



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

Análisis de la medición de espesores de una planta de
desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de
refinación.

TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA:

MARIO SEGURA DIAZ

DIRECTOR DE TESIS:

DR. M. JAVIER CRUZ GÓMEZ

ASESOR TÉCNICO

M. en I. ROLANDO JAVIER BERNAL PÉREZ





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES “ZARAGOZA”

DIRECCIÓN

JEFE DE LA UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN
ESCOLAR
PRESENTE.

Comunico a usted que al alumno(a) Segura Diaz Mario con número de cuenta 304239296 de la carrera Ingeniería Química, se le ha fijado el día 5 del mes de junio de 2015 a las 13:00 horas para presentar su examen profesional, que tendrá lugar en la sala de exámenes profesionales del Campus II de esta Facultad, con el siguiente jurado:

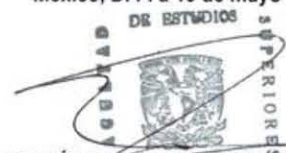
PRESIDENTE	I.Q. DOMINGA ORTIZ BAUTISTA
VOCAL	DR. M. JAVIER CRUZ GÓMEZ*
SECRETARIO	DR. NÉSTOR NOÉ LÓPEZ CASTILLO
SUPLENTE	M. en I. CRESENCIANO ECHAVARRIETA ALBITER
SUPLENTE	I.Q. MARÍA ALEJANDRA VALENTÁN GONZÁLEZ

Dominga Ortiz Bautista
J. Cruz Gómez
Néstor Noé López Castillo
Crenciano Echavarieta Albitar
M. Alejandra Valentán González

El título de la tesis que se presenta es: Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.

Opción de Titulación: Tesis profesional

ATENTAMENTE
“POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU”
México, D. F. a 19 de mayo de 2015.



DR. VÍCTOR MANUEL MENDOZA NUÑEZ
DIRECTOR
DIRECCIÓN

RECIBI
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES
Y DE GRADO

Vo.Bo. *Dominga Ortiz Bautista*
I.Q. DOMINGA ORTIZ BAUTISTA
JEFA DE LA CARRERA DE I.Q.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por permitirme concluir esta meta.

A mi madre, y mis tíos, Rita Díaz y Norberto Díaz, a mis primos Guadalupe, María Eugenia, Arturo, Raúl, Fernando, Alejandro, Ángela y familias, quienes siempre han estado a mi lado.

A mis abuelos Margarita Valencia†, Francisco Segura†, Catalina Islas y Zenón Díaz†, por ser ejemplos a seguir en trabajo y esfuerzo.

A mi primo Héctor Mendoza, quien me ayudo a concluir mi primera gran meta que fue el término de mi carrera.

A toda la familia “Segura” en especial a Maricarmen, Enrique, Miguel, Jorge, Ana, Christian y Jonathan, de quienes siempre recibí su cariño y apoyo.

A la señora Juanita Cruz y familia, por incluirme en sus oraciones y a doña Patricia Barragán por todo su apoyo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por la formación profesional, la cual me brindo la posibilidad de abrir nuevos horizontes.

A todos los buenos profesores que formaron parte de mi vida académica, en especial a los de la FES Zaragoza, quienes ahora forman parte este jurado, por su dedicación y compromiso, gracias.

A mis amigos de la carrera Rogelio, Omar, Jesús, Adriana, Mariana Gisela, Tania H, Leonila, Antonio, Lucia, Mariana Elizabeth, Cesar y Pancho, quienes me brindaron su sincera amistad durante todo el tiempo.

A la torre de Ingeniería por brindarme la oportunidad de realizar éste trabajo y en especial a mis amigos Lucía, Erika, Axel Alejandro, Marquito, Moisés y Raymundo por su amistad y su apoyo.

A mis amigos con los que trabaje durante mi carrera, de quienes siempre tuve su apoyo y amistad: Geovanni, Ángel, Sergio y Jesús.

A mis hermanos, Rocío, Lilia, Erika, Aimme, Xiadany y Ademir, quienes fueron un motor para seguir adelante.

A TODOS USTEDES, MUCHAS GRACIAS POR SER PARTE DE ESTE LOGRO;iii

ÍNDICE	
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE TABLAS	vii
RESUMEN	viii
INTRODUCCIÓN	1
Objetivo general:	2
Objetivos particulares:	2
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	3
1.1 Seguridad Industrial	3
1.2 Integridad mecánica	3
1.2.1 Antecedentes de la normatividad	4
1.2.2 Mantenimiento e integridad mecánica	6
1.3 Corrosión y abrasión	6
1.4 Accidentes industriales	7
1.5 Inspección técnica y marco normativo	11
1.5.1 DG-SASIPA-IT-0204	12
1.5.1.1 Secuencia para el registro, análisis y programación preventiva de espesores.	13
1.5.1.2 Integración de la estadística de medición preventiva de espesores.	13
1.5.1.3 Preparativos para la medición de espesores.	15
1.5.1.4 Análisis preliminar de espesores	15
1.5.1.5 Análisis estadístico formal	15
1.5.1.6 Uso de resultados	17
1.5.2 GPEI-IT-201	18
1.5.3 GPI-IT-4200	20
1.5.4 DG-GPASI-IT-0903	21
1.5.5 GPASI-IT-0209	22
1.6 Sistema de Medición y Control de Espesores en Líneas y Equipos (SIMECELE)	23
1.6.1 Proceso de implementación del SIMECELE	24
1.7 Proceso de desintegración catalítica	25
1.8 Metodología	28
CAPÍTULO II. TRABAJO EN CAMPO	30

2.1 Recopilación de información	30
2.2 Descripción de proceso	31
2.3 Censo de circuitos	35
2.4 Censo de unidades de control	36
2.5 Actualización y digitalización de diagramas de inspección	38
2.6 Relación de niveles (empates)	40
2.7 Captura al SIMECELE	41
CAPÍTULO III RESULTADOS	54
3.1 Censo de circuitos	54
3.2 Censo de unidades de control	54
3.3 Análisis estadístico formal	59
CAPÍTULO IV ANÁLISIS DE RESULTADOS	83
CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	87
5.1 Conclusiones	87
5.2 Recomendaciones	87
BIBLIOGRAFÍA	88
ANEXO A. MEMORIA DE CÁLCULO	90
ANEXO B. CENSO DE CIRCUITOS	92
ANEXO C. RESUMEN GENERAL DE INSPECCIONES FCCII	96
ANEXO D. NIVELES CRÍTICOS Y CON ENGROSAMIENTO DE LA UNIDAD DE CONTROL UC-FCCII-082	99
ANEXO E. ESPESOR NOMINAL DE LAS TUBERÍAS	119
GLOSARIO	121

