderación
Seguridad		1	10	11	0,64
Ambiente	1		5	6	0,35
COM	0,10	0,20		0,3	0,02
	Total			17,3	

De la tabla anterior y la figura 12 es claro que el criterio de mayor importancia para determinar la metodología de mantenimiento es la SEGURIDAD (Personas).

Figura 12 Factor de ponderación



Paso 4: Las tablas 5, 6, 7 y la figura 13 presentan las comparaciones de las diferentes opciones y la ecuación 2 determina como se calcula el peso de la opción.

Ecuación 2 Peso de la opción.

$$Peso_opcion = \frac{Suma}{Total} \quad (2)$$

Fuente: Matrices de selección [en línea] [citado 30 Enero 2017]. Disponible en internet www.idea.edu.pe/herramientas/6taherramientadecalidadmatrizdeseleccion.doc

Tabla 5 Seguridad vs metodología de mantenimiento.

Seguridad	RCA	RBI	RCM	Suma	Peso de la opción
RCA		5	10	15	0,59
RBI	5		5	10	0,40
RCM	0,10	0,20		0,3	0,01
	Total			25,3	

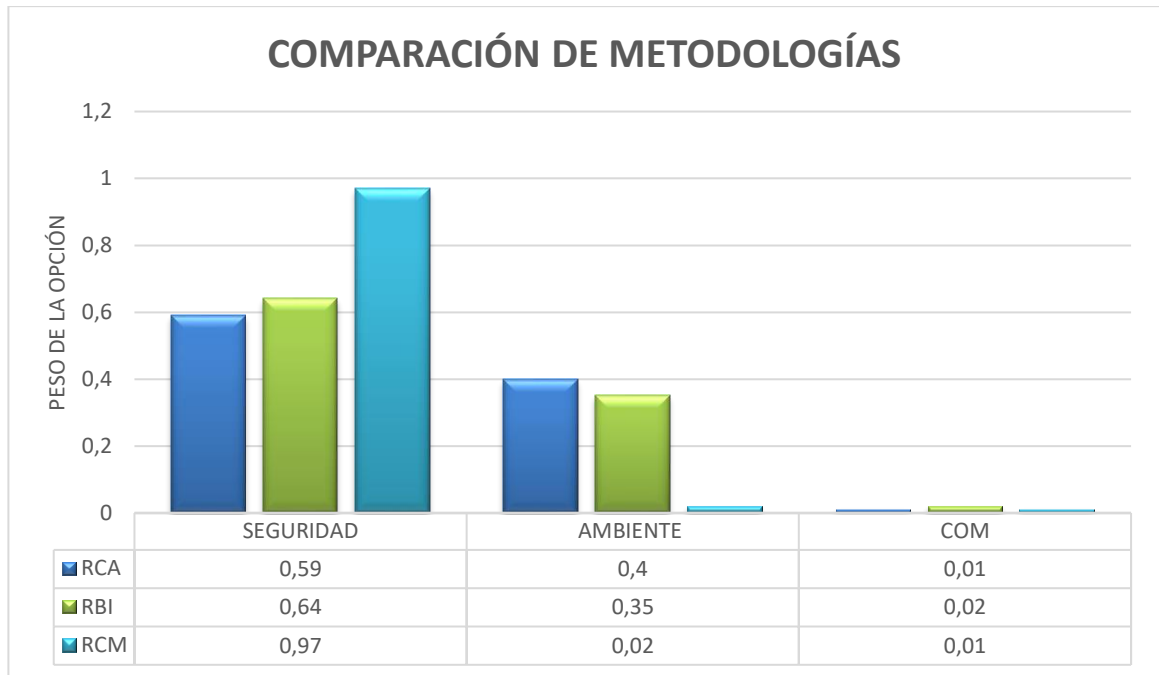
Tabla 6 Ambiente vs metodología de mantenimiento.

Ambiente	RCA	RBI	RCM	Suma	Peso de la opción
RCA		1	10	11	0,64
RBI	1		5	6	0,35
RCM	0,10	0,2		0,3	0,02
	Total			17,3	

Tabla 7 Costos de operación vs metodología de mantenimiento.

COM	RCA	RBI	RCM	Suma	Peso de la opción
RCA		10	10	20	0,97
RBI	0,20		0,20	0,40	0,02
RCM	0,10	0,10		0,20	0,01
	Total			20,6	

Figura 13 Comparación de metodologías

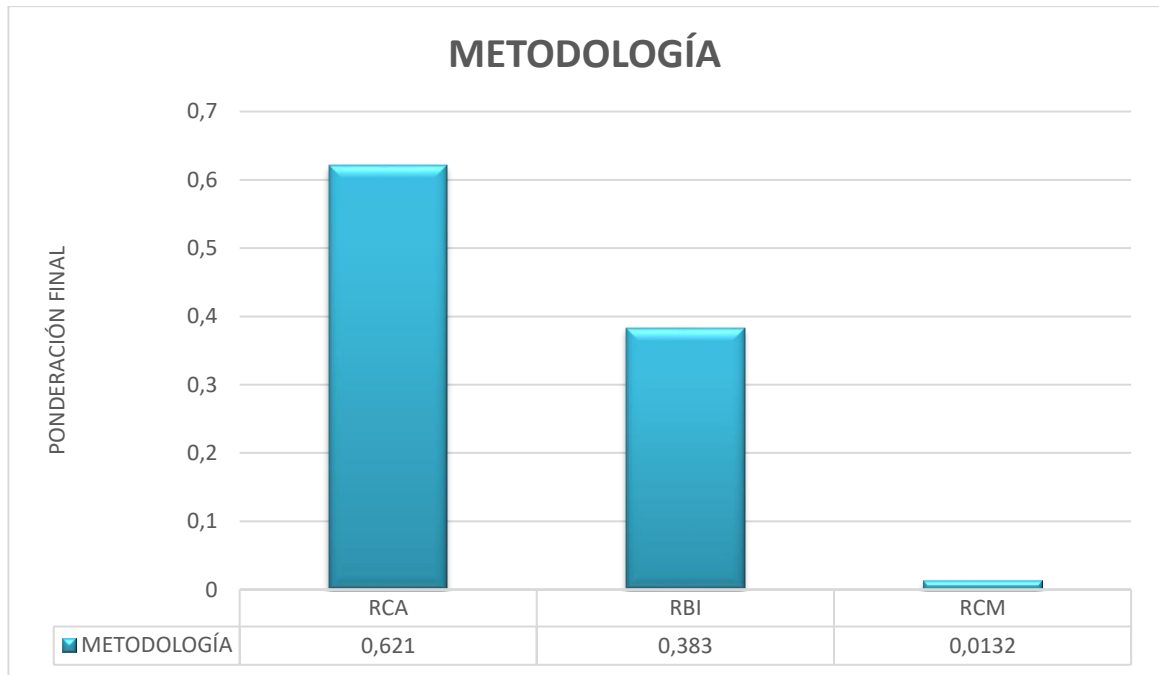


Paso 5: La matriz final de selección de la tabla 8 y la figura 14, presenta como se determinó finalmente la mejor alternativa dentro de las metodologías de mantenimiento para aplicar a los hornos H-4100 A/B/C, dando como resultado que el RCA es la mejor alternativa.

Tabla 8 Matriz final de selección de metodología de mantenimiento.

Metodología	Seguridad			Ambiente			Costos operación			Puntaje final
	FP	PO	Valor	FP	PO	Valor	FP	PO	Valor	
RCA	0,64	0,59	0,378	0,35	0,64	0,224	0,02	0,97	0,0194	0,621
RBI	0,64	0,40	0,256	0,35	0,35	0,123	0,02	0,02	0,0004	0,383
RCM	0,64	0,01	0,006	0,35	0,02	0,007	0,02	0,01	0,0002	0,0132

Figura 14 Selección de metodología



6. PROCEDIMIENTO PARA ELIMINACIÓN DE DEFECTOS E IDENTIFICACIÓN DE ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO Y CORRECTIVO.

6.1. PARTICIPANTES.

El equipo de trabajo se encuentra conformado un grupo interdisciplinario, como lo indica la tabla 9.

Tabla 9 Participantes RCA.

Nombre	Función
Humberto Ballestas	Director de monografía
José Luis Moreno	Ingeniero de procesos.
Elkin David Becerra	Coordinación de integridad de equipo estático CRAKING I
David Caicedo Guerrero	Estudiantes de especialización en gerencia de mantenimiento UIS
Edward Alexis Uribe	Estudiantes de especialización en gerencia de mantenimiento UIS

6.2. ANÁLISIS CAUSA RAÍZ H-4100 A/B/C.

La investigación fue estructurada de acuerdo con el módulo de eliminación de defectos de Shell Global Solutions - Defect Elimination Module (DEM), el cual consta de 4 fases subdivididas en 11 pasos, como lo indica la tabla 10.

Tabla 10 Modulo de eliminación de defectos.

FASE	Pasos	Entregable
I. Captura de Incidente	1. Reporte Incidente	Reporte de Incidente
	2. Valoración del Incidente	Nivel de Investigación.
II. Análisis del Problema	3. Identificación del problema	Enunciado del Problema
	4. Definición del problema	Lista de Hechos
III. Causal Raíz	5. Análisis de causas posibles	Posibles Causas
	6. Validación de Datos	Causas Probables
	7. Verificación de causas	Causas Raíces
IV. Desarrollo de la solución	8. Criterios	Deberes y Deseos
	9. Soluciones Alternativas.	Soluciones conceptuales.
	10. Identificación de la decisión.	Enunciado de la Decisión.
	11. Análisis de la decisión.	Solución mejor Balanceada.

Fuente: Análisis causa raíz eliminación de malos actores GCB

6.3. FASE I, CAPTURA DEL INCIDENTE O INCIDENTES.

Registro de incidentes. La tabla 11 presenta diversas fallas presentadas a lo largo de los años en los hornos H-4100 A/B/C, las cuales se centran en falla de instrumentos y metalmecánica.

Tabla 11 Registro de incidentes.

Horno	Descripción de incidente.
A	<ul style="list-style-type: none">• Escape en línea de vapor anticoque.• Se saca de servicio para reparar o calibrar los quemadores.• El PIC-41004 no controla• Rotura línea balanceo de P-4123B.• Escape en E-4100A.
B	<ul style="list-style-type: none">• Falla en manguera de quemadores.• Escapes del sistema de vapor producto recalentado.• Falla en refractario y válvulas de drenaje.• Falla serpentín vapor precalentamiento.• Escape línea venteo E-4100B.• Falla en diferentes termocuplas.• falla en la NP-4123B
C	<ul style="list-style-type: none">• Taponamiento de serpentines.• Falla en termocuplas.• Falla en sensores de presión.• Escape en líneas de agua para calderas• Escape por tubos en sistema de vapor zona de convección

Valoración. A continuación se presentan los peligros y los riesgos asociados al H-4100 A/B/C, en las áreas instrumentos y metalmecánica tal como lo indica la tabla 12.

Tabla 12 Peligros y riesgos H-4100A/B/C, área metalmecánica e instrumentos.

