

INSPECCIÓN Y ANÁLISIS DE INTEGRIDAD EN EQUIPO ESTACIONARIO  
GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA ECOPETROL S.A.

JOSE MANUEL BAUTISTA ORDOÑEZ

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
SECCIONAL BUCARAMANGA

2015

INSPECCIÓN Y ANÁLISIS DE INTEGRIDAD EN EQUIPO ESTACIONARIO  
GERENCIA REFINERÍA BARRANCABERMEJA ECOPETROL S.A.

PRESENTADO POR:

Ing. Mecánico; JOSE MANUEL BAUTISTA ORDOÑEZ

ID: 000156608

Informe Final de Trabajo de Grado presentado como  
Requisito para optar por el Título de  
Ingeniería Mecánica

PRESENTADO A:

Docente, Carrera Ing. Mecánica; EDWIN CÓRDOBA TUTA

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECANICA  
SECCIONAL BUCARAMANGA

2015

Nota de Aceptación

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Bucaramanga 10 de Enero del 2015

A Dios, a mi madre, a mi  
padre a mi hermano, a  
toda mi familia,  
profesores, compañeros  
de universidad y practica  
industrial por ser mi  
apoyo en el alcance de  
mis metas.

## **AGRADECIMIENTOS**

Le agradezco a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y felicidad.

Le doy gracias a mis padres Fabio y Rocio por apoyarme durante el transcurso de esta etapa de mi vida, por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener una excelente educación en el transcurso de mi vida.

A mis profesores que fueron el ejemplo profesional a seguir durante las experiencias obtenidas a través de esta etapa universitaria, a mi hermano y mis amigos por ser mi apoyo, mi compañía y quienes creyeron en mi para salir adelante ante las dificultades.

## TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA.....	14
1.1. Nombre de la empresa: .....	14
1.3. Ubicación .....	14
1.4. Teléfono: (577) 6208940.....	14
1.5. Actividad económica de la empresa: .....	14
1.6. Actividad económica del departamento: .....	14
1.7. Número de empleados del departamento:.....	14
1.8. Productos y servicios. ....	14
1.9. Estructura organizacional .....	17
1.10. Reseña histórica.....	18
1.11. Descripción del área de trabajo .....	21
2. DIAGNÓSTICO DE LA EMPRESA .....	23
3. ANTECEDENTES .....	25
4. JUSTIFICACIÓN .....	26
5. OBJETIVOS .....	28
5.1. Objetivo general.....	28
5.2. Objetivos específicos .....	28
6.1. Fitness For Service - FFS (Aptitud para el Servicio) .....	30
6.2. Alcance de la Evaluación Fitness-For-Service.....	31

6.3. Organización y Uso del Fitness-For-Service.....	32
7. ACTIVIDADES DESARROLLADAS Y PROPUESTAS IMPLEMENTADAS	
36	
8.2. Curso HSE.....	38
8.3. Entrenamiento en Software PV-Elite realizado por el líder del área de FFS Ing. Fabian Reyes y el Ing. Samuel Rodas.....	39
8.4. Entrenamiento y realización de inspección mediante el acompañamiento de los ingenieros de cada planta, en el cual se realizó inspección por ultrasonido, líquidos penetrantes, radiografías, corrientes inducidas, inspección visual, termografías y Crawler .....	40
8.5. Modelamiento de 20 equipos para realización de informe inspección en metodología FFS.....	46
8.6. Realización de informe con el acompañamiento del líder del área de FFS, apoyado por las diversas inspecciones en análisis no destructivos. ....	50
9. EVALUACIÓN DE RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN.....	59
BIBLIOGRAFÍA.....	65

## LISTA DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1. Principales Plantas de la Refinería de Barrancabermeja .....	15
Tabla 2. Actividades Desarrolladas vs Propuestas Implementadas.....	36
Tabla 3. Equipos Modelados en Software CAE PV-Elite .....	46
Tabla 4. Evaluación de Resultados de la Implementación de Propuestas.....	59

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Mapa de infraestructura .....	14
Figura 2. Organigrama Gerencia General Refinería Barrancabermeja .....	18
Figura 3. Ilustración de plataforma de trabajo del programa.....	40
Figura 4. Formato de Inspección para Toma de Espesores para el Casco. ....	41
Figura 5. Método de líquidos penetrantes para inspección superficial.....	42
Figura 6. Inspección por radiografía para calidad de línea de soldadura.....	42
Figura 7. Inspección por corrientes inducidas para el haz de tubos. ....	43
Figura 8. Análisis de inspección termográfica para el regenerador de UOP II..	44
Figura 9. Crawler para inspección de espesores en tanques. ....	45
Figura 10. Intercambiador E-4205 A. Intercambiador Tipo AKT. ....	48
Figura 11. Intercambiador E-2661 A.....	48
Figura 12. Análisis FFS de la Tapa Canal del Intercambiador E-303. ....	49
Figura 13. Placa Tubo Flotante del Intercambiador E-2029 B .....	50
Figura 14. Tabla de velocidades de corrosión para el Intercambiador E-301 B. .....	51
Figura 15. Formato de Inspección para Toma de Espesores para el Canal. ....	53
Figura 16. Análisis de inspección termográfica para el regenerador de UOP II. .....	54
Figura 17. Instructivo ASME PCC-2-2011. ....	58

## GLOSARIO

**CIE:** Coordinación de Inspección e Integridad de Equipos.

**CIT:** Archivo Técnico.

**ECP:** Ecopetrol.

**EPP:** Equipos de protección personal.

**FFS:** Fitness For Service (Aptitud para el Servicio).

**GCB:** Gerencia Complejo Refinería.

**MDD:** Mantenimiento día a día.

**MPP:** Mantenimiento parada de planta.

**MT:** Magnetic Test (Evaluación por Partículas Magnéticas).

**NDT:** Non-Destructive Test (Ensayos No Destructivos).

**PT:** Liquid Penetrant Test (Evaluación por líquidos penetrantes).

**RT:** Radiography Test (Ensayo por Radiografía).

**SHAREPOINT:** Plataforma de colaboración empresarial, formada por productos y elementos de software que incluye, entre una selección cada vez mayor de componentes, funciones de colaboración, basado en el Explorador web, módulos de administración de proceso, módulos de búsqueda y una plataforma de administración de documentos.

**UT:** Ultrasonic Test (Evaluación por Ultrasonido).

**VT:** Visual Test (Inspección Visual).

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** Inspección y análisis de integridad en equipo estacionario Gerencia Refinería Barrancabermeja Ecopetrol S.A.

**AUTOR(ES):** Jose Manuel Bautista Ordoñez

**FACULTAD:** Facultad de Ingeniería Mecánica

**DIRECTOR(A):** Edwin Córdoba Tuta

### RESUMEN

El siguiente documento presenta la evaluación de aptitud para el servicio de equipos estáticos de las diferentes plantas del complejo Refinería de Ecopetrol S.A. Barrancabermeja. Con el fin de optimizar las prácticas de mantenimiento y operación, mantener la disponibilidad mecánica/operacional y mejorar el rendimiento económico a mediano y largo plazo de los equipos de la Gerencia Refinería Barrancabermeja se ha implementado la metodología de análisis de Aptitud para el Servicio ("FFS"), el cual se caracteriza por llevar a cabo diversas evaluaciones en software CAE para la determinación y predicción de fallas, dando como resultado recomendaciones tanto correctivas como predictivas de equipos que aparentemente están cerca o han cumplido su vida útil de diseño. Los procedimientos estandarizados para evaluación de aptitud para el servicio presentados en API-579 proporcionan enfoques de consenso técnicamente sólidos para realizar una valoración fiable de la integridad mecánica en la operación de un recipiente a presión que presenta algún mecanismo de degradación identificado en los procesos de inspección. Este análisis ayuda a la toma de decisiones para las recomendaciones de mantenimiento y programación de parada de trabajo del activo. De esta forma el documento se enfoca a la inspección de integridad de equipos utilizando la metodología de FFS para la valoración de vida útil restante, junto con este trabajo se realizó un instructivo para la reparación y permanencia de los equipos extendiendo el tiempo de operación de los mismos.

### **PALABRAS CLAVES:**

FFS, SharePoint, NDT, MT, PT, RT, PMR

**V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO**

## GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** Inspection and testing of stationary equipment integrity Gerencia Refinery Barrancabermeja Ecopetrol S.A.

**AUTHOR(S):** Jose Manuel Bautista Ordoñez

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Mecánica

**DIRECTOR:** Edwin Córdoba Tuta

### ABSTRACT

The following document presents the evaluation of Fitness For Service static equipment from different plants of Complejo Refinería Ecopetrol S.A. Barrancabermeja. In order to optimize maintenance and operation practices, maintain mechanical / operational readiness and improve economic performance over the medium and long term equipment Barrancabermeja Refinery Management has implemented the methodology of analysis of Fitness for Service ("FFS"), which is characterized by carrying out various assessments CAE software for determining and predicting failures, resulting in both corrective and predictive machinery recommendations that are apparently near or have served their design life. Standardized procedures for assessing fitness for service presented in API-579 provide technically solid approaches consensus to make a reliable assessment of the mechanical integrity in the operation of a pressure vessel that has some degradation mechanism identified in the inspection processes. This analysis helps decision making. In this way the document focuses on the integrity inspection equipment using FFS methodology for the assessment of remaining life, along with this work an instructive for repair and permanence of the equipment was done by extending the operating time of the same.

### KEYWORDS:

FFS, SharePoint, NDT, MT, PT, RT, PMR.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

## INTRODUCCIÓN

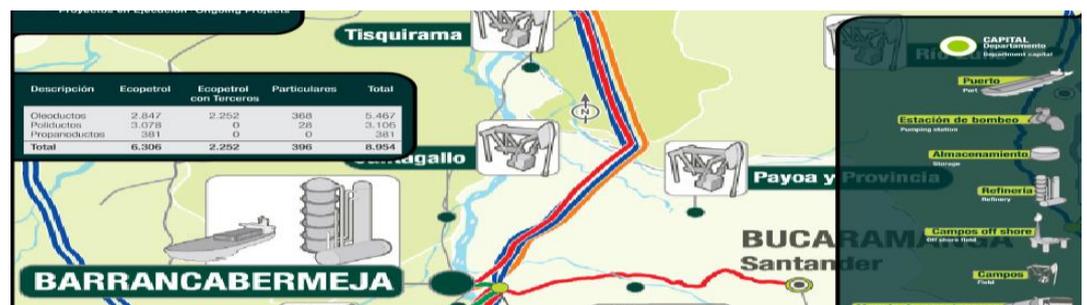
Evaluaciones de Aptitud para el Servicio (FFS) son inspecciones cuantitativas de ingeniería que se realizan para demostrar la integridad estructural de un componente en el servicio, que puede contener un defecto o daño. Esta norma proporciona orientación para la realización de las evaluaciones FFS utilizando metodologías preparadas específicamente para equipos a presión.