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Accidentes industriales a través de las décadas	8
Figura 2. Decesos por accidentes industriales a través de las décadas	8
Figura 3. Arreglos básicos de niplería	19
Figura 4. Diagrama del Convertidor	27
Figura 5. Diagrama de proceso del convertidor	28
Figura 6. Ejemplo de isométrico de construcción	31
Figura 7. Diagrama de bloques de la planta de desintegración catalítica	34
Figura 8. Ejemplo de división de circuitos de líneas	36

Figura 9. Ejemplo de división de unidades de control.	38
Figura 10. Ejemplo de levantamiento.	39
Figura 11. Ejemplo de diagrama de inspección digitalizado.	40
Figura 12. Ejemplo de formato para la relación de niveles.....	41
Figura 13. Menú de bienvenida.....	43
Figura 14. Menú de captura.	43
Figura 15. Árbol de localización del circuito.	44
Figura 16. Captura de la descripción de la unidad de control.....	44
Figura 17. Captura de especificación de Materiales.	45
Figura 18. Captura del servicio.....	45
Figura 19. Captura de las condiciones de operación.	46
Figura 20. Captura de los diámetros que componen la unidad de control.....	46
Figura 21. Captura del tipo de cada nivel.....	47
Figura 22. Captura del tipo de arreglo de niplería.	47
Figura 23. Captura de los niveles de tornillería.....	48
Figura 24. Resumen de los datos capturados de la unidad de control.	48
Figura 25. Árbol de localización de la unidad de control.	49
Figura 26. Captura de los datos de inspección.....	50
Figura 27. Captura de los espesores de la inspección.....	50
Figura 28. Captura de la inspección visual de tubería.....	51
Figura 29. Captura de la medición de espesores de niplería.	52
Figura 30. Captura de la inspección visual de niplería.	52
Figura 31. Captura de la inspección visual de tornillería.	53
Figura 32. Panorama de inspecciones de la planta.	55
Figura 33. Gráfica de la medición de espesores en la tubería de la UC-FCCII-044.	58
Figura 34. Inspecciones de la unidad UC-FCCII-044.	59
Figura 35. Inspecciones de la unidad UC-FCCII-053.	67
Figura 36. Gráfica de la medición de espesores en la tubería de la UC-FCCII-053.	69
Figura 37. Inspecciones de la unidad UC-FCCII-071.	73
Figura 38. Gráfica de la medición de espesores en la tubería de la UC-FCCII-071.	75
Figura 39. Inspecciones de la unidad UC-FCCII-082.	76
Figura 40. Gráfica de la medición de espesores en la tubería de la UC-FCCII-082.	78
Figura 41. Inspecciones de la unidad UC-FCCII-095.	80
Figura 42. Gráfica de la medición de espesores en la tubería de la UC-FCCII-095.	82
Figura 43. Resumen de porcentajes de los niveles sospechosos, críticos y con engrosamiento de cada elemento en las unidades de control.	85
Figura 44. Puntos de medición para piezas de tubería.....	120

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de accidentes en la industria de 1900 a 1992.....	9
Tabla 2. Distribución de los accidentes industriales de 1900 a 1992.....	9
Tabla 3. Accidentes en instalaciones de la industria petrolera.....	10
Tabla 4. Clasificación de los grados de corrosión para tornillerías	21
Tabla 5. Intervalos de inspección recomendados según la clase de fluido manejado	23
Tabla 6. Unidades de control vencidas.	55
Tabla 7. Unidades de control con velocidades de desgaste críticas.	56
Tabla 8. Niveles con engrosamiento de la unidad de control UC-FCCII-044.....	57
Tabla 9. Ejemplo del formato de registro en el SIMECELE.....	60
Tabla 10. Resumen del cálculo de vida útil estimada y fecha de próxima medición de todos los niveles de la unidad de control UC-FCCII-044.	62
Tabla 11. Resumen del cálculo de vida útil estimada y fecha de próxima medición de espesores de los niveles con velocidad de desgaste normal de la unidad de control UC-FCCII-044.....	63
Tabla 12. Niveles críticos de la unidad de control UC-FCCII-044.	63
Tabla 13. Resumen del cálculo de vida útil estimada y fecha de próxima medición de espesores de los niveles con velocidad de desgaste crítica de la unidad de control UC-FCCII-044.	65
Tabla 14. Resumen del análisis estadístico formal de la unidad de control UC-FCCII-044.	65
Tabla 15. Niveles con engrosamiento de la unidad de control UC-FCCII-053.....	66
Tabla 16. Niveles críticos de la unidad de control UC-FCCII-053	67
Tabla 17. Resumen del análisis estadístico formal de la unidad de control UC-FCCII-053.....	68
Tabla 18. Niveles con engrosamiento de la unidad de control UC-FCCII-071.....	70
Tabla 19. Niveles críticos en la unidad de control UC-FCCII-071.	73
Tabla 20. Resumen del análisis estadístico formal de la unidad de control UC-FCCII-071.....	74
Tabla 21. Resumen del análisis estadístico formal de la unidad de control UC-FCCII-082.....	77
Tabla 22. Niveles con engrosamiento de la unidad de control UC-FCCII-095.....	79
Tabla 23 Niveles críticos en la unidad de control UC-FCCII-095.	80
Tabla 24. Resumen del análisis estadístico formal de la unidad UC-FCCII-095.....	81
Tabla 25. Niveles sospechosos en las unidades de control.....	83
Tabla 26. Niveles con engrosamiento en las unidades de control.....	83
Tabla 27. Niveles críticos en las unidades de control.	84
Tabla 28. Resumen de los niveles sospechosos, críticos y con engrosamiento de cada elemento en las unidades de control.	84
Tabla B- 1. Censo de circuitos	92
Tabla C- 1. Resumen general de inspecciones FCCII	96
Tabla D- 1.Engrosamientos de la unidad de control UC-FCCII-082	99
Tabla D- 2. Puntos críticos en UC-FCCII-082.....	105
Tabla E- 1. Espesor nominal de las tuberías.....	119

RESUMEN

El proceso de implementación del Sistema de Medición de Espesores de Líneas y Equipos (SIMECELE) consta de una serie de pasos, los cuales aprovechan las herramientas informáticas para mejorar la administración y control de la información en las actividades relacionadas con la Integridad Mecánica y la Inspección Preventiva de Espesores en tuberías, equipos y recipientes que manejen o transportan hidrocarburos, productos químicos o petroquímicos, y sustancias tóxicas o agresivas, en las instalaciones que así lo dispongan, todo esto para mejorar la seguridad de las instalaciones así como de las personas que en ella laboran.

Este trabajo tiene como objetivo la identificación de los puntos de mejora al SIMECELE a través de un análisis de la información obtenida de una planta de desintegración catalítica. El SIMECELE es un software que ha permitido una mejora en la administración y el control de la información, relacionada con el estado de las líneas y equipos de proceso, el cual fue desarrollado con base en la normatividad vigente para la inspección técnica en PEMEX-Refinación: DG-SASIPA-IT-0204, GPEI-IT-0201, GPEI-IT-4200, DG-GPASIIT-0903, DG-GPASI-IT-0209 y DG-ASIPA-IT-00008.