Peligro	Riesgo
Presencia esporádica de H ₂ S, VOCs y CO en el entorno	Exposición a contacto o inhalación. (intoxicación)
Presencia de químicos, DMDS o soda caustica en el área	quemaduras por contacto o inhalación
Exposición a equipos energizados o cables eléctricos	Contacto directo con la electricidad; exposición a arco eléctrico
Ascenso y descenso de escaleras verticales (mayor a 3m) y/o escaleras peldaños (inclinadas)	Caída a nivel o diferente nivel
trabajos sobre tarimas y andamios	Caída de alturas
partes en movimiento o rotativas	atrapamiento-contacto con elemento móvil
Líneas calientes, escapes de vapor o condensado	Contacto (quemadura)
presencia súbita no controlada de vapores y gases de hidrocarburos	Explosión e incendio
Áreas con alto nivel de ruido	Stress auditivo
Áreas con altas temperaturas en el entorno	Stress térmico
Materiales solidos combustibles (madera, plástico, papel, cartón y demás).	Incendio
Desplazamiento por espacios estrechos	Cortaduras, golpes
Espacios confinados	Atrapamientos
Ingreso a espacios confinados con atmosfera no peligrosas	inhalación de gases o deficiencia de oxigeno

Fuente: Formato ECP-DHS-F-150 de análisis de riesgos, departamento CRAKING I Etileno II, Refinería Barrancabermeja.

A continuación se presenta el análisis realizado en la matriz RAM para determinar la probabilidad y las consecuencias de las actividades mencionadas anteriormente, y se obtiene de forma general la valoración RAM para las actividades de metalmecánica e instrumentos. La figura 15 presenta el análisis realizado en la matriz RAM para las actividades de metalmecánica e instrumentos de la cual se obtiene una valoración:

- ✓ **E3: H**, Para las actividades de metalmecánica.
- ✓ **C3: M**, Para las actividades de instrumentos.

Figura 15 Valoración RAM para actividades metalmecánica e instrumentos.

Consecuencias					Probabilidad					
Personas	Económica	Ambiental	Clientes	Imagen de La Empresa		A	B	C	D	E
						No Ha Ocurrido en La Industria	Ha Ocurrido en La Industria	Ha Ocurrido en La Empresa	Sucede varias veces al año en La Empresa	Sucepe varias veces al año en el área
Una o más fatalidades	Grave > \$10M	Masivo	Veto como proveedor	Internacional	5	M	M	H	H	VH
Incapacidad permanente (parcial o total)	Grave \$1M a \$10M	Mayor	Pérdida de participación en el mercado	Nacional	4	L	M	M	H	H
Incapacidad temporal (> 1 día)	Severo \$100K a \$1M	Intermedio	Pérdida de desabastecimiento	Regional	3	N	L	M	M	H
Lesión menor (sin incapacidad)	Importante \$10K a \$100K	Menor	Quejas y/o reclamos	Local	2	N	N	L	L	M
Lesión leve (primeros auxilios)	Marginal < \$10K	Leve	Incumplir especificaciones	Internacional	1	N	N	N	L	L
Ninguna lesión	Ninguna	Ningún efecto	Ningún impacto	Ningún impacto	0	N	N	N	N	N

Instrumentos (highlighted in purple)

Metalmecánica (highlighted in red)

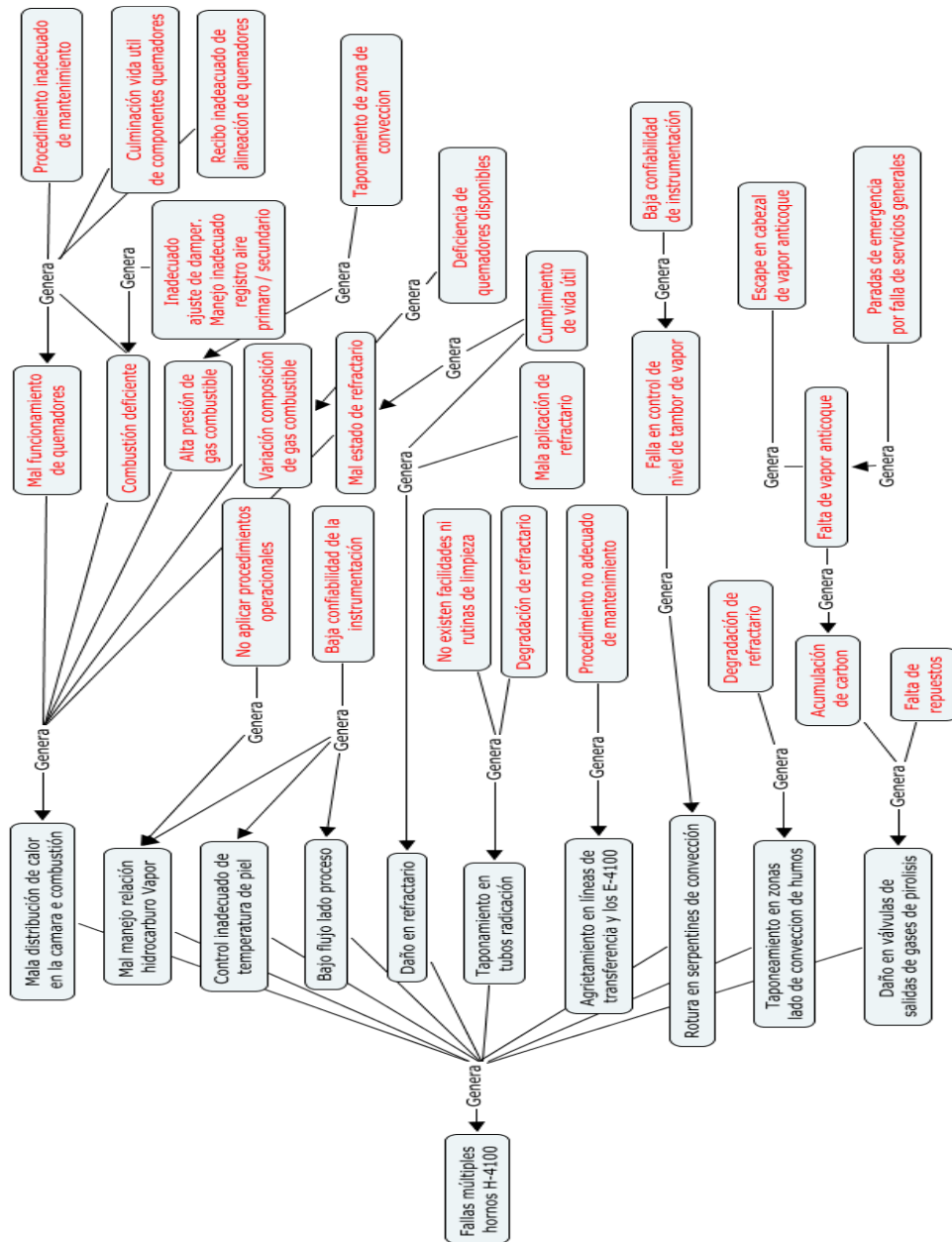
6.4. FASE II, ANÁLISIS DEL PROBLEMA.

Los hornos H-4100A/B/C han presentado múltiples fallas en tubos, refractarios, quemadores, válvulas de control, termocuplas, entre otros, generando baja confiabilidad del sistema.

6.5. FASE III, CAUSA RAÍZ.

El diagrama causa efecto (Figura 16), analizan todas las posibles causas en el área de instrumentación y metalmecánica.

Figura 16 Diagrama causa efecto



Validación de datos. Para realizar la validación de los datos, con el grupo interdisciplinario Se eliminan las causas que no estén soportadas en los hechos listados, y se asignaron tareas para verificar con hechos las que están en duda

Verificación de causas. Una vez completado el análisis causa-efecto (figura 10), se seleccionan las causas probables (ubicadas al lado derecho del bloque llamado fallas múltiples de los H-4100 A/B/C de la figura 10) en la tabla 13 se desarrolló un ejercicio que permite evaluar la correlación con el problema que se quiere solucionar.

Tabla 13 Verificación de causas

Cause	Status	Facts to support cause	Facts to Eliminate Cause	More Data Required	Match with ALL Facts	Known Root Cause elsewhere in Past	Initiating Cause Will Repeat Problem	Reversing Cause Will Eliminate Problem"
CAUSA 1: Mala distribución de calor en la cámara de combustión	Root	True	False	False	True	True	True	False
CAUSA 2: Mal manejo relación hidrocarburo Vapor	Root	True	False	False	True	True	True	False
CAUSA 3: Control inadecuado de temperatura de piel	Root	True	False	False	True	True	True	False
CAUSA 4: Bajo flujo lado proceso	Root	True	False	False	True	True	True	False
CAUSA 5: Daño en refractario	Root	True	False	False	True	True	True	False
CAUSA 6: Taponamiento en tubos radicación	Root	True	False	False	True	True	True	False

CAUSA 7: Agrietamiento en líneas de transferencia y los E-4100	Root	True	False	False	True	True	True	False
CAUSA 8: Rotura en serpentines de convección	Root	True	False	False	True	True	True	False
CAUSA 9: Taponamiento en zonas lado de convección de humos	Root	True	False	False	True	True	True	False
CAUSA 10: Daño en válvulas de salidas de gases de pirolisis	Root	True	False	False	True	True	True	False

6.6. FASE IV, DESARROLLO DE LA SOLUCIÓN.

Criterio. Los fines del desarrollo de la solución son; lograr, evitar y mantener, la tabla 14 presenta la acción y la descripción de la misma.

Tabla 14 Fines del desarrollo de solución.

Tipo	Descripción
Debe lograr	La continua operación de los hornos H-4100A/B/C de la planta Etileno II
Debe lograr	Operación confiable y segura de los hornos H-4100A/B/C
Debe evitar	La generación de las cusas presentadas en la figura 10.
Quiere lograr	Perdidas económicas por paradas de la planta Etileno II.

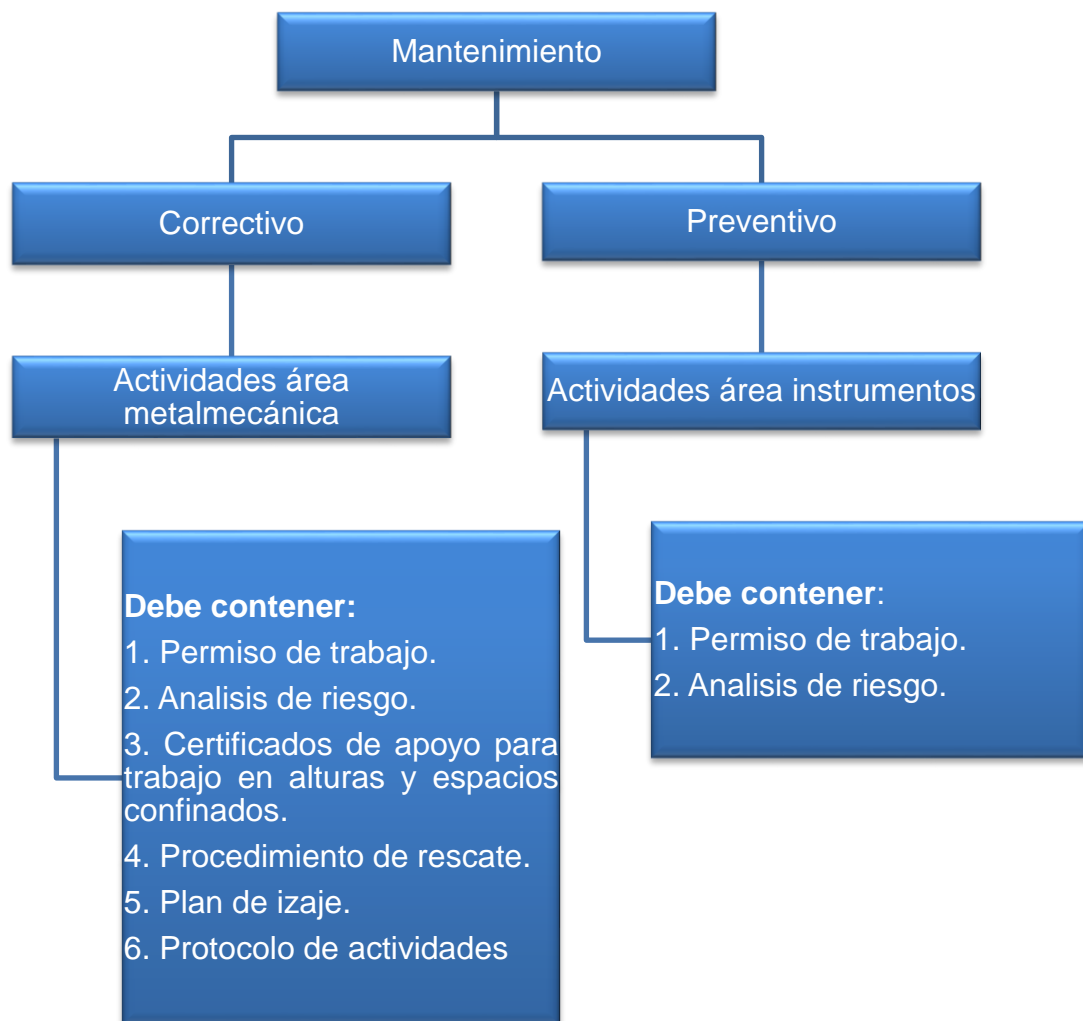
Soluciones Alternativas e Identificación de la Decisión. Las causas raíces encontradas en la fase III se agruparon de acuerdo a la interacción entre ellas y se plantearon las soluciones en dos grupos (Instrumentos y metalmecánica)