Las directrices establecidas en la presente norma se pueden utilizar para tomar decisiones de reparación del equipo en trabajo y de esta forma ayudar a determinar si los equipos a presión que contiene defectos que han sido identificados por la inspección pueden seguir funcionando de forma segura durante un periodo de tiempo. Estas evaluaciones FFS están actualmente referenciados por los Códigos de la API y normalización (API-510, API-570, y API-653), y por NB-23 como medios adecuados para la evaluación de la integridad estructural de los recipientes a presión, sistemas de tuberías y tanques de almacenamiento donde la inspección ha revelado la degradación y fallas en el equipo.

## 1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA

- 1.1. **Nombre de la empresa:** ECOPETROL S.A
- 1.2. **Nombre del departamento:** Coordinación de Inspección e Integridad de Equipo Estático (CIE)
- 1.3. **Ubicación:** Refinería Barrancabermeja – Santander
- 1.4. **Teléfono:** (577) 6208940
- 1.5. **Actividad económica de la empresa:** Actividades comerciales o industriales relacionadas con la exploración, explotación, refinación, transporte, almacenamiento, distribución y comercialización de hidrocarburos, sus derivados y productos.
- 1.6. **Actividad económica del departamento:** Inspección de integridad de los equipos estáticos del complejo Refinería Ecopetrol S.A.
- 1.7. **Número de empleados del departamento:** 33 Empleados
- 1.8. **Productos y servicios:** La siguiente figura muestra el mapa de la infraestructura petrolera, el cual especifica los dos servicios globales que maneja la Refinería Barrancabermeja que son puerto y refinación.

Figura 1. Mapa de infraestructura



Fuente:

[http://www.ecopetrol.com.co/especiales/mapa\\_infraestructura.htm](http://www.ecopetrol.com.co/especiales/mapa_infraestructura.htm)

**Tabla 1.** Principales Plantas de la Refinería de Barrancabermeja

<b>No. Plantas</b>	<b>Plantas</b>	<b>No. Plantas</b>	<b>Plantas</b>
5	Destilación Atmosférica de Crudo	1	Turboexpander
4	Destilación al Vacío de Crudo	2	Etileno I y II
4	Ruptura Catalítica	2	Polietileno
2	Viscorreductora	1	Nitrógeno
1	Demex (Desasfaltado con Solvente)	1	Plantas de Especialidades
1	Unibón (Hidrodesulfurización)	3	Recuperación de Azufre
2	Generación de Hidrógeno	1	Tratamiento de Aguas Ácidas
1	Alquilación (Avigas)	1	Tratamiento de Aguas Residuales
1	Ácido Sulfúrico	2	Unidades de Servicios Industriales

		Unidad de
1	Aromáticos	1 Cogeneración- Turbogas
1	Parafinas	

---

Para suplir los servicios globales que se ofrecen, la Refinería Barrancabermeja está comprendida por 38 plantas de servicio.

Las plantas están ubicadas en 12 departamentos específicos. El proyecto se encuentra enfocado en varias de las unidades del complejo de la Refinería de Barrancabermeja, bajo el cargo de la Gerencia Técnica con la Coordinación de Inspección e Integridad de Equipo Estático. La coordinación se encarga de entregar recomendaciones de mantenimiento o de fallas de unidad para su respectivo análisis y programación de reparación.

La coordinación asigna a sus ingenieros a equipos núcleo en cada una de las unidades y por especialidades a diversas plantas, de esta forma llevar un control más claro en toda la coordinación de que sucede en cada una las plantas y fomentar las fallas presentes en la actualidad de la refinería, además los ingenieros especializados en diferentes ámbitos como tanques de gran almacenamiento, estructuras civiles, líderes en paradas de planta, líderes en corrosión de equipo, líderes en gestión de proyectos de equipo estático y líderes en coordinación de comportamiento, están encargados de la realización

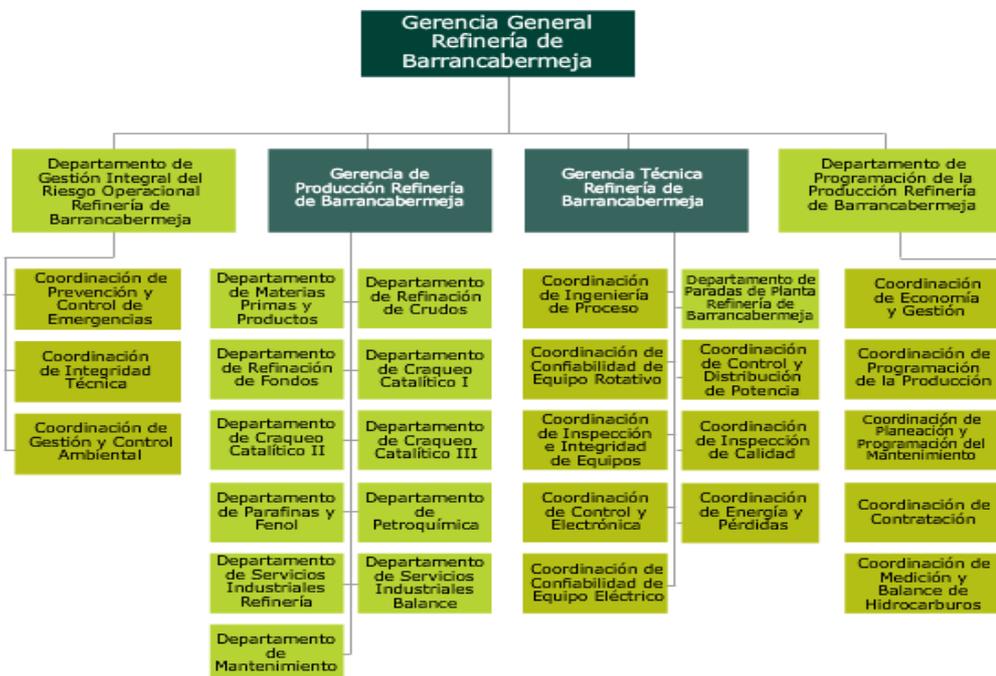
de las actividades dependiendo de sus especialidades y manejo de personal. El equipo núcleo se representa por más personal de ingeniera en diferentes profesiones, supervisores de operación y operarios de la planta, los cuales se encargan de entregar y de realizar un análisis de falla en las diferentes cualidades de falla de los equipos y líneas de trabajo, como, fallas por instrumentación, fallas por equipo rotativo, fallas por equipo estático, fallas eléctricas y fallas de operación.

### **1.9. Estructura organizacional**

La Coordinación de Inspección e Integridad de Equipos se encuentra ubicado en la Gerencia General de la Refinería Barrancabermeja, que a su vez este se encuentra liderado por la Gerencia Técnica, el cual su máximo líder es el gerente general de la refinería Orlando Díaz.

A continuación se podrá observar el organigrama general de la Gerencia General Refinería de Barrancabermeja, el cual fue extraído de la estructura organizacional expuesta en la plataforma “iris” de Ecopetrol.

**Figura 2.** Organigrama Gerencia General Refinería Barrancabermeja



Fuente:

<http://www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?catID=532&conID=76463&pagID=134270>

### 1.10. Reseña histórica

La reversión al Estado Colombiano de la Concesión De Mares, el 25 de agosto de 1951, dio origen a la Empresa Colombiana de Petróleos, que había sido creada en 1948 mediante la Ley 165 de ese año. La naciente empresa asumió los activos revertidos de la Tropical Oil Company que en 1921 inicio la actividad petrolera en Colombia con la puesta en producción del Campo La Cira-Infantas en el Valle Medio del Rio 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 INTERPOL 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 de 1.100 millones de millones de barriles. Gracias a este campo la Empresa inicio una nueva era y en el año de 1986 Colombia volvió a ser un país exportador de petróleo. En los años noventa Colombia prolongo su autosuficiencia petrolera, con el descubrimiento de los gigantes Cusiana y Cupiagua, en el Piedemonte Llanero, en asocio con la British Petroleum Company.

En 2003 el gobierno colombiano reestructuro 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 modifíco la estructura orgánica de la Empresa Colombiana de Petróleos y la convirtió en ECOPETROL S.A., una sociedad pública por acciones, ciento por ciento estatal, vinculada al Ministerio de Minas y Energía y regida por sus estatutos protocolizados en la escritura pública número 2931 del 7 de julio de 2003, otorgada en la Notaria Segunda del Circuito Notarial de Bogotá. D. C.

Con la transformación de la Empresa Colombiana de Petróleos en la nueva ECOPETROL S.A., la compañía se liberó de las funciones de Estado como administrador del recurso petrolero y para realizar esta función fue creada. La ANH (Agencia Nacional de Hidrocarburos). A partir de 2003, ECOPETROL S.A. inicio 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 \$3,25 billones registrada en 2005 y la principal compañía petrolera en Colombia. Por su tamaño, pertenece al grupo de las 35 petroleras más grandes del mundo y es una de las cinco principales de Latinoamérica.

### **1.11. Descripción del área de trabajo**

La Refinería Barrancabermeja de Ecopetrol S.A está conformada por 12 Departamentos, el cual se encuentran estructurados en 4 perspectivas generales; HSE, Gestión de Activos, Financiera y Talento Humano.

De acuerdo a la Estructura de Control de Gestión planteada en el Libro de mejores prácticas de la GRB, los departamentos están guiados por unas líneas de control establecidas individualmente, enfocado en reuniones, reportes, KPI<sup>1</sup>,

---

<sup>1</sup> Indicadores clave de Desempeño

Sistemas de información, planes y programas de apoyo que están programados de acuerdo a unos estándares y procedimientos ya estudiados y diseñados.