Un punto importante en el proceso de análisis fue, el uso de la gráfica de medición de espesores, en ella se pueden observar los valores obtenidos durante la inspecciones y compararlos visualmente con el diámetro nominal, con lo cual es posible detectar engrosamientos, puntos sospechosos y puntos con velocidades de desgaste altas, además se pueden observar las piezas de tubería en que existen, con mayor frecuencia, este tipo de casos.

El proceso de desintegración catalítica es de los más importantes dentro de una refinería, el cual suele componerse por diferentes secciones como son la sección del convertidor, fraccionamiento, compresión de gas, estabilización de gasolinas, tratamiento de producto, fraccionamiento de gas licuado y la sección de propano y propileno.

Se realizó un análisis de cinco de las 18 unidades de control críticas, identificando las piezas de tubería en las que se encontraron engrosamientos, niveles sospechosos y con velocidad de desgaste crítico y se buscaron las posibles causas, además se elaboró un resumen de las unidades de control de acuerdo con las inspecciones encontradas en cada unidad de control.

Las tuberías, reducciones y codos sólo presentaron niveles críticos o con engrosamiento; mientras que los cap, tee's e injerto de 1½", además de presentar niveles críticos o con engrosamiento, también se identificaron como niveles sospechosos en las gráfica de medición de espesores. Es por ello que se propone incluir en el SIMECELE las especificaciones adecuadas para injertos de 1½", cap's y coples, así como verificar las especificaciones de las tee's, debido a que el 86% de estas reportaron niveles sospechosos. Además de revisar que la técnica de inspección haya sido aplicada correctamente, ya que una inadecuada técnica puede generar datos críticos o de engrosamiento de manera apócrifa.

INTRODUCCIÓN

En México al 2012, el petróleo aportó el 6.8% del Producto Interno Bruto (PIB) lo que representa una gran cantidad de empleos directos e indirectos, por lo que es de gran importancia para el desarrollo del país (BANCO MUNDIAL, 2015).

Actualmente, la industria de la refinación presenta grandes desafíos por la creciente demanda de productos derivados del petróleo vinculada con el desarrollo económico del país; el compromiso del cuidado del medio ambiente a través de la elaboración de combustibles cada vez más limpios y maximizando el valor del petróleo mejorando su eficiencia así como su rentabilidad. Es por ello que la seguridad industrial tiene un papel muy importante para garantizar la integridad de las instalaciones así como del personal que en ella labora, todo esto sin afectar los objetivos económicos de la industria (SENER, SD).

La industria química, debido a la operación y manejo de sustancias peligrosas, es considerada de alto riesgo en comparación con otras industrias, los accidentes en la industria han cobrado la vida de muchas personas y cuantiosas pérdidas económicas. Para evitar o minimizar la posibilidad de que estos hechos pudieran volver a ocurrir, se han tomado diferentes medidas de seguridad tanto preventivas como correctivas, en diferentes áreas, siendo la integridad mecánica una de las más importantes ya que al conocer el estado de las líneas y equipos de proceso se pueden generar nuevos planes para el mantenimiento o paro del proceso, para la sustitución de accesorios, líneas o equipos y así evitar daños mayores.

Para conocer en qué estado se encuentran las líneas y/o equipos es necesario realizar trabajos de inspección técnica en los que se recopilará información que permita un mejor conocimiento de la integridad mecánica de las instalaciones, el intervalo con que se realizan estos trabajos puede variar dependiendo de las características del servicio manejado y a un análisis estadístico predictivo (DG SASIPA IT 0204 REV 7 P20 A6).

Existen diversas formas para conocer el estado de un material pero las más utilizadas en la industria de la refinación son el radiografiado de uniones soldadas, la inspección visual así como la inspección por ultrasonido con un análisis estadístico de los espesores.

La inspección por ultrasonido se define como un procedimiento de inspección no destructivo de tipo mecánico, que se basa en la impedancia acústica de los materiales, la que se manifiesta como el producto de la velocidad máxima de propagación del sonido y la densidad de un material. Los programas de inspección de integridad mecánica de tuberías y recipientes en PEMEX incluyen la medición de sus espesores, para seguimiento de los fenómenos de corrosión y abrasión. (NRF-279-PEMEX-2011)

Dicho esto, anteriormente se realizaban las mediciones de las líneas y equipos para luego realizar los cálculos manualmente y así obtener los datos sobre la próxima inspección, la vida útil estimada y la fecha de retiro probable.

Actualmente el “Sistema de Medición y Control de Espesores en Líneas y Equipos” (SIMECELE) se ha presentado como una herramienta útil para la administración de la información dando disponibilidad y confiabilidad de la información, minimizando el error humano ya que está basada en las metodologías de las normas aplicables para la inspección técnica en los diferentes centros de refinación en México, para ello, y como último paso en su implementación, es necesario el revisar la información a fin de descartar errores humanos y posteriormente administrarla correctamente. Recordando que un mal manejo de la información repercutiría en provocar riesgos innecesarios los cuales, podrían generar accidentes con afectaciones a las instalaciones, personal y medio ambiente.

Por este motivo se realiza un análisis de la medición de espesores; para ello, se divide la planta en circuitos y unidades de control para su mejor estudio y así poder clasificar cada unidad de acuerdo a su velocidad de desgaste determinando si esta unidad es o no crítica y que tan crítica es, si esta vencida o esta próxima a emplazamiento.

Objetivo general:

A través de un análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) y con la información capturada en el Sistema de Medición y Control de Espesores en Líneas y Equipos (SIMECELE) identificar los puntos de mejora.

Objetivos particulares:

- a) Identificar las unidades de control que presentan velocidades de desgaste crítica (mayor a 15 mpa) de acuerdo con la normatividad aplicable y a partir de la información obtenida en SIMECELE.
- b) Realizar un análisis de la información capturada en el SIMECELE para las unidades UC-FCCII-044, UC-FCCII-053, UC-FCCII-071, UC-FCCII-082 y UC-FCCII-095, a fin de identificar los desgastes críticos, engrosamientos y niveles sospechosos.
- c) Proponer mejoras al SIMECELE con base en la información analizada.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1 Seguridad Industrial

La Seguridad Industrial, es un conjunto de actividades dedicadas a la identificación, evaluación y control de factores de riesgo que pueden ocasionar accidentes de trabajo, tiene como objetivo la eliminación de peligros laborales, o bien su control, a niveles de tolerancia que sean aceptables, a fin de proteger al personal y las instalaciones, según lo determinado con las leyes, con los recursos científicos y tecnológicos, en conocimientos empíricos, económicos y en las interpretaciones de las prácticas culturales.

