

**IMPLEMENTACION DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA LIMPIEZA DE
HORNOS CON SERPENTINES EN MANTENIMIENTOS CON PARADA DE
PLANTA**



**ALEXANDRA NAVARRO CALDERON
ALEXANDER BAYONA BAUTISTA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2012**

**IMPLEMENTACION DE NUEVAS TECNOLOGÍAS PARA LA LIMPIEZA DE
HORNOS CON SERPENTINES EN MANTENIMIENTOS CON PARADA DE
PLANTA**

**ALEXANDRA NAVARRO CALDERON
ALEXANDER BAYONA BAUTISTA**

**Trabajo de Grado
Presentada como requisito para optar al título de
ESPECIALISTA EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO**

**Director
RICARDO GUERRA
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
ESPECIALIZACION EN GERENCIA DE MANTENIMIENTO
BUCARAMANGA
2012**

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestros más sinceros agradecimientos:

Primero a dios por darnos la fortaleza e inteligencia por cumplir este proyecto.

A nuestras familias por apoyarnos e incentivarnos a mejorar cada día, como personas y profesionales.

A la universidad Industrial de Santander (U.I.S) por permitirnos compartir y aprender de las experiencias de cada uno de los maestros y compañeros de la especialización.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma nos colaboraron para el desarrollo de la presente monografía....

DEDICATORIA

A Dios por concederme la gracia de estar viva y
compartiendo con mis seres queridos.

A toda mi familia que con su paciencia me
demuestran su apoyo en cada paso que avanzo
en la vida.

En especial a mi esposo y mis hijos Jorge
Enrique y Valentina

A mis amigos y compañeros de trabajo que
de una u otra forma me colaboraron todo este
tiempo.

Alexandra N.

DEDICATORIA

A mi madre y hermanos quienes compartieron mis preocupaciones y me aconsejaron con sus grandes palabras motivándome a seguir adelante cumpliendo mi objetivo en esta especialización.

A mi linda esposa e hijos quienes son mi motor en esta grandiosa vida.

Alexander B.

CONTENIDO

	Pág.
Introducción	16
1. Marco contextual	17
1.1. La empresa	17
1.2. Descripción proceso de refinación del petróleo	18
1.3. Estructura organizacional.....	22
1.3.1 estructura organizacional de ecopetrol s.a.....	22
1.3.2. Estructura organizacional gerencia refinería barrancabermeja	23
1.4. Proceso de programación de mantenimiento.....	24
1.5. Departamento refinación de fondos – planta viscorreductora II	27
1.5.1. Naturaleza de los fondos	28
1.5.2. Variables de operación	29
1.6. Hornos de serpentines o tubería por tramos	31
1.6.1. Partes del horno.....	32
1.6.2. Otras partes del horno.....	36
1.7. Objetivos	40
1.7.1. General.....	40
1.7.2. Específicos	40
2. Marco teórico.....	41
2.1. Decoquizado de hornos actual – mecánico	41
2.1.1. Cronograma de actividades.....	41
2.1.2. Procedimiento de decoquizado mecánico.....	42
2.2. Decoquizado de hornos método propuesto – pigging.....	48
2.2.1. Cronograma de actividades	48
2.2.2. Procedimiento de decoquizado con pigging.....	49
2.2.3. Ventajas del sistema de limpieza pigging	57
2.2.4. Cronograma de actividades total del servicio.....	59
2.3. Cuadro comparativo decoquizado mecánico vs. Decoquizado con pigging.....	60

3. Marco conceptual	61
3.1. Mantenimiento preventivo	62
3.1.1. Ventajas del mantenimiento preventivo.....	63
3.1.2. Fases del mantenimiento preventivo	64
3.2. Mantenimiento correctivo	64
3.2.1. Ventajas del mantenimiento correctivo.....	66
3.2.2. Inconvenientes del mantenimiento correctivo.....	66
3.3. Disponibilidad.....	68
3.4. Mantenibilidad	69
3.5. Tendencias actuales para determinar la degradacion de los materiales metálicos de componentes industriales.....	70
3.5.1. Inspección en el análisis estructural.....	71
3.5.2. Mecanismos de degradación de materiales metálicos en componentes industriales	76
3.6. Seguridad, salud ocupacional y medio ambiente	79
3.6.1. Analisis comparativo de las técnicas utilizadas y recomendadas.....	79
3.6.2. Principal riesgo para la salud con decoquizado mecánico	80
3.6.3. Gestion hse	85
4. Conclusiones.....	88
5. Bibliografía	90
6. Anexos.....	91

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Diagrama General de la Refinería de Barrancabermeja	20
Figura 2. Organigrama de ECOPETROL S.A.....	22
Figura 3. Organigrama Gerencia Refinería Barrancabermeja	23
Figura 4. Proceso de gestión Turnaround.....	24
Figura 5. Planta Viscosreductora II.....	27
Figura 6. Horno	31
Figura 7. Esquema partes del horno	32
Figura 8. Horno – Zona Radiación	33
Figura 9. Horno – Zona de Choque	34
Figura 10. Horno – Zona Convección	34
Figura 11. Horno – Damper	35
Figura 12. Horno – Chimenea.....	35
Figura 13. Horno – Registros de Aire.....	36
Figura 14. Horno – Quemadores	37
Figura 15. Horno – Haz de Tubos.....	38
Figura 16. Soportes de los serpentines	39
Figura 17. Máquina de Alta Presión – Hidroject.....	42
Figura 18. Compresor de Aire de 950 cfm	43
Figura 19. Herramientas Neumáticas – Chapolas	44
Figura 20. Tubos del horno sucios.....	47
Figura 21. Tubos del horno limpios.....	47
Figura 22. PIGS	49
Figura 23. Unidades de Bombeo	51
Figura 24. Panel de control Unidad de Bombeo	52
Figura 25. Conexión sistema Pigging	53
Figura 26. Recorrido del Pig	55
Figura 27. Tubos del horno sucios.....	55
Figura 28. Tubos del horno limpios con pigging	56
Figura 29. Registro computarizado de seguimiento.....	57
Figura 30. Metodología general de evaluación de defectos.....	72
Figura 31. Sistema típico de diagnóstico de vida residual	74

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Fases de Planeación.....	24
Tabla 2. Cronograma de actividades decoquizada mecánica.....	41
Tabla 3. Cronograma de actividades decoquizada con pigging.....	48
Tabla 4. Cronograma de actividades total del servicio.....	59
Tabla 5. Cuadro comparativo decoquizada mecánica vs. pigging	60
Tabla 6. Mecanismos de degradación en materiales.....	77
Tabla 7. Valores permisibles para la exposición del personal al ruido	83
Tabla 8. Valores límites permisibles para Ruido de Impacto	83

ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Valores promedio de ensuciamiento del coque	91
Anexo B. Muestras resultados caracterización del coque	92
Anexo C. Registro fotográfico – Decoquizada Mecánica con Chapola	93
Anexo D. Registro fotográfico – Decoquizada Mecánica con Hidroject	95

RESUMEN

TITULO: Implementación de nuevas tecnologías para la limpieza de hornos con serpentines en mantenimientos con parada de planta.¹

AUTOR (ES): Alexandra Navarro Calderón Y Alexander Bayona Bautista.²

PALABRA CLAVES: Modelo de mantenimiento, disponibilidad, mantenibilidad.

La competitividad de la economía globalizada se ve crecientemente determinada por la capacidad para desarrollar innovaciones. Y es precisamente esta capacidad innovadora, que permite utilizar mejor los propios recursos, que condiciona la forma de articulación de los distintos ámbitos territoriales en un espacio mundial, desequilibrado y muy cambiante, en el que se contraponen áreas innovadoras y bien conectadas en las principales redes a aquellas otras marginales o incluso excluidas, por su falta de espíritu innovador y su deficiente acceso a dichas redes.

En los procesos de parada de planta se debe tener una visión y misión del plan estratégico de inversión, para lo cual se deben tener en cuenta, aspectos comerciales y financieros de la empresa y los compromisos con los clientes.

La mayor demanda de los recursos llegan cuando una planta es parada, lo que implica crear horarios o programas de mantenimiento, de este modo es necesario contratar equipos especiales para cubrir ciertas actividades que se convierten en ruta crítica en el desarrollo del mantenimiento.

Por lo tanto la organización se enfoca en los puntos de esta última lista de trabajo, considerando que su desarrollo es crítico, de este modo allí se enfocan la mayor parte de los recursos.

En este orden de ideas, estos procesos se organizan y controlan de acuerdo al alcance de trabajo, junto con las políticas, mejores prácticas y procedimientos que se necesiten para que cada parada de planta vaya hacia una mejor actuación.

¹ Proyecto de grado.

² Facultad: Ingenierías físico mecánicas. Escuela: Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Ricardo Guerra Mantilla.

SUMMARY

TITLE: Implementation of new technologies for oven cleaning with coils in shutdown plant maintenances.³

AUTHOR (S): Alexandra Navarro Calderon and Alexander Bayona Bautista.⁴

KEY WORDS: Maintenance model, availability, maintainability, reliability.

The global economic competitiveness is increasingly determined by the ability to develop innovations. And it is this innovative ability, allowing better use of own resources, which conditions the articulation of many of the geographical areas in a global space, unbalanced and very changeable, which are opposed innovative an well connected areas in the main networks such other marginal or even excluded, by their lack of innovative spirit and poor access to such networks

In the shutdown plant processes must have a vision and mission of the strategic plan for investment, for which must be taken into account, commercial and financial aspects of the company and the commitments to customers.

Increased demand for resources come when a plant is stopped, which implies creating schedules or maintenance programs, thus, it is necessary to hire special equipment to cover certain activities that become in a critical way in the development of maintenance.

Therefore, the organization focuses on the points of this last worklist, considering their development is critical, thereby, there are focused most of the resources.

In this vein, these processes are organized and controlled according to the scope of work, along with policies, best practices and procedures that are needed for each shutdown plant go to a better performance.

³ Thesis.

⁴ Faculty: mechanical physical engineerings. School: Mechanical Engineering. Director: Ricardo Guerra Mantilla.

INTRODUCCION

Día a día, a partir de las lecciones aprendidas de los mantenimientos con paradas de planta realizadas, se buscan estrategias para aumentar los tiempos de corrida de las plantas, optimizando los costos de ejecución de los mantenimientos vs. el lucro cesante de esta, alcanzando el crecimiento y formación de la mano de obra, a su vez incorporando tecnología de punta, que genere estructuras de gestión y control modernas, además de la eliminación de herramientas rudimentarias actualmente utilizadas.

Es de vital importancia evolucionar con el medio, las buenas prácticas deben ser excelentes y el contacto con el riesgo llegar a ser casi cero. Con la implantación de procedimientos basados en componentes de hardware monitoreados por un software robusto y útil. Se debe tener el control de cada actividad y asegurar los tiempos.

El presente estudio tiene por objetivo presentar la implementación de nuevas tecnologías para la limpieza de los Serpentes de los Hornos H-2801 A/B de la Planta Viscosreductora II de la Refinería de ECOPETROL en Barrancabermeja, a través de los PIG.

Se trata de minimizar, los costos, plazos, riesgos y calidad de ejecución de la parada de planta Viscosreductora II de la Unidad de Balance.

Además de preservar la vida útil de los equipos y disminuir la fatiga en los materiales por la limpieza manual / mecánica realizada.

1. MARCO CONTEXTUAL

1.1. LA EMPRESA

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 1961 asumió el manejo directo de la refinería de Barrancabermeja. Trece años después compró la Refinería de Cartagena, construida por Intercol en 1956.

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.

La empresa funciona como sociedad de naturaleza mercantil, dedicada al ejercicio de las actividades propias de la industria y el comercio del petróleo y sus afines, conforme a las reglas del derecho privado y a las normas contenidas en sus estatutos, salvo excepciones consagradas en la ley (Decreto 1209 de 1994).

En septiembre de 1983 se produjo la mejor noticia para la historia de Ecopetrol y una de las mejores para Colombia: el descubrimiento del Campo Caño Limón, en asocio con OXY, un yacimiento con reservas estimadas en 1.100 millones de

millones de barriles. Gracias a este campo, la Empresa inició una nueva era y en el año de 1986 Colombia volvió a ser en un país exportador de petróleo.

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, 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.

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 mundial.

Actualmente, Ecopetrol S.A. es la empresa más grande del país con una utilidad neta de \$5,25 billones registrada en 2009 y la principal compañía petrolera en Colombia. Por su tamaño, pertenece al grupo de las 40 petroleras más grandes del mundo y es una de las cuatro principales de Latinoamérica.

1.2. DESCRIPCION PROCESO DE REFINACIÓN DEL PETROLEO

La refinación del petróleo empieza con la destilación o fraccionamiento del petróleo crudo en grupos de hidrocarburos separados. Los productos resultantes

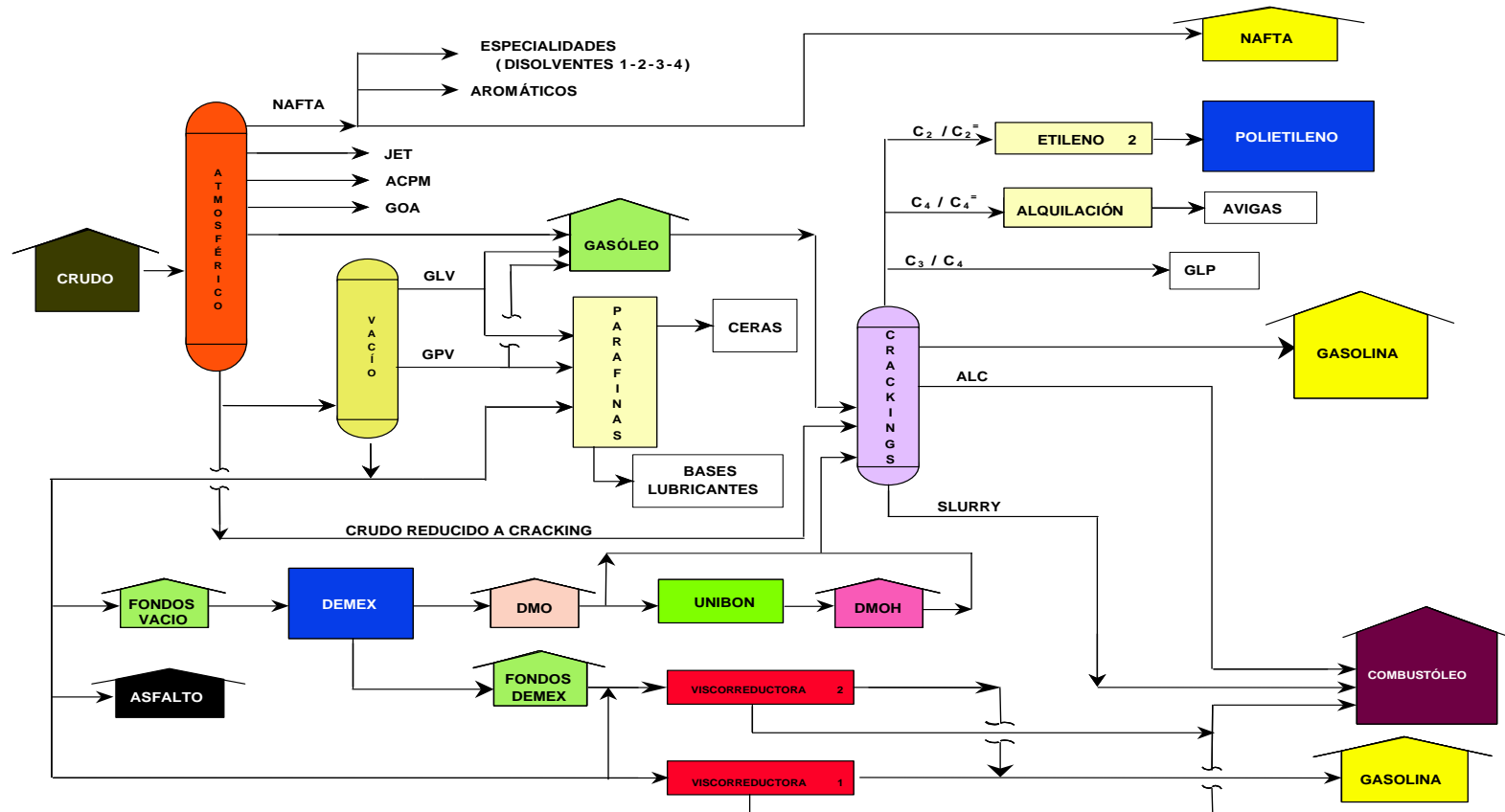
están directamente relacionados con las características del crudo procesado. La mayor parte de los productos destilados se convierten posteriormente en otros productos más utilizables, cambiándoles el tamaño y estructura de las moléculas de sus hidrocarburos a través del rompimiento (“cracking”), reformado y otros procesos de conversión.