Mejor solución. Diseñar los paquetes de mantenimiento para realizar acciones preventivas y correctivas en los hornos H-4100A/B/C de la planta de Etileno II, como lo indica el capítulo 7.

7. DISEÑO DE PAQUETES DE MANTENIMIENTO DESPUÉS DE REALIZAR ANÁLISIS CAUSA RAÍZ.

La figura 17 presenta como se encuentran divididas las actividades de mantenimiento preventivo y correctivo que buscan dar solución a las fallas encontradas en el RCA, además presenta cual debe ser el contenido inicial de cada uno de los paquetes de mantenimiento con el fin de garantizar que las actividades allí desarrolladas se ejecuten de forma segura.

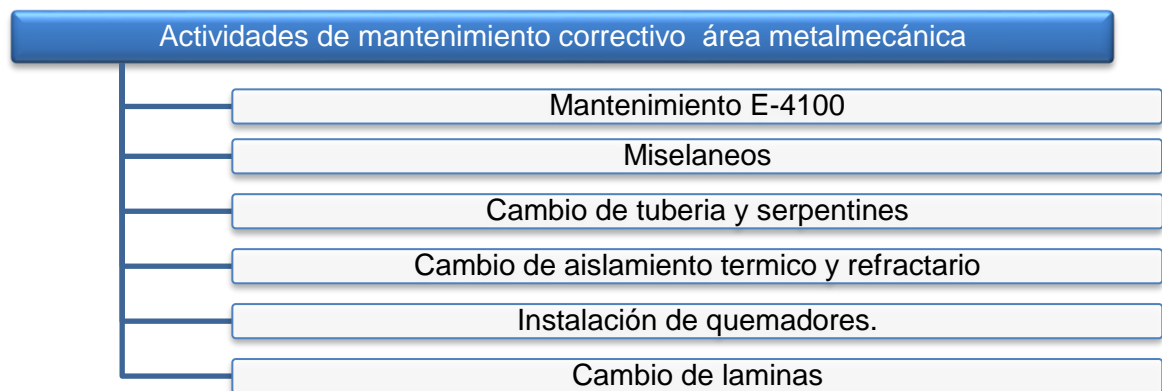
Figura 17 Mantenimiento preventivo y correctivo.



7.1. IDENTIFICACIÓN DE ACTIVIDADES CORRECTIVAS PARA EL H-4100A/B/C.

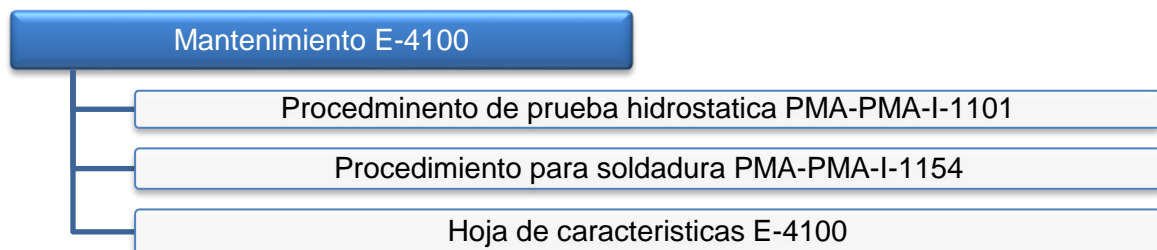
La figura 18 presenta las actividades que se deben ejecutar en los hornos H-4100A/B/C como parte del mantenimiento correctivo de los mismos.

Figura 18 Mantenimiento correctivo, área metalmecánica



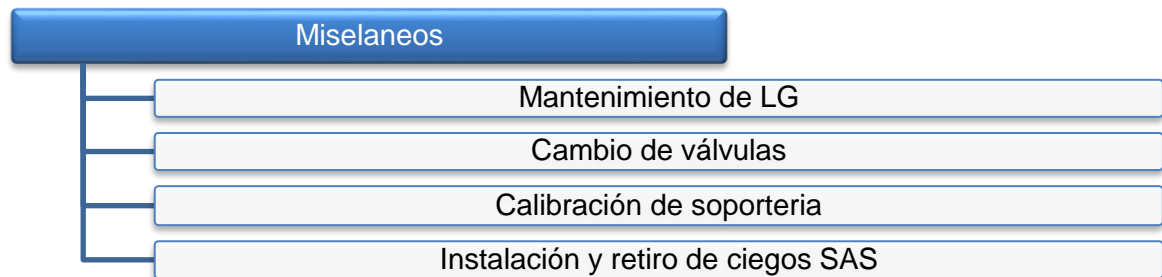
Contenido del paquete de mantenimiento correctivo del E-4100. Dentro del paquete de mantenimiento correctivo del E-4100, se deben incluir los procedimientos que se presentan en la figura 19, teniendo en cuenta la inclusión de la hoja de características del E-4100.

Figura 19 Procedimientos del paquete de mantenimiento correctivo del E-4100.



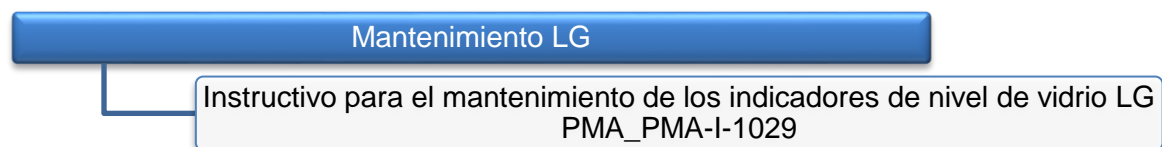
Paquete de mantenimiento correctivo del LG, cambio de válvulas y retiro e instalación de ciegos. La figura 20, describe los elementos que conforman la actividad llamada “Misceláneos”, que se dividen en, mantenimiento correctivo del LG, cambio de válvulas e instalación y retiro de ciegos.

Figura 20 Descripción de actividades misceláneas



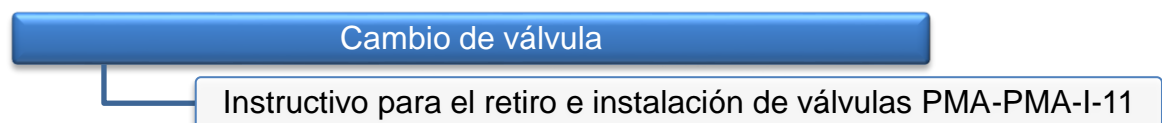
Las actividades aquí mencionadas deben incluir una serie de instructivos que garanticen la correcta ejecución de las mismas. Dentro del paquete de mantenimiento correctivo del LG, se debe incluir el instructivo que se presenta en la figura 21.

Figura 21 Procedimiento del paquete de mantenimiento del LG.



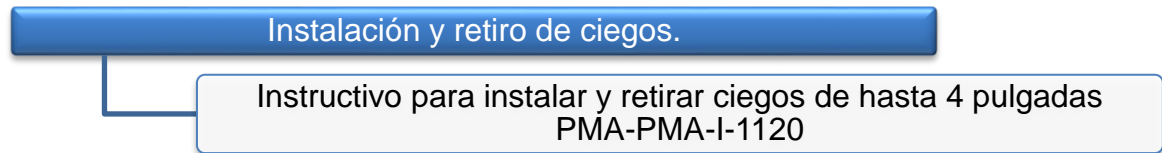
La figura 22, presenta el instructivo que debe contener el paquete de mantenimiento para la ejecución de la actividad llamada “Cambio de válvulas”.

Figura 22 Componentes del paquete de mantenimiento correctivo para la instalación y retiro de válvulas.



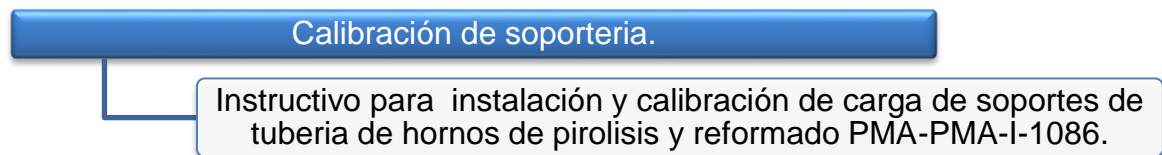
La figura 23, presenta el instructivo que debe contener el paquete de mantenimiento para la ejecución de la actividad llamada “Instalación y retiro de ciegos”.

Figura 23 Componentes del paquete de mantenimiento correctivo para la instalación y retiro de ciegos



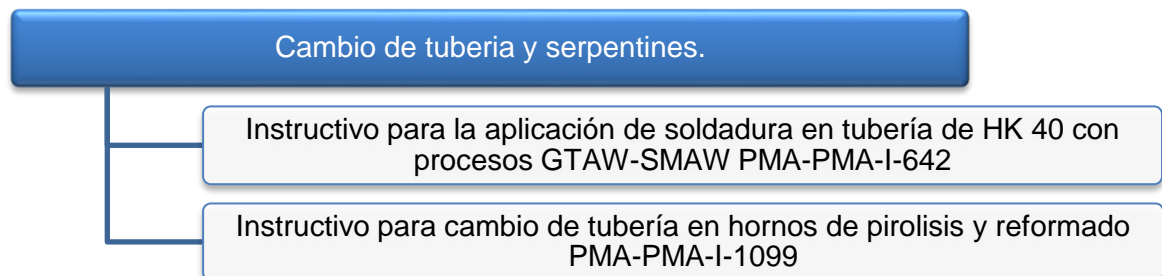
La figura 24 presenta el instructivo que debe contener el paquete de mantenimiento para la “calibración de soportería”.

Figura 24 Componentes del paquete de mantenimiento para la calibración de soportería.