En los procesos en que se utilicen la temperatura y la presión para modificar la estructura molecular o crear nuevos productos a partir de materiales químicos, existe la posibilidad de incendio, explosión o emisión de líquidos, vapores o gases o sustancias químicas intermedias tóxicas e inflamables. El control de estos sucesos no deseados requiere la aplicación de una serie de medidas de seguridad para evitar daños a los trabajadores, la sociedad y el medio ambiente, como consecuencia de eventos en los que intervienen líquidos inflamables y otros materiales peligrosos (Kraus 2011).

En la identificación y evaluación sistemática de los riesgos deben considerarse el diseño y la tecnología del proceso, los cambios en el mismo, los materiales y los cambios en los materiales, los procedimientos y las prácticas de operación y de mantenimiento, la preparación ante emergencias y otros elementos que afectan al proceso, con el fin de determinar si tienen o no el potencial de provocar una catástrofe en el lugar de trabajo y a la sociedad.

1.2 Integridad mecánica

La integridad mecánica se define como “el conjunto de actividades interrelacionadas y enfocadas al aseguramiento de la confiabilidad de las condiciones de seguridad de los equipos críticos durante su funcionamiento, a fin de prevenir fallas, riesgos potenciales o accidentes. Cubre desde la fase de diseño, fabricación, construcción, instalación, operación y mantenimiento, hasta su desmantelamiento” (NOM-028-STPS-2012).

El mantenimiento dentro de la integridad mecánica tiene un papel muy importante, para ello se divide en tres principales puntos (Martínez-Frías, Sánchez-Pineda y Gutiérrez-López 2012):

- Mantenimiento preventivo: frecuencia normada, especificación del fabricante.
- Mantenimiento correctivo: daño, falla, discontinuidad, seguridad, reaseguros, auditorías.
- Mantenimiento predictivo: ensayos no destructivos, estudios de integridad, confiabilidad.

Debido a que actualmente existen instalaciones como la primera planta de desintegración catalítica que opera desde 1967, el riesgo que se tiene de un derrame es muy alto, por lo que es

necesario implementar un sistema de administración de espesores el cual ayude a maximizar la vida útil de las instalaciones (PEMEX 2012).

En México, la industria de la refinación implantó un Sistema Integral de Administración de la Seguridad y Protección Ambiental (SIASPA) que fue compuesta por un conjunto de elementos heterogéneos interrelacionados e independientes enfocada al diagnóstico, evaluación, implementación y mejora continua del desempeño de los campos de seguridad y protección ambiental, así como una cultura basada en la prevención.

Actualmente, el SIASPA forma parte de un solo sistema considerado como un macro proceso de seguridad llamado Seguridad, Salud y Protección Ambiental (SSPA) que proviene de las doce mejores prácticas de Salud y Protección Ambiental propuestas por Dupont quien es el consultor en la implementación de este sistema (Dupont 2015).

1.2.1 Antecedentes de la normatividad

Debido al aumento de diversos eventos que repercutieron no solo en las personas sino también en el ambiente y las instalaciones, fue necesario crear una serie de normas o prácticas recomendadas a fin de minimizar estos daños, las cuales han sido creadas y actualizadas por organismos internacionales a fin de cumplir su propósito.

Al respecto de la normativa internacional aplicable a los sistemas de gestión de administración en integridad mecánica, Martínez-Frías, Sánchez-Pineda y Gutiérrez-López (2012) hacen una recopilación de la que se retomarán algunas de estas normas que han contribuido en la mejora de la administración de la integridad mecánica.

El *American Petroleum Institute* en enero de 1990, publica la práctica recomendada API-RP-750: Management of Process Hazards cuyo propósito es asistir en la gestión de riesgos de los procesos, ayudando a prevenir la ocurrencia o reduciendo al mínimo las consecuencias de escapes catastróficos de materiales tóxicos o explosivos. Este documento se refiere a la gestión de riesgos de proceso, en el diseño, construcción, puesta en marcha, operación, inspección, mantenimiento y modificación de instalaciones. Se aplica específicamente a los procesos e instalaciones con un potencial de liberación catastrófica y a instalaciones donde estén involucradas sustancias inflamables o explosivas que estén presentes en cantidades y condiciones que de presentarse una repentina liberación de más de 5 toneladas de vapor o gas puedan causar una catástrofe, lo cual podría ocurrir en cuestión de minutos, esto es basado en escenarios de falla creíbles y en las condiciones de los materiales involucrados o en su caso sustancias tóxicas que tengan un índice de peligrosidad (SHI) mayor a 5,000 y que estén presentes por encima de la cantidad umbral, por lo que es recomendada para refinerías, operaciones petroquímicas e instalaciones de procesamiento.

El Code of Federal Regulations (CFR), que en mayo de 2001, publicó el documento 49-CFR-195.452 referente a " Pipeline Integrity Management in High Consequence Areas". La cual aplica a cada tubería que contenga líquidos peligrosos o dióxido de carbono incluyendo cualquier oleoducto que

pueda estar en un área de alta consecuencia que podría afectar, por ejemplo, un área densamente poblada (1000 personas/milla y más de 50,000 personas) con ello se busca validar la integridad de tuberías, y proveer mecanismos de protección .

El *American Petroleum Institute* (API) en noviembre de 2001 publica el estándar *API Standard 1160, 1ª edición*, denominado *Managing System Integrity Hazardous Liquid Pipelines*. Esta norma tiene el mismo alcance que la 49-CFR-195 pero no solamente se limita a ductos, sino que además a todos los sistemas de tuberías. También proporciona una guía aplicable al derecho de vía con lo cual es aplicable a instalaciones de tubería, instalaciones de gaseoductos, terminales e instalaciones de suministro asociados a los sistemas de tuberías.

La American Society of Mechanical Engineers (ASME), en 2001, publicó la norma ASME B31.8S-2001 y su posterior revisión ASME B31.8S-2004 *Managing System Integrity of Gas Pipelines*, esta norma sigue siendo un referente en el *Plan de Administración de Integridad de Ductos* publicado en marzo de 2007, es aplicable a los sistemas de ductos en tierra construidas con materiales ferrosos que transporten gas, también incluye tuberías, válvulas, accesorios conectados a las tuberías, compresores, estaciones de medición, estaciones de regulación y estaciones de distribución. En general es aplicable a todos los sistemas de tuberías.

En 2006 SHELL-PDVSA publica el estándar P72.01.00-06-ST03 *Static Integrity Management System* (SIMS), el cual, según los autores, señala su aplicación en la inspección periódica de equipos estáticos en los que están incluidos tuberías de proceso, hornos, intercambiadores de calor y recipientes a presión del cual su objetivo es asegurar la integridad mecánica de la envolvente de presión en cualquier instalación.

En 2009, PEMEX Exploración y Producción publicó el *Manual del Sistema de Confiabilidad Operacional* (SCO), el que según los autores, señala que ahí se describen los elementos, subelementos y fases de evolución, así como las guías técnicas y documentos necesarios para su implantación en las instalaciones y ductos.