A continuación, estos productos se someten a diversos procesos de tratamiento y separación (extracción, hidrotratamiento y desmercaptanización), para obtener productos terminados. Luego se hace fraccionamiento, conversión, tratamiento y mezcla con lubricante, combustibles pesados y fabricación de asfalto, y procesado petroquímico.

Dentro del proceso de refinación del petróleo, en la Refinería de ECOPETROL S.A. en Barrancabermeja, se encuentra la Planta de Viscosreductora II, ubicada en el Bloque I de la Unidad de Balance.

En esta planta se procesa los productos más pesados resultantes de todo el proceso de refinación del petróleo a combustibles, en ella y mediante el proceso de craqueo térmico, las partes más pesadas del crudo se calientan a altas temperaturas bajo presión. Esto divide (craquea) las moléculas grandes de hidrocarburos en moléculas más pequeñas, con lo que se produce más gasolina y combustibles de destilación.

Figura 1. Diagrama General de la Refinería de Barrancabermeja



Fuente. Refinería de Barrancabermeja

Al mismo tiempo se reduce la viscosidad con el fin de emplear una menor cantidad de diluyente para cumplir con las especificaciones del combustóleo (fondo). El gasóleo obtenido se puede enviar a ruptura catalítica.

La planta de Viscosreductora II, tiene una capacidad de: 23000 BP/DO, su carga es mezcla de 18400 BP/DO de fondos de DEMEX y 4600 BP/DO de ALC, proveniente del Residuo de Vacío (Fondos). Una mezcla de aceites pesados, resinas y asfaltenos (40% del residuo).

Durante su proceso de operación es sometida a distintas variables tales como:

1. Temperatura de salida de los hornos.
2. Tiempo de residencia.
3. Presión de reacción

Estas variables durante su proceso de operación normal, además de los efectos de la temperatura, la presión, el rendimiento y la severidad en el criterio de craqueo, fijan la duración de la corrida, la cual normalmente es de doscientos diez (210) días.

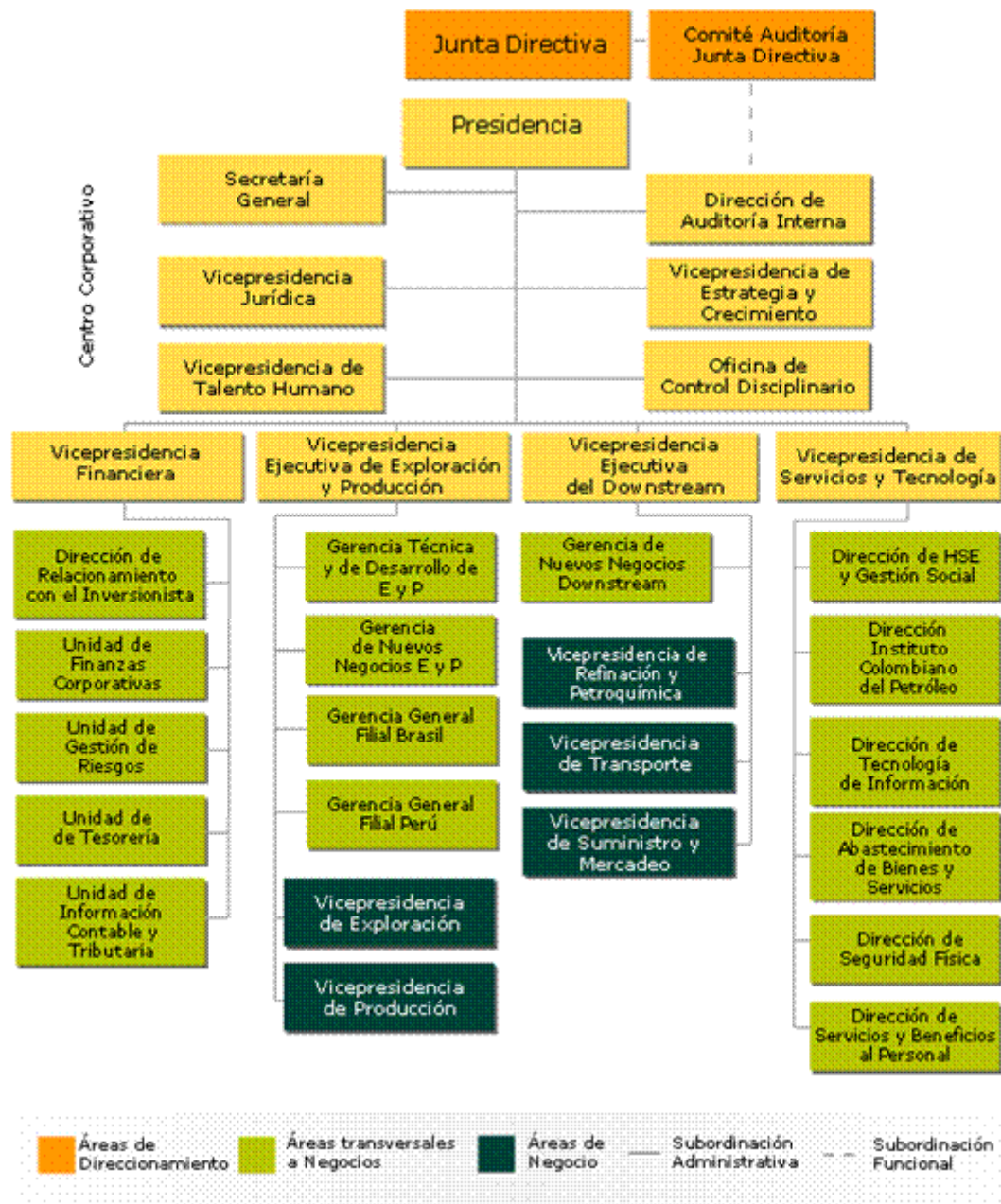
Con el fin de incrementar la confiabilidad, disponibilidad y vida útil de las plantas, ECOPETROL S.A., tiene definido su programa anual de mantenimientos con parada de planta en su Refinería de Barrancabermeja.

Para este proceso, utiliza como guía el proceso de gestión de Turnaround de Shell Global Solutions, el cual es un estilo de comercialización usado por una red de compañías tecnológicas del Grupo Shell/Royal Dutch.

1.3. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL

1.3.1 ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL DE ECOPETROL S.A.

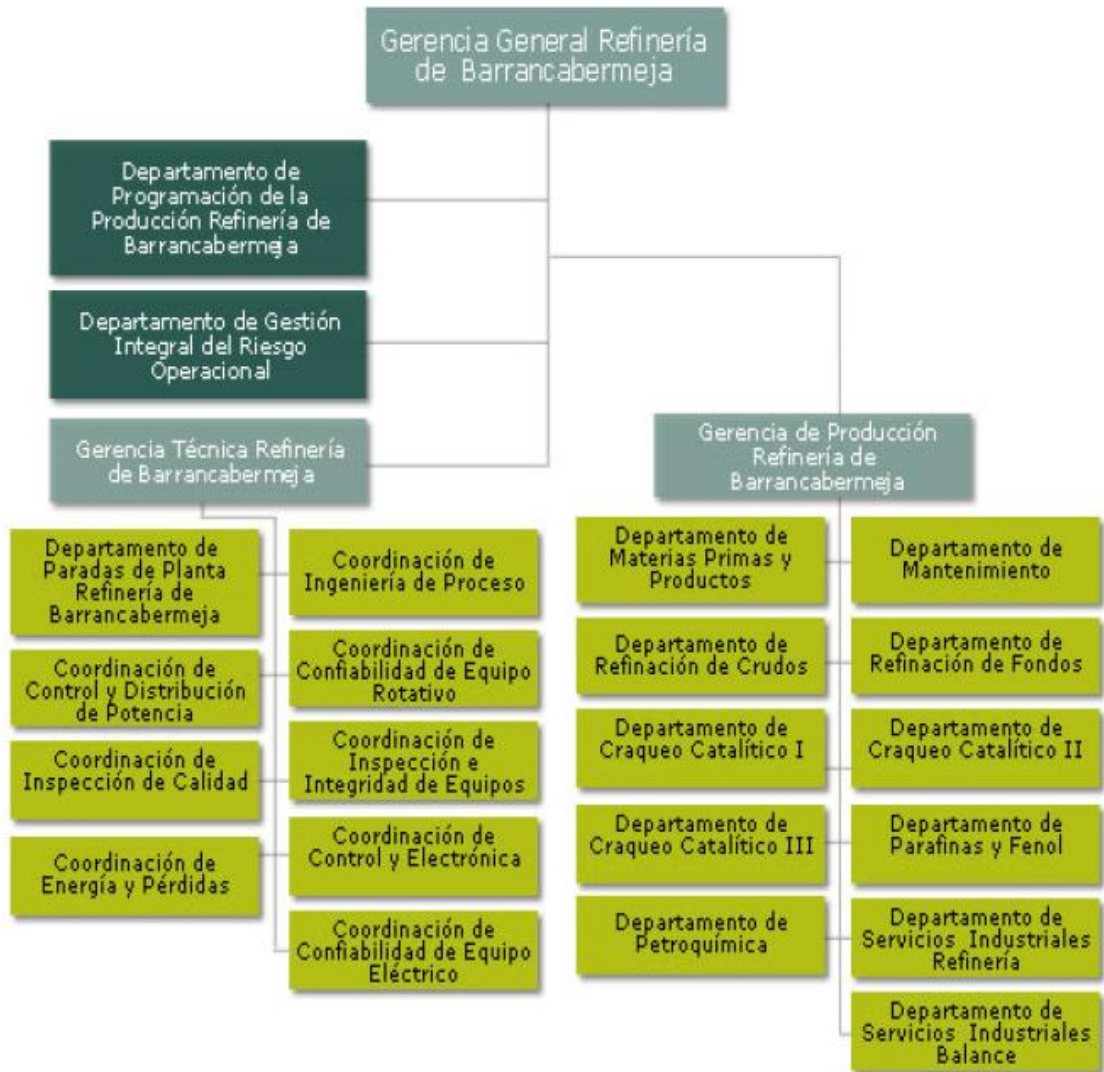
Figura 2. Organigrama Ecopetrol.



Fuente. Página web de Ecopetrol.

1.3.2. ESTRUCTURA ORGANIZACIONAL GERENCIA REFINERIA BARRANCABERMEJA

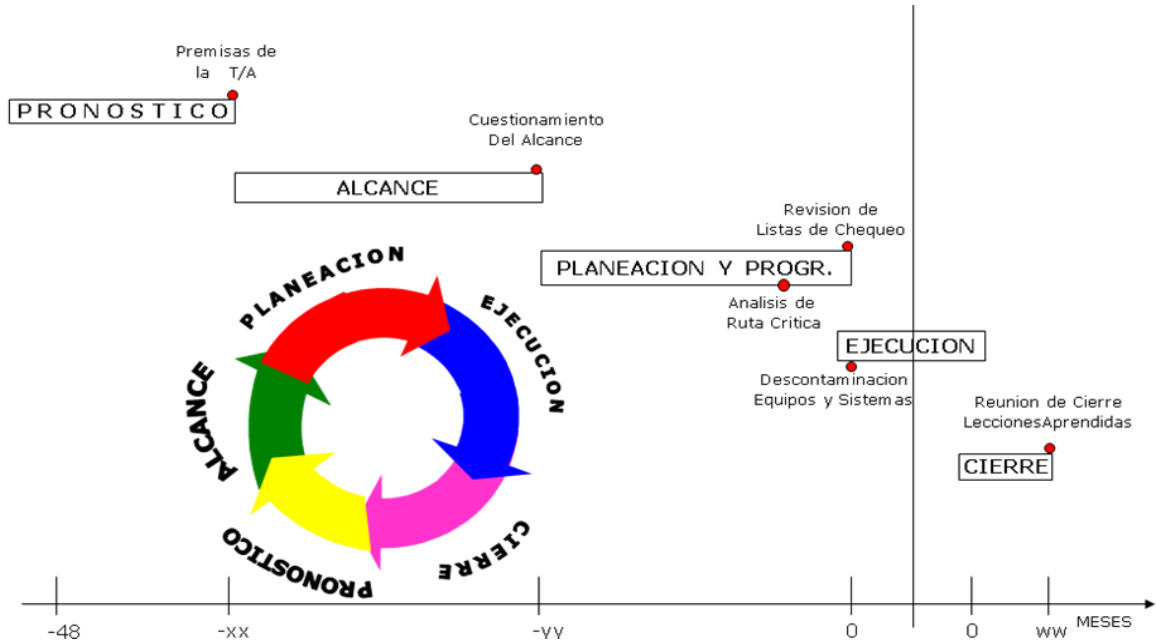
Figura 3. Organigrama Gerencial de la Refinería de Barrancabermeja.



Fuente. Departamento de Paradas de Planta GRB.

1.4. PROCESO DE PROGRAMACION DE MANTENIMIENTO

Figura 4. Proceso de gestión Turnaround.



Con el fin de incrementar la confiabilidad, disponibilidad y vida útil de las plantas, ECOPETROL S.A., tiene definido su programa anual de mantenimientos con parada de planta en su Refinería de Barrancabermeja.

Para este proceso, utiliza como guía el proceso de gestión de Turnaround de Shell Global Solutions, el cual es un estilo de comercialización usado por una red de compañías tecnológicas del Grupo Shell/Royal Dutch.

Tabla 1. Fases del proyecto para mantenimiento en parada de planta.