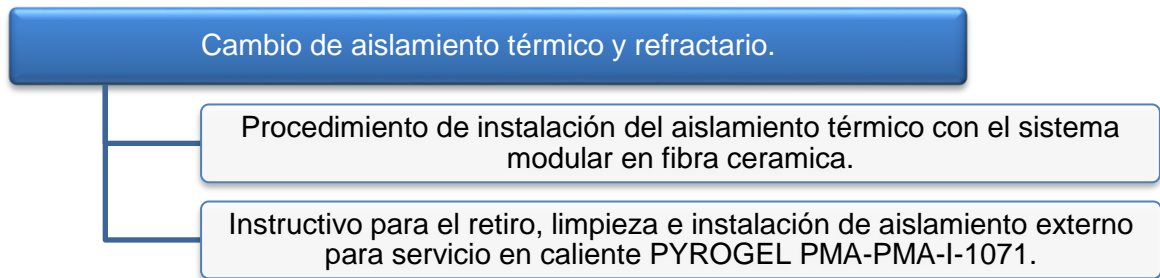
Contenido del paquete de mantenimiento correctivo para cambio de tubería y serpentines. La figura 25, presenta los instructivos que debe contener el paquete de mantenimiento para la ejecución de la actividad llamada “Cambio de tubería y serpentines”.

Figura 25 Componentes del paquete de mantenimiento correctivo para realizar cambio de tubería y serpentines.



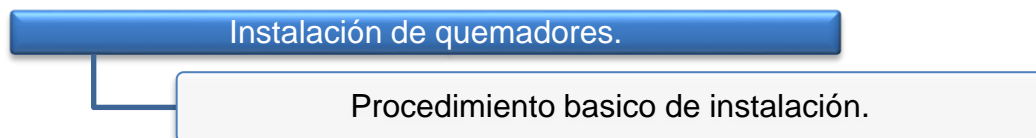
Contenido del paquete de mantenimiento correctivo para cambio de aislamiento térmico y refractario. La figura 26, describe los elementos que conforman la actividad llamada “Cambio de aislamiento térmico y refractario”.

Figura 26 Componentes del paquete de mantenimiento correctivo para realizar cambio de aislamiento térmico y refractario.



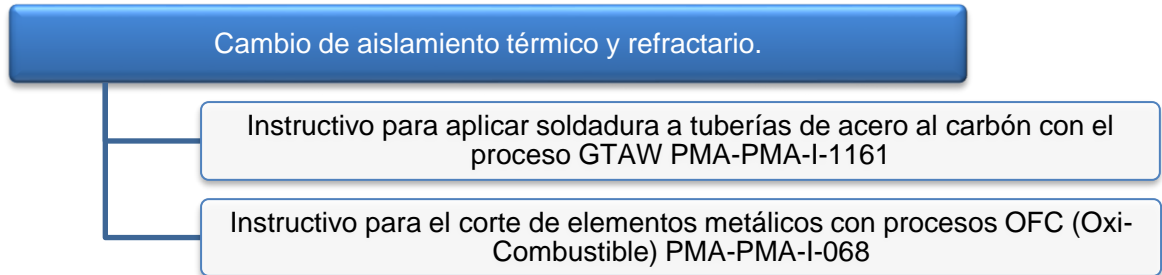
Contenido del paquete de mantenimiento correctivo para instalación de quemadores. La figura 27, describe los elementos que conforman la actividad llamada “Instalación de quemadores”.

Figura 27 Componentes del paquete de mantenimiento correctivo para realizar la instalación de quemadores.



Contenido del paquete de mantenimiento correctivo para cambio de láminas. La figura 28, describe los elementos que conforman la actividad llamada “Cambio de aislamiento térmico y refractario”, que hacen parte del diseño del paquete de mantenimiento correctivo del área metalmecánica.

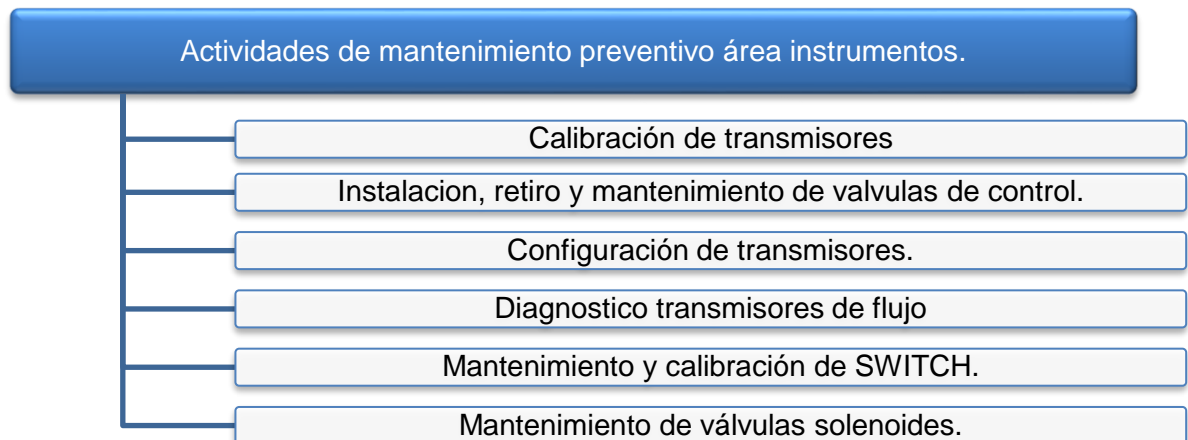
Figura 28 Componentes del paquete de mantenimiento correctivo para realizar cambio de laminas.



7.2. IDENTIFICACIÓN DE ACTIVIDADES PREVENTIVAS PARA EL H-4100A/B/C.

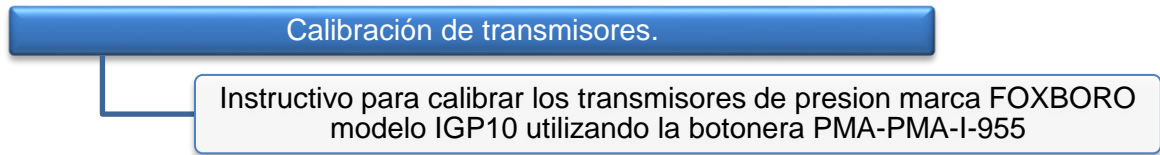
La figura 29 presenta las actividades que se deben ejecutar en los hornos H-4100A/B/C como parte del mantenimiento preventivo de los mismos.

Figura 29 Mantenimiento preventivo, área instrumentos.



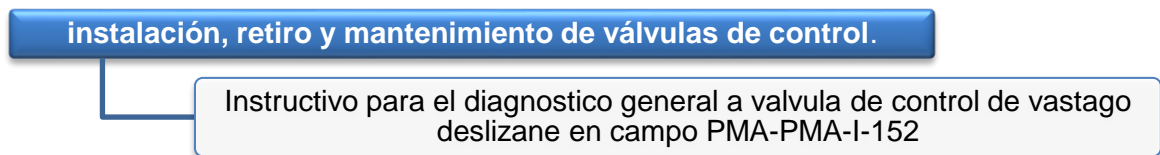
Contenido del paquete de mantenimiento preventivo para calibración de transmisores. La figura 30, describe los elementos que conforman la actividad llamada "Calibración de transmisores".

Figura 30 Componentes del paquete de mantenimiento preventivo para la calibración de transmisores.



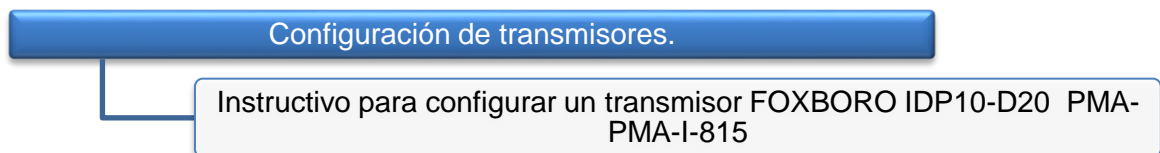
Contenido del paquete de mantenimiento preventivo para instalación, retiro y mantenimiento de válvulas de control. La figura 31, describe los elementos que conforman la actividad llamada “Instalación, retiro y mantenimiento de válvulas de control”.

Figura 31 Componentes del paquete de mantenimiento preventivo para realizar la instalación, retiro y mantenimiento de válvulas de control.



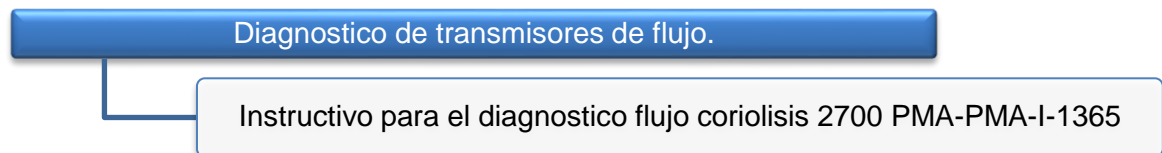
Contenido del paquete de mantenimiento para la configuración de transmisores. La figura 32, describe los elementos que conforman la actividad llamada “configuración de transmisores”.

Figura 32 Componentes del paquete de mantenimiento preventivo para realizar la configuración de transmisores.



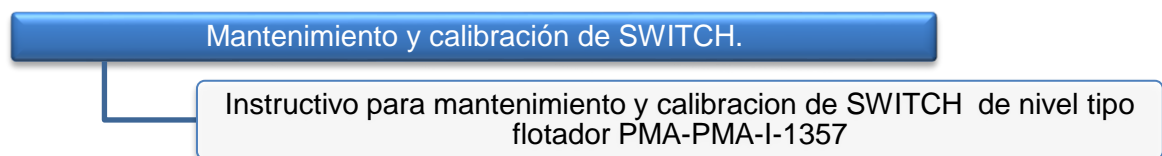
Contenido del paquete de mantenimiento para el diagnóstico de transmisores de flujo. La figura 33, describe los elementos que conforman la actividad llamada “diagnóstico de transmisores de flujo”.

Figura 33 Componentes del paquete de mantenimiento preventivo para realizar el diagnostico de transmisores de flujo.



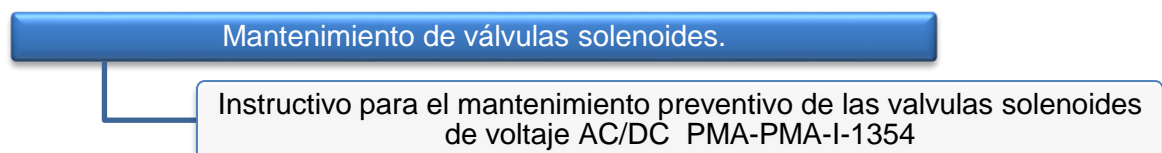
Contenido del paquete de mantenimiento para calibración de SWITCH. La figura 34, describe los elementos que conforman la actividad llamada “calibración de SWITCH”.

Figura 34 Componentes del paquete de mantenimiento preventivo para realizar la calibración de SWITCH.



Contenido del paquete de mantenimiento para válvulas solenoides. La figura 35, describe los elementos que conforman la actividad llamada “mantenimiento de válvulas solenoides”.

Figura 35 Componentes del paquete de mantenimiento preventivo para realizar el mantenimiento de válvulas solenoides.



8. ELABORACIÓN DE PAQUETES DE MANTENIMIENTO.

Para realizar la elaboración de los paquetes de mantenimiento preventivo y correctivo se desarrolló una plantilla en Excel tal como lo indica la figura 36.