El British Standard publica la especificación BS-PAS 55:2004 y su posterior revisión BS-PAS 55:2008 para la gestión optimizada de activos físicos. Esta especificación proporciona una lista de 28 puntos de buenas prácticas para auditar un sistema de gestión integrado y optimizado a lo largo del ciclo de vida de cualquier activo físico. Se puede aplicar a diversos sectores ya sean públicos o privados, además de permitir evaluar las fortalezas o debilidades y las áreas de excelencia. También, describe que se debe hacer en una planificación e implementación sincronizadas, en la gestión integrada de la adquisición/creación, operación, mantenimiento y renovación/desincorporación y en los *habilitadores* que impulsan un desempeño optimizado y sustentable.

1.2.2 Mantenimiento e integridad mecánica

Las instalaciones de proceso tienen programas para mantener la integridad continua del equipo utilizado en el proceso, que incluyen inspecciones periódicas, pruebas, acciones correctoras y garantía de calidad. Lo que se pretende con estos programas es garantizar que la integridad mecánica del equipo y los materiales, se revisa, certifica, y corrigen los defectos antes de la puesta en marcha, o se toman las medidas de seguridad adecuadas. Los programas de integridad mecánica se aplican a los equipos y sistemas siguientes:

- Recipientes a presión y tanques de almacenamiento.
- Sistemas de parada de emergencia y de protección contra incendios.
- Controles del proceso, como los sistemas y dispositivos de alivio de presión y venteos, los controles, los bloqueos, los sensores y las alarmas.
- Sistemas de bombas y de conducción incluidos componentes como las válvulas.
- Garantías de calidad, materiales de construcción y técnicas de seguridad.
- Mantenimiento y programas preventivos de mantenimiento.

Los programas de integridad mecánica abarcan también la inspección y prueba de materiales, piezas de repuesto y equipos, con el fin de asegurar la instalación adecuada para la aplicación del proceso en cuestión. Los criterios de aceptación y la frecuencia de las inspecciones y pruebas deben adaptarse a las recomendaciones de los fabricantes, las buenas prácticas técnicas, los requisitos legales, las prácticas industriales, la política de la instalación o la experiencia previa (Kraus 2011).

1.3 Corrosión y abrasión

Dentro de los factores que más influyen en el deterioro físico de las líneas y equipos de proceso están la corrosión y la abrasión, los cuales afectan severamente la vida útil y la integridad de líneas y equipos de proceso, por ello se debe contar con medidas preventivas y/o correctivas para el seguimiento de estas áreas y así poder conocer el estado actual de las instalaciones ya que de hacer caso omiso las consecuencias son graves.

La abrasión se puede definir como la progresiva pérdida de material por la acción del rozamiento de un fluido. Este fenómeno tiene lugar en la parte interna de las líneas y equipos, los puntos en que es más notorio son aquellas en donde se presenta mayor turbulencia como son en cambios de dirección (Tee's y codos), después de una válvula, de una placa de orificio o cualquier otro accesorio que pueda generar alguna turbulencia en la línea, los factores pueden ser varios que van desde las características propias del material, la velocidad a la que se transporta el fluido, su composición química y las condiciones de operación ya que en condiciones extremas el desgaste es mayor.

La corrosión causada por una reacción química o electroquímica, causada por el medio ambiente que afecta a la mayoría de los materiales en la industria. Regularmente se da por una oxidación acelerada y continua –aunque también existe la corrosión de tipo alcalina- que desgasta las estructuras y afecta su integridad. Esta degradación de los materiales puede provocar interrupciones en el proceso, baja producción, contaminación ambiental y pérdida de productos.

Este fenómeno puede ser agravado por las condiciones medioambientales a las que están expuestos los materiales, para los metales específicamente el oxígeno presente en el aire y la humedad son los principales responsables del deterioro.

1.4 Accidentes industriales

Los accidentes en la industria han sido una parte muy importante en materia de seguridad industrial, debido a que sus consecuencias han sido muy graves y afectan directamente a la sociedad y al medio ambiente, ya sea por la emisión de sustancias tóxicas o de energía de manera desproporcionada, esto cobrando la vida de miles de personas y cuantiosas pérdidas materiales.

Desde el incremento en la actividad industrial y específicamente en la industria química se vieron seguidas de una serie de eventos no deseados en las instalaciones y diversos medios de transporte de sustancias químicas tóxicas, que no solo han afectado a las instalaciones sino que también hubo un gran impacto en el ambiente y la sociedad.

Estos eventos han aumentado considerablemente en las últimas décadas y con consecuencias mayores. Como por ejemplo, en 1984 se registraron tres de los accidentes más graves de todos los tiempos: Sao Paulo (ruptura de un ducto de gasolina, 508 muertos), Tlalnepantla, estado de México (explosión e incendio de un parque de almacenamiento de GLP, 452 muertos) y Bhopal (escape de gas con formación de una nube tóxica 2,500 muertos). Aldea Jesse, Nigeria, en 1998 la fuga provocada por el robo combustible dejó un saldo de 1,082 personas muertas.

De acuerdo con un análisis que se realizó en una base de datos de *The International Disaster Database* con 7,802 accidentes industriales registrados en el periodo de 1901 al 2014 se seleccionaron aquellos que están relacionados con la industria química como son las explosiones, incendios, derrames de sustancias químicas, fugas de gas y derrames de petróleo dándonos un total de 1061 registros en el mismo periodo. Esta información es representada en las figura 1 y figura 2 (D. Guha-Sapir, R. Below, Ph. Hoyois - EM-DAT 2015).

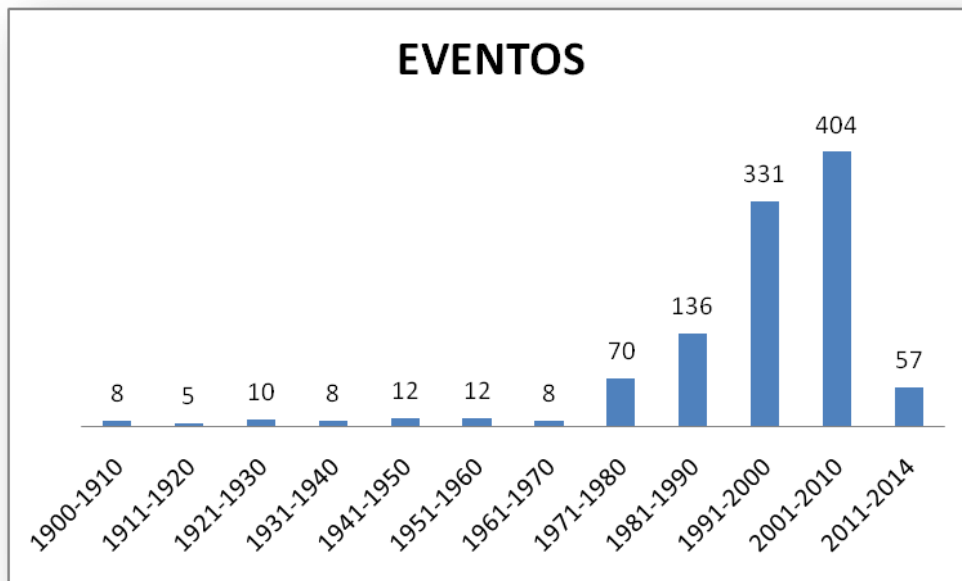


Figura 1. Accidentes industriales a través de las décadas.