Sin embargo, no se sabe con certeza si el control de vida remanente de los equipos estáticos de cada una de las unidades cumple exactamente con el tiempo total de vida útil para el cual fue diseñado y programado el tiempo de función, debido a fallas corrosivas, erosivas, estructurales o diversas más causas que puedan estar realizando los defectos en el equipo, para esta problemática se estableció la normatividad API-579 de Aptitud para el servicio de los equipos, de forma que dé respuesta al estado actual de los equipos y lograr calcular de una manera conservativa la integridad futura del equipo, además la norma corrobora si un equipo está listo para ser retirado de funcionamiento o el tiempo de vida útil según las normas ASME y API es aún más extenso al tiempo al que fue programado el trabajo del equipo, de esta forma dar solución en caso de la necesidad de extender el tiempo de funcionamiento del activo para una reparación o reposición en otro periodo de tiempo. Por esta razón se requiere apoyo de estudiante en práctica para lograr mejorar los tiempos de entrega e inspección de los equipos para esta normatividad FFS.

**Nombre del supervisor:** Hector Fabian Reyes Parada

**Cargo del supervisor:** Profesional II, Inspector de Equipos, Líder del Área de Fitness For Service.

## 2. DIAGNÓSTICO DE LA EMPRESA

Ecopetrol S.A. es la empresa más grande del país y la principal compañía petrolera en Colombia. Por su tamaño, Ecopetrol S.A. pertenece al grupo de las 39 petroleras más grandes del mundo y es una de las cinco principales de Latinoamérica.

Desde 1997 se ha marcado récords al obtener las más altas utilidades de una compañía colombiana en toda la historia. En 2003 se convirtieron en una sociedad pública por acciones y se emprendió una transformación que garantiza mayor autonomía financiera y competitividad dentro de la nueva organización del sector de hidrocarburos de Colombia, con la posibilidad de establecer alianzas comerciales fuera del país. (S.A, ECOPETROL, Energía para el Futuro)

Para alcanzar el gran reconocimiento que maneja Ecopetrol S.A, esta cuenta con una estructura de trabajo muy bien diseñada, en la cual dividió sus responsabilidades en 12 Departamentos específicos, de acuerdo a las plantas tratadas en toda la Refinería, para poder tener mayor control en cada uno de sus procesos y productos a ofrecer; cada uno de estos Departamentos se encuentra estructurado por líderes en cada área e Ingenieros de apoyo, el cual demuestran su trabajo culminado al Jefe de Departamento de acuerdo a los objetivos e indicadores que cada uno tiene planteado. Debido a la

incertidumbre generada por la dispersión de datos tomados durante la inspección y un análisis en el cual se afirma que el equipo no lleva el suficiente tiempo de actividad o se encuentra próximo a su salida pero se requiere de generar un estudio si se puede prolongar su tiempo de vida útil hasta una siguiente parada de planta.

Por esta razón el líder de Fitness For Service como tutor estableció ciertos equipos para inspección por esta metodología y de esta manera optimizar el tiempo de entrega de cada uno de estos estudios, además teniendo en cuenta que esta metodología se basa en normatividad de diseño ASME y en normatividad ingenieril API, y con la proximidad de la Parada de Planta de la unidad de UOP I y Etileno II se estableció el desarrollo de un instructivo de reparación de recipientes a presión de la norma ASME PCC-2-2011, para ser usada durante la reparación de cada una de estas Paradas de Planta.

### 3. ANTECEDENTES

Una evaluación FFS es un análisis de ingeniería multidisciplinar del equipo para determinar si es apto para el servicio continuo, normalmente hasta la siguiente parada. El equipo puede contener defectos, no cumplir con los estándares actuales de diseño, o ser sometido a condiciones de operación más severas que el diseño actual. El producto de una evaluación de FFS es una decisión de controlar, modificar, reparar o reemplazar; También se proporciona orientación sobre un intervalo de inspección. Evaluaciones FFS consisten en métodos analíticos (principalmente el análisis de tensión) para evaluar los defectos y daños.

Esta normatividad proporciona seguridad de la planta y el cumplimiento de normas legislativas de proceso de gestión de seguridad de la planta, gestión de instalaciones de envejecimiento, que realizan operaciones seguras y fiables con un aumento de fallas prolongadas, aumento de la severidad de las operaciones y / o disminución de los períodos de parada, racionalizar fallas encontradas en más rigurosas inspecciones en servicio que las llevadas a cabo durante la construcción inicial. Refinación y Petroquímica es única debido a la amplia variedad de procesos y condiciones de funcionamiento, materiales de construcción, así como mecanismos de daño. La normalización facilita la aceptación por parte de las jurisdicciones.

#### 4. JUSTIFICACIÓN

La Coordinación de Inspección e Integridad de Equipos Estáticos cuenta con ingenieros en cada una de las plantas, junto con el apoyo de ingeniería especializada para diferentes áreas de trabajo. Ellos se encargan de la inspección y realización de recomendaciones de falla de cada uno de los equipos que se encuentran en las plantas. Debido a la generación de incertidumbre que se crea cuando un equipo empieza a fallar sin cumplir el tiempo de vida útil requerido, fallas indebidas sin conocimiento alguno de la causa raíz de las mismas y la necesidad de averiguar si se puede extender la vida útil de un equipo para la realización de reparaciones durante la parada de planta del departamento o por falta de presupuesto para su reparación.

Por esta razón se asignó la implementación de la nueva normatividad API-579 de Aptitud para el Servicio de los equipos, donde se realiza un estudio de diseño de la maquinaria y de métodos de falla que ocurren en los recipientes a presión, con ayuda de software CAE especializado en análisis de diseño con la implementación de la norma ASME y TEMA de diseño de recipientes a presión. Este método garantiza en el equipo y el sistema los siguientes beneficios:

- Determinación de la vida residual de la planta dañada.
- Garantizar el funcionamiento seguro más allá de la vida de diseño.
- Disminución de equipo calificado como en falla bajo su diseño.

- Demostración de toleración a los defectos con un caso de seguridad.
- Extensión de los intervalos de inspección.
- Reducción de la duración de interrupción y apagado de planta.

Los equipos a los cuales se les puede implementar esta metodología son los siguientes:

- Recipientes a presión generales.
- Tubería de proceso.
- Casco y tubos de intercambiadores de calor.
- Líneas de tubería de transporte.
- Tanques de Almacenamiento.
- Calentadores y calderas.
- Equipo activo – válvulas de alivio de seguridad, bombas, turbinas y compresores.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. Objetivo general**

- Analizar la integridad de Recipientes a presión en el complejo de la Refinería de Ecopetrol.
- Apoyar la inspección y definición de alcances para mantenimiento de equipo estacionario.

### **5.2. Objetivos específicos**

- Simular modelos de intercambiadores, tambores y diversos recipientes a presión encontrados en el complejo Refinería de Ecopetrol, mediante el software PV-Elite suministrado por Ecopetrol para análisis de equipos estacionarios.
- Desarrollar plantilla de instructivo para el análisis en reparación de equipos a presión y tubería, con respecto a la norma ASME PCC-2-2011, en los cuales se relacionan normas de actividades de reparación en caso de inconsistencia en el trabajo del equipo.

- Desarrollar reportes de inspección en los diferentes ensayos no destructivos realizados a los diversos equipos estacionarios, en el cual mediante las diferentes herramientas de inspección suministradas por Ecopetrol se tomara datos acerca de ultrasonidos, termografías, líquidos penetrantes, radiografías y partículas magnéticas.

## 6. MARCO TEÓRICO

### 6.1. Fitness For Service - FFS (Aptitud para el Servicio)

Los nuevos códigos de construcción ASME y API, y normas para equipos a presión proporcionan reglas para el diseño, fabricación, inspección y pruebas de los recipientes nuevos de presión, sistemas de tuberías y tanques de almacenamiento. Estos códigos no proporcionan normas para evaluar el equipo que degrada mientras se encuentra en servicio y las deficiencias debidas a la degradación o de fabricación original, que puede encontrarse en las inspecciones posteriores. API 510, API 570, API 653 y NB-23 Códigos / Normas para la inspección, reparación, modificación y recalificación de los recipientes en servicio de presión, sistemas de tuberías y tanques de almacenamiento hacen frente al hecho de que el equipo se degrada durante el servicio.

Evaluaciones Fitness-For-Service (FFS) son análisis cuantitativos de ingeniería que se realizan para demostrar la integridad estructural de un componente en el servicio, que puede contener un defecto o daño. Esta norma proporciona orientación para la realización de las evaluaciones FFS utilizando metodologías preparadas específicamente para equipos a presión. Las directrices establecidas en la presente norma se pueden utilizar para hacer decisiones de reparación o remplazo durante el trabajo del equipo para ayudar a determinar si los equipos a presión que contiene defectos que han sido identificados por la

inspección pueden seguir funcionando de forma segura durante un periodo de tiempo. Estas evaluaciones FFS están actualmente reconocidos y referenciados por los Códigos de la API y normalización (510, 570, y 653), y por NB-23 como medios adecuados para la evaluación de la integridad estructural de los recipientes a presión, sistemas de tuberías y tanques de almacenamiento donde la inspección ha revelado la degradación y fallas en el equipo.

## **6.2. Alcance de la Evaluación Fitness-For-Service.**

**6.2.1** Los métodos y procedimientos del FFS son realizados para suplementar y argumentar los requerimientos en API 510, API 570, API 653, y otros códigos de post construcción que referencien las evaluaciones FFS como NB-23.

**6.2.2** Los procedimientos de evaluación de la metodología se pueden utilizar para las evaluaciones y/o recalificación de equipos FFS diseñados y construidos para los siguientes códigos:

- a) Código ASME B&PV, Sección VIII, División 1
- b) Código ASME B&PV, Sección VIII, División 2
- c) Código ASME B&PV, Sección I
- d) Código de Tubería ASME B31.1
- e) Código de Tubería ASME B31.3

f) API 650

g) API 620

**6.2.3** Los procedimientos de evaluación de aptitud para el servicio en esta metodología tanto en la presente integridad del componente dan un estado actual de los daños y la vida útil restante proyectada. Las técnicas de evaluación se incluyen para evaluar fallas incluyendo: la corrosión general y localizada, picaduras generalizada y localizada, ampollas y daño por hidrógeno, desalineación de la soldadura y las distorsiones de casco, grietas como defectos incluyendo agrietamiento ambiental, laminaciones, abolladuras y rayones, así como procedimientos de evaluación de vida útil restante de componentes que operan en el rango de fluencia. Además, se proporcionan las técnicas de evaluación para la inspección del estado de los equipos, incluyendo la resistencia a la rotura frágil, daños fluencia a largo plazo, y daños por incendio.