FASE I. PLANEACION LARGO PLAZO	Elaborar y Asegurar procedimiento de planeacion de paradas a largo plazo en la GRB. Asegurando la participacion y divulgacion de todos los interesados en este proceso.
	Definir estrategias de Ejecución en la fase de planeacion a largo plazo, capitalizando las lecciones aprendidas y detallar estas estrategias en la fase de gestion precontractual de cada T/A.
	Incorporar dentro de la Planeación de largo plazo la estrategia de

	<p>intervención basado en el análisis operacional utilizando las herramientas de confiabilidad (Análisis de desempeño, RBI, RCA, Corridas de Evaluación, Seguridad de proceso).</p> <p>Optimización de los ciclos de corrida de las plantas basado en los análisis de desempeño de todas las Unidades Operativas</p> <p>Recuperar la planeación y programación como Core del negocio</p> <p>Desarrollo del talento humano del personal contratista.</p>
FASE II. DEFINICION DEL ALCANCE	<p>Garantizar la inclusión de los hitos de las T/As 2012/13/14 en la planeación 2011, para todos los Dptos Operativos. Líder T/A</p> <p>Debe incluirse en los objetivos de desempeño del personal de soporte, operaciones y jefe operativo los hitos de elaboración de alcance de T/A.</p> <p>Todas las ingenierías conceptuales deben entregarse a PIN junto con el alcance de largo plazo (recomendaciones posteriores, 30 meses) y PIN debe entregar la ingeniería detallada 18 meses antes de la T/A.</p> <p>Implementación del plan de inspección On-Stream, Tecnología de limpieza no intrusiva.</p> <p>Establecer un espacio de control de gestión (efectivo) entre el líder de la T/A, coordinador CPM y los planeadores por especialidad para las planeaciones T/A.</p>
FASE III. PRECON TRACTUAL	<p>Estandarizar especificaciones técnicas de contratos.</p> <p>Definir y acordar estrategia de ejecución de las paradas de planta en conjunto con Planeación y Contratación.</p> <p>Validar el rol del Gestor de Contratación en la etapa precontractual frente al proceso de Paradas de Planta.</p> <p>Implementación y estandarización del software de presupuestación para Paradas de Planta.</p> <p>Revisar con servicios compartidos aspectos que impactan los contratos.</p>
FASE IV. PLANEACION DETALLADA	<p>Nombrar y asignar al planeador general de acuerdo al plan congelado de 2 años</p> <p>Enfocar la planeación centralizada hacia el aseguramiento de la disponibilidad de los recursos requeridos según el plan congelado de dos años</p> <p>Gestionar los Análisis de desempeño y las Corridas de Evaluación de las unidades</p> <p>Asegurar con MANTENIMIENTO CON Excelencia (ME) un programa para el fortalecimiento de las competencias hacia el rol de supervisión</p> <p>Definición del rol de planeador y gestor técnico por especialidad y asignación de planeadores de acuerdo al plan de Paradas.</p> <p>Calidad en los entregables de la planeación detallada.</p>
FASE V. ALISTAMIENTO	<p>Revisión con la Gestoría Administrativa el procedimiento de vinculación de contratistas de Paradas de Planta con miras a poder tener el personal disponible sin aumentar los costos del contrato</p> <p>Revisión con seguridad física procedimiento de expedición de pases</p>

	<p>para el ingreso del personal de paradas de planta</p> <p>Asegurar disponibilidad de recurso propio para la ejecución de prefabricados, alistamiento eléctrico, mecánico e instrumentos antes de la apagada.</p> <p>Realizar acciones que permiten aumentar la productividad y desempeño de la Ejecución de la Parada de Planta</p>
FASE VI. EJECUCIÓN	<p>Asegurar las competencias del personal ejecutor</p> <p>Garantizar la implementación sostenible del rol de HSE operativo y coordinador de operaciones</p> <p>Aseguramiento riguroso de la aplicación de los instructivos y procedimientos de las guías de entrenamiento de pare y arranque de las unidades.</p> <p>Cumplimiento en la gestión de trabajos emergentes</p> <p>Asegurar entrega de Turno en campo</p> <p>Control en el desarrollo de los trabajos</p>
FASE VII. CIERRE	<p>Estandarizar procesos claves de fase cierre de T/A</p> <p>Aplicación rigurosa del procedimiento de lecciones aprendidas</p>

1.5. DEPARTAMENTO REFINACIÓN DE FONDOS – PLANTA VISCORREDUCTORA II

Figura 5. Planta Viscorredutora II.



Fuente. Autor

La función de esta planta es descomponer moléculas grandes de hidrocarburos en otras más pequeñas mediante acción térmica. Al mismo tiempo se reduce la viscosidad con el fin de emplear una menor cantidad de diluyente para cumplir con las especificaciones del combustóleo (fondo). El gasóleo obtenido se puede enviar a ruptura catalítica.

En esta planta se procesa los productos más pesados resultantes de todo el proceso de refinación del petróleo a combustóleos, en ella y mediante el proceso de craqueo térmico, las partes más pesadas del crudo se calientan a altas temperaturas bajo presión. Esto divide (craquea) las moléculas grandes de

hidrocarburos en moléculas más pequeñas, con lo que se produce más gasolina y combustibles de destilación.

La planta de Viscorreductora II, tiene una capacidad de: 23000 BP/DO, su carga es mezcla de 18400 BP/DO de fondos de DEMEX y 4600 BP/DO de ALC, proveniente del Residuo de Vacío (Fondos). Una mezcla de aceites pesados, resinas y asfaltenos (40% del residuo).

Los asfaltenos tienen peso molecular entre 30 y 40000 y densidad 1.2 g/cm³, contienen el 70% de los metales que llegan en el crudo.

Se manejan productos tales como:

- Gases (metano, etano)
- Gasolina de viscorreducción constituida por las moléculas más estables: Con mayor octanaje que las gasolinas de destilación directa (no mayor que 80), cantidad de azufre más elevada que las gasolinas de destilación directa del mismo crudo (3 veces más).
- Aceites intermedios o gasóleos de recicló.
- Brea y Coque, formado por polimerización de moléculas más relativas, contienen 11 veces más azufre que la gasolina de craqueo, se puede mejorar su estabilidad mediante mezcla con residuos vírgenes.

1.5.1. NATURALEZA DE LOS FONDOS

La susceptibilidad de un residuo a la viscorreducción varía con el contenido de asfaltenos y el punto de ablandamiento. Cuanto más bajo sea el contenido de asfaltenos, es posible craquear una mayor cantidad de aceite pesado.

1.5.2. VARIABLES DE OPERACIÓN

Durante su proceso de operación es sometida a distintas variables tales como:

- Temperatura de reacción.
- Tiempo de residencia.
- Presión de reacción

Estas variables durante su proceso de operación normal, además de los efectos de la temperatura, la presión, el rendimiento y la severidad en el criterio de craqueo, fijan la duración de la corrida, la cual normalmente es de doscientos diez (210) días.

1.5.2.1. Efecto de la temperatura.

- El craqueo inicia a más de 800°F, dependiendo de la naturaleza de la carga
- La temperatura de salida varía entre 800 y 940°F.
- El valor óptimo de la temperatura de operación se fija según la severidad que se maneje, dependiendo de los consumos de ALC y la presión en los hornos y,
- duración de la corrida.

1.5.2.2. Efecto de la presión.

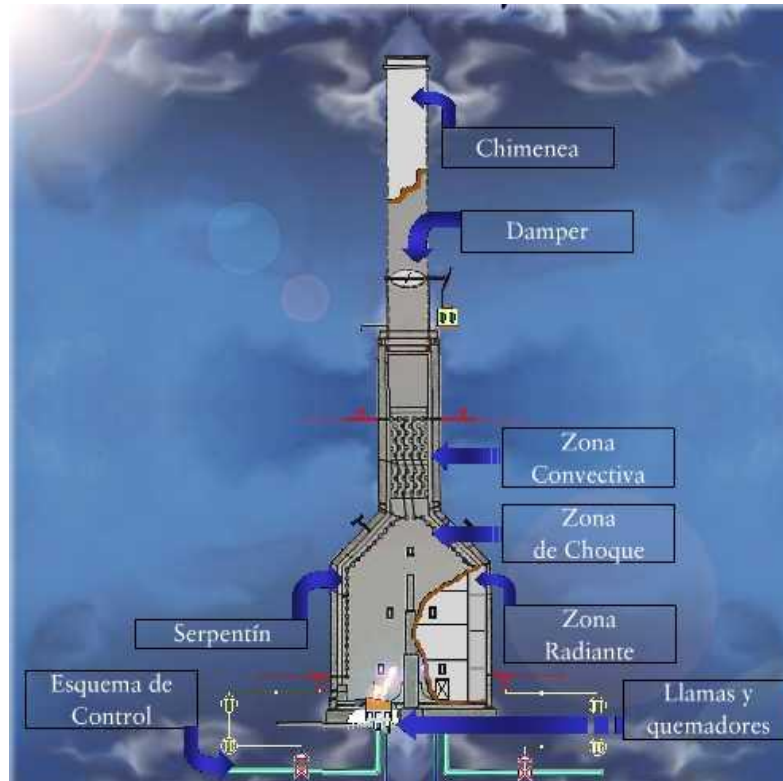
En física, la presión es una magnitud física escalar que mide la fuerza en dirección perpendicular por unidad de superficie, y sirve para caracterizar cómo se aplica una determinada fuerza resultante sobre una superficie.

En las tuberías se hace importante tener el control de la presión antes, durante y después que fluye un producto por ella. En los serpentines de la planta Viscorreductora II se presenta un importante papel de la presión en la formación de una capa que obstruye el paso de los combustóleos.

Cuando la presión en estas tuberías es baja, aumenta la formación y depósito del coque. Teniendo como la presión de diseño: 285 psig.

1.6. HORNOS DE SERPENTINES O TUBERIA POR TRAMOS

Figura 6. Horno de la planta viscorreductora II.



Fuente. RWD Technologies. Entrenamiento de Nivelación Área Metalmecánica ECOPETROL S.A.

Los calentadores a fuego directo son equipos requeridos dentro de la industria de Refinación y Petroquímica para suministrar grandes cantidades de energía a corrientes de proceso contenidas en serpentines tubulares a partir de la combustión de combustibles líquidos y gaseosos, para elevar sus niveles de temperatura y modificar sus características químicas y físicas, para cumplir con las condiciones de proceso. Estos equipos son conocidos también como calentadores de proceso u hornos de proceso.

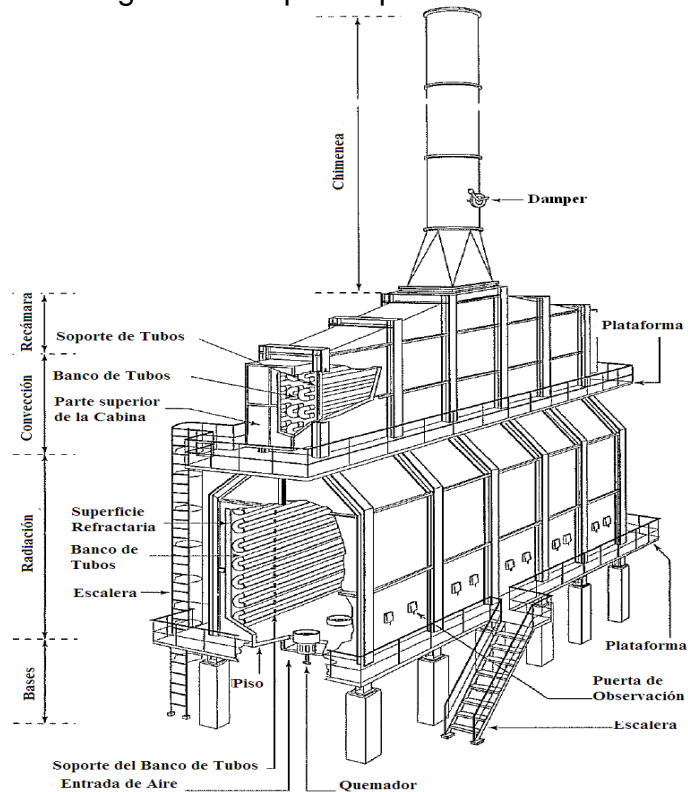
Los hornos son Intercambiadores de calor que proporcionan el calor necesario para incrementar la temperatura de una corriente hasta el nivel requerido por la operación.

Los hornos son equipos usados para el calentamiento de un fluido por medio de los gases producidos por la combustión de un gas o de un líquido.

Pueden ser usados con dos finalidades, como ya se había mencionado la primera es el calentamiento de un fluido de proceso y la segunda es la de ocasionar un cambio químico como ocurre en la pirolisis, en el crakeo y en el reformado con vapor.

1.6.1. PARTES DEL HORNO

Figura 7. Esquema partes del horno.

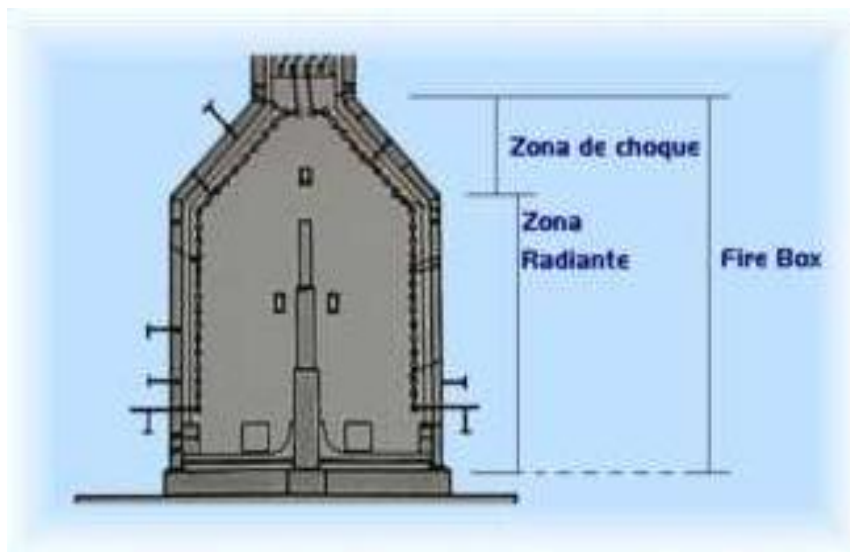


Fuente. RWD Technologies. Entrenamiento de Nivelación Área Metalmeccánica
ECOPETROL S.A.

1.6.1.1. Zona Radiación

Es la zona de la caja de fuegos en la que se encuentran los quemadores. Allí los tubos de los serpentines reciben calor por radiación. Es la Sección del horno donde la tasa de transferencia de calor es mayor.

Figura 8. Zona Radiación



Fuente. RWD Technologies. Entrenamiento de Nivelación Área Metalmecánica ECOPEPETROL S.A.

1.6.1.2. Zona de Choque

Es la sección que contiene los tubos que protegen o escudan la zona convectiva de la radiación directa desde la caja de fuegos. Generalmente estos son tubos desnudos. Los tubos que se encuentran en la zona inclinada del horno son considerados como pertenecientes a la zona de choque.

Figura 9. Zona de choque



Fuente. RWD Technologies. Entrenamiento de Nivelación Área Metalmecánica ECOPETROL S.A.

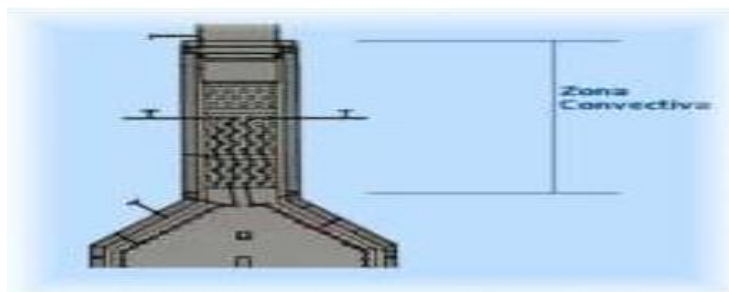
1.6.1.3. Zona Convectiva

Se localiza en la sección de enfriamiento de los gases de combustión. En esta sección es aprovechado al máximo el calor residual de los gases de combustión para precalentar el flujo de proceso. Suele contener tubos aleteados, para aumentar la eficiencia del horno.

Esta sección permite recuperar el calor sensible desde los gases de combustión, que pasan rápidamente al rededor de las paredes de los tubos.

La eficiencia de un horno con una sección de convección es mayor que la de hornos que sólo poseen la sección de radiación.

Figura 10. Horno – Zona de Convección

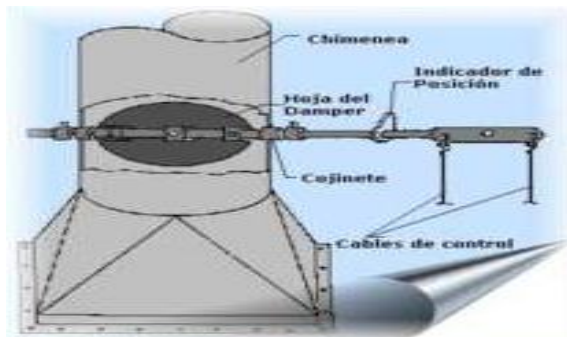


Fuente. RWD Technologies. Entrenamiento de Nivelación Área Metalmecánica ECOPETROL S.A.