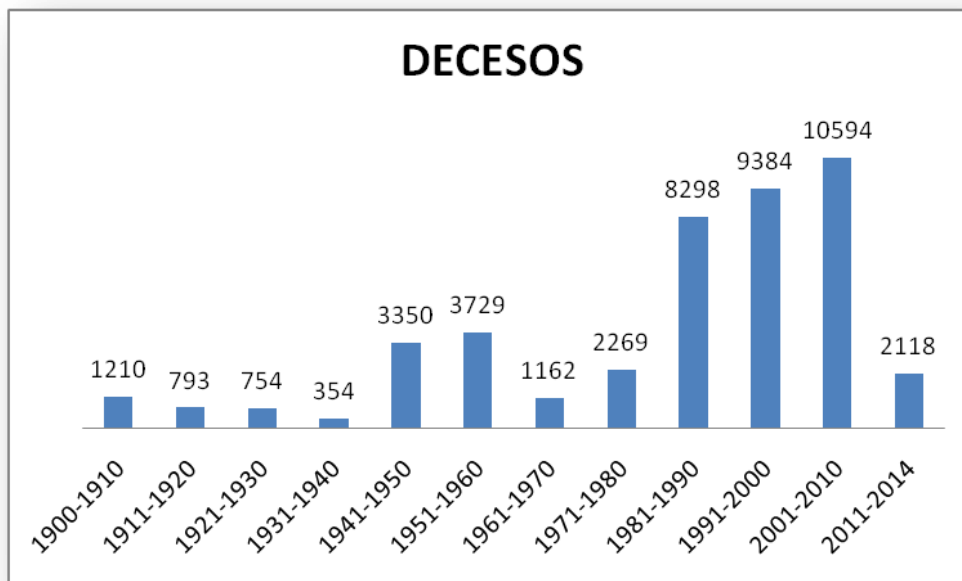


Figura 2. Decesos por accidentes industriales a través de las décadas.

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

Un análisis histórico realizado con la base de datos MHIDAS por Casal, J., Montiel sobre los accidentes ocurridos en la industria química o en el transporte de sustancias peligrosas en el periodo de 1900 a 1992 reportó 5,325 accidentes con origen conocido representando el 96% de los accidentes registrados. Para enero de 1999 se tenían registrados 8,600 accidentes de los cuales 2,756 ocurrieron en USA y 2,526 en Reino Unido (Casal, J., Montiel, H., Planas, E., Vélchez, J. 1999).

Casal, J., Montiel nos muestra resumido en las tablas 2 y 3 una clasificación de los accidentes en la industria química y donde se originaron en el periodo de 1900 a 1992.

Tabla 1. Tipos de accidentes en la industria de 1900 a 1992

	Número de Accidentes	% del total
Accidentes de tipo conocido	5,921	96.0
Accidentes de tipo desconocido	247	4.0
	Número de accidentes	% de tipo conocido
Escape	3,022	51.0
Incendio	2,603	44.0
Explosión	2,133	36
Nube de gas	719	12.1

Fuente: Casal, J., Montiel, H., Planas, E., Vélchez, J. 1999

Tabla 2. Distribución de los accidentes industriales de 1900 a 1992

	Numero de registros	% Sobre el total
Origen general conocido	5,992	97.2
Origen general desconocido	176	2.8
	Nuero de registros	% de origen conocido
Transporte	2,341	39.1
Plantas de proceso	1,469	24.5
Plantas de almacenamiento	1,044	17.4
Carga/descarga	494	8.2
Doméstico/comercial	348	5.8
Almacenamiento de sólidos	225	3.8
Almacenamiento de residuos	71	1.2
	Nuero de registros	% sobre tipo
Transporte		
Transporte ferrocarril	622	26.5
Transporte por carretera	510	21.8
Contenedores móviles	371	15.8
Tuberías	360	15.4
Barcos	299	12.8
Barcazas	89	3.8
Otros orígenes	32	1.4
No definido	58	2.5

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

	Numero de registros	% Sobre el total
Plantas de proceso		
Recipientes de proceso	258	17.5
Tuberías de proceso	231	15.7
Reactores	205	14.0
Bombas/compresores	71	4.8
Cambiadores de calor	52	3.5
Conectores móviles	41	2.8
Equipos contra incendio	32	2.2
Recipientes a presión atmosférica	29	2.0
Equipos de tratamiento de sólidos	17	1.2
Otros orígenes	42	2.9
No definido	491	33.3
Plantas de almacenamiento		
Recipientes a presión atmosférica	499	47.9
Contenedores móviles	177	16.9
Recipientes a presión	138	13.2
Tuberías	49	4.7
Almacenamiento de sólidos	23	2.2
Otros orígenes	40	3.8
No definido	118	11.3

Fuente: Casal, J., Montiel, H., Planas, E., Vélchez, J. 1999

México no ha estado exento de estos accidentes, como se muestra en la tabla 1 los accidentes en la industria química también tuvieron grandes consecuencias.

Tabla 3. Accidentes en instalaciones de la industria petrolera.

Fecha	Evento
19 de noviembre de 1984	Explosión de un depósito de gas en San Juanico, en el Estado de México, vecino al Distrito Federal, dejó, según fuentes oficiales, medio millar de muertos, aunque de manera extraoficial se habló de más de 2 mil.
22 de abril de 1992	En Guadalajara, capital del estado de Jalisco, una fuga de gasolina de un ducto se vertió al subsuelo y al sistema de drenaje, lo que causó una explosión que dejó unos 210 muertos.

17 de octubre del 2006	La explosión e incendio del buque tanque Quetzalcóatl, anclado en la Terminal Marítima de Pajaritos, dejó ocho muertos, un desaparecido y 14 lesionados
19 de diciembre de 2011	Una fuga de combustible, explosión y un incendio en un oleoducto en la población de San Martín Texmelucan, en el estado de Puebla, dejó 30 muertos y 52 lesionados además de 5 mil evacuados y 80 casas afectadas.
18 de septiembre de 2012	Se registró una explosión y un incendio en la en una planta de gas ubicada a 19 kilómetros de Reynosa, estado de Tamaulipas, que dejó un total de 30 muertos y decenas de heridos.