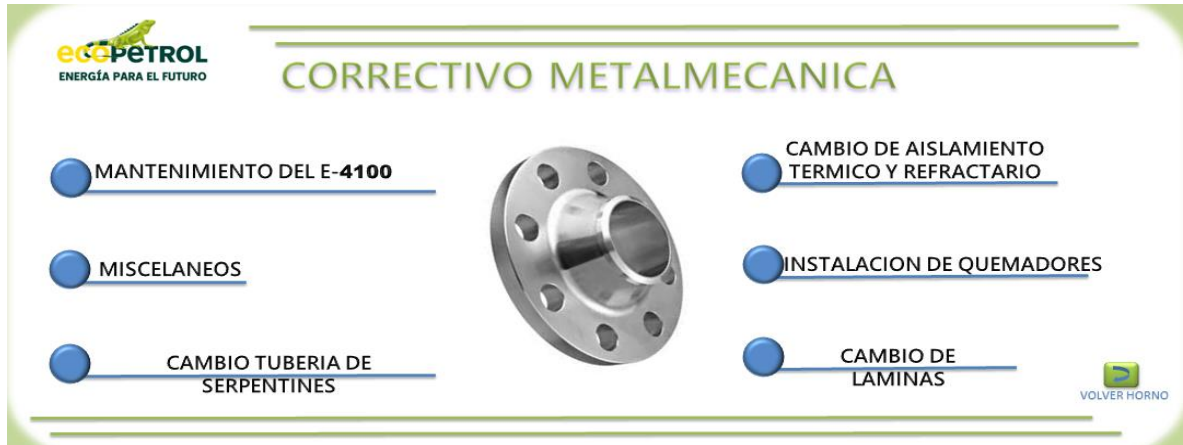
Figura 36 Diseño de plantilla en Excel de paquetes de mantenimiento preventivo y correctivo.



8.1. DESARROLLO DEL PAQUETE DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO DE LOS H-4100 A/B/C.

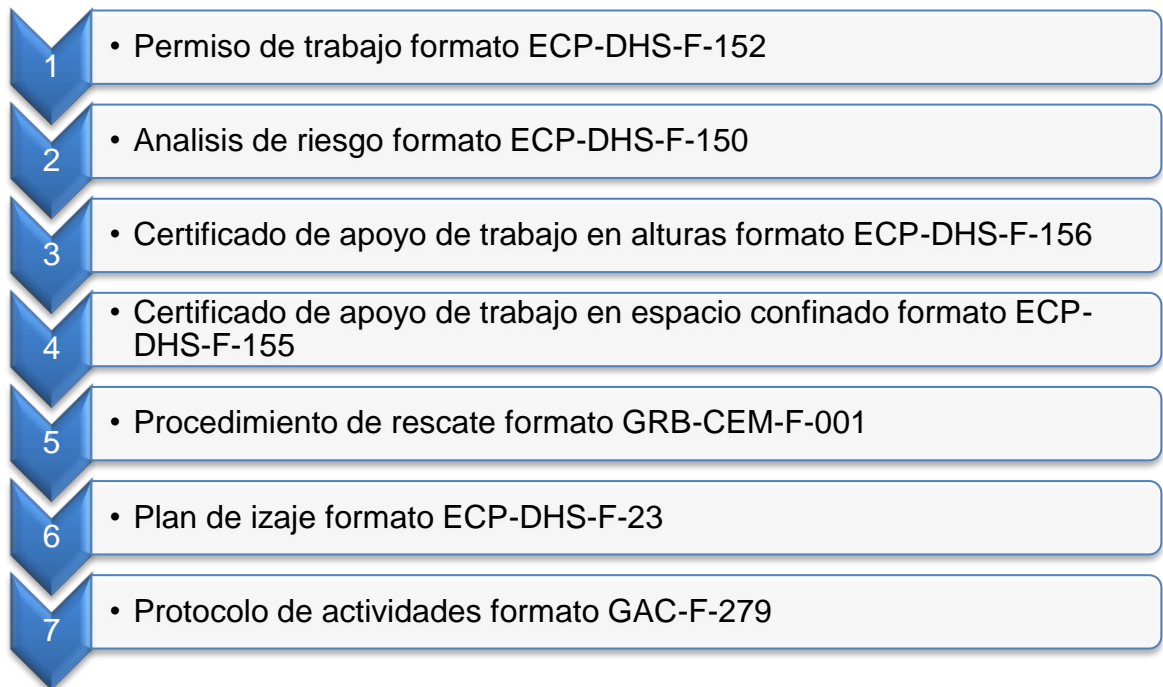
El paquete de mantenimiento correctivo del área metalmecánica, lo conforman las actividades que se mencionan en el capítulo 7, y se presentan en la plantilla desarrollada en Excel tal como lo indica la figura 37.

Figura 37 Actividades de mantenimiento correctivo presentadas en la plantilla de Excel



Todas las actividades de mantenimiento correctivo deberán incluir una serie de procedimientos los cuales ayudaran al desarrollo seguro de las mismas. La figura 38 presenta el contenido inicial de todos los paquetes de mantenimiento correctivo.

Figura 38 Contenido inicial de todos los paquetes de mantenimiento correctivo.

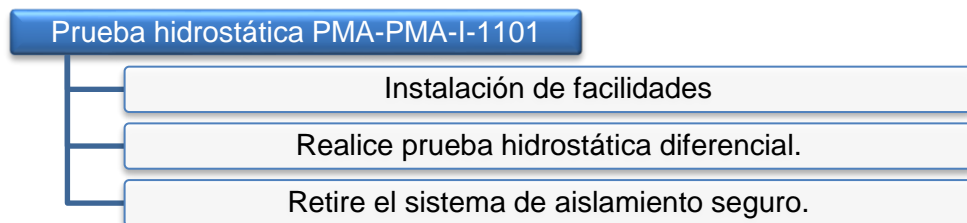


8.2. OBJETIVO DE ACTIVIDADES DEL E-4100.

Al dar clic sobre el icono llamado “Mantenimiento E-4100” se presentan inicialmente los formatos mencionados en la figura anterior, además se presentan los procedimientos para la ejecución de las actividades de mantenimiento del E-4100, los cuales se mencionan a continuación:

- ✓ **El procedimiento de prueba hidrostática E-4100:** tiene como objetivo, realizar de manera confiable, segura y estandarizada la prueba hidrostática diferencial en intercambiadores de calor, asegurando la integridad mecánica de los mismos y garantizando la confiabilidad respecto a la administración de seguridad de procesos. El procedimiento PMA-PMA-I-1101, debe incluir las actividades que se presentan en la figura 39 que garantizan que el objetivo de este procedimiento se cumpla.

Figura 39 Actividades del procedimiento de prueba hidrostática



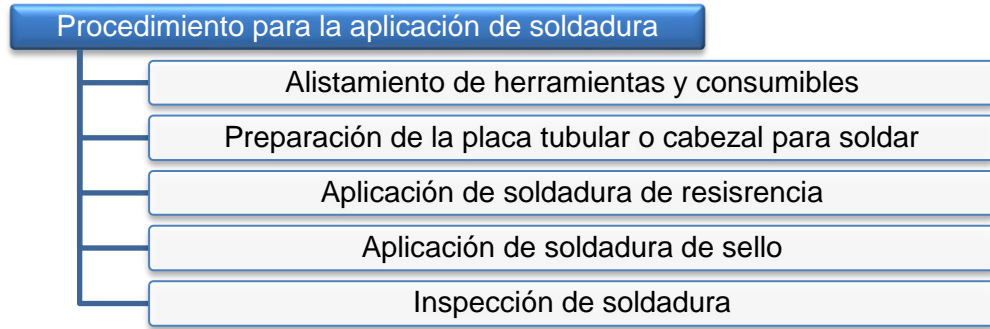
Fuente: Instructivo PMA-PMA-I-1101, Ecopetrol S.A.

- ✓ **El procedimiento de aplicación de soldadura:** tiene como objetivo, realizar de manera confiable, segura y estandarizada la soldadura de sello y resistencia en tuberías de intercambiadores de proceso con GTWA³³, asegurando la integridad mecánica de los mismos y garantizando la confiabilidad respecto a la a la administración de seguridad de procesos. El

³³ GTWA: Soldadura eléctrica con electrodo de tungsteno y gas inerte.

procedimiento PMA-PMA-I-1154, debe incluir las actividades que se presentan en la figura 40 que garantizan que el objetivo de este procedimiento se cumpla.

Figura 40 Actividades del procedimiento para la aplicación de soldadura.

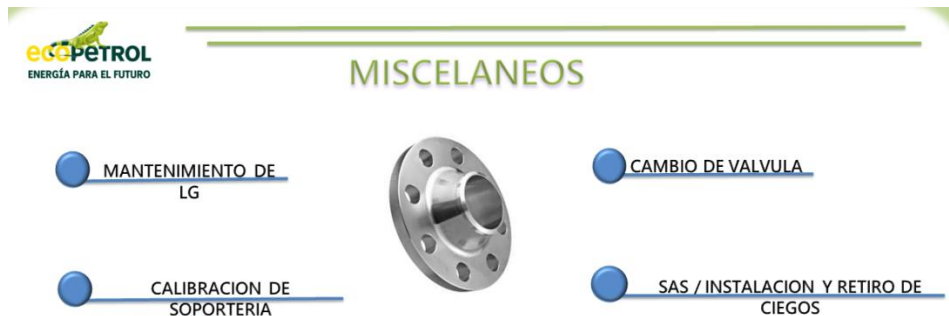


Fuente: Instructivo PMA-PMA-I-1154, Ecopetrol S.A.

8.3. OBJETIVO DE MANTENIMIENTO DE LG, CAMBIO DE VÁLVULAS E INSTALACIÓN Y RETIRO DE CIEGOS.

Al dar clic sobre el icono llamado “Misceláneos” aparecen las cuatro actividades de mantenimiento que lo componen tal como indica la figura 41.

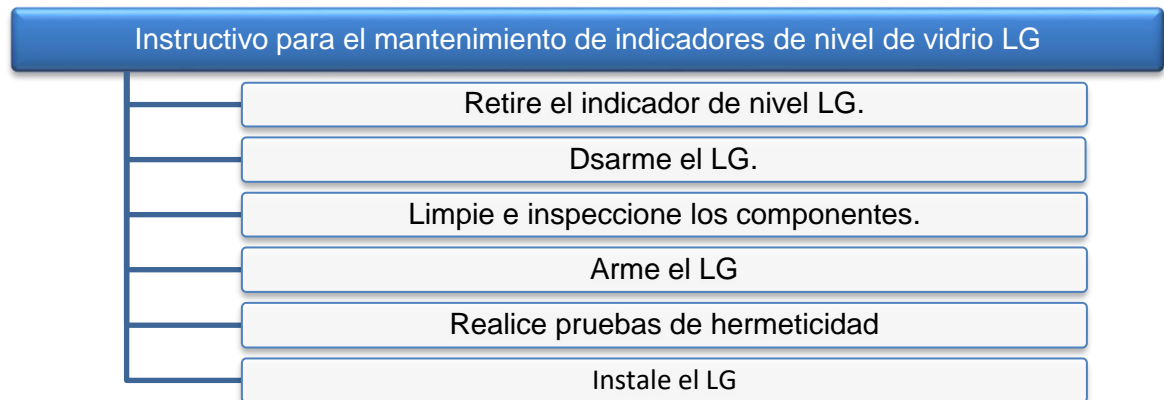
Figura 41 Misceláneos.