1.6.1.4. Damper

Es una compuerta ubicada en la chimenea en el trayecto de los gases de combustión. Permite manipular la presión interna del horno, de manera que se alcance el nivel de tiro recomendado en la cámara de combustión.

Figura 11. Horno – Damper



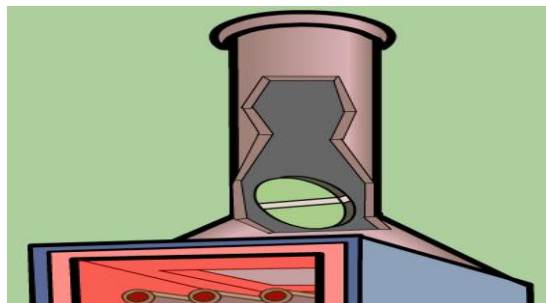
Fuente. RWD Technologies. Entrenamiento de Nivelación Área Metalmecánica ECOPETROL S.A.

1.6.1.5. Chimenea

Conduce los gases de combustión hacia la atmósfera, generando una presión negativa llamada tiro. Entre más alta la chimenea, mayor será el tiro generado.

Son relevantes en una chimenea las dimensiones (altura y diámetro) y las condiciones mecánicas (paredes y recubrimientos).

Figura 12. Horno - Chimenea



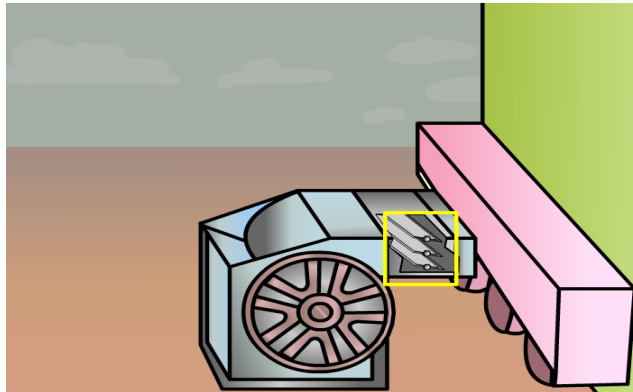
Fuente. RWD Technologies. Entrenamiento de Nivelación Área Metalmecánica ECOPETROL S.A.

1.6.2. OTRAS PARTES DEL HORNO

1.6.2.1. Registros de Aire.

Son unas rejillas ajustables que controlan el flujo de aire antes de que se produzca la mezcla con gas en el quemador.

Figura 13. Horno – Registros de Aire



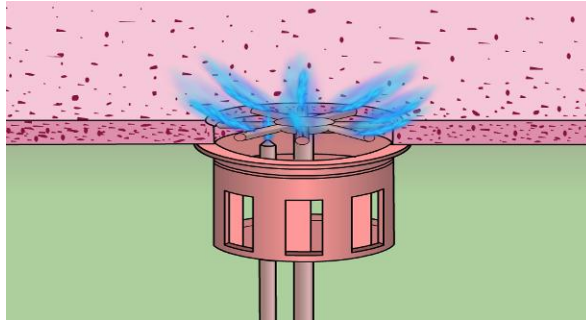
Fuente. RWD Technologies. Entrenamiento de Nivelación Área Metalmecánica ECOPEPETROL S.A.

1.6.2.2. Quemadores.

La función de los quemadores es llevar a cabo la combustión, que consiste en la oxidación parcial o total del carbono, el hidrógeno y los sulfuros presentes en un combustible.

La combustión requiere la elevación de la temperatura de reacción hasta la temperatura de ignición, mantenimiento de la temperatura de ignición y propagación de la combustión.

Figura 14. Horno – Quemadores



Fuente. RWD Technologies. Entrenamiento de Nivelación Área Metalmecánica
ECOPETROL S.A.

1.6.2.3. Haz de Tubos.

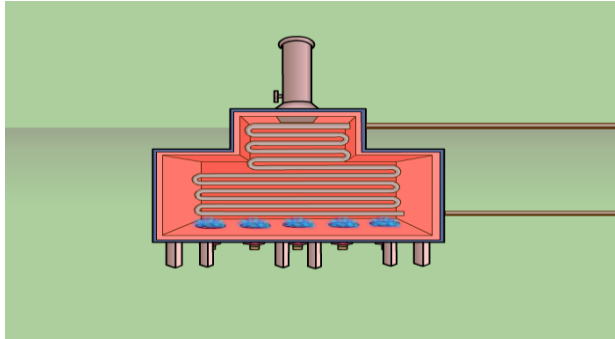
El haz de tubos es la unión de varios tubos situados unos muy cerca de otros. Pueden estar unidos por curvas de 180° soldadas sobre los tubos o por concecciones especiales denominadas cabezales.

Los materiales para el haz de tubos se eligen de acuerdo a:

- ✓ Naturaleza del fluido del proceso,
- ✓ La resistencia a la corrosión para fluidos calientes,
- ✓ La resistencia a la oxidación por los gases de combustión calientes,
- ✓ La resistencia mecánica a altas temperaturas.

Los espesores de tubos para el serpentín, el límite práctico para espesores mínimos para tubos nuevos, los espesores de pared de tubos, se deben determinar de acuerdo con el procedimiento establecido en el estándar ISO 13704 última edición/API 530 última edición, usando valores de esfuerzos certificados por el fabricante de los materiales y aprobados por el comprador para 100 000 horas de servicio como mínimo.

Figura 15. Horno – Haz de tubos



Fuente. RWD Technologies. Entrenamiento de Nivelación Área Metalmecánica ECOPEPETROL S.A.

Se permite una soldadura intermedia en los tubos, si estos no pueden ser suministrados en su longitud total, dicha soldadura se debe inspeccionar totalmente y debe tener un acabado interno que permita el uso de equipo para limpieza mecánica.

Cuando los tubos de la sección de choque y la sección de radiación correspondan al mismo servicio, estos deben ser del mismo material y espesor.

Cuando la tubería de enlace sea externa esta debe ser de los mismos materiales que la tubería precedente de convección y cuando la tubería de enlace sea interna esta debe ser de la misma metalurgia que la tubería de radiación. La unión de materiales diferentes debe ser bridada y no sujetas a la radiación directa o flujo de gases de combustión, no se aceptan uniones soldadas de materiales disímiles.

Retornos.

Retornos tipo tapón.

Los retornos tipo tapón se especifican para permitir la limpieza mecánica de tubos debido a la formación de coque o ensuciamiento, estos deben ser de dos tapones.

Los retornos tipo tapón se deben localizar en caja de cabezales y se deben seleccionar para la misma presión de diseño que el tubo al que se conectan y para una temperatura de diseño igual a la temperatura máxima de operación del fluido en ese tubo, más un mínimo de 303 K (30° C).

Las dimensiones del asiento de los cabezales para el rolado de los tubos deben cumplir con las dimensiones y tolerancias especificadas en el estándar API 560 última revisión.

Los tubos y retornos tipo tapón se deben arreglar de tal manera que haya suficiente espacio para las operaciones de mantenimiento en campo, tales como rolado, soldadura, y relevado de esfuerzos.

Soportes de lo serpentines.

Los materiales usados en ellos deben ser: resistentes al ataque de los gases de combustión, resistentes a la corrosión ocasionada por las cenizas de los combustibles líquidos y a la oxidación. Además deben mostrar propiedades mecánicas adecuadas al ser sometidos a calentamiento.

Figura 16. Soportes de los serpentines



Fuente. RWD Technologies. Entrenamiento de Nivelación Área Metalmecánica ECOPETROL S.A.

1.7. OBJETIVOS

1.7.1. GENERAL

Mejorar los tiempos de ejecución en el mantenimiento de los hornos H-2801 A/B de la planta VISCORREDUCTORA II, mediante la incorporación de nuevas tecnologías y procedimientos: “Limpieza de serpentines mediante PIG”.

1.7.2. ESPECÍFICOS

- Reducir los costos operacionales en Desvío de Fondos DEMEX (ALC), el consumo de vapor y gas combustible en proceso de decoquizada con vapor (48HORAS) y las pérdidas por lucro cesante (2,42 días)
- Garantizar la capacidad en los niveles de tanques de almacenamiento.
- Minimizar el impacto causado en los materiales del horno por el decoquizado con vapor en la zona de convección de hornos.
- Eliminar el alto riesgo de uso de Máquinas de Lavado de Alta Presión (Hidroject) y la utilización de herramientas neumáticas (Chapolas).
- Eliminar la exposición a contaminantes residuales del COKE, el número de personas expuestas al riesgo de unidades en servicio.
- Minimizar el impacto ambiental.
- Aminorar la fatiga de los materiales de los tubos del horno, causados por el decoquizado mecánico.

2. MARCO TEORICO

2.1. DECOQUIZADO DE HORNOS ACTUAL – MECÁNICO

Previo al inicio de la ejecución de decoquizado mecánico en frío (Chapola e Hidroject), se realizan, las siguientes actividades:

- Adecuación para decoquizado con vapor
- Instalación y giro de ciegos en 8”
- Retiro de termocuplas e instalación de tapones de sacrificio
- Decoquizado con vapor
- Retiro de tapones y aplicación de SAS

2.1.1. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla 2. Cronograma de actividades.

METODO TRADICIONAL			
ITEM	ACTIVIDAD	HORAS	DIAS
1	APAGADA	32	1,33
2	INSTALACION CIEGOS LIMITES Y ACONDICIONAMIENTO DECOQ. VAPOR	15	0,63
3	DECOQUIZADO VAPOR	72	3,00
4	ACONDICIONAMIENTO DECOQUIZADA MECANICA (instalación de ciegos, retiro de tapas y tapones)	28	1,17
5	DECOQUIZADA MECANICA	164	6,83
6	INSTALACION DE TAPONES Y CRUCETAS	25	1,04
7	BARRIDO CON VAPOR	6	0,25
8	PRUEBA HIDROSTATICA	27	1,13
9	NORMALIZACION DEL HORNO (retiro de ciegos)	14	0,58
10	DILIGENCIAMIENTO PROTOCOLO DE ENTREGA	1	0,04
	TOTAL DIAS MECANICOS	352	14,67
11	ARRANCADA	48	2,00
	TOTAL PARADA DE PLANTA	432	18,00

2.1.2. PROCEDIMIENTO DE DECOQUIZADO MECÁNICO

2.1.2.1. Equipos Utilizados

- ✓ Máquinas de alta presión Hidroject.

Son máquinas que utilizan tecnología de agua a alta presión (presiones de 30000 a 60000 psig) y caudal mínimo de 40 lt/min.

Estas máquinas son utilizadas para la limpieza de tubería, limpieza de haces y partes de los intercambiadores, poseen un sistema de pedal de rápido accionamiento que permite el control de la presión del chorro y desfogue de la presión residual de la manguera flexible, disminuyendo el riesgo de accidente por golpe en circuitos presionados.

Con el fin de proteger a los operarios, se utilizan trajes de protección especiales de lona reforzado tipo gladiador, los cuales son seguros y ergonómicos, además que en la boca del tubo se dispone de un carro mecánico que desplaza el latiguillo hacia dentro y hacia fuera del tubo.

Figura 17. Máquina de alta presión Hidroject.



Fuente. Gardner Denver.

- ✓ Mangueras con alma de acero para 60000 psi.
- ✓ Accesorios de la máquina hidroject boquillas y lanzas.
- ✓ Compresores de 750 cfm a 1000 psi.

Figura 18. Compresor de aire de 950 cfm.



Fuente. KAESER Kompressoren GmbH

- ✓ Chapolas

Brocas neumáticas o cabezas limpiadoras (chapolas). Son brocas con motores neumáticos utilizadas para la limpieza mecánica de la tubería de los hornos H-2801 A/B.

Por los riesgos ocupacionales que esta actividad presenta y con el fin de mitigarlos para los operarios y hacer más segura esta actividad, se utilizan elementos de protección personal, tales como: guantes de vaquetas más largos, doble protección auditiva, máscaras full face, trajes tyvek y máscaras de protección de cuello tipo soldador.

Figura 19. Herramientas Neumáticas - Chapolas.



Fuente. Autor

- ✓ Llaves neumáticas (perras) con cuadrantes de 2-1/2" y 1-1/2"
- ✓ Herramienta Menor

2.1.2.2. Actividades de Decoquizado Mecánico

- ✓ Decoquizado con vapor por 72 horas.
- ✓ Se procede a abrir las tapas cabezales de los serpentines A y B ubicadas al lado oriental y occidental de cada horno.
- ✓ Para efectuar los trabajos de mantenimiento se divide la zona de radiación en dos áreas de trabajo de la siguiente manera: Zona 1 del tubo 4 al tubo 19, Zona 2 del tubo 20 al 31 que queda ubicada en la parte superior de la radiación y la Zona 3 del tubo 32 al 49 que queda ubicada en la zona inferior.
- ✓ Se inicia aflojando los tapones de abajo (tapón 49) hacia arriba (tapón 4) utilizando para esta actividad llaves neumáticas.
- ✓ Esta actividad se realiza en el orden indicado con el propósito de garantizar la seguridad del personal que pueda estar en la parte inferior del horno.
- ✓ Una vez realizada esta actividad en uno de los extremos del serpentín se procede de igual forma con el extremo contrario. Se empiezan a retirar los tapones en el mismo orden que fueron aflojados para poder realizar su identificación.

- ✓ Estos tapones se disponen en una caneca con a.c.p.m. para facilitar el retiro de la mugre impregnada.
- ✓ Al retirar todos los tapones es probable que en algunas líneas se encuentre obstrucción de coque que no permitan su inspección ni empezar su limpieza, por lo que se hace necesario retirar esta obstrucción utilizando herramientas de mano (cincel y porra) cuidando de no dañar el área de sello de la línea.
- ✓ Al retiro de los tapones el personal de inspección de ECP, hace una revisión preliminar de las líneas para estimar el grado de suciedad de cada una.

Esta actividad queda registrada en una memoria de cálculo. La inspección de limpieza de las líneas de los serpentines se realiza para la entrega de avance de obra.

- ✓ Se inicia trabajos con máquina hidroject comenzando del tubo 49 hacia arriba.
- ✓ El supervisor de hornos controla el proceso de limpieza y tiene en cuenta los siguientes aspectos:
 - El tipo de boquilla a utilizar.
 - La longitud de la lanza requerida.
 - La presión del agua, que debe ir de 0 lbs a 30.000 lbs o más si se requiere de acuerdo al tipo de limpieza.
 - La longitud y/o altura para la cantidad de manguera requerida.
 - La chapola a utilizar de acuerdo a las condiciones de suciedad de la línea.
 - El tipo de limpieza a realizar según el alcance de las especificaciones técnicas.
 - Debe asegurarse un área despejada de 3 mts de radio.

- ✓ El supervisor tiene autonomía en el control de las labores y proceder de forma rápida en la toma de decisiones. Decidir si debe cambiar el tipo de limpieza mecánica (maquina hidroject o chapola) y el tiempo de la misma. Tomar decisiones del orden de los tubos a limpiar teniendo en cuenta que la limpieza debe realizarla de la zona inferior a la zona superior cuando se trata de limpieza con maquina hidroject.
- ✓ Los frentes de trabajos deben ejecutar la limpieza en el mismo extremo del serpentín para evitar accidentes, de lo contrario realizar las contingencias necesarias para controlar la salida del material y desviar su caída hacia el centro del horno.
- ✓ La línea que se reciba a satisfacción por el cliente ECP se procede a instalar el tapón de forma definitiva con el fin de evitar que se dejen herramientas o cualquier otro elemento que obstruya el tubo y perjudique el proceso operacional del horno. Estas líneas se recibirán por grupos.
- ✓ Una vez terminada la limpieza de todos las líneas de los serpentines y recibidos a satisfacción se procederá a ajustar los tapones con la llave neumática y a alistar la prueba hidrostática del serpentín.