Fuente: Accidentes más severos de la industria petrolera desde 1984. Excelsior

1.5 Inspección técnica y marco normativo

Dentro de las políticas de mantenimiento, es de gran utilidad el mantenimiento predictivo, esto consiste en poder adelantarse a posibles fallas, realizar intervenciones programadas. Con esto se minimizan los costos de mantenimiento, al aprovechar la vida útil de cada elemento y evitar las consecuencias de un paro de emergencia (Arata, A., 2009).

La inspección, es una técnica analítica de seguridad que consiste en el análisis realizado mediante la observación directa de las instalaciones, equipos y procesos productivos para identificar los peligros existentes y evaluar los riesgos en los puestos de trabajo.

Las inspecciones se pueden realizar mediante el uso de pruebas no destructivas, las cuales no dañan la integridad física de los materiales, como son el ultrasonido, líquidos penetrantes, partículas magnéticas, la radiografía, por mencionar algunas; con su aplicación podemos saber el estado actual de las instalaciones y detectar si estas tienen deformaciones, fugas o fisuras y si representan algún riesgo para el centro de trabajo, el personal o el medio ambiente.

Mediante el uso de pruebas no destructivas se pueden realizar, por ejemplo, las siguientes inspecciones:

- Inspección visual.
- Monitoreo de espesores.
- Detección de imperfecciones.
- Inspección por partículas magnéticas.
- Detección de fugas.

Existen tres principales métodos por los que se pueden planear las inspecciones y pruebas de los equipos. El método más sencillo es **basado en el tiempo** en intervalos que generalmente son estándares, recomendaciones del fabricante o por las regulaciones. Con los datos obtenidos se puede desarrollar un enfoque **basado en la condición del equipo** y así contar con planes más específicos. El plan más efectivo se puede desarrollar con los análisis que involucren las probabilidades y consecuencias de falla de los equipos a este método se le conoce como **inspección basada en el riesgo**.

Estas inspecciones son recomendadas en el “Manual de Integridad Mecánica y Aseguramiento de la Calidad” (IMAC), las cuales se llevan a cabo mediante el marco normativo vigente para PEMEX-Refinación, las que se describen a continuación.

1.5.1 DG-SASIPA-IT-0204

“GUÍA PARA EL REGISTRO, ANÁLISIS Y PROGRAMACIÓN DE LA MEDICIÓN PREVENTIVA DE ESPESORES” tiene como objetivo predecir, detectar y evaluar oportunamente las disminuciones de espesor debajo de los límites permisibles, que puedan afectar la integridad mecánica de las tuberías y equipos en general, para tomar las medidas necesarias a fin de prevenir la falla de los mismos.

Se aplica para líneas, equipos, tanques y recipientes que almacenan, transportan o manejan hidrocarburos o petroquímicos y sustancias químicas o agresivas. Queda a juicio del centro de trabajo aplicar este procedimiento a los elementos no contemplados en esta norma.

Quedan exentos de la aplicación de esta norma aquellos equipos que por sus características no pueden estar sujetos a programas de medición de espesores independientes de sus fechas de reparación, como son:

- Tuberías de calentadores.
- Fluxería de calderas.
- Haces de tubos de cambiadores de calor y tubería de enfriadores con aire.

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

- Accesorios internos de recipientes, tales como: platos de torres de destilación, serpentines, etc.
- Ductos de transporte enterrados, los cuales por ser inaccesibles se inspeccionan normalmente con otros procedimientos.
- Tuberías con envolventes.
- Tuberías de vidrio, PVC y/o barras de acero que vayan a ser maquinadas.

Con la finalidad de unificar el lenguaje utilizado, y así evitar confusiones, se incluyen en esta guía las definiciones de las cuales solo utilizaremos algunas para el desarrollo de este trabajo:

- Circuito: Es el conjunto de líneas y equipos que manejan un fluido de la misma composición, pudiendo variar las condiciones de operación.
- Unidad de Control: Son las secciones de un circuito que tienen una velocidad de corrosión más o menos homogénea.

1.5.1.1 Secuencia para el registro, análisis y programación preventiva de espesores.

Los trabajos de medición de espesores y los correspondientes análisis de la estadística, constituyen un proceso cíclico, ya que cada uno aporta los datos necesarios para la ejecución del siguiente, tal y como se describe a continuación:

- Los datos obtenidos en la medición, se registran en el formato tipo DG-SASIPA-IT-0204-2, en el que se recopila la información junto con la de anteriores mediciones. El conjunto de estos registros constituyen el “Registro de medición de espesores”.
- Se procede al análisis de los datos registrados, obteniéndose la información de velocidad de desgaste estadístico, fechas de próxima medición y de retiro probable, con la cual se estima cuando deben reemplazarse las piezas de acuerdo a su vida útil, para este paso se utiliza el formato tipo DG-SASIPA-IT-0204-3 “Registro del análisis de la medición de espesores”.

1.5.1.2 Integración de la estadística de medición preventiva de espesores.

Se debe contar con el censo de todas las tuberías y equipos en cada una de las instalaciones y se agruparán por planta, esta debe dividirse en circuitos de proceso y de servicios principales.

Una vez que se tienen grupos de circuitos, éstos se dividirán en Unidades de Control de acuerdo con los siguientes criterios:

- En muchos casos, la unidad de control será la línea, pero en otros casos la línea puede estar dividida en 2 o más unidades de control dependiendo de las velocidades de corrosión que se presenten.

- En el caso de equipos:
 - ❖ Cuando en un recipiente, las velocidades de desgaste se puedan considerar homogéneas, o bien, éstas sean menores de 15 milésimas de pulgada por año (15 mpa), se debe considerar como unidad de control el recipiente entero.
 - ❖ En cambiadores de calor (haz de tubos), se consideran dos unidades de control, cuerpo y carrete.
 - ❖ En cambiadores de calor (horquilla), se consideran dos unidades de control, una para el conjunto de piezas que manejan el fluido frío y otra para las que manejan el fluido caliente.
 - ❖ En torres de destilación con velocidades de desgaste críticas, deben seccionarse en tantos tramos como sea necesario para tener unidades de control con velocidades de desgaste homogénea, por ejemplo; en torres de destilación primaria, se considera la sección del fondo, la de entrada de carga, la intermedia superior y la del domo.
 - ❖ Los recipientes y torres con forro interior anticorrosivo (lining, clad u overlay, pinturas, refractarios, etc.) considerarlas como una sola unidad de control. Cuando éste recubrimiento sea parcial, tomar dos unidades de control: zona protegida y zona sin protección.
 - ❖ En tanques de almacenamiento atmosférico, esferas y esferoides, considerar una unidad de control por anillo.
 - ❖ Puede haber recipientes horizontales o verticales con zonas donde se concentra la corrosión, por ejemplo: acumuladores donde hay zona líquida y zona de vapores, o bien, interfases donde por la elevada velocidad de desgaste en una de ellas, conviene dividir en varias unidades de control el equipo.
- Para cada unidad de control se debe contar con la siguiente información:
 - ❖ Los dibujos de inspección de las líneas y desarrollo de equipos.
 - ❖ Todos los dibujos de inspección estarán orientados de acuerdo a su norte de construcción de la instalación.
 - ❖ Los arreglos de niplería y tornillería de las tuberías y equipos deberán estar indicados en los dibujos con números arábigos, encerrados en un triángulo o un rectángulo respectivamente.
 - ❖ Registro de medición de espesores y Registro del análisis de la medición de espesores

1.5.1.3 Preparativos para la medición de espesores.

Cuando se cuente con una sola medición de espesores de pared completa, de acuerdo con este procedimiento, la segunda o siguiente medición deberá efectuarse al término de 1 año después de la fecha de la primera medición de espesores, lo anterior para poder efectuar el análisis estadístico formal y así determinar su comportamiento.