### **6.3. Organización y Uso del Fitness-For-Service**

El Instituto Americano del Petróleo prepara API 579 específicamente para la evaluación de los equipos en los sectores de refinación y petroquímica diseñados para códigos ASME. Los procedimientos y datos de apoyo se refieren a las especificaciones y materiales de diseño ASME y son consistentes con la filosofía de diseño en términos de tensiones admisibles y factores de

seguridad. Una amplia gama de tipos de defectos y daños típicamente encontrados durante la inspección en servicio de equipos cubiertos por refinería y petroquímica, con la corrosión y áreas adelgazadas localmente dado prominencia. Tipos de defectos y daños considerados específicamente incluyen:

- Perdida de metal general.
- Perdida de metal local y muescas.
- Corrosión por picadura.
- Ampollas y laminación.
- Desalineamiento de soldadura, abolladuras y distorsiones de cascos.
- Defectos de grietas.
- Daños de fluencia.
- Daños por calor.

API 579 tiene organización modular en torno a cada tipo de defecto / daño. Los procedimientos son en gran medida auto contenidas dentro de cada módulo y derivan de fuentes competentes reconocidos. Hay extensos anexos que contienen datos de materiales, fórmulas de diseño y soluciones de referencia. Cada módulo tiene generalmente tres niveles de evaluación.

- Nivel 1 está dirigido a los inspectores para uso en el sitio, para decisiones rápidas con el mínimo de datos y de cálculo.

- Nivel 2 está dirigido a ingenieros cualificados y requiere datos y análisis simples.
  
- Nivel 3 es una evaluación avanzada que requiere datos detallados, análisis de computadora y en un conocimiento técnico y experiencia en los procedimientos de evaluación de la FFS.

API 579 reconoce la necesidad de inspectores de planta y personal de ingeniería en el lugar para poder llevar a cabo una evaluación inicial rápida de los defectos y daños detectados durante el examen de la planta. Los procedimientos en el nivel 1 están diseñados para este propósito. El personal con un amplio conocimiento de la ingeniería y la experiencia pueden utilizar estos procedimientos con facilidad, aunque pueden ser simplistas y muy conservadoras en algunos casos.

Una evaluación FFS más refinado siempre se puede hacer utilizando el nivel 2 o 3 procedimientos. El grado de conservadurismo se vuelve cada vez menos ya que los niveles aumentan, pero esto es compensado por el aumento de los conocimientos que se dispone sobre el equipo, el defecto / daño y los márgenes en la mano. Aplicación de nivel 2 y 3 procedimientos suele ser un proceso más complejo que requiere de un mayor conocimiento especializado y experiencia.

En consecuencia, la API proporciona una guía para el conocimiento y la experiencia de los ingenieros consideran competentes para llevar a cabo evaluaciones de las FFS para cada nivel. Se reconoce la necesidad de la educación y la formación adecuada en la evaluación de las FFS para que las empresas puedan tener confianza en su personal de hacer juicios seguros y correctos. Mientras que las cualificaciones y acreditación de los soldadores, personal de pruebas no destructivas e inspectores de plantas han estado en existencia desde hace algún tiempo, ahora hay tal vez una necesidad de extender estos esquemas para cubrir aptitud para la evaluación de servicios de una manera más formal.

## 7. ACTIVIDADES DESARROLLADAS Y PROPUESTAS IMPLEMENTADAS

**Tabla 2.** Actividades Desarrolladas vs Propuestas Implementadas

<b>Actividad</b>	<b>Propuesta</b>
Estudio de normatividad en inspección de recipientes a presión	Lectura de las normas API 570, API 572, API 579, ASME PCC2, Reference manual for the Periodic Inspection.
Entrenamiento en normas de seguridad industrial HSE.	Curso HSE.
Estudio en software PV-Elite para diseño y evaluación de recipientes a presión.	Entrenamiento en Software PV-Elite realizado por el líder del área de FFS Ing. Fabian Reyes y el Ing. Samuel Rodas.
Inspección de recipientes a presión mediante ensayos no destructivos.	Entrenamiento y realización de inspección mediante el acompañamiento de los ingenieros de cada planta, en el cual se realizó inspección por ultrasonido, líquidos penetrantes, radiografías, corrientes inducidas, inspección visual, termografías y Crawler.

Entrega de equipos modelados mediante el software PV-Elite.	Modelamiento de 20 equipos para realización de informe inspección en metodología FFS.
Entrega de informes FFS	Realización de informe con el acompañamiento del líder del área de FFS, apoyado por los diversos análisis en inspección de ensayos no destructivos.
Apoyo en el día a día de la Coordinación de Inspección e Integridad de Equipo Estático.	Acompañamiento y colaboración en los diversos ensayos no destructivos en cada una de las plantas donde se encuentre necesario la ayuda en la inspección.
Plantilla para inspección y desarrollo de recomendaciones para reparación de equipos.	Desarrollo de plantilla de norma ASME PCC 2, para ser puesta a prueba en la parada de planta de la unidad UOP I.

Con cada actividad desarrollada en la práctica se implementó una propuesta de mejora que conlleva a lograr la gestión integral de la Coordinación de Inspección e Integridad de Equipo Estático.

## **8. DESCRIPCIÓN DE PROPUESTAS IMPLEMENTADAS**

### **8.1. Lectura de las normas API 570, API 572, API 579, ASME PCC2, Reference manual for the Periodic Inspection.**

- *API 570: Piping Inspection Code: In-service Inspection, Rating, Repair, and Alteration of Piping Systems.*
- *API 572: Inspection Practices for Pressure Vessels.*
- *API 579: Fitness-For-Service.*
- *ASME PCC-2: Repair of Pressure Equipment and Piping.*
- *Reference manual for the Periodic Inspection: "Reference Manual for the Periodic Inspection of Static Mechanical Plant Equipment".*

### **8.2. Curso HSE**

Curso realizado la segunda semana de haber iniciado la práctica, el cual fue dictado por la líder en HSE, en el se habló de las principales normas de seguridad a tener en cuenta dentro de la refinería, el uso de diversos dispositivos para prevención de la salud integral del personal interno y el uso de la dotación entregada por Ecopetrol.

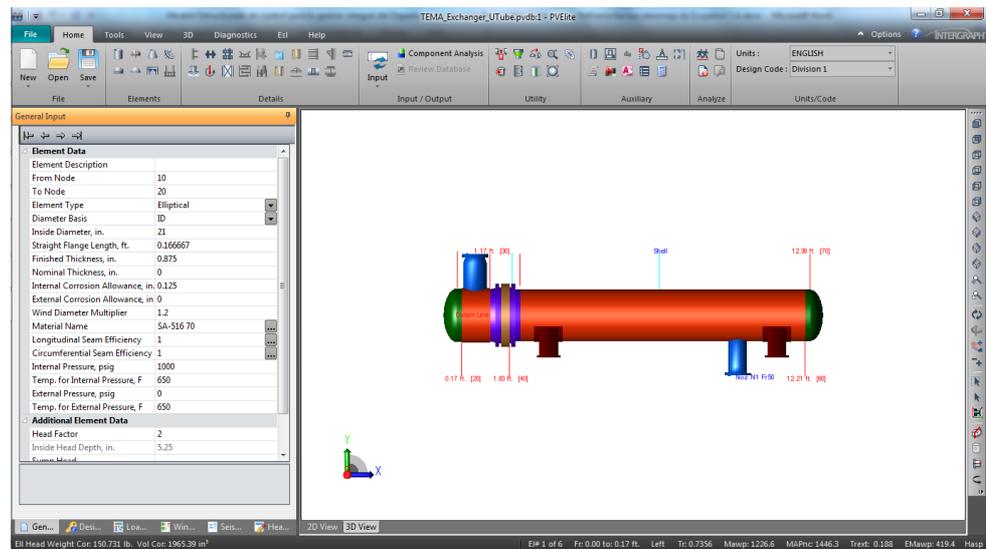
Entre algunas normas se encuentra el uso permanente de los EPP dentro de las plantas, al ser estudiantes en aprendizaje se debe estar siempre en compañía de un ingeniero del área y haber firmado la minuta de entrada de las plantas, herramientas como el detector de H<sub>2</sub>S es esencial en el ingreso de ciertas plantas ya que este gas puede crear lesiones respiratorias en el personal, debido a que no se posee un curso en alturas no se pueden realizar trabajos a más de metro y medio que no posea un respectivo barandal y el mínimo de área de trabajo seguro.

### **8.3. Entrenamiento en Software PV-Elite realizado por el líder del área de FFS Ing. Fabian Reyes y el Ing. Samuel Rodas**

Debido a la necesidad de poseer apoyo en la realización de evaluación Fitness For Service de gran variedad de equipo, se planteó la capacitación en software CAE para la realización del análisis por metodología FFS.

De esta forma se llevó acabo la capacitación durante casi mes y medio por el líder del área de FFS el Ing. Fabian Reyes y el Ing. Samuel Rodas, simulando diversos equipos de los cuales se poseen los planos completos. Además de la capacitación en software “CodeCalc”, el cual es un programa alternativo al PV-Elite que basa su modelamiento en netamente cálculos de diseño sin realizar un modelamiento en 3D del equipo analizado. El programa se ve de la siguiente forma:

**Figura 3.** Ilustración de plataforma de trabajo del programa



Fuente: Archivo del Autor

#### **8.4. Entrenamiento y realización de inspección mediante el acompañamiento de los ingenieros de cada planta, en el cual se realizó inspección por ultrasonido, líquidos penetrantes, radiografías, corrientes inducidas, inspección visual, termografías y Crawler**

Mediante una breve inducción a cada ensayo no destructivo a realizar y la debida lectura de las diferentes normas para cada uno de los ensayos no destructivos se programó una salida a planta para realizar el acompañamiento e inspección de los equipos programados.

El primer ensayo realizado fue el de ultrasonido en el cual mediante el palpador se medía los espesores de las diferentes partes de los intercambiadores siguiendo la norma de la cantidad y ubicaciones de puntos críticos para la

realización de la medición, de esta manera el documento de inspección de medición es el siguiente:

**Figura 4.** Formato de Inspección para Toma de Espesores para el Casco.

Fig. 2 de 4. **REPORTE DE INSPECCIÓN - CASCO DE INTERCAMBIADOR.**

EQUIPO :	SE-2101A	TIPO:	AGS	VEL. CALIB.:	FECHA :
SERVICIO :	CONDENSADOR DE CIMAT-2101			INSPECTOR :	

**Listado Inspección Casco**

PARTE	OK	Nota	No.
Cuerpo Interior			
Cuerpo Exterior			
Bocales Interior			
Bocales Exterior			
Coupling Bocales			
Bocales Auxiliares			
Birita lado tapa casco			
Birita lado canal			
Pintura (Aislamiento)			
Sellos			
Anchajes			
Bases			
Tierra			
Tuercas ancha			
Junta expansión			
Trechig			
Bota			
LG's			

**NOTAS:**

---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---

Fuente: Formato para Inspección de la CIE.