Figura 20. Tubos del horno sucios.



Fuente. Autor

Figura 21. Tubos del horno limpios.



Fuente. Autor

2.2. DECOQUIZADO DE HORNOS METODO PROPUESTO – PIGGING.

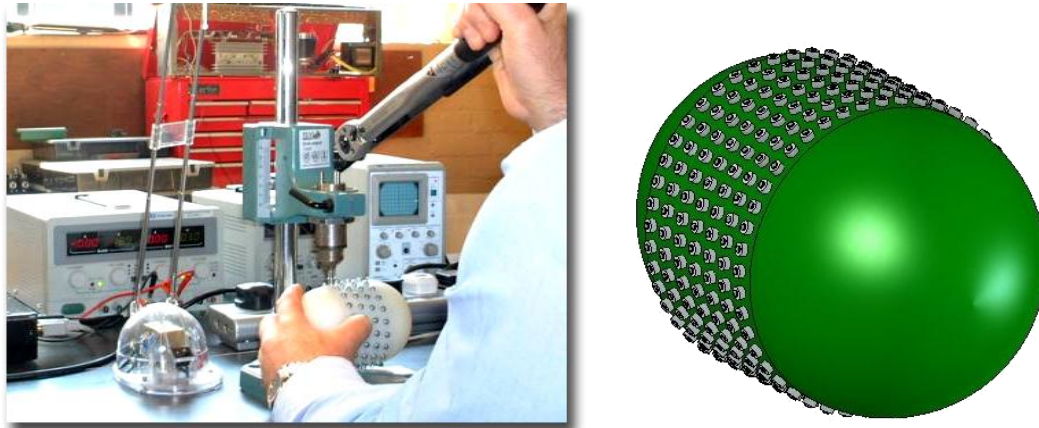
2.2.1. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Tabla 3. Cronograma de actividades – Pigging.

METODO PIGGING			
ITEM		HORAS	DIAS
1	APAGADA	32	1,33
2	INSTALACION CIEGOS LIMITES Y ACONDICIONAMIENTO DECOQ. VAPOR	15	0,63
18	ACONDICIONAMIENTO DE LANZADORES	6	0,25
19	PIGGING	144	6,00
20	RETIRO DE LANZADORES	6	0,25
4	ACONDICIONAMIENTO LIMPIEZA DE CABEZALES (retiro de tapas y tapones)	28	1,17
21	LIMPIEZA DE CABEZALES	20	0,83
6	INSTALACION DE TAPONES Y CRUCETAS	25	1,04
7	BARRIDO CON VAPOR	6	0,25
8	PRUEBA HIDROSTATICA	27	1,13
9	NORMALIZACION DEL HORNO (retiro de ciegos)	14	0,58
10	DILIGENCIAMIENTO PROTOCOLO DE ENTREGA	1	0,04
	TOTAL DIAS MECANICOS	292	12,17
11	ARRANCADA	48	2,00
	TOTAL PARADA DE PLANTA	372	15,50

Los PIG son brocas que poseen una compleja construcción de laminación de polímeros utilizando alto estándar de gases termoplásticos, manufacturados bajo norma ISO 9001 quality control procedures, los cuales son lanzados al interior de los tubos para el corte del coque, para su control y monitoreo en línea del proceso de decoquizado.

Figura 22. PIGs.



Fuente. Nexxo - Cokebuster

2.2.2. PROCEDIMIENTO DE DECOQUIZADO CON PIGGING

2.2.2.1. Movilización a Sitio

La unidad de bombeo de Pigging se compone de una unidad en Contenedor Universal, para facilitar y disminuir costos de transporte, esta va a sitio con todo los equipos necesarios para realizar un decoquizado simultáneo para dos tramos de tubería distintos en un horno para mayor velocidad y eficiencia, tales como:

- Conexiones de agua y aire comprimido para todos los lanzadores /receptores.
- 2 motores de 430 hp
- 2 bombas de agua de 9.000 litros/minuto
- 10 válvulas de bola de 4" activadas electrónicamente por actuadores de aire
- Relojes de presión y flujo
- Controles de operación duales
- Tanque de agua limpia de 14.000 lts
- Tanque de agua sucia de 5.000 lts
- Filtrado inicial en tanque de la unidad
- Conexión de agua de 2" para llenado de tanque desde toma contraincendio

- Tuberías y mangueras con uniones hammerlock de 3" de diámetro para realizar las conexiones entre la Unidad de Bombeo y los puntos de acceso al horno
- Conexiones hammerlock (codos y uniones) (1000 psi)
- Mangueras flexibles de drenado para descarga del tanque de agua sucia
- Lanzadores / Recibidores de distintas medidas.
- Válvulas de bola full bore conectadas a todos los lanzadores para el lanzamiento de los PIG, recepción de agua y conexiones de aire comprimido.
- Sala Control Climatizada
- Colectores de Coke On Board
- Gran bodega de Pigs y Herramientas
- Amplia variedad de acoples necesarios.

Construido bajo los mejores estándares de la industria y monitoreo computarizado continuo.

Las dimensiones aproximadas de una unidad de bombeo, son de 14.63 m de largo, 4,11 m de ancho.

Figura 23. Unidades de Bombeo.



Fuente: Nexxo

Cuenta con un panel de control ergonómico, para el monitoreo en línea durante todo el proceso de Decoking, medidas precisas y análisis de presión y caudal, Software de control de Decoking continuo durante el servicio.

Figura 24. Panel de Control Unidad de Bombeo.



Fuente: Nexxo - Cokebuster

2.2.2.2. Requerimientos

- **Electricidad**

Se requiere de toma de 110v, local disponible. Necesarios para las computadoras y las lámparas de la Unidad de Bombeo.

- **Combustible**

40 litros/hora de Diesel.

- **Agua**

Una conexión requerida desde un lugar cercano, puede ser utilizada agua del sistema de hidrantes contraincendios.

2.2.2.3. Conexión al horno

Durante el proceso de puesta en marcha, se hace unas conexiones, con el flujo de las tuberías de retorno, hay cuatro enlaces de tuberías separadas entre el horno y la Unidad de extracción doble.

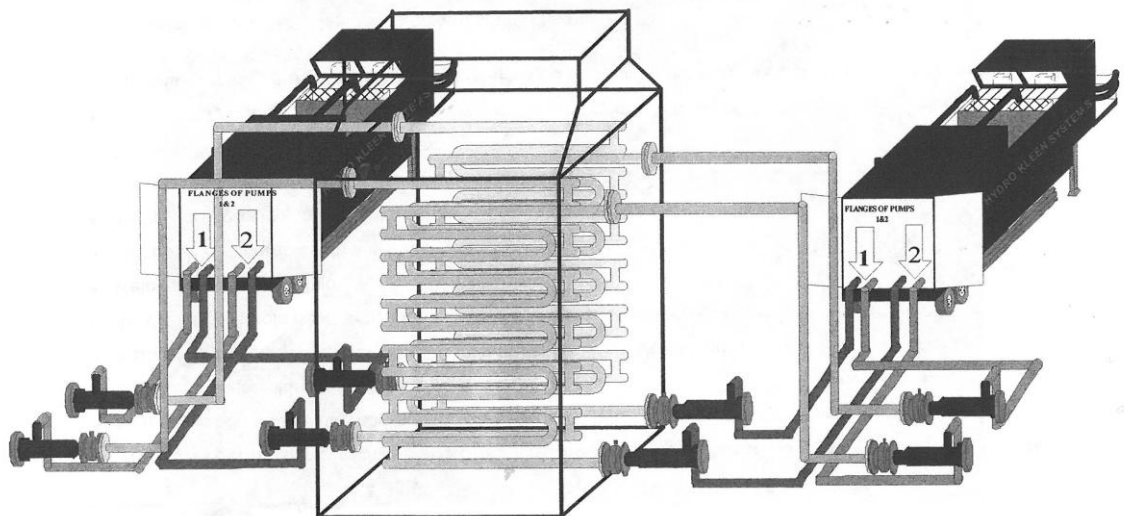
En todos los puntos de acceso se requieren bridas de 300#, para la conexión de las unidades especiales de lanzador / receptor. Estos se establecen en posición horizontal y están equipados con una válvula de bola llena y puede requerirse de una grúa para levantar en sitio.

El lanzador / receptor debe estar en posición de ser accesible, no es obligatorio el grado de posición de acoplamiento, sin embargo, es más seguro y facilita una más suave y rápido procedimiento de circuito.

En cada lanzador / receptor es necesario un acoplamiento para unir la tubería de agua, esta tubería puede ser flexible o rígida y se dispondrán en sentido horizontal y doble unidad de bombeo.

Figura 25. Conexión sistema de Pigging

Dos Unidades Dobles de HKS decoquificando cuatro pases simultáneamente



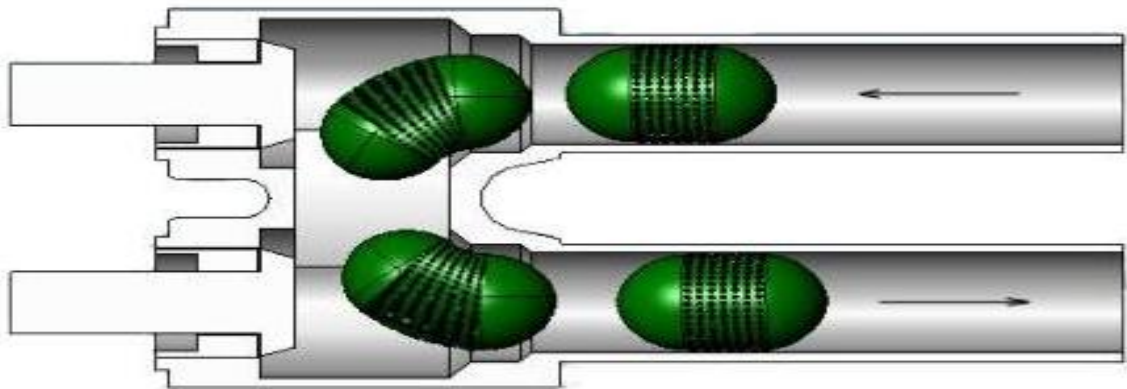
Fuente. HKS

2.2.2.4. Actividades de Decoquizada

- Antes de la operación de decoquizada, es requerida suficiente agua para llenar los pasos del horno y el depósito de agua limpia para las unidades de doble bombeo.
- Generalmente son necesarios 7.000 galones, cuando comienza la operación de raspado, en la etapa inicial de limpieza se requiere mayor cantidad de agua, la tasa de agua necesaria depende de un número de factores indeterminables, aún así es poco probable que exceda de 3.000 galones por hora y disminuirá a medida que los tubos del hornos sean limpiados.
- Una válvula de bola llena separa cada lanzador / receptos de la tubería del horno. Al operar estas válvulas, los lanzadores /recibidores pueden ser periódicamente aislados del sistema para cargar, recobrar o cambiar los PIG.
- Una vez que los tubos de los hornos están llenos, los técnicos circulan agua solamente, con el fin de eliminar los hidrocarburos restantes y los residuos sueltos.
- El proceso de eliminación del coque se inicia con un PIG de prueba tipo esponja, que se lanza a través de la tubería, hasta ser recibido en la correspondiente entrada o salida de esta. Después de inspeccionar la densidad de la espuma y el estado del PIG de prueba, se determina el diámetro deseado para la limpieza de la tubería.
- Durante el procedimiento, se incrementa el tamaño de los PIG y el tipo de este a utilizar, estos se determinan con base en la experiencia y entrenamiento de los técnicos y es un factor determinante dentro del proceso de limpieza.

- Antes de confirmar la finalización de la limpieza de un tramo de tubería, se lanza un cerdo de un tamaño mayor al diámetro interno, utilizado para compensar cualquier distorsión o la presencia de secciones ovaladas que podrían estar presentes en el horno debido a procesos de decoquizados anteriores con aire-vapor.

Figura 26. Recorrido del PIG.



Fuente: Nexxo – Cokebuster.

- La corrida final en cualquier tubería es generalmente efectuada con un PIG esponja recubierto con abrasivos. Este tipo de PIG son usados con el propósito de retirar cualquier parche aislado de coque o de depósitos inorgánicos.

Figura 27. Tubos del horno sucios.



Fuente. Autor

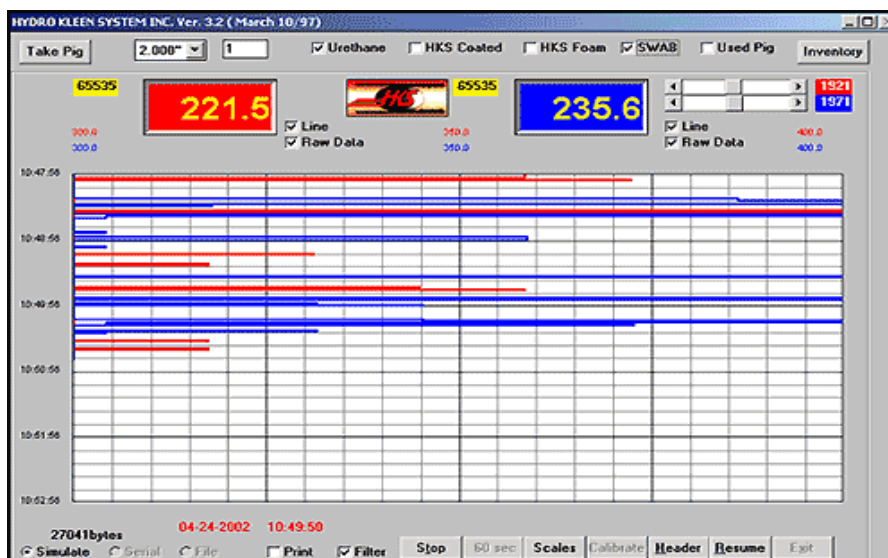
Figura 28. Tubos del horno limpios con Pigging.



Fuente. Nexxo

- La entrada de cada PIG se registra y se graba cada paso a través de la tubería del horno, es monitoreada por sistemas automatizados desde el cuarto de control de la Unidad de Bombeo.
- Cada operador puede controlar la velocidad, dirección, presión y volumen, dirigiendo así el progreso del PIG a través de la tubería del horno.
- Cada técnico con experiencia, interpreta estas grabaciones y ofrece la posibilidad de estudiar y registrar la presión y las fluctuaciones de flujo devueltos por cada PIG mientras se limpia el sistema. La Unidad de Bombeo está también diseñada para revertir el flujo para los PIG y así ser bidireccional.
- Por el seguimiento realizado a los PIG en su recorrido a través de la tubería, es posible controlar las diferencias de resistencia a la presión, en caso de una ruptura de la integridad de los tubos de los hornos, los técnicos tienen la facilidad para cambiar la presión y volumen a cero.

Figura 29. Registro computarizado de seguimiento.



Fuente: Hydro Kleen Systems Group S.A.

2.2.2.5. Efluentes

Durante el proceso de decoquizada, son grandes las cantidades de coque y contaminantes removidos, estos son recolectados en cestas de acero inoxidable de la Unidad; igualmente los sólidos en suspensión, quedan sedimentados en el fondo del tanque de agua sucia. A medida que el tanque se llene durante el proceso, es necesario ser vaciado, por lo tanto se requiere de un sitio de disposición y un camión de vacío.

2.2.2.6. Finalización

Al final del proceso de decoquizado, cuando todos los tramos de tuberías estén limpios y drenados, los equipos son desconectados y montados en la Unidad de Bombeo.

2.2.3. VENTAJAS DEL SISTEMA DE LIMPIEZA PIGGING

- Completa remoción y recolección del coque y de los depósitos inorgánicos.