Objetivo de mantenimiento del LG. Instructivo para el mantenimiento de indicadores de nivel de vidrio LG: tiene como objetivo realizar de manera confiable y segura y estandarizada de los indicadores de nivel o Level Glass (LG), con el fin

de alargar la vida útil del instrumento, evitar accidentes de trabajo y reprocesos, e incrementar la confiabilidad de la operación. El instructivo PMA-PMA-I-1029, debe incluir las actividades que se presentan en la figura 42 que garantizan que el objetivo de este instructivo se cumpla

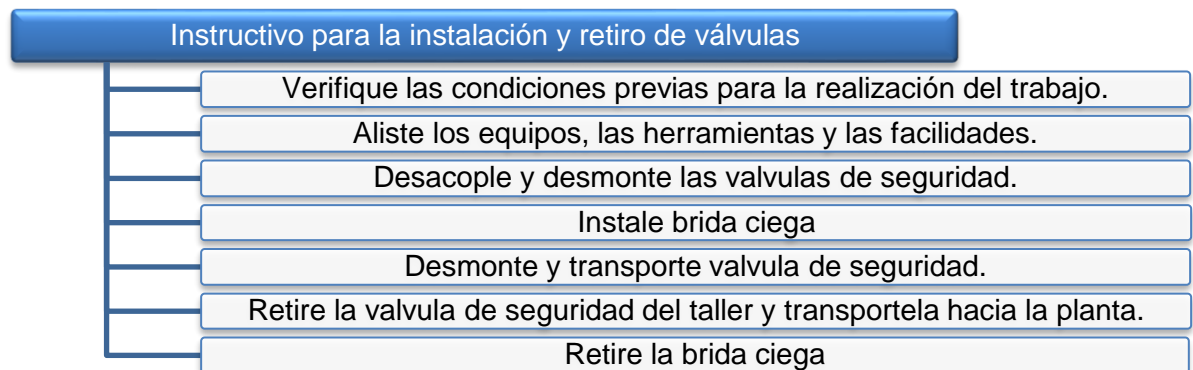
Figura 42 Actividades del mantenimiento del LG



Fuente: Instructivo PMA-PMA-I-1029, Ecopetrol S.A.

Objetivo de cambio de válvulas. El Instructivo para el retiro e instalación de válvulas: tiene como objetivo retirar de manera segura las válvulas de relevo o seguridad. La figura 43 presenta las actividades que hacen parte del presente instructivo PMA-PMA-I-11, con lo cual se garantiza que se cumpla el objetivo del mismo.

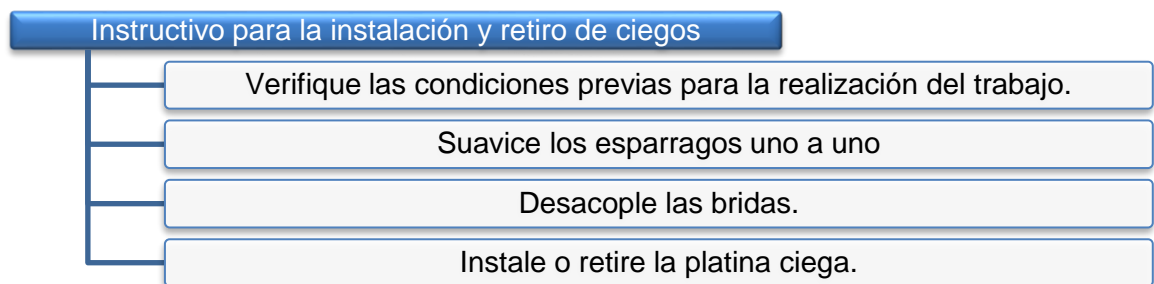
Figura 43 Actividades del instructivo para el retiro e instalación de válvulas.



Fuente: Instructivo PMA-PMA-I-11, Ecopetrol S.A.

Objetivo de la instalación y retiro de ciegos. Instructivo para el instalación y retiro de ciegos: Tiene como objetivo realizar de manera confiable, segura y estandarizada la instalación y retiro de ciegos de hasta 4 pulgadas, asegurando la integridad mecánica de los mismos y garantizando la confiabilidad respecto a la administración de seguridad de procesos. La figura 44 presenta las actividades que hacen parte del presente instructivo, con lo cual se garantiza que se cumpla el objetivo del mismo.

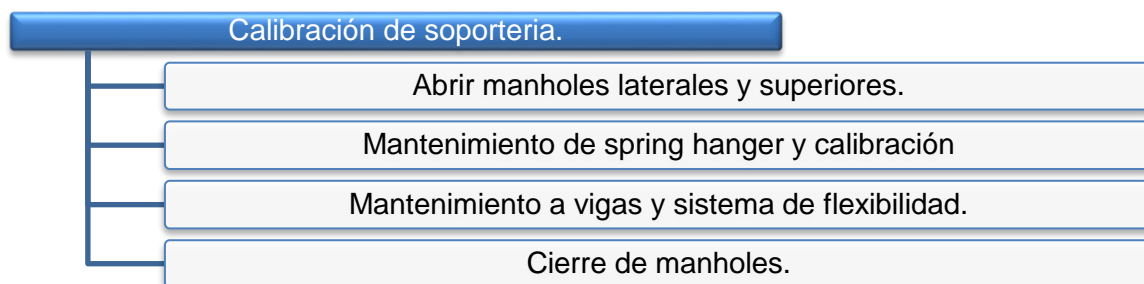
Figura 44 Actividades del instructivo para la instalación y retiro de ciegos.



Fuente: Instructivo PMA-PMA-I-1120, Ecopetrol S.A.

Objetivo de calibración de soportería. Instructivo para realizar la instalación y calibración de carga de soportes de tubería de hornos de pirolisis y reformado: tiene como objetivo realzar de manera confiable, segura y estandarizada la calibración y cambio de tornillos tensores del spring hanger de los hornos de ETILENO II, asegurando la integridad mecánica de los mismos. La figura 45 presenta las actividades que hacen parte del presente instructivo, con lo cual se garantiza que se cumpla el objetivo del mismo.

Figura 45 Actividades del instructivo para la calibración de soportería.

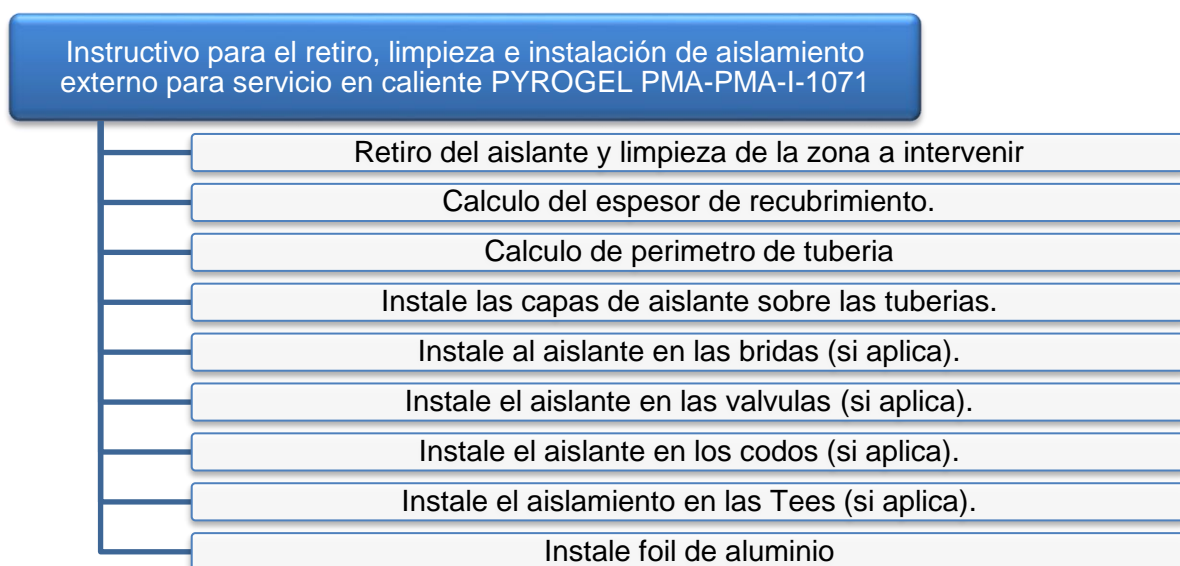


Fuente: Instructivo PMA-PMA-I-1086, Ecopetrol S.A.

Objetivo del instructivo para retiro y limpieza del aislamiento térmico.

Instructivo para el retiro, limpieza e instalación de aislamiento externo para servicio en caliente PYROGEL: tiene como objetivo establecer la forma segura y confiable para ejecutar el retiro del aislante, limpieza de la zona de intervención e instalación de aislamiento térmico PYROGEL XT, tubería y accesorios que trabajan en caliente. La figura 46 presenta las actividades que hacen parte del presente instructivo, con lo cual se garantiza que se cumpla el objetivo del mismo.

Figura 46 Actividades del Instructivo para el retiro, limpieza e instalación de aislamiento externo para servicio en caliente PYROGEL

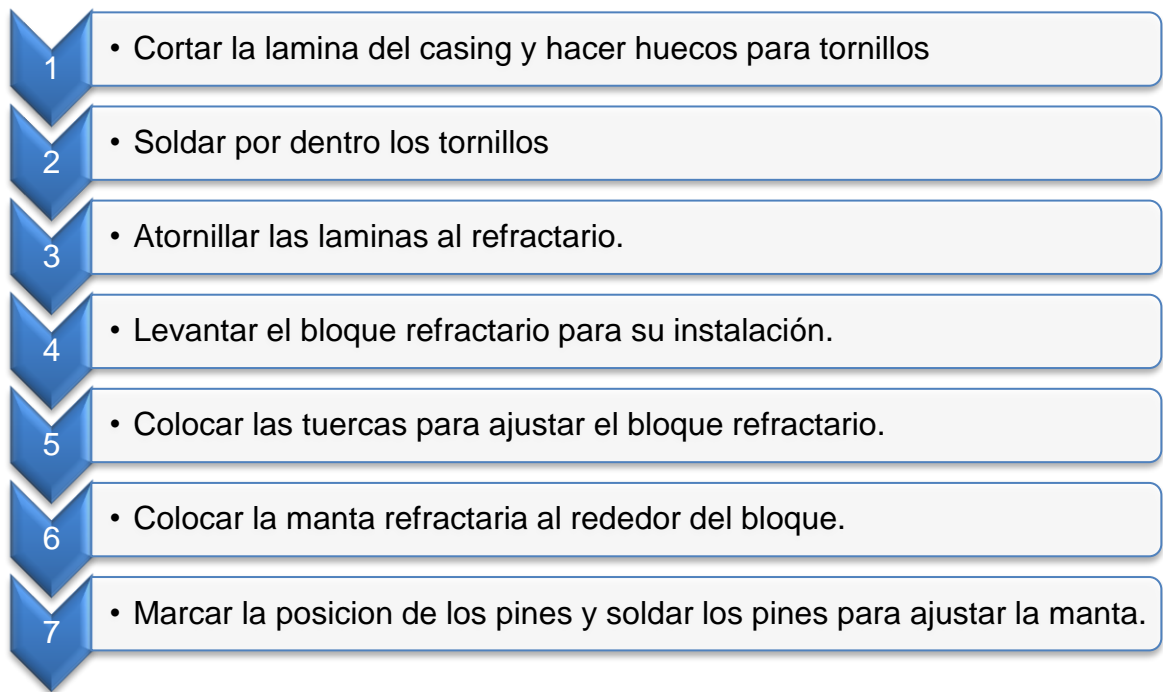


Fuente: Instructivo PMA-PMA-I-1071, Ecopetrol S.A.

Objetivo de procedimiento básico de instalación de quemadores.

Procedimiento básico para instalación de quemadores: tiene como objetivo establecer la forma segura y confiable la instalación de quemadores. La figura 47 presenta las actividades que hacen parte del presente instructivo, con lo cual se garantiza que se cumpla el objetivo del mismo.

Figura 47 Actividades del procedimiento básico para la instalación de quemadores.