La inspección por medio de líquidos penetrantes se realiza mediante un aerosol el cual ayuda a la determinación de grietas, poros o defectos en las líneas de soldadura:

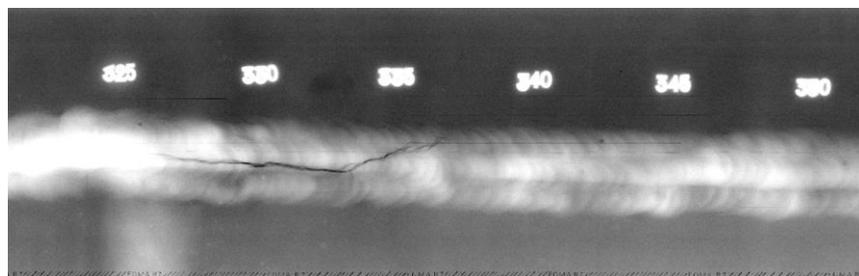
**Figura 5.** Método de líquidos penetrantes para inspección superficial.



Fuente: <http://trade.indiamart.com/>

La evaluación por radiografía se realiza en las líneas de soldadura una vez son soldadas para su inspección inmediata y aprobación de calidad, estas pueden presentar fallas por porosidad o fractura no detectables a simple vista:

**Figura 6.** Inspección por radiografía para calidad de línea de soldadura.



Fuente: <http://www.sentineltd.co.nz/Sentinel>

La evaluación por corrientes inducidas se realiza al haz de tubo para la determinación de grietas, imperfecciones o defectos en los tubos, esto se realiza mediante la medición de señales entregadas por el equipo de medición.

**Figura 7.** Inspección por corrientes inducidas para el haz de tubos.



Fuente: <http://www.wermac.org/>

La inspección visual se realiza a todo el equipo, determinando presencia de fugas, deformaciones en el tanque, estado del equipo, determinación de afectación por líneas externas al equipo, etc. Para esta evaluación cuenta el estudio y la experiencia del inspector ya que pueden existir fallas no tan fáciles de notar a simple vista.

Las termografías se llevaron a cabo para los equipos de convertidor de la UOP I y UOP II, realizando una evaluación de fallas en el horno del convertidor de la UOP I e inspección en todas sus líneas externas y posibles puntos calientes que pueda poseer, como una inspección programada. Para el convertidor de la UOP II se realizó una inspección con termografías debido a que en la inspección por ultrasonido se encontraron puntos de espesor bajo, esto se hizo para determinar si en el interior podía existir pérdida de refractario o una

acumulación de temperatura que esté afectando el interior del convertidor. El informe termográfico se ve de la siguiente manera:

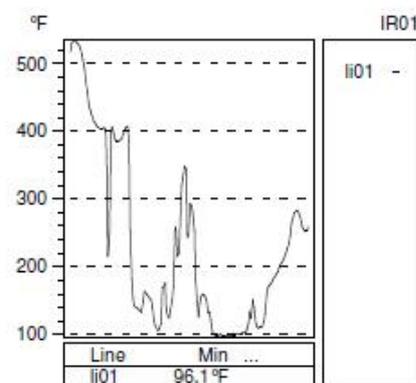
**Figura 8.** Análisis de inspección termográfica para el regenerador de UOP II.



INSPECCIÓN TERMOGRÁFICA  
Regenerador UOP2



IR information	Value
Camera type	ThermaCAM
Object parameter	Value
Emissivity	0,91
Object distance	49,6 m
Ambient temperature	86,0 °F
Relative humidity	0,65
Label	Value
SP01	392,3 °F
SP01: distance	*
SP02	193,9 °F
SP02: distance	*
LI01 : cursor	-
LI01 : max	535,4 °F
LI01 : min	96,1 °F
LI01: distance	*



Imágenes termográficas tomadas como referencia para modelamiento de aislamiento.

Fuente: Archivo del Autor.

El crawler es un método para inspección de tanques, es un equipo que al igual que el palpador trabaja por ultrasonido entregando las mediciones del espesor

del tanque por donde el quipo va pasando, al igual que el palpador y todos los equipos necesita de una previa calibración, este equipo debe de poseer para el trabajo un equipo especial para ir observando los datos que se encuentra entregando y al igual que los demás posee una norma de inspección, la cual se basa dependiendo de la dimensión del tanque, el crawler debe de recorrer cierto número de ejes verticales y omitir los datos entregados en las líneas de soldadura en cada anillo de los tanques.

**Figura 9.** Crawler para inspección de espesores en tanques.



Fuente: <http://www.silverwingndt.com>

### 8.5. Modelamiento de 20 equipos para realización de informe inspección en metodología FFS.

Según el plan de inspección de la “Coordinación de Inspección e Integridad de Equipos (CIE)”, se tomaron equipos a inspección a la fecha para realizarles un análisis Fitness For Service. Debido a la culminación del trabajo se asignaron para modelamiento en software CAE la realización de inspección de calidad del diseño haz de tubos, placa tubo flotante, placa tubo estacionaria y tapa cabezal flotante que fueron comprados recientemente, para determinar si cumplen con la más reciente actualización de la norma ASME y API para los diferentes recipientes a presión. Este programa trabaja con el modelamiento de equipo netamente estático como intercambiadores de calor, tambores, torres de enfriamiento, tanques, eyectores, entre otros, y trae incorporado en él la última actualización de la norma ASME, TEMA y API.

**Tabla 3.** Equipos Modelados en Software CAE PV-Elite

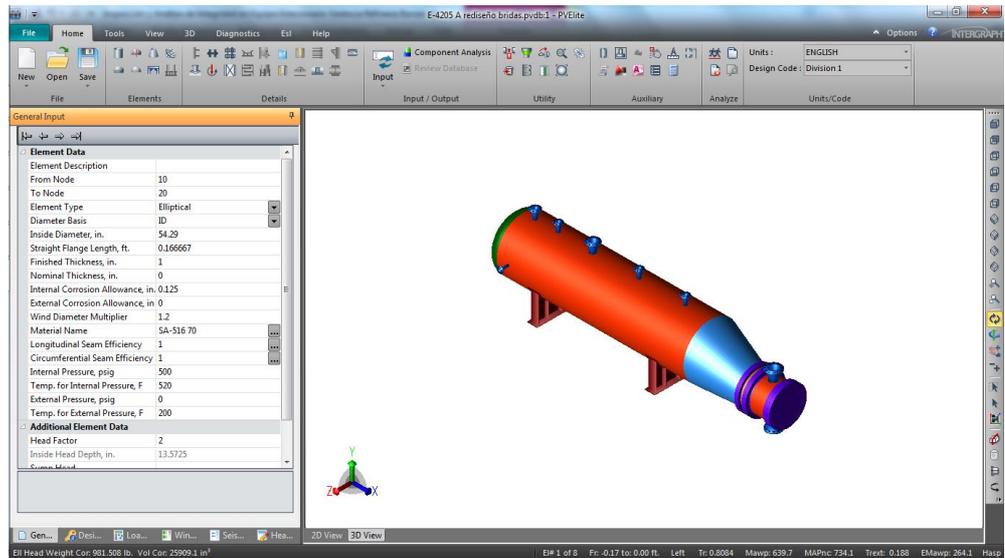
<i><b>Intercambiadores</b></i>	<i><b>Tambores</b></i>	<i><b>Torres</b></i>	<i><b>Haz de Tubos y Cabezal Flotante</b></i>
<u>E-134</u>	<u>D-258</u>	<u>T-2590</u>	<u>E-2011A</u>
<u>E-263 A/B</u>			<u>E-2029A</u>
<u>E-2009 A/B/C/D</u>			<u>E-2032</u>
<u>E-2004 B</u>			<u>E-256A</u>
<u>E-2024 B</u>			<u>E-2806</u>
<u>E-301 B</u>			<u>E-2808 A/B</u>

<u>E-303</u>			<u>E-1007 A/B</u>
<u>E-313</u>			<u>E-1010</u>
<u>E-1104</u>			<u>B-520</u>
<u>E-1124</u>			<u>E-304</u>
<u>E-1161</u>			<u>E-1314 A/B</u>
<u>E-1232</u>			<u>E-4204 A/B</u>
<u>E-554 A</u>			<u>E-4206 A/B</u>
<u>E-557</u>			<u>E-4207</u>
<u>E2014</u>			<u>E-4208 A/B</u>
<u>E2661</u>			<u>E-4252 A/B</u>
<u>E-4205 A</u>			<u>E-4254 C</u>
			<u>E-4255</u>
			<u>E-4268</u>
			<u>E-4283</u>

El desarrollo de estos modelos permite conocer el no cumplimiento de la norma más actual con respecto a ASME y API, problemas de diseño, fallas en la elección del material por exceso de esfuerzos, problemas en el diseño del anclaje del intercambiador, problemas con las especificaciones de las boquillas tanto como por normatividad como por dimensiones y ubicación, y para la realización del FFS permite realizar un cálculo de velocidad de corrosión, vida útil y vida remanente del componente, mediante el uso de análisis corrosivo del programa y una previa inspección de espesores en el componente a analizar.

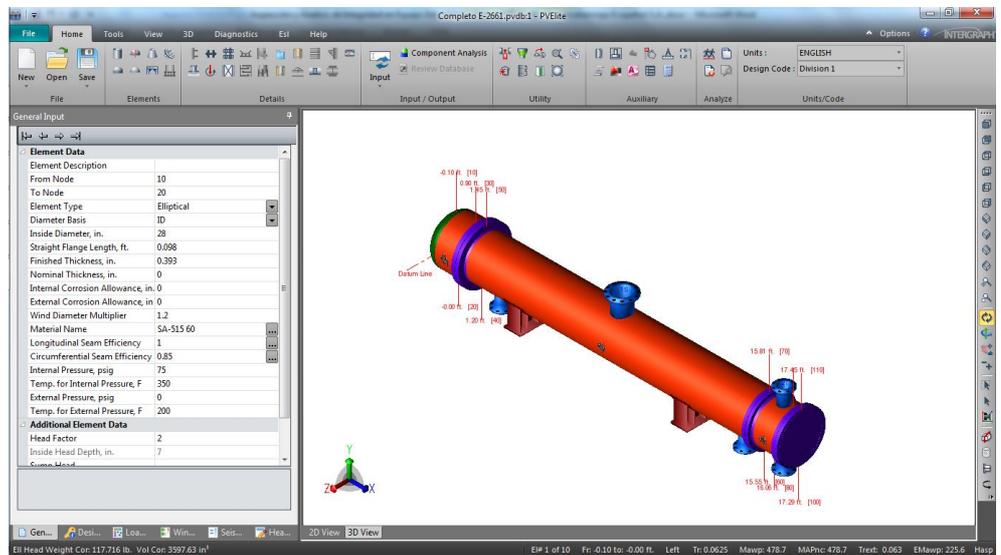
El modelamiento de los componentes se ve de la siguiente manera:

**Figura 10. Intercambiador E-4205 A. Intercambiador Tipo AKT.**



Fuente: Archivo del Autor.