- No se dañan los tubos
- Posibilidad de realizar otras tareas de mantenimiento simultáneas mientras se realiza en Pigging.
- Total eliminación de emisiones inaceptables desde el punto de vista ambiental.
- No hay necesidad de altas temperaturas, como las usadas en el tradicional decoquificado Aire-Vapor.
- Aumenta el tiempo en servicio del horno.
- Mejora la confiabilidad del horno.
- El sistema de seguimiento acústico, es usado para monitorear el movimiento de los PIG mientras limpian los tubos del horno. Esto se realiza al detectar las vibraciones asociadas al paso del PIG sobre el coque y también al pasar a través de codos y cabezales.

2.2.4. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES TOTAL DEL SERVICIO

Tabla 4. Cronograma actividades total del servicio.

ITEM	DESCRIPCION	DURACION [día]																															
			0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12	12,5	13	13,5	14	14,5	15	15,5
1	Llegada a sitio de ejecución	6	█																														
2	Adecuación de hornos para instalación del sistema Pigging Decoking	2					█																										
3	Conexión de la unidad al horno	1						█																									
4	Alimentación de la unidad CB	0,5							█																								
5	Operación de limpieza Pigging Decoking	6,5								█																							
6	Disposición de desechos	1														█																	
7	Terminación de operaciones y desconexión	1														█																	
8	Cierre del horno	2															█																

2.3. CUADRO COMPARATIVO DECOQUIZADA MECÁNICA VS. DECOQUIZADA CON PIGGING

Tabla 5. Cuadro comparativo decoquizado mecánico vs. pigging.

DESCRIPCION	DECOQ. MECÁNICA	DECOQ. PIGGING
Tiempos de ejecución total parada - días	18.0	15.5
Horas Hombre	640	200
Lucro Cesante diario (valor variable que depende de la producción de la Refinería)	U\$250.000	
Costo Decoquizada TRM 14/04/12: \$1.777,12	\$1.200.000.000,00	\$750.000.000,00
Afectación a los materiales del equipo	Mayor desgaste y envejecimiento prematuro, por el tipo de herramientas utilizadas.	Por la composición de polímeros y la mezcla de compuestos utilizados en la fabricación de los Pig, permite mayor capacidad de resistencia y flexibilidad, removiendo solo Coke sin dañar el interior del tubo.
Personas	Existe alto riesgo de afectación a los operarios, por la realización de actividades manuales con herramientas mecánicas.	No existe contacto directo del personal, debido a que los Pig, son lanzados al interior de los tubos y monitoreados a través de un software de control desde un contenedor.
Medio Ambiente	Gran cantidad de residuos de coke, los cuales son recolectados manualmente en canastillas y llevados al sitio de disposición final.	No existen venteos ni daños ambientales, dado que los residuos de coke son arrastrados a través de la tubería con el agua sucia a un tanque de almacenamiento.

3. MARCO CONCEPTUAL

El mantenimiento es el grupo de actividades, estrategias y hechos que se realizan para garantizar que una organización sea productiva con la mayor disponibilidad y confiabilidad posibles, para elevar permanentemente la productividad y la competitividad.

El primer objetivo del mantenimiento es evitar o mitigar las consecuencias de los fallos de los equipos, logrando prevenir las incidencias antes de que estas ocurran.

El mantenimiento preventivo permite detectar fallos repetitivos, disminuir los puntos muertos por paradas, aumentar la vida útil de equipos, disminuir costos de reparaciones, detectar puntos débiles.

En general se ocupa en la determinación de condiciones operativas, de durabilidad y de confiabilidad de un equipo, el mantenimiento preventivo nos ayuda a reducir los tiempos que pueden generarse por mantenimiento correctivo.

La función principal del mantenimiento es, garantizar que los equipos estén con la máxima disponibilidad, confiabilidad y fiabilidad durante el tiempo solicitado para operar, en las condiciones técnicas y tecnológicas, con los niveles de calidad, cantidad y tiempo solicitados para optimizar su rentabilidad.

Un sistema de mantenimiento deficiente puede exigir la reparación como consecuencia de la falta de mantenimiento preventivo.

Para la realización de una planificación, programación y ejecución de un mantenimiento mayor, se deben realizar algunas consideraciones de factores adicionales, tales como: confiabilidad operacional, mantenibilidad y disponibilidad,

es decir, se busca dar respuesta a preguntas como: ¿Qué actividades deben ser realizadas durante la parada y de qué manera se pueden optimizar tiempos y costos de ejecución?, ¿Qué actividades no se requieren hacer?, ¿Qué actividades deben hacerse en rutina y en qué momento del ciclo de operación de la planta?, ¿Qué actividades pueden hacerse en la próxima parada?

La aplicación de técnicas de confiabilidad operacional en la gestión de mantenimiento mayor en planta industriales, tiene por objeto optimizar el alcance de mantenimiento, lo cual representa ahorros sustanciales. El beneficio que se obtiene al eliminar la subjetividad e incertidumbre que acompaña a la mayoría de las decisiones que se deben tomar; y que normalmente se traduce en cantidades de obra sobrestimada, se maximiza al aplicar técnicas que permiten identificar las causas raíz de los problemas, la probabilidad de ocurrencia de los mismos y las consecuencias tanto operacionales como de seguridad. Es decir se tiene un conocimiento del riesgo asociado a cada decisión y se acepta el mismo o se busca mejorar con la acción de mantenimiento propuesto.

3.1. MANTENIMIENTO PREVENTIVO

El propósito del mantenimiento preventivo es el de prever las fallas manteniendo los sistemas de infraestructura, equipos e instalaciones productivas en completa operación a los niveles y eficiencia óptimos.

La característica principal de este tipo de mantenimiento es la de inspeccionar los equipos y detectar las fallas en su fase inicial y corregirlas en el momento oportuno.

La programación de inspecciones, tanto de funcionamiento como de seguridad, ajustes, reparaciones, análisis, limpieza, lubricación, calibración, que deben

llevarse a cabo en forma periódica en base a un plan establecido y no a una demanda del operario o usuario.

Con un buen mantenimiento preventivo, se obtiene experiencias en la determinación de causas de las fallas repetitivas o del tiempo de operación seguro de un equipo, así como a definir puntos débiles de instalaciones, máquinas, etc.

3.1.1. VENTAJAS DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

- Confiabilidad, los equipos operan en mejores condiciones de seguridad, ya que conoce su estado y sus condiciones de funcionamiento.
- Disminución del tiempo muerto, tiempo de parada de equipos / máquinas.
- Mayor duración, de los equipos e instalaciones.
- Disminución de existencias en almacén y por lo tanto sus costos, puesto que se ajustan los repuestos de mayor y menor consumo.
- Uniformidad en la carga de trabajo para el personal de mantenimiento debido a una programación de actividades.
- Menor costo de las reparaciones.

3.1.2. FASES DEL MANTENIMIENTO PREVENTIVO

- Inventario técnico, con manuales, planos, características de cada equipo.
- Procedimientos técnicos, listados de trabajos a efectuar periódicamente.
- Control de frecuencias, indicación exacta de la fecha a efectuar el trabajo.
- Registro de reparaciones, repuestos y costos que ayuden a planificar.

3.2. MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Se entiende por mantenimiento correctivo la corrección de las averías o fallas, cuando éstas se presentan. Es la habitual reparación tras una avería que obligó a detener la instalación o máquina afectada por el fallo.

Históricamente, el mantenimiento nace como servicio a la producción. Lo que se denomina Primera Generación del Mantenimiento, cubre el periodo que se extiende desde el inicio de la revolución industrial hasta la Primera Guerra Mundial. En estos días la industria no estaba altamente mecanizada, por lo que el tiempo de paro de maquina no era de mayor importancia. Esto significaba que la prevención de las fallas en los equipos no era una prioridad para la mayoría de los gerentes. A su vez, la mayoría de los equipos eran simples, y una gran cantidad estaba sobredimensionada. Esto hacía que fueran fiables y fáciles de reparar.

Como resultado no había necesidad de un mantenimiento sistemático mas allá de limpieza y lubricación, y por ello la base del mantenimiento era puramente correctiva.

Las posteriores generaciones del mantenimiento trajeron el preventivo sistemático, el predictivo, el proactivo, el mantenimiento basado en fiabilidad, etc. Y aún así, una buen parte de las empresas basan su mantenimiento exclusivamente en la reparación de averías que surgen, e incluso algunas importantes empresas

sostienen que esta forma de actuar es la más rentable. En otras muchas, las tareas correctivas suponen un alto porcentaje de su actividad y son muy pocas las empresas que han planteado como objetivo reducir a cero este tipo de tareas (objetivo cero averías) y muchas menos las que lo han conseguido.

Existen dos formas diferenciadas de mantenimiento correctivo: el programado y no programado. La diferencia entre ambos radica en que mientras el no programado supone la reparación de la falla inmediatamente después de presentarse, el mantenimiento correctivo programado o planificado supone la corrección de la falla cuando se cuenta con el personal, las herramientas, la información y los materiales necesarios y además el momento de realizar la reparación se adapta a las necesidades de producción.

La decisión entre corregir un fallo de forma planificada o de forma inmediata suele marcarla la importancia del equipo en el sistema productivo: si la avería supone la parada inmediata de un equipo necesario, la reparación comienza sin una planificación previa. Si en cambio, puede mantenerse el equipo o la instalación operativa aún con ese fallo presente, puede posponerse la reparación hasta que llegue el momento más adecuado.

La distinción entre correctivo programado y correctivo no programado afecta en primer lugar a la producción. No tiene la misma afección el plan de producción si la parada es inmediata y sorpresiva que si se tiene cierto tiempo para reaccionar.

Por tanto, mientras el correctivo no programado es claramente una situación indeseable desde el punto de vista de la producción, los compromisos con clientes y los ingresos, el correctivo programado es menos agresivo con todos ellos.

En segundo lugar, afecta a un indicador llamado 'Fiabilidad'. Este indicador, no incluye las paradas planificadas (en general, las que se pueden programar con más de 48 horas de antelación).

Muchas empresas optan por el mantenimiento correctivo, es decir, la reparación de averías cuando surgen, como base de su mantenimiento: más del 90% del tiempo y de los recursos empleados en mantenimiento se destinan a la reparación de fallos.

3.2.1. VENTAJAS DEL MANTENIMIENTO CORRECTIVO

El mantenimiento correctivo como base del mantenimiento tiene algunas ventajas indudables:

- No genera gastos fijos
- No es necesario programar ni prever ninguna actividad
- Sólo se gasta dinero cuando está claro que se necesita hacerlo
- A corto plazo puede ofrecer un buen resultado económico
- Hay equipos en los que el mantenimiento preventivo no tiene ningún efecto, como los dispositivos electrónicos

3.2.2. INCONVENIENTES DEL MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Esas son las razones que en muchas empresas inclinan la balanza hacia el correctivo. No obstante, estas empresas olvidan que el correctivo también tiene importantes inconvenientes:

- La producción se vuelve impredecible y poco fiable. Las paradas y fallos pueden producirse en cualquier momento. Desde luego, no es en absoluto recomendable basar el mantenimiento en las intervenciones correctivas en plantas con un alto valor añadido del producto final, en plantas que

requieren una alta fiabilidad (p. ej, empresas que utilizan el frío en su proceso), las que tienen unos compromisos de producción con clientes sufriendo importantes penalizaciones en caso de incumplimiento (p.ej la industria auxiliar del automóvil o el mercado eléctrico) o las que producen en campañas cortas (industria relacionada con la agricultura).

- Supone asumir riesgos económicos que en ocasiones pueden ser importantes.
- La vida útil de los equipos se acorta.
- Impide el diagnóstico fiable de las causas que provocan la falla, pues se ignora si falló por mal trato, por abandono, por desconocimiento del manejo, por desgaste natural, etc. Por ello, la avería puede repetirse una y otra vez.
- Hay tareas que siempre son rentables en cualquier tipo de equipo. Difícilmente puede justificarse su no realización en base a criterios económicos: los engrases, las limpiezas, las inspecciones visuales y los ajustes. Determinados equipos necesitan además de continuos ajustes, vigilancia, engrase, incluso para funcionar durante cortos períodos de tiempo.
- Los seguros de maquinaria o de gran avería suelen excluir los riesgos derivados de la no realización del mantenimiento programado indicado por el fabricante del equipo.
- Las averías y los comportamientos anormales no sólo ponen en riesgo la producción: también pueden suponer accidentes con riesgos para las personas o para el medio ambiente
- Basar el mantenimiento en la corrección de fallos supone contar con técnicos muy cualificados, con un stock de repuestos importante, con medios técnicos muy variados, etc.

3.3. DISPONIBILIDAD

Existen muchas definiciones y estas varían de acuerdo al autor, o de acuerdo al contexto del cual se esté hablando; para este trabajo de monografía lo concretamos como: *La probabilidad de poder contar con un equipo cuando sea necesario y que funcione satisfactoriamente cuando es requerido después del comienzo de su operación.* Es decir no solo basta con que contemos con uno de los equipos para poder cumplir el ciclo sino con todos los que conforman el sistema.

Existen varias técnicas para determinar el valor de disponibilidad de un activo o un grupo de activos, tal y como lo describe Luis Alberto Mora en su libro: **Mantenimiento Estratégico Para Empresas Industriales o de Servicios** “ La Modelación de la disponibilidad se puede realizar mediante diversas técnicas, desde unas muy simples que se basan en indicadores puntuales e instantáneos que se calculan independiente de la estimación de probabilidades y de sus leyes que modelan el CMD, hasta otras más complejas donde si se tienen en cuenta las distribuciones que simulan el comportamiento de la confiabilidad y de la mantenibilidad, hasta llegar al uso de simulaciones tipo Montecarlo”. Las más empleadas son: Disponibilidad Genérica, Disponibilidad Inherente, Disponibilidad Alcanzada, Disponibilidad Operacional y Disponibilidad Operacional Generalizada. Consideramos para este trabajo emplear la Disponibilidad Operacional. “Si se tiene en cuenta los tiempos logísticos y administrativos de demoras, en la gestión del mantenimiento y en la operación de equipos, antes o después de una intervención correctiva o planeada, se debe considerar la disponibilidad operacional.

El Análisis de confiabilidad es una guía para los problemas más comunes experimentados en los sistemas, equipos y componentes. Estas técnicas aplicadas durante el ciclo de vida del activo nos ayudan a identificar los fallos antes del desarrollo del proyecto de parada de planta.

Los **problemas de diseño del equipo**: pueden ser identificados con preguntas de modos de fallo por tipo de equipo. Este proceso puede identificar por lo general componentes que han fallado de entre la población registrada de equipos similares.

Problemas en el material del equipo: en algunos casos, el análisis de confiabilidad puede señalar una deficiencia en los materiales o en la selección del material. Esos problemas a menudo se comportan como un modo de fallo tipo “**desgaste temprano**”.

Ésta puede ser además usada como un parámetro para el diseño:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Donde A es la disponibilidad por su sigla en inglés.

3.4. MANTENIBILIDAD

La mantenibilidad es una característica de diseño e instalación, expresada como la probabilidad de que un elemento sea recuperado a una condición especificada, a lo largo de un periodo dado del tiempo empleado en el mantenimiento, cuando éste se realiza de acuerdo con los procedimientos y recursos prescritos.

La Mantenibilidad está inversamente relacionada con la duración y el esfuerzo requerido por las actividades de Mantenimiento. Puede ser asociada de manera inversa con el tiempo que se toma en lograr acometer las acciones de mantenimiento, en relación con la obtención del comportamiento deseable del

sistema. Esto incluye la duración (horas) o el esfuerzo (horas-hombre) invertidos en desarrollar todas las acciones necesarias para mantener el sistema o uno de sus componentes para restablecerlo o conservarlo en una condición específica.