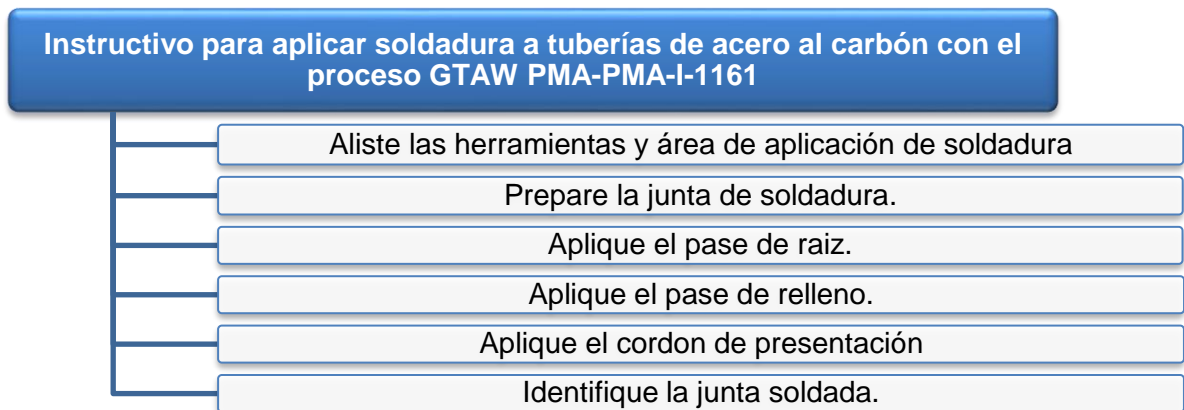


Fuente: Procedimiento básico para la instalación de quemadores, Ecopetrol S.A.

Objetivo de los instructivos para realizar el cambio de laminas. Instructivo para aplicar soldadura a tuberías de acero al carbón con el proceso GTAW PMA-PMA-I-1161: tiene como objetivo realizar de manera confiable y segura la aplicación de soldadura en tuberías de cromo-molibdeno con procesos GTAW (soldadura por arco eléctrico con electrodo de tungsteno), durante las actividades de prefabricados, mantenimiento y reparación de plantas. La figura 48 presenta las actividades que

hacen parte del presente instructivo, con lo cual se garantiza que se cumpla el objetivo del mismo.

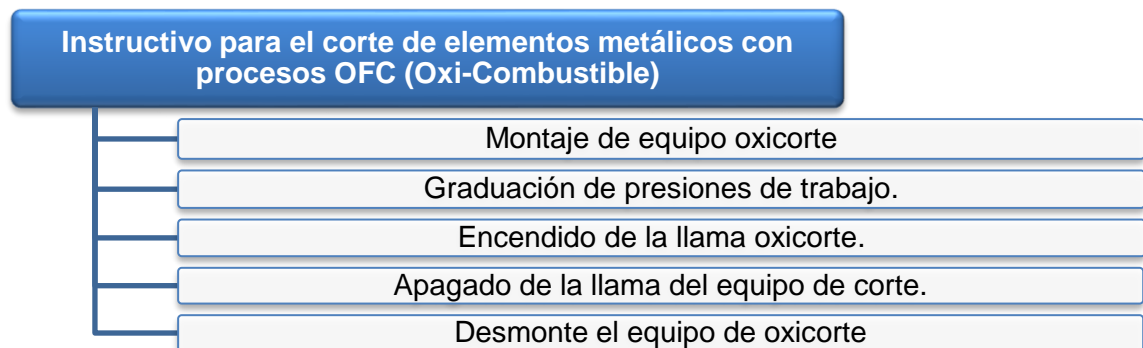
Figura 48 Actividades del Instructivo para aplicar soldadura a tuberías de acero al carbón con el proceso GTAW



Fuente: Instructivo PMA-PMA-I-1161, Ecopetrol S.A.

Instructivo para el corte de elementos metálicos con procesos OFC (Oxi-Combustible) PMA-PMA-I-068: Tiene como objetivo operar de manera segura y confiable el equipo de corte térmico oxi-combustible (oxi-propano). La figura 49 presenta las actividades que hacen parte del presente instructivo, con lo cual se garantiza que se cumpla el objetivo del mismo.

Figura 49 Actividades del Instructivo para el corte de elementos metálicos con procesos OFC (Oxi-Combustible)



Fuente: Instructivo PMA-PMA-I-068, Ecopetrol S.A.

8.4. DESARROLLO DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE LOS H-4100 A/B/C.

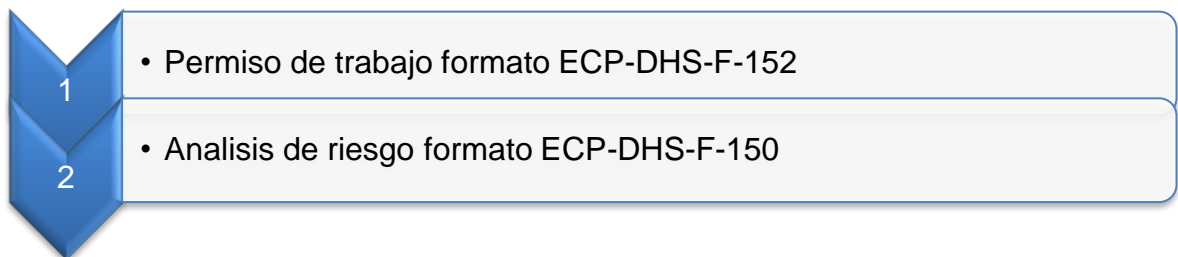
El paquete de mantenimiento preventivo del área instrumentos, lo conforman las actividades que se mencionan en el capítulo 7, y se presentan en la plantilla desarrollada en Excel tal como lo indica la figura 50.

Figura 50 Actividades de mantenimiento preventivo presentadas en la plantilla de Excel



Como lo indica la figura 51 todos los paquetes de mantenimiento preventivo deben tener un permiso de trabajo y análisis de riesgo con el fin de garantizar que las actividades allí desarrolladas se ejecuten de forma segura.

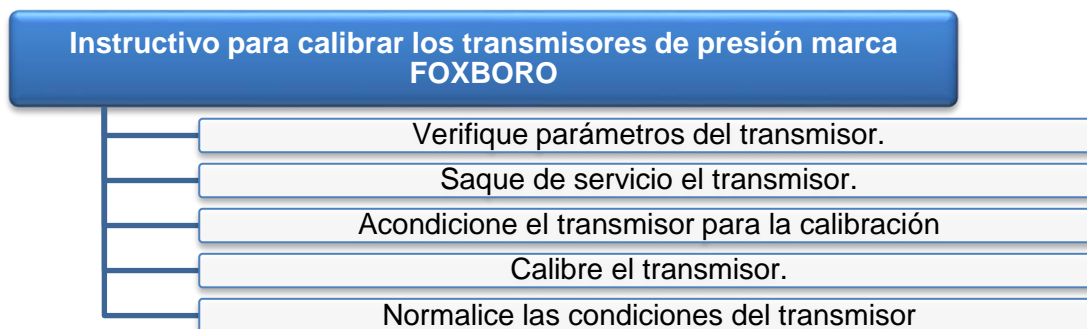
Figura 51 Instructivos de seguridad que debe contener el paquete de mantenimiento correctivo.



Objetivo de la calibración de transmisores. Instructivo para calibrar los transmisores de presión marca FOXBORO: tiene como objetivo realizar de forma confiable segura u estandarizada la calibración de los transmisores de presión

marca FOXBORO utilizando la botonera del instrumento. La figura 52 presenta las actividades que hacen parte del presente instructivo, con lo cual se garantiza que se cumpla el objetivo del mismo.

Figura 52 Actividades del instructivo para la calibración de transmisores.

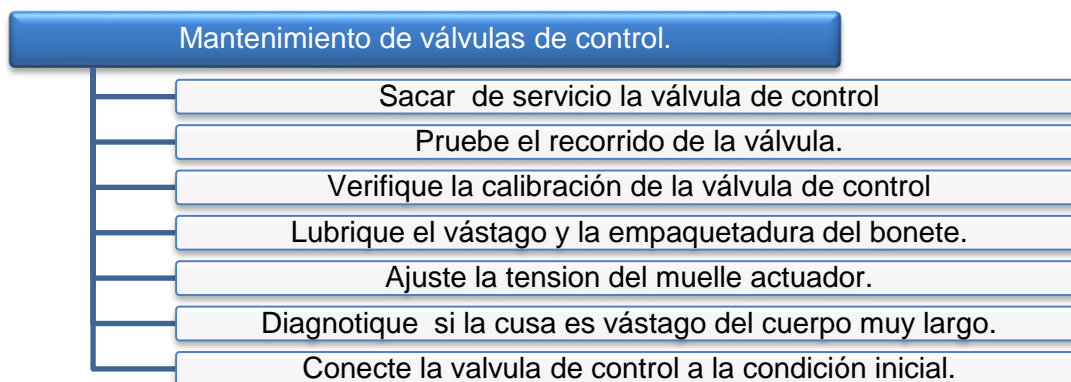


Fuente: Instructivo PMA-PMA-I-955, Ecopetrol S.A.

Objetivo de la instalación, retiro y mantenimiento de las válvulas de control.

Instructivo para el diagnóstico general a válvulas de control de vástago deslizante en campo: tiene como objetivo brindar confiabilidad e identificar el tipo de mantenimiento a ejecutar, inspeccionar las partes de las válvulas de control usando los recursos existentes, para garantizar su correcto funcionamiento. La figura 53 presenta las actividades que hacen parte del presente instructivo, con lo cual se garantiza que se cumpla el objetivo del mismo.

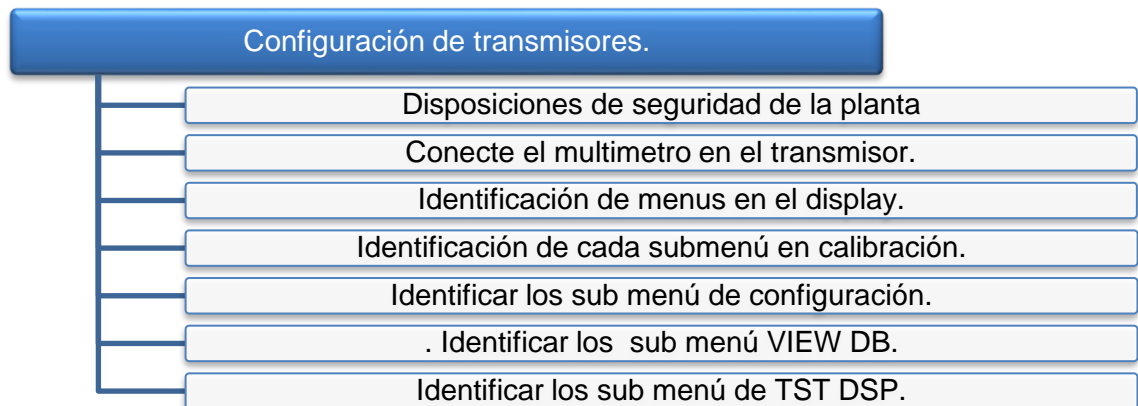
Figura 53 Actividades del instructivo de mantenimiento de válvulas de control.



Fuente: Instructivo PMA-PMA-I-152, Ecopetrol S.A.

Objetivo de la configuración de transmisores. Instructivo para configurar un transmisor FOXBORO modelo IDP10-D20: tiene como objetivo asegurar la información para realizar la configuración de transmisores de presión diferencial marca FOXBORO incluyendo prueba de campo, calibración, verificación, ajustes y puesta en servicio. La figura 54 presenta las actividades que hacen parte del presente instructivo, con lo cual se garantiza que se cumpla el objetivo del mismo.