**Figura 11. Intercambiador E-2661 A.**

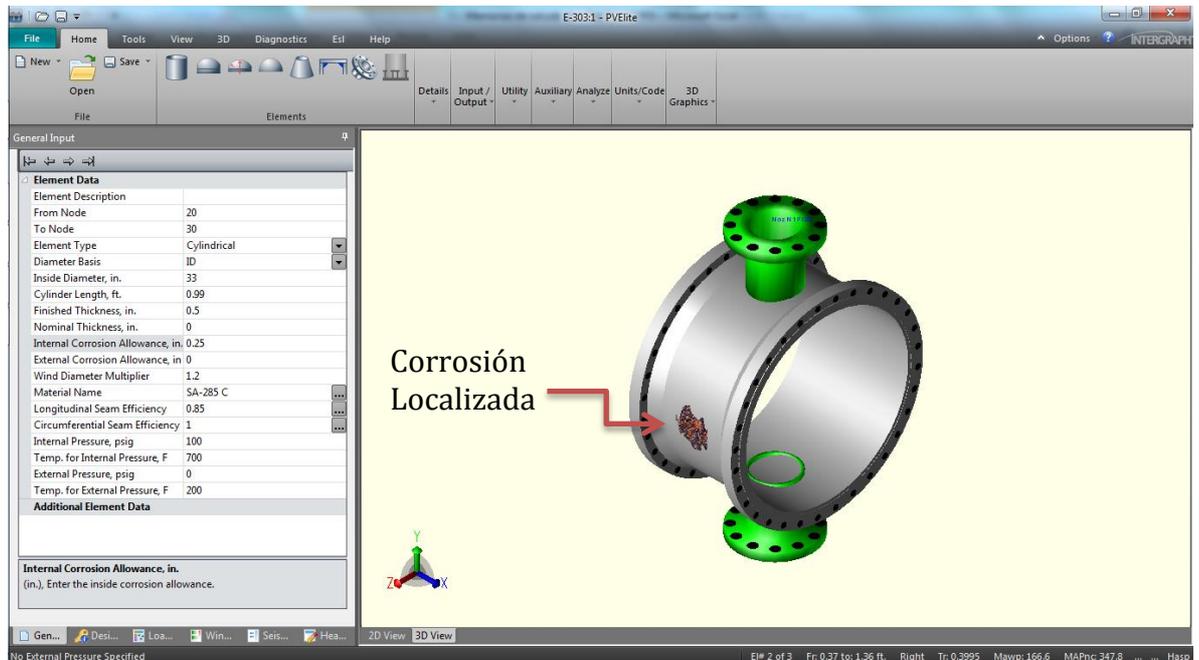


Fuente: Archivo del Autor.

A algunos de estos equipos se les realizo análisis corrosivo para su posterior análisis FFS, esta operación se realiza mediante una herramienta de análisis del programa, el cual entabla los datos entregados por la inspección de

espesor para realizar el respectivo cálculo de velocidades de corrosión y vida remanente del componente, esta herramienta se ve de la siguiente forma:

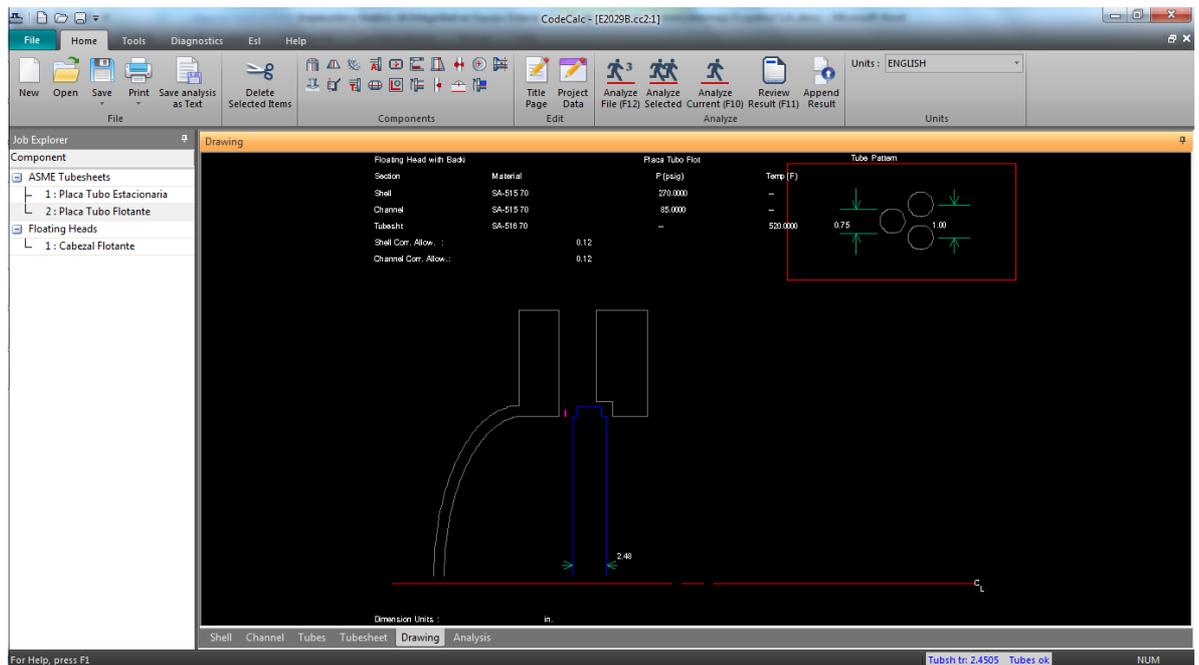
**Figura 12.** Análisis FFS de la Tapa Canal del Intercambiador E-303.



Fuente: Archivo del Autor.

Los haces de tubos al ser equipos mucho más complejos se realizó mediante el software “CodeCalc”, el cual implementa todos los análisis de diseño para realizar un modelamiento en dos dimensiones, entregando la evaluación total de cumplimiento del diseño con respecto a la norma con que haya sido modelado en este caso ASME o TEMA. Los modelos se ven de la siguiente forma:

**Figura 13. Placa Tubo Flotante del Intercambiador E-2029 B**



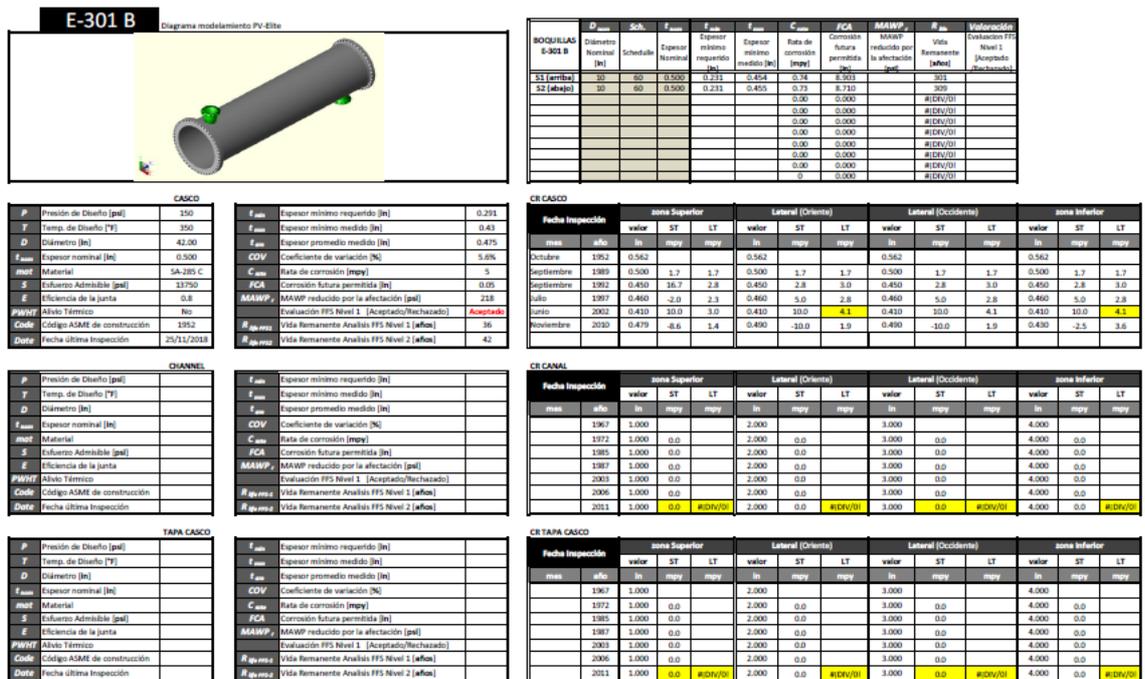
Fuente: Archivo del Autor.

### **8.6. Realización de informe con el acompañamiento del líder del área de FFS, apoyado por las diversas inspecciones en análisis no destructivos.**

Una vez realizada la inspección por ensayos no destructivos y llevado a cabo el modelamiento del equipo, teniendo en cuenta el registro histórico de inspección de medición de espesores que ha tenido el equipo desde su instalación, se establece la tabla de medición de espesores el cual se solicita por PV-Elite para poder realizar el análisis de velocidades de corrosión. Una vez obtenidos los resultados del análisis del programa se dirige a la plantilla en Excel ya diseñada por el líder de FFS para la realización de las comparaciones,

resultados y conclusiones con respecto a los datos de diseño establecidos en el equipo por el fabricante ya sean los Datasheet o los planos de diseño.

**Figura 14.** Tabla de velocidades de corrosión para el Intercambiador E-301 B.



Fuente: Archivo del Autor.

### 8.7. Acompañamiento y colaboración en los diversos ensayos no destructivos en cada una de las plantas donde se halla visto necesario la ayuda en la inspección.