La Mantenibilidad depende de factores intrínsecos al sistema y de factores propios de la organización de Mantenimiento. Entre otros muchos factores externos está el personal ejecutor, su nivel de especialización, sus procedimientos y los recursos disponibles para la ejecución de las actividades (talleres, máquinas, equipos especializados, etc). Entre los factores intrínsecos al sistema está el diseño del sistema o de los equipos que lo conforman, para los cuales el diseño determina los procedimientos de Mantenimiento y la duración de los tiempos de reparación.

3.5. TENDENCIAS ACTUALES PARA DETERMINAR LA DEGRADACION DE LOS MATERIALES METÁLICOS DE COMPONENTES INDUSTRIALES

En las áreas afines a la ciencia de los materiales, es un reto la necesidad de evaluar la integridad estructural de los sistemas en la industria energética nuclear y convencional, la petrolera y la de procesos químicos. Estas instalaciones comparten muchos de sus problemas en cuanto a los materiales de los componentes, en particular, los mecanismos de envejecimiento, los altos costos de reemplazo, y la exigencia de una producción cada vez más eficiente en la que se garanticen los aspectos de seguridad y confiabilidad.

El concepto de componente metálica incluye vasijas a presión, bombas, válvulas, tanques de almacenamiento, sistemas de tuberías, entre otros, de acuerdo con el tipo de industria.

El tiempo de vida diseñado para los principales componentes depende del estado real de los materiales, es posible en la práctica continuar la operación segura y económica, si se aplica un sistemático análisis de integridad estructural y adecuados planes de mantenimiento y modernización cuando así proceda.

Las tendencias actuales para evaluar el daño de los materiales constructivos metálicos de los sistemas en la industria energética y de procesos químicos, destaca el rol de la inspección en el servicio, las técnicas experimentales de detección y el grado del daño de los materiales, así como las metodologías de análisis empleadas.

Similarmente a la confiabilidad la expresión matemática para la mantenibilidad viene dada por:

$$M(t) = \int_0^t g(t) dt$$

Donde: $g(t)$ Es la función de densidad de probabilidad de la variable aleatoria (tiempo para reparar).

3.5.1. INSPECCIÓN EN EL ANÁLISIS ESTRUCTURAL

El grado del daño de los materiales metálicos de las instalaciones industriales depende de:

- ❖ Trabajo de inspección adecuadamente planificado.
- ❖ Estimación de la acumulación del daño mediante un modelo.
- ❖ Posibilidad de combinar ambas acciones.

La aceptabilidad o no del defecto se establece primero sobre la base de los criterios de aceptación incluidos en los códigos y normas adoptadas por el diseñador y el fabricante de la instalación. Si estos estándares no se cumplen se impone un adecuado uso de las herramientas de la mecánica de fractura.

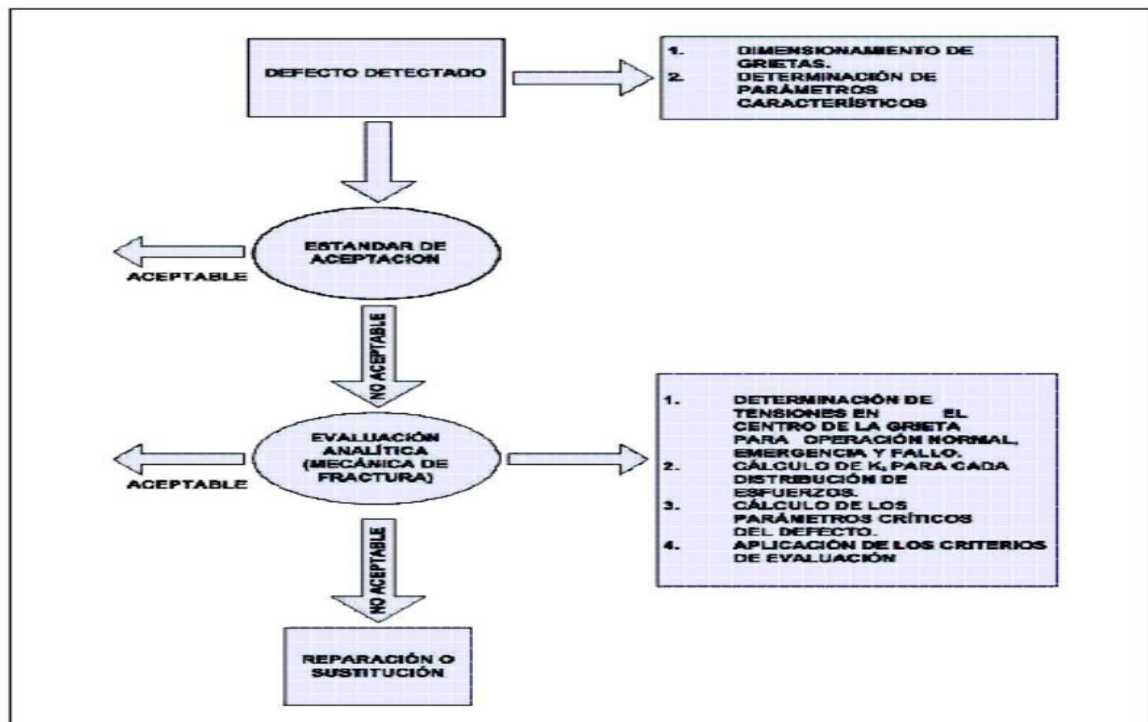
Las técnicas de inspección proporcionan estimados confiables del grado de esa degradación, y determinan las partes que necesitan ser inspeccionadas, el tipo de inspección a ejecutar, su cantidad y localización, teniendo en cuenta la edad de la

instalación y su historia de operación y de fallas. Los planes de inspección son únicos en cada instalación.

Las acciones relacionadas con el establecimiento de requisitos a materiales constructivos de componentes y soldaduras, así como las técnicas de exámenes in situ están recogidas en códigos y normas, algunos de ellos de alcance internacional.

Los códigos junto a otros documentos elaborados por los órganos regulatorios nacionales, recomendaciones de los fabricantes y datos documentados de experiencias anteriores, establecen pautas para la conformación de los programas de inspección preoperacional o en servicio.

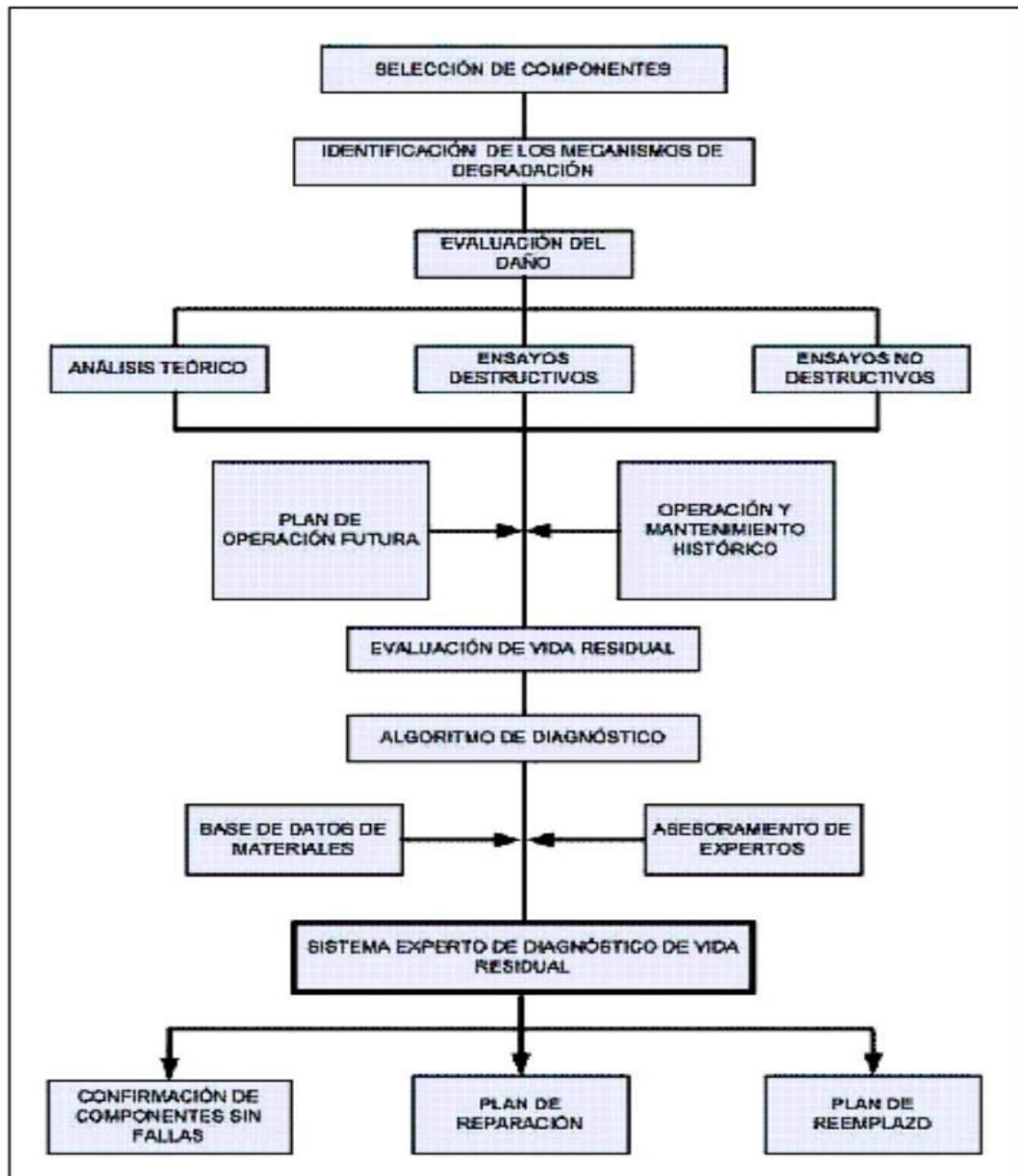
Figura 30. Metodología general de evaluación de defectos.



Fuente. Página web. scielo.sld.cu

En la práctica se realizan diagnósticos de vida residual relativamente poco costosos y simples, que utilizan algunos análisis teóricos y técnicas experimentales. No obstante, se afirma que esa metodología no reemplaza al costoso análisis de integridad.

Figura 31. Sistema típico de diagnóstico de vida residual



Fuente. Página web. scielo.sld.cu

En este, se consideran momentos relevantes:

- ❖ La disponibilidad de métodos no destructivos con alta efectividad en la detección y dimensionamiento de los defectos del material en componentes reales.
- ❖ La correcta combinación del uso de ensayos no destructivos y destructivos, los elementos de la mecánica de fractura y de herramientas modernas de cálculo y modelación.
- ❖ La disponibilidad de una adecuada base de datos de las propiedades de los materiales reales de las componentes o del equipamiento para su medición, atendiendo a la fuerte influencia que usualmente tienen las diferencias en composición y tratamientos térmicos entre distintos fabricantes e incluso entre un lote y otro de un mismo productor.

En la industria de refinación del petróleo y química para estimar la aptitud del servicio en el equipamiento presurizado se ha venido empleando el procedimiento según API (Recommended Practice 579, Fitness for Service). Esta práctica es compatible con la metodología general de la figura 29 y permite realizar evaluaciones cuantitativas para demostrar la integridad estructural de un componente en servicio que contenga una grieta u otro tipo de daño.

También es importante en la actividad de inspección la generación de la documentación que provea registros apropiados de la evaluación realizada.

Las inspecciones en servicio, utilizando fundamentalmente la aplicación de ensayos que no afecten el material de la componente, suministran información de partida para el diagnóstico de su estado, lo que unido a la disponibilidad de información confiable sobre las propiedades del material y de herramientas apropiadas de cálculo es uno de los componentes de los programas de gestión de vida, que resulta de la integración de la gestión del envejecimiento y la planificación económica con vistas a optimizar la operación, el mantenimiento y la

vida de servicio, mantener un nivel aceptable de seguridad y rendimiento, maximizando el retorno de la inversión durante la vida de servicio de la planta.

3.5.2. MECANISMOS DE DEGRADACIÓN DE MATERIALES METÁLICOS EN COMPONENTES INDUSTRIALES

Durante su explotación, los materiales constructivos de instalaciones de la industria energética, química y del petróleo se ven sometidos a la acción combinada de las cargas de servicio (factores mecánicos y físicos) y del medio (factores físicos, químicos y electroquímicos), que dan lugar a su deterioro. Este se manifiesta mediante la aparición de defectos, los que al crecer, finalmente conducen a la fractura prematura del componente.

En la siguiente tabla se resumen los mecanismos de daño que tienen lugar en los materiales de las principales componentes de plantas de generación de electricidad y de la industria petroquímica.

Tabla 6. Mecanismos de degradación en materiales.

Componente	Materiales	Mecanismos de degradación
Recipientes de caldera	Aceros al carbono	Creep Fatiga térmica
Alimentadores de caldera	Acelo al carbono, Aceros Cr-Mo Aceros inoxidables	Creep Fatiga térmica
Vasijas a presión de reactores nucleares	Aceros ferríticos (Cr-Mo) y (Cr-Mo-V)	Fragilización por irradiación neutrónica Envejecimiento térmico Corrosión bajo tensiones
Tuberías de centrales nucleares	Acelo austenítico	Corrosión bajo tensiones Fragilización térmica
Tuberías de caldera	Acelo al carbono Aceros ferríticos aleados Aceros inoxidables	Creep Corrosión acuosa Corrosión química Erosión Fatiga Fisurado en soldaduras
Cabezales de alta temperatura	Aceros Cr-Mo (1 ¼ Cr- 1/2Mo) y 2 ¼ Cr- 1Mo)	Creep Fatiga térmica Creep-fatiga Corrosión
Cabezales de baja temperatura, vapor y Drums bajos	Aceros al carbono	Corrosión-fatiga
Tuberías de vapor principal y de Recalentamiento	Aceros al carbono	Corrosión-fatiga
Rotores de presión alta e intermedia	Acelo CrMo (Nb,W)	Creep Fatiga térmica
Alabes y rotores de baja presión	NiCrMoV	Fatiga Corrosión-fatiga Fretting-fatiga Picadura Corrosión bajo tensión Fragilización por hidrógeno
Carcasas y acumuladores	Aceros CrMo y CrMoV	Creep Fatiga térmica
Vasijas de reactores petroquímicos	Aceros CrMo y recubrimiento de acero austenítico inoxidable	Fragilización por hidrógeno Fragilización térmica Corrosión bajo tensión Corrosión
Tubos de plantas petroquímicas	Aleaciones tipo 800H, HK-40, HP-45	Creep Creep-fatiga Precipitación de carburos Formación de fases sigma

Fuente. Página web: scielo.sld.cu

En las plantas eléctricas térmicas y las refinéras se utilizan mayoritariamente los aceros al carbono y los ferríticos aleados del tipo Cr-Mo y Cr- Mo- V. Las

temperaturas y presiones de operación frecuentemente corresponden a las condiciones de envejecimiento térmico y de termofluencia o Creep, procesos estos que junto a la fatiga originan innumerables fallos de componentes críticos tanto de sección fina (ej. tubos de calentadores, sobrecalentadores, etc.) como de sección gruesa (ej. cabezales de alta temperatura).