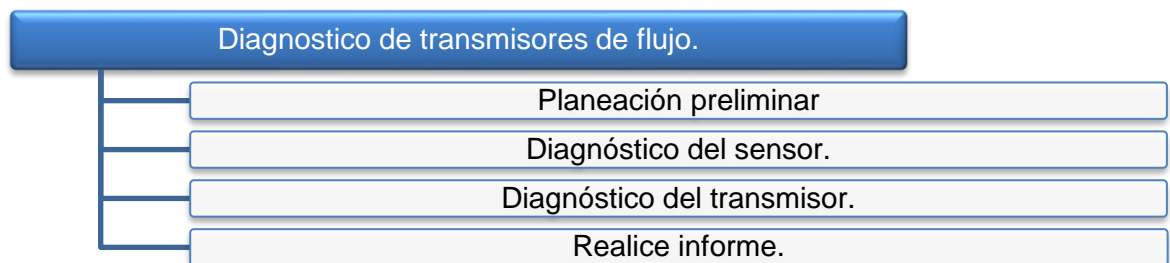
Figura 54 Actividades del instructivo para la configuración de transmisores.



Fuente: Instructivo PMA-PMA-I-815, Ecopetrol S.A.

Objetivo del diagnóstico del transmisor de flujo. Instructivo para el diagnóstico de transmisores de flujo coriolis 2700: tiene como objetivo realizar el diagnóstico de condición transmisores de coriolis micromotion serie 2700. La figura 55 presenta las actividades que hacen parte del presente instructivo, con lo cual se garantiza que se cumpla el objetivo del mismo.

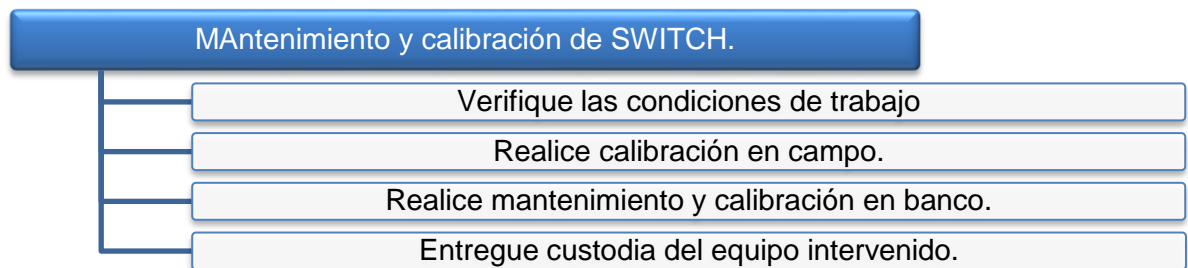
Figura 55 Actividades del instructivo para el diagnóstico de transmisores de flujo.



Fuente: Instructivo PMA-PMA-I-1365, Ecopetrol S.A.

Objetivo de mantenimiento y calibración de SWITCH. Instructivo para mantenimiento y calibración de SWITCH de nivel tipo flotador: tiene como objetivo verificar el correcto funcionamiento del SWITCH de nivel utilizando los recursos existentes y aplicando las normas existentes en la industria. La figura 56 presenta las actividades que hacen parte del presente instructivo, con lo cual se garantiza que se cumpla el objetivo del mismo.

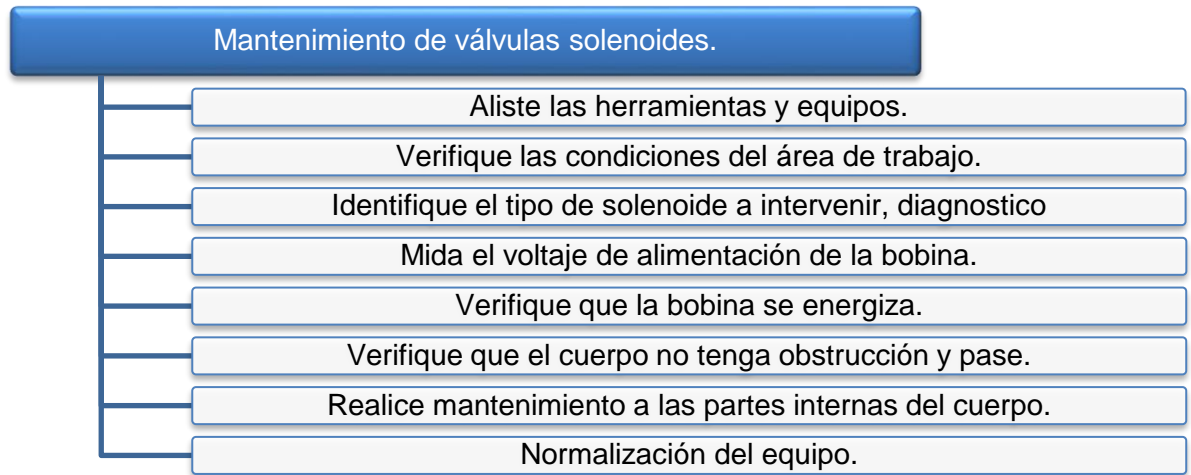
Figura 56 Actividades del instructivo para mantenimiento y calibración de SWITCH



Fuente: Instructivo PMA-PMA-I-1357, Ecopetrol S.A.

Objetivo de mantenimiento de las válvulas solenoides. Instructivo para el mantenimiento preventivo de las válvulas solenoides: tiene como objetivo estandarizar el procedimiento para el mantenimiento preventivo de las válvulas solenoides de voltaje AC/DC, buscando excelentes resultados en el desempeño de la vida útil de estos equipos. La figura 57 presenta las actividades que hacen parte del presente instructivo, con lo cual se garantiza que se cumpla el objetivo del mismo.

Figura 57 Actividades del instructivo para mantenimiento de válvulas solenoides.



Fuente: Instructivo PMA-PMA-I-955, Ecopetrol S.A.

9. CONCLUSIONES.

La metodología RCA se seleccionó mediante el análisis desarrollada por un grupo de expertos los cuales a través de una matriz de selección compararon tres metodologías RCA, RBI, RCM dejando claro que el RCA es la metodología que mejor se ajusta a las necesidades de las condiciones de planta.

Se lograron identificar las actividades de mantenimiento preventivo para el área de instrumentos que son, calibración de transmisores, instalación retiro y mantenimiento de válvulas de control, configuración de transmisores, diagnóstico de transmisores de flujo, mantenimiento y calibración de SWITCH y mantenimiento de válvulas solenoides y correctivo para el área metalmecánica que son, mantenimiento del E-4100, misceláneos, cambio de tubería y serpentines, cambio de aislamiento térmico y refractario, instalación de quemadores y cambio de laminas, a través de la metodología RCA.

La plantilla desarrollada en Excel deja el contenido organizado de cada uno de los paquetes de mantenimiento preventivo y correctivo de la siguiente forma, la primera parte contiene el permiso de trabajo, análisis de riesgo, certificados de apoyo, plan de rescate, plan de izaje, después de esto se incluyen los instructivos que garantizaran que las actividades desarrolladas se realicen de forma confiable, segura y estandarizada.

BIBLIOGRAFÍA.

American Supplier Institute, Inc. Dearborn Michigan. "ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA (AMEF), MANUAL" Copyright, 1993.

Análisis de Causa Raíz, como herramienta en la mejora de la Confiabilidad [en línea]. [Citado 25 Enero 2017]. Disponible en internet <http://www.mantenimientomundial.com/sites/mm/notas/causaraizaltmann.pdf>

Aplicación de la metodología análisis causa raíz (RCA), para la eliminación de un mal actor en equipos críticos de la SOM – Ecopetrol s.a. [en línea]. [Citado 25 Enero 2017]. Disponible en internet <http://repositorio.uis.edu.co/jspui/bitstream/123456789/5972/2/138036.pdf>

DOUNCE Villanueva, Enrique. 1998. La productividad en el mantenimiento industrial. Ed. Cecs. 4ª. Edición. México.

E.T. NEWBROUGH Y PERSONAL DE ALBET RAMOND Y ASOCIADOS, INC. 1998. Administración de mantenimiento industrial. Es Diana 12ª. Edición. México.

Freedman, Pablo. HAZOP como metodología de análisis de riesgo. Argentina, 2003. p. 61.

García Méndez, Alejandra. 2011. Conceptos básicos sobre mantenimiento Industrial. Revista TEC. Universidad Teziutlan.

HAZOP, [en línea]. [Citado 7 Febrero 2017]. Disponible en internet https://www.unizar.es/guiar/1/Accident/An_riesgo/HAZOP.htm

Inspección basada en riesgo [en línea]. [Citado 24 Enero 2017]. Disponible en internet

http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v13_n26/pdf2/a05v13n26.pdf

Inspección basada en riesgo [en línea]. [Citado 25 Enero 2017]. Disponible en internet

<http://www.indisa.com/indisaonline/anteriores/Indisa%20On%20line%2011-%20%20INSPECCION%20BASADA%20EN%20RIESGO%20GENERALIDADES%20Y%20UN%20CASO%20PR%C3%81CTICO.pdf>

Inspección basada en riesgo [en línea]. [Citado 25 Enero 2017]. Disponible en internet

http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/geologia/v13_n26/pdf2/a05v13n26.pdf

John, Moubray. 2000. Mantenimiento Centrado en Confiabilidad. Aladon Editores. Carolina del Norte: USA

Manual De Descripción De Procesos Planta de Etileno II, Refinería Barrancabermeja Ecopetrol S.A

Matrices de selección [en línea] [citado 30 Enero 2017]. Disponible en internet www.idea.edu.pe/herramientas/6taherramientadecalidadmatrizdeseleccion.doc

Muñoz, María Belén. Mantenimiento Industrial. Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Carlos III. Madrid: España.

Nuestra historia [en línea]. [Citado 24 enero 2017]. Disponible en internet http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/?urile=wcm%3Apath%3A/Ecopetrol_ES/Ecopetrol/nuestra-empresa/Quienes-Somos/acerca-de-nosotros/Nuestra+Historia

N. Orozco Álzate. 1981. Biblioteca digital. Universidad Nacional de Colombia.

Normatividad legal [en línea]. [Citado 24 Enero 2017]. Disponible en internet <http://www.ecopetrol.com.co/wps/portal/es/ecopetrol-web/responsabilidad-corporativa/gobierno-corporativo/normatividad>

Pequeñas charlas de gestión de mantenimiento [en línea]. [Citado 25 Enero 2017]. Disponible en internet <http://www.ridssso.com/documentos/muro/fbe6005572088684d7d45c9bcf0436ee.pdf>

RCA [en línea]. [Citado 7 Febrero 2017]. Disponible en internet <http://www.pdcahome.com/7642/analisis-de-causa-raiz-metodologia-para-investigar-y-resolver-incidencias/>

RBI [en línea]. [Citado 7 Febrero 2017]. Disponible en internet http://www.bureauveritas.com.mx/services+sheet/service_sheet_10514

RCM [en línea]. [Citado 7 Febrero 2017]. Disponible en internet <http://www.mantenimientopetroquimica.com/rcm.html>

Refinería de Barrancabermeja cumplió 93 años [en línea]. [Citado 24 enero 2017].
Disponibile en internet
<http://www.vanguardia.com/santander/barrancabermeja/299892-la-refineria-de-barrancabermeja-cumplio-93-anos>

Torres, Lyda. 2010. Metodología RCM aplicada a transformadores de potencia. Tesis de Grado. Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Universidad Industrial de Santander.