Debido a la normatividad de la empresa y los diversos compromisos en el día a día en la Coordinación de Inspección e Integridad de Equipo Estático (CIE), los ingenieros deben realizar las inspecciones con el apoyo de alguien o un

supervisor, para así disminuir errores humanos durante la ejecución de las tareas, de esta manera disponen del acompañamiento de los estudiantes en práctica para que ellos también puedan aprender a realizar una inspección y como se realizan los diversos ensayos no destructivos para la inspección de recipientes a presión.

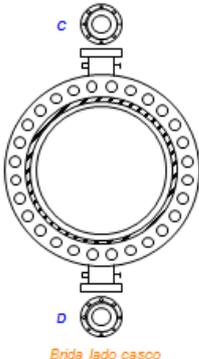
Durante la ejecución de la práctica se realizaron diversas inspecciones iniciando por el método de ultrasonido en los componentes de los intercambiadores desarmados en el patio de lavado, en el cual se llevó a cabo la inspección siguiendo cada una de las normas para los diferentes componentes del intercambiador un ejemplo de este se ve en el siguiente documento donde se pueden ver las ubicaciones y el número de datos a tomar por ubicación, por lo general se toman cuatro datos por ubicación para disminuir el delta de error del equipo.

**Figura 15.** Formato de Inspección para Toma de Espesores para el Canal.

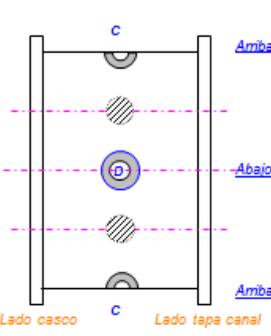
Pag. 3 de 4.

**REPORTE DE INSPECCIÓN DE LA CANAL**

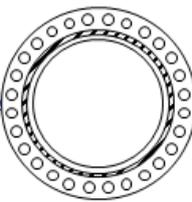
EQUIPO : <i>SE-2101A</i>	TIPO: <i>AGS</i>	VEL. CALIB.: _____	FECHA : _____
SERVICIO : <i>CONDENSADOR DE CIMAT-2101</i>		INSPECTOR : _____	



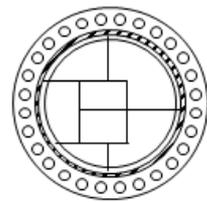
*Brida lado casco*



*Lado casco*      *Lado tapa canal*



*Brida lado tapa*



*Tapa canal*

**NOTAS:**

---



---



---



---



---

PARTE	OK	Nota	No.
Cuerpo Interior			
Cuerpo Exterior			
Bobinas Interior			
Bobinas Exterior			
Coupling Bobinas			
Bobinas Auxiliares			
Brida lado casco			
Brida lado Tapa canal			
Tapa Canal			
Platina Orificio			
Recurso Alarmino			
Caritas			
Empujes			
Reperajes			
Anodo de sacrificio			
Diaphragma			

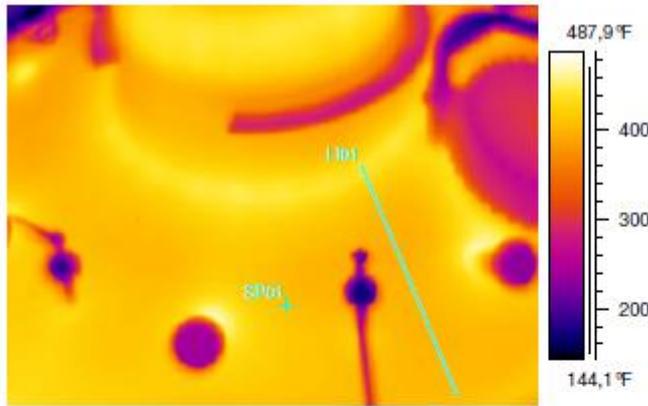
Fuente: Formato de Inspección de la CIE.

Durante la ejecución de la práctica se recibió la capacitación suficiente para realizar inspección termografía a equipos de la refinería, esto con el fin de poder promover los conocimientos adquiridos y de facilitar el trabajo día a día de la CIE, de esta forma se realizó la inspección termográfica completa del Regenerador de la UOP I y de la UOP II, por cuenta propia, junto con un análisis preliminar de temperaturas entregadas por el software para ser entregada al ingeniero solicitante.

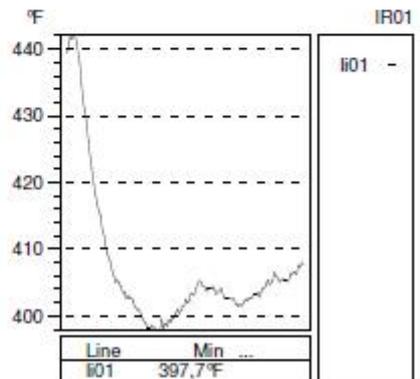
**Figura 16.** Análisis de inspección termográfica para el regenerador de UOP II.



INSPECCIÓN TERMOGRÁFICA  
Regenerador UOP2



IR information	Value
Camera type	ThermaCAM
Object parameter	PM 035 NTSC
Emissivity	0,91
Object distance	3,0 m
Ambient temperature	86,0°F
Relative humidity	0,65
Label	Value
SP01	411,9°F
SP01: distance	*
LI01 : cursor	-
LI01 : max	442,2°F
LI01 : min	397,7°F
LI01: distance	*



Imágenes termográficas tomadas como referencia para modelamiento de aislamiento.

Fuente: Archivo del Autor.

Durante la parada de planta de la unidad de UOP I y Etileno II se desarmaron varios intercambiadores para su mantenimiento, de esta manera se solicitó también la inspección del haz de tubos mediante corrientes inducidas (Eddy Current Method), la inspección se realiza mediante el equipo "Ferroscope

F308”, debido a la cantidad de tubos que puede poseer un haz de tubos se seguía la norma estrictamente para abreviar la realización de la inspección, un haz de tubo puede poseer alrededor de los mil tubos para su inspección y la inspección se debe de realizar a cada uno de los tubos.

#### **8.8. Desarrollo de plantilla de norma ASME PCC 2, para ser puesta a prueba en la parada de planta de la unidad UOP I.**

Este instructivo proporciona métodos para la reparación de equipos y tuberías en el ámbito de los códigos y normas de tecnología de presión ASME después de haber sido puesto en servicio. Estos métodos de reparación incluyen el diseño correspondiente, la fabricación, el examen y prácticas de prueba y pueden ser temporales o permanentes, dependiendo de las circunstancias.

Los métodos establecidos en el presente instructivo abordan la reparación de los componentes cuando se considere necesaria la reparación basado en una inspección adecuada y evaluación de defecto. Estos métodos de evaluación y de inspección de defectos no están cubiertos en el instructivo, pero se tratan en otros códigos y normas post construcción. Sólo se proporcionan procedimientos técnicos y la información.

Para la realización del instructivo se tuvieron en cuenta las partes más importantes o de mayor conveniencia, debido a razones de complejidad y para

asegurar el buen uso de estos métodos. Los temas abarcados de la norma ASME PCC2 son los siguientes:

- **Parte 2: Reparación por Soldadura.**

- Artículo 2.1 Insert Plates soldados a tope en componentes a presión.
- Artículo 2.2 Aplicación de soldadura externa para reparar adelgazamiento interno.
- Artículo 2.3 Conexiones roscadas de sellado con soldadura y reparaciones de soldadura de sellado.
- Artículo 2.4 Caja de Reparación de fugas soldada.
- Artículo 2.6 Envoltura completa de refuerzos de casquillos en acero para tubería.
- Artículo 2.7 Parches de soldadura de filete con refuerzo de soldadura de tapón.
- Artículo 2.8 Alternativas para precalentamiento de soldadura tradicional.
- Artículo 2.9 Alternativas para tratamiento térmico post soldadura.
- Artículo 2.10 Soldadura en servicio en los componentes de presión de acero al carbono o tuberías.
- Artículo 2.11 Acumulación de soldadura, revestimiento de soldadura y restauración de revestimiento.
- Artículo 2.12 Reparación de Soldadura.

- Artículo 2.13 Reparación de tapones roscados o soldados.
- Artículo 2.14 Campo de tratamiento térmico de recipientes.
  
- **Parte 3: Reparaciones Mecánicas.**
  - Artículo 3.1 Reemplazo de componentes a presión.
  - Artículo 3.2 Tapón de Congelación.
  - Artículo 3.4 Falla de excavación y reparación de soldadura.
  - Artículo 3.5 Reparación y conversión de brida.
  - Artículo 3.6 Reparación de abrazadera mecánica.
  - Artículo 3.7 Enderezamiento de tubería o alineación de flexión.
  - Artículo 3.12 Inspección y reparación de casco e intercambiadores de calor de tubo.
  
- **Parte 5: Examen y ensayo.**
  - Artículo 5.1 Pruebas de presión y estanqueidad de las tuberías y equipos.
  - Artículo 5.2 Examen no destructivo en lugar de pruebas de presión para las reparaciones y alteraciones.

El instructivo fue resumido y enfatizado en sus elementos más importantes con tablas de cálculo para que de esta manera solo sea el ingreso de los valores para el cálculo de diseño y aprobación de consideraciones de reparación, se ve de la siguiente forma:

Figura 17. Instructivo ASME PCC-2-2011.

Microsoft Excel - ASME PCC-2-2011.xlsx

4 Fabricación

4.1. Corte y Formación

4.1.1. Bordes Biselados  
Debe de ser preparado por corte termico, desbaste, maquinado y rectificaco apropiado para el material y la soldadura.

4.1.2. Formación  
Puede ser cortado de otro componente con la misma geometria.

4.1.3. Formación de Tensión en Carbono y Bajas Aleaciones de Acero  
Insert plates acero al carbono y de acero de baja aleación deben ser posteriormente tratados termicamente. cuando el alargamiento de la fibra extrema resultante durante la conformación en frío es más de 5%, como se determina por las siguientes fórmulas:

a) Para cascos con una sola curvatura (cilindros):

$$\% \text{ de Alargamiento de la Fibra Extrema} = \frac{75t}{R_f} \left(1 - \frac{R_f}{R_o}\right)$$

b) Para Doble Curvatura (cabezales y Cascos Esfericos):

$$\% \text{ de Alargamiento de la Fibra Extrema} = \frac{50t}{R_f} \left(1 - \frac{R_f}{R_o}\right)$$

t	1	
R <sub>f</sub>	12	
R <sub>o</sub>	20	
Sencilla	2.50%	Cumple
Doble	1.67%	Cumple

2.50%

R<sub>f</sub> Radio de línea central final. (in)  
R<sub>o</sub> Radio de línea central original (in.). (Radio es igual infinito en placa plana.)  
t Espesor de la Placa (in)

4.1.4. Formación de Tensión en Otros Materiales  
No puede exceder el código de diseño sin su correspondiente tratamiento térmico.