3.6. SEGURIDAD, SALUD OCUPACIONAL Y MEDIO AMBIENTE

3.6.1. ANALISIS COMPARATIVO DE LAS TÉCNICAS UTILIZADAS Y RECOMENDADAS

ASPECTO	DECOQ. MECÁNICA	DECOQ. PIGGING
Seguridad	<ul style="list-style-type: none"> • Traumas severos en extremidades • Proyección de partículas. • Desprendimiento de piezas. • Caída de piezas desajustadas. • Presiones no controladas del sistema 	<ul style="list-style-type: none"> • Presiones no controladas del sistema
Salud Ocupacional	<ul style="list-style-type: none"> • Exposición a ruido industrial de impacto. • Posiciones de tareas con probabilidad de trastornos disergonómicos. • Exposición a vibraciones con probabilidad de trastornos disergonómicos y de funcionalidad de órganos. 	
Medio Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de residuos sólidos. • Generación de gases de combustión 	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de residuos sólidos • Generación de residuos líquidos • Generación de gases de combustión

3.6.2. PRINCIPAL RIESGO PARA LA SALUD CON DECOQUIZADO MECÁNICO

El peligro riesgo es originado por el ruido de impacto producido por la chapola

3.6.2.1. RUIDO

En términos generales podemos definir al ruido como un sonido desagradable y molesto, con niveles excesivamente altos que son potencialmente nocivos para la audición. Existen varios mecanismos de exposición a un ambiente ruidoso, esto puede ser de manera continua, fluctuante, intermitente o impulsiva y dependerá de ello la profundidad y la rapidez con la que se desarrolle la pérdida auditiva, aunque en cualquiera de estos casos, es lamentablemente irreversible.

3.6.2.2. RIESGOS PARA LA SALUD

Según datos estadísticos del Ministerio de Salud, la población general en Colombia asciende a 44 millones de habitantes, de los cuales la población económicamente activa es de 12 millones de trabajadores, que representa el 35.2% de la población total del país sin incluir en esta cifra el grupo de menores trabajadores.

Al hacer un análisis de los principales problemas de salud de los trabajadores y de las principales Enfermedades Ocupacionales relacionadas con el trabajo según un estudio diagnóstico realizado por la división de Salud Ocupacional del Instituto de Seguro Social (I.S.S.), Seccional Cundinamarca en 1989, en empresas de más de 10 trabajadores, se detectó que el ruido se encuentra presente en el 60% de las empresas encuestadas, mostrando además, que éste es el agente de riesgo físico que con mayor frecuencia se presenta en las empresas estudiadas. La presencia del factor de riesgo ruido, en las empresas afiliadas al Seguro Social, ha generado que la hipoacusia neurosensorial, se encuentre en primer lugar dentro las enfermedades profesionales calificadas, de tal forma que para 1989 constituyó un

42.7%; para 1992 el 56.2% y para 1994 representó el 64.9% del total a nivel nacional.

3.6.2.3. MARCO LEGAL PARA EL RUIDO

En el tema que se trata es imprescindible describir algunas de las normas generales que rigen la Salud Ocupacional en nuestro país.

En Colombia el desarrollo de programas de Salud Ocupacional cuenta con un extenso soporte legal. Las normas se basan en la necesidad de proveer y mantener un medio ambiente ocupacional en adecuadas condiciones de higiene y seguridad:

➤ **Ley 9 de enero 24 de 1979**

Norma para preservar, conservar y mejorar la salud de los individuos en sus ocupaciones.

Artículo 106. El Ministerio de Salud determinará los niveles de ruido, vibración a que puedan estar expuestos los trabajadores.

➤ **Resolución 2400 de 1979**

Capítulo IV. De los ruidos y las vibraciones.

Organizar y desarrollar programas permanentes de medicina preventiva, de higiene y seguridad industrial, aplicar sistemas de control para protección contra riesgos profesionales.

Realizar estudios técnicos, aplicar métodos de control, mantenimiento preventivo, uso de silenciadores, nivel máximo permisible de 85 dB., aplicar control en la fuente, en el medio y en el trabajador.

Limitar el tiempo de exposición y suministro de elementos de protección personal.

Artículo 91. Susceptibilidad y la exposición al ruido, práctica de audiometrías.

➤ **Resolución 8321 agosto 4 de 1983**

Normas sobre protección y conservación de la audición, de la salud y el bienestar de las personas, por causa de la producción y emisión de ruidos, determina el ruido ambiental y sus métodos de medición, determina los valores límites permisibles para ruido continuo y de impacto. (Los valores límites permisibles son modificados por la resolución 1792 de 1990).

➤ **Decreto 614 de marzo 14 de 1984**

Determina las bases para la organización y administración de Salud Ocupacional en el país. El artículo 30 menciona específicamente la obligación de las empresas de desarrollar programas de vigilancia epidemiológica de enfermedades profesionales y patologías relacionadas con el trabajo.

➤ **Resolución 1016 de marzo 31 de 1989**

Reglamentación de la organización, funcionamiento y forma de los programas de Salud Ocupacional en el país.

➤ **Ley 100/93, Decretos 1295/94, 1771/94 y 1772/94**

Organizan el Sistema General de Riesgos Profesionales, cuyos objetivos principales son fortalecer y promover las condiciones de trabajo y de salud de los trabajadores en los sitios donde laboran.

➤ **Resolución 1792 de mayo 3 de 1990**

Modifica los valores límites permisibles para la exposición ocupacional al ruido.

Utiliza la tasa de intercambio de 5 db y el nivel de criterio de 85 db a.

Tabla 7. Valores permisibles para la exposición del personal al ruido

DURACIÓN POR DÍAS (HORAS)	DECIBELES
8	85
4	90
2	95
1	100
30 MIN.	105
15 MIN.	110
7 MIN.	115

Aplicable a ruido continuo e intermitente, sin exceder la jornada máxima laboral vigente de ocho horas.

Tabla 8. Valores Límites permisibles para Ruido de Impacto

NIVEL DE PRESIÓN SONORA Db	NÚMERO DE IMPULSOS O IMPACTOS PERMITIDOS POR DÍA
140	100
130	1000
120	10000

➤ **Decreto 1295 de junio 22 de 1994**

Organización y Administración del Sistema General de Riesgos Profesionales.

Dentro de sus objetivos menciona la necesidad de establecer actividades de promoción y prevención tendientes a mejorar las condiciones de trabajo y salud de la población trabajadora, así como fortalecer las actividades tendientes a establecer el origen de las enfermedades profesionales para el control de los agentes de riesgo ocupacionales.

➤ **Decreto 1832/94**

Que determina la tabla de clasificación de enfermedades profesionales. En el numeral 29 del artículo 1 se anota: "**Sordera profesional**: trabajadores industriales expuestos a ruido igual o superior a 85 decibeles". En el numeral 42 donde menciona las patologías causadas por estrés en el trabajo se incluyen los trabajos con estresantes físicos con efectos psicosociales que produzcan estados de ansiedad y depresión. Se define además la determinación de la relación de causalidad.

➤ **Decreto No. 1530 de agosto 26 de 1996**

Reglamenta parcialmente la Ley 100 de 1993 y el Decreto Ley 1295 de 1994

3.6.3. GESTION HSE

HSE, tres letras que paulatinamente han venido ganando identidad por sí solas para amalgamar la Salud Ocupacional, la Seguridad Industrial y el Medio Ambiente, como exigencias primordiales en la cultura empresarial.

El tema cobra mayor trascendencia no solo en los sectores petrolero, minero y petroquímico, caracterizados por procesos y operaciones de alto riesgo que pueden afectar negativamente a las personas, las instalaciones y el medio ambiente, sino también en otros sectores industriales que empiezan también a reconocer la importancia de optimizar la prevención y control de los factores de riesgo inherentes a sus industrias.

No pocas de estas compañías se caracterizan por elevados porcentajes:

- Del personal que trabaja en sus oficinas e instalaciones de campo, no son sus empleados directos.
- De su presupuesto de compras y contratación, lo ejecutan a través de terceros.
- De los accidentes e incidentes en HSE, le ocurren a individuos que son sus contratistas o proveedores.

Por estas razones, hacen ingentes esfuerzos en primera instancia, para fortalecer sus políticas en HSE, interiorizando estos principios de vida en sus empleados.

El reto complementario que enfrentan es asegurar que sus contratistas y proveedores den cumplimiento con el mismo grado de responsabilidad y eficiencia a las mismas exigencias en materia de HSE.

¿Cómo hacerlo? Es la pregunta.

3.6.3.1. EVOLUCIÓN DEL DESEMPEÑO EN HSE

Hace dos lustros o más, en las etapas tempranas de investigación de mercados, se solicitaba ya información sobre el desempeño en HSE de los potenciales proponentes para la construcción de un obra o prestación de un servicio; la respuesta era incipiente en la medida en que no existían indicadores de origen exógeno al potencial proponente que acreditaran con un elevado nivel de certeza, su desempeño histórico en HSE. La información provenía básicamente de entidades gubernamentales.

3.6.3.2. CONTROL OPERACIONAL

El control en el nivel operacional, o simplemente control operacional, es el subsistema de control efectuado en el nivel de ejecución de las operaciones. Se trata de una forma de control realizada sobre la ejecución de las tareas y las operaciones desempeñadas por el personal no administrativo de la empresa.

En este sentido, el control operacional se refiere a los aspectos más específicos, como las tareas y operaciones. Su espacio de tiempo es el corto plazo, ya que su objetivo es inmediateista: evaluar y controlar el desempeño de las tareas y las operaciones en cada momento.

También es el subsistema de control más orientado hacia la realidad concreta de la empresa: su día a día, en términos de las tareas realizadas. En resumen, el control operacional es el subsistema de control efectuado en el nivel más bajo de la organización empresarial; su contenido es específico y está orientado a cada tarea u operación y se dirige al corto plazo ya la acción correctiva inmediata.

De esta manera hacemos relevante dos controles operacionales de un gran entorno de estos a tener en cuenta para la implementación de técnicas de descoquizado en la industria como son:

Procedimiento de trabajo y análisis de trabajo seguro

- ✓ Procedimiento de trabajo: secuencia de las operaciones a desarrollar para realizar un determinado trabajo, con inclusión de los medios materiales (de trabajo o de protección) y humanos (cualificación o formación de personal) necesarios para llevarlo a cabo.

Por «procedimiento de trabajo» se entiende la implantación eficaz de una serie de actividades y tareas coordinadas que definen claramente la secuencia de operaciones a desarrollar en situación normal, en cambios planeados y emergencias previsibles, e incluye:

- Los medios materiales de trabajo.
 - Los equipos de protección colectiva e individual.
 - Los recursos humanos necesarios, con indicación de su cualificación, formación y asignación de tareas.
-
- ✓ Análisis de trabajo seguro: Análisis de trabajo seguro, es una herramienta fundamental para garantizar que las operaciones y actividades de planta sean seguras, así se evita accidentes de trabajo que provoquen lesiones, averías a las instalaciones o entorpecimientos de trabajo, ya que los gastos ocasionados por accidentes han alcanzado dimensionales que las compañías no pueden permitirse el lujo de ignorar los programas de medidas de seguridad y prevención de accidentes.

4. CONCLUSIONES

En la realización de mantenimientos mayores con parada de planta, existe una marcada brecha en los costos asociados. Gran parte de esta brecha se debe a los costos relacionados con la ejecución del mantenimiento y a la duración de las paradas de planta, las cuales son variables dependiendo del alcance de las actividades que se definan.

El éxito de una parada de planta, obedece a una buena planificación, programación y ejecución de un mantenimiento mayor, por lo tanto es necesario tener en cuenta algunas consideraciones de factores adicionales, tales como: confiabilidad operacional, mantenibilidad y disponibilidad, con este propósito se busca definir claramente, qué actividades deben ser realizadas durante la parada y de qué manera se pueden optimizar tiempos y costos de ejecución.

Teniendo en cuenta nuestros objetivos, por medio de la aplicación de la metodología “Optimización Costo – Riesgo” (OCR), vemos como las limitaciones constantes en los flujos de caja de las refinerías y plantas petroquímicas, obligan a justificar; desde una base económica cada trabajo que se plantee realizar durante una parada de planta, en tal sentido, es importante asegurar que cualquier proyecto que se pretenda ejecutar durante la parada, genere ganancias que deben ser rentables en comparación a la inversión a realizar.

La metodología OCR consiste en comparar el riesgo representado por una situación con el de una situación futura, mediante la determinación de la ganancia neta que reportaría la situación futura versus la inversión que habría que realizar.

Es por esto que al evaluar, la inversión a realizarse vs. las pérdidas de oportunidad ocasionadas por el tiempo adicional de ejecución y los riesgos asociados, cubre estos costos y, por lo tanto, la actividad propuesta puede ser ejecutada.

Nuestra propuesta está basada en una metodología basada en la aplicación de buenas prácticas y técnicas de confiabilidad, que permite obtener ahorros considerables y contribuye a establecer una forma estructurada de ayudar en la etapa de planificación de una parada de planta. Por otro lado, los beneficios también se verán reflejados en la ejecución de la parada, dado que se reduce la extensión y el número de tareas a realizar, lo que se traduce en una mayor disponibilidad de planta.

BIBLIOGRAFÍA

<http://aplicaciones.virtual.unal.edu.co/drupal/files/petroleo.pdf>, El Petróleo.

http://es.wikipedia.org/wiki/Mantenimiento_preventivo, citado 8 de abril de 2012.

<http://hybridpetroleum.com/pdfs/Brochure%20limpieza%20serpentine.pdf>, citado 8 de febrero de 2012.

http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-084X2007000200003&script=sci_arttext, citado 10 de mayo de 2012.

<http://www.bvsde.paho.org/bvsast/e/fulltext/enciclopedia/78.pdf>, Proceso de refinación del Petróleo – Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo.

http://www.cokebusters.com/mexico/costs_savings.html, citado 8 de febrero de 2012.

<http://www.cokebusters.com/mexico/home.html>, citado 8 de febrero de 2012.

<http://www.pemex.com/files/content/ACFWVARabGsP.pdf>, calentadores a fuego directo para plantas de proceso, pág. 5.

<http://www.profesorenlinea.cl/Ciencias/petroleoRefineria.htm>, Petróleo, proceso y refinado.

<http://www.quiminet.com/articulos/refinacion-del-petroleo-282.htm>, Refinación del Petróleo.

http://www.solomantenimiento.com/m_preventivo.htm, citado 8 de abril de 2012.

Manual de descripción de procesos de la Unidad de Viscosidad II, desarrollado por RWD Technologies, 2008.

Mora Gutiérrez, Alberto. Mantenimiento Industrial Efectivo, 1era Ed. Medellín: Fuentes Litográficas, pág. 43.

Refinería Gerencia Complejo Barrancabermeja – ECOPETROL S.A.

ANEXO A

DECOQUIZADO DE LOS SERPENTINES A Y B DE LOS HORNOS 2801 A/B.

De acuerdo a muestras y análisis realizados por ECOPETROL S.A., en la siguiente tabla se encuentran los valores promedios de ensuciamiento de coque encontrados en las últimas corridas, teniendo en cuenta las características de la carga y la severidad actual, se estima que el ensuciamiento en las próximas corridas sea igual ó mayor a este:

	HORNO 2801 A/B				
Tubo No.		44 al 49	43	42	32 al 41
ID tubo limpio	In	3,6875	3,6875	3,6875	3,6875
Espesor del coque	mm	4 - 9	8 - 10	5 - 6	2 - 5

ANEXO B

DECOQUIZADO DE LOS SERPENTINES A Y B DE LOS HORNOS 2801 A/B.

En las siguientes tablas se muestran los resultados de la caracterización del coque, muestreado antes de iniciar el proceso de decoquizado y después del decoquizado con vapor, comparándolos con la caracterización realizada en noviembre de 2002, donde se realizó la prueba con decoquizado por quema con aire “steam/air decoking”.

Elemento	% peso muestra en abril 2005	% peso noviembre de 2002
Carbono	33,14	48,9
Calcio	24,43	25
Azufre	22,41	7 – 8
Sodio	2,12	0,1 – 0,2

Muestra de coque después de decoquizado No. 1

Elemento	% peso muestra en abril 2005	% peso noviembre de 2002
Carbono	12,53	7,7
Calcio	39,17	35
Azufre		30,35
Sodio		2
Oxígeno	45,85	

ANEXO C

REGISTRO FOTOGRÁFICO – DECOQUIZADO DE MECÁNICO CON CHAPOLAS





ANEXO D

REGISTRO FOTOGRÁFICO – DECOQUIZADO DE MECÁNICO CON HIDROJECT 30000 PSI