4.1.5. Alineación de Bordes del Insert Plate  
El máximo desplazamiento se encuentra en las limitaciones del código aplicado de construcción. Si el espesor del Insert Plate supera estas limitaciones, el borde de la placa deberá tener una transición cónica que tiene una longitud no inferior a 3 veces el desplazamiento entre las superficies

(d) Note (4)

NOTES:  
(1) Side view of cutout in pipe or tube with edge bevels. (Fig. 1 shows single-grooved joint detail with 25 deg to 35 deg edge bevel in pipe or tube. Other joint details and edge bevels may be used, as appropriate for a particular weld joint.)  
(2) Plan view of insert with edge bevels. (Fig. 1 shows an insert with one-sided joint detail.)  
(3) Side view of the insert with edge bevels. (Other joint details and edge bevels may be used, as appropriate for a particular weld joint.)  
(4) Side view of welded insert in pipe or tube.

Fig. 2 Flush Insert Plate (With or Without Nozzle/Manway) With Its Butt Weld Intersecting Existing Butt Weld in Shells or Heads

NOTES:  
(1) Existing butt weld in vessel shell or head. (Fig. 2 shows butt weld in a nozzle/manway of shell.)

Artículo 2.1 Insert Plates / Artículo 2.2 Overlay / Artículo 2.3 Seal-Welded / Artículo 2.4 Welded Leak Box / Artículo 2.6 Sleeves / Artículo 2.7 Patch

Fuente: Archivo del Autor.

## 9. EVALUACIÓN DE RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN

**Tabla 4.** Evaluación de Resultados de la Implementación de Propuestas

<b>Actividad</b>	<b>Propuesta</b>	<b>% Cumplimiento</b>
Estudio de normatividad en inspección de recipientes a presión.	Lectura de normas API 570, API 572, API 579, ASME PCC2, Manual de referencia para la inspección periódica.	<b>100%</b>
Entrenamiento en normas de seguridad industrial HSE.	Curso HSE.	<b>100%</b>
Estudio en software PV-Elite para diseño y evaluación de recipientes a presión.	Entrenamiento en software PV-Elite realizado por el líder del área de FFS Ing. Fabian Reyes e Ing. Samuel Rodas.	<b>100%</b>
Inspección de recipientes a presión mediante ensayos no destructivos.	Entrenamiento y realización de inspección mediante el acompañamiento de los ingenieros de cada planta, en el cual se realizó inspección por ultrasonido, líquidos penetrantes, radiografías,	<b>100%</b>

	corrientes inducidas, inspección visual, termografías y Crawler.	
Entrega de equipos modelados mediante el software PV-Elite.	Modelamiento de 20 equipos para realización de informe de inspección en metodología FFS.	<b>100%</b>
Entrega de informe FFS	Realización de informe con el acompañamiento del líder del área de FFS, apoyado por los diversos análisis en inspección de ensayos no destructivos.	<b>100%</b>
Apoyo en el día a día de la Coordinación de Inspección e Integridad de Equipo Estático.	Acompañamiento y colaboración en los diversos ensayos no destructivos en cada una de las plantas donde se encuentre necesario la ayuda en la inspección.	<b>100%</b>
Plantilla para inspección y desarrollo de recomendaciones	Desarrollo de plantilla de norma ASME PCC2, para ser puesta a prueba en la parada de planta de la unidad UOP I y Etileno II.	<b>100%</b>

para reparación de equipos.		
-----------------------------	--	--

Con cada actividad desarrollada en la práctica se implementó una propuesta de mejora que conlleva a lograr la optimización del trabajo durante la inspección y las recomendaciones de la Coordinación de inspección e Integridad de Equipo Estático, esta tabla muestra el % de Cumplimiento de cada una de estas propuestas.

## CONCLUSIONES

- Gracias al acompañamiento durante las inspecciones, estudios en las diferentes normas y la transmisión de conocimientos de la coordinación en la realización de recomendaciones, se logró el apoyo día a día en la realización de las tareas diarias de inspección y evaluación de recomendaciones de fallas para los recipientes a presión garantizando la integridad de los equipos del complejo Refinería de Ecopetrol S.A. Barrancabermeja.
- Mediante el entrenamiento en el programa PV-Elite, la norma Fitness for Service API-579 y el estudio de la realización de recomendaciones en metodología Fitness for Service, se logró la realización de los modelos de más de veinte equipos próximos para evaluación Fitness for Service, evaluación de compra por medio de la norma más actual ASME e informe de recomendación usando la metodología Fitness for Service.
- Se realizó con éxito el estudio, diseño y evaluación del instructivo para la norma ASME PCC2: Reparación de equipos y tubería a presión, el cual se usó durante las paradas de planta de las unidades UOP I y Etileno II, éste instructivo posee conceptos y cálculos de diseño, donde se ingresan los datos esenciales para el cálculo de los diferentes métodos de reparación y entrega los datos de diseño para poder desarrollar la reparación.

- Se llevó acabo la evaluación preliminar de la maduración de proyectos de la fase I para la Actualización y Reposición de los tanques API 650 de los equipos D-303 de Modelo IV y D-1209, D-1216 y D-1283 de Parafinas, en el cual se logró la obtención de documentos necesarios, determinación de alcances, taller de riesgo, cotizaciones de proyecto y programación de la fase.

## RECOMENDACIONES

El área de Aptitud para el Servicio de los equipos se encuentra en fase de implementación en el complejo Refinería Ecopetrol S.A. Barrancabermeja, por esta razón se recomienda el crecimiento de esta área para preservar mayor cantidad de integridad de equipo en menor tiempo y de esta manera garantizar la confiabilidad de operación de las plantas y la seguridad de la refinería.

La norma API-579 es bastante extensa y posee tres tipos de niveles con cierto nivel de complejidad de cada uno a medida que va aumentando el nivel de análisis, el uso del primer nivel debería de ser una capacitación que cada inspector de integridad necesita tener para poder abarcar una mejor inspección y realización de recomendaciones de fallas de los equipos.

Por razones de licencias e inicio de implementación de la metodología Fitness For Service, la refinería no posee un software para la realización del nivel 3, el cual se basa en un estudio de elementos finitos para determinación de diversos tipos de fallas y esfuerzos. Durante la inspección termográfica del Regenerador de la unidad de UOP II se vio la necesidad de realizar un corto alcance en el análisis por elementos finitos para la determinación de espesor mínimo de refractario en las paredes cónicas del regenerador, con esta iniciativa se dio un primer paso para divulgar la necesidad de un programa especializado en elementos finitos para garantizar la metodología FFS.

## BIBLIOGRAFÍA

### Fuentes electrónicas

ECOPETROL S.A. (s.f.). *ECOPETROL, Energía para el Futuro*. Recuperado el 04 de Diciembre del 2014, de ECOPETROL, Energía para el Futuro:  
[http://www.ecopetrol.com.co/especiales/mapa\\_infraestructura.htm](http://www.ecopetrol.com.co/especiales/mapa_infraestructura.htm)

ECOPETROL S.A. (s.f.). *ECOPETROL, Energía para el Futuro*. Recuperado el 04 de Diciembre del 2014, de ECOPETROL, Energía para el Futuro:  
<http://www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?catID=532&conID=76463&pagID=134270>

ECOPETROL S.A. (s.f.). *Estructura Organizacional Gerencia General Refinería de Barrancabermeja*. Recuperado el 04 de Diciembre del 2014,  
Estructura Organizacional Gerencia General Refinería de  
Barrancabermeja:  
<http://nuestragestion/grb/imagenes/Organigrama%20GRB.bmp>

ECOPETROL S.A. (s.f.). *Estructura Organizacional Vicepresidencia de Refinación y Petroquímica*. Recuperado el 04 de Diciembre de 2014, de  
Estructura Organizacional Vicepresidencia de Refinación y  
Petroquímica: <http://nuestragestion/vrp/quienessomos/Organigrama.aspx>

INTERGRAPH, CADWorx and Analysis Solution. PV Elite. Productos y Soluciones, PV Elite. Introducción. [Estados Unidos de América]. U.S.A., 2013 [citado 24 de Jul. 2014]. Lista de productos PV Elite. Disponible en internet: <<http://www.intergraph.com/products/ppm/pvelite/default.aspx>>

### **Fuentes impresas.**

ECOPETROL S.A. (s.f.). *ECOPETROL, Energía para el Futuro*. GUIA PARA LA MADURACIÓN DE PROYECTOS EN FASE I. Gerencia Técnica - Gerencia Refinería Barrancabermeja. (18 de Noviembre del 2013)

SHELL INTERNATIONAL OIL, PRODUCTS B.V. *Reference Manual For The Periodic Inspection Of Static Mechanical Plant Equipment*. (Julio de 1998).

*Author: Alberda, T.J.*

*STANDARDS OF THE TUBULAR EXCHANGER MANUFACTURERS ASSOCIATION*. Tubular Exchanger Manufacturers Association, Inc. (TEMA). *Ninth Edition*, (20 de Noviembre del 2007).

THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS (ASME). (2007).

*API 579-1/ASME FFS-1, JUNE 5, 2007 (API 579 SECOND EDITION)*

American Petroleum Institute (API). (05 de Junio del 2007). *API 579-*

*1/ASME FFS-1 2007 Fitness-For-Service.*

THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS (ASME). (2009).

*API 570 THIRD EDITION, NOVEMBER 2009*

American Petroleum Institute (API). (Noviembre del 2009). *Piping*

*Inspection Code: In-service Inspection, Rating, Repair, and Alteration of*

*Piping Systems.*

THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS (ASME). (2009).

*RECOMMENDED PRACTICE API 572 THIRD EDITION, NOVEMBER  
2009*

American Petroleum Institute (API). (Noviembre del 2009). *Inspection*

*Practices for Pressure Vessels.*

THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS (ASME). (2011).

*ASME PCC-2-2011 (Revision of ASME PCC-2-2008)*

An American National Standard. (28 de Abril del 2011). *Repair of*

*Pressure Equipment and Piping.*

THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS (ASME). (2013).

*API STANDARD 650 TWELFTH EDITION, MARCH 2013.*

American Petroleum Institute (API). (Marzo del 2013). *Welded Tanks for Oil Storage.*