Unidades de control críticas:

- Las unidades de control críticas son aquellas que tienen una velocidad de desgaste mayor a 15 mpa promedio.
- Para establecer la velocidad de desgaste de una unidad de control, con objeto de determinar su criticidad, el análisis debe hacerse a partir de los valores de dos mediciones completas al 100% de sus puntos y dichas mediciones deben haberse efectuado con un intervalo mínimo de un año entre ellas.
- Cuando no se tenga información sobre la velocidad de desgaste, se consideran como críticas aquellas unidades de control que, de acuerdo con su historial, hayan presentado problemas de desgaste habiendo tenido que repararse o reponerse o se tomará como ejemplo plantas similares de la propia Refinería o de otras.
- En el caso de plantas nuevas debe considerarse el comportamiento de unidades de control equivalentes de otras plantas similares.

1.5.1.4 Análisis preliminar de espesores

El análisis preliminar de los espesores medidos, debe efectuarse inmediatamente, de acuerdo a la siguiente secuencia:

- Verificar que la unidad de control haya sido medida de acuerdo a las instrucciones. Revisar cada una de las mediciones obtenidas comparándolas con el límite de retiro que corresponda y con el valor de la medición anterior, con objeto de comprobar si todos los puntos se comportan similarmente, efectuando la verificación inmediata de los valores “disparados” a favor o en contra, para así determinar la causa de dichos “disparos” . .
- Las señales dudosas o negativas en el equipo, deben investigarse para comprobar el buen funcionamiento de éste y así obtener los datos correctos.

1.5.1.5 Análisis estadístico formal.

El análisis estadístico formal, es el que se lleva a cabo matemáticamente, para obtener el desgaste máximo ajustado, vida útil estimada, fecha de próxima medición, y fecha de retiro probable, de una unidad de control (la cantidad mínima de datos de medición será de 32), para ello es necesario llevar a cabo los siguientes pasos.

- **Discriminación de valores de espesores no significativos.** Se debe revisar el registro de mediciones, comparando las parejas de valores de espesor de cada uno de los puntos entre dos fechas consecutivas, eliminando aquellos que no sean significativos, para lo cual se eliminarán todos los valores que excedan en más del 5%, de la anterior calibración y tendrán una velocidad de corrosión de 0.
- Para el **cálculo de la velocidad de desgaste por punto** se deben obtener las diferencias entre los valores obtenidos en las dos fechas consideradas, en cada una de las posiciones de medición de cada uno de los puntos de control (norte con norte, sur con sur, etc.), para que el cálculo sea aceptable debe haber transcurrido un año entre la pareja de fechas de medición (con fechas más cercanas se obtienen errores inadmisibles). Para que este sea válido en el análisis se consideran todas las parejas de valores de espesor incluyendo aquellas cuyas diferencias sean “cero” ya sea por engrosamiento o por que no exista desgaste. Ver anexo A, ecuación (1).
- Cálculo de la **velocidad de desgaste promedio y la velocidad de desgaste máxima** ajustada estadísticamente. Ver anexo A, ecuación (2) y (3).
- **Determinación del origen de la desviación de los valores de espesores obtenidos respecto al promedio general.** Cuando en los análisis anteriormente hechos, la velocidad de desgaste sea menor que la actual se tomará en cuenta el valor del análisis actual, si por el contrario el análisis muestra que la velocidad de desgaste disminuye se tomara en cuenta el análisis anterior hasta que por lo menos se tengan dos análisis que confirmen el cambio observado.
- **Determinación del mínimo espesor actual** se necesita contar con los datos necesarios para el cálculo de la vida útil estimada (VUE), fecha de próxima medición (FPME) y fecha de retiro probable (FRP), se requiere seleccionar el punto que tenga el espesor más bajo en cada uno de los diferentes diámetros de las secciones que compongan la unidad de control. Dichos espesores se denominarán “ek” y la fecha de medición correspondiente “fk”.
- **Determinación de la Vida Útil Estimada (VUE), Fecha de Próxima Medición (FPME) y Fecha de Retiro Probable (FRP)** se deben realizar con los valores de desgaste puntual (d), desgaste promedio (D_{prom}) y desgaste promedio máximo ajustado (D_{max}), se calculan para toda la unidad de control, sin embargo, la VUE, FPME y FRP se calculan para cada grupo de diámetros de la unidad de control. En caso de que el lapso entre la última medición y la fecha de próxima medición (FPME) sea menor de un año, el siguiente análisis se debe hacer comparando los datos que se obtengan en esta última fecha, con los datos de la medición anterior que corresponda, para que la diferencia de ambas sea de un año ó

mayor, la fecha de próxima medición será aquella que resulte más cercana, de la calculada para los diferentes diámetros. Ver anexo A, ecuación (4) y (5).

1.5.1.6 *Uso de resultados*

- La velocidad de desgaste sirve para determinar lo siguiente:
 - ❖ Criticidad del circuito.
 - ❖ Determinación de vida útil estimada
- Vida útil estimada (VUE).- Este resultado da una idea de cuándo es necesario solicitar los materiales requeridos para el cambio de las piezas de la unidad de control.
 - ❖ Si la vida útil que se obtenga es menor o igual a 1.5 años, proceder a emplazar la pieza, línea o equipo según el caso.
 - ❖ Si la vida útil obtenida resulta mayor de 1.5 años se debe proceder de la siguiente forma:
 - Si se tienen los mayores desgastes en puntos diseminados en diversas partes de la unidad de control, deben analizarse estos puntos agrupados en una unidad de control independiente que tenga el mismo número con la terminación CR que indica que es crítico y de acuerdo al resultado programar la siguiente medición. Ejemplo: Unidad de control 15, la independiente será 15 CR.
 - En el caso de que los mayores desgastes se encuentren localizados en ciertos puntos agrupados entre sí, se deben separar estos valores del análisis general de la unidad de control, analizando el resto por separado. Los puntos anormales se deben vigilar por separado, agrupándolos como una unidad de control independiente. Conviene analizar materiales y cualquier situación que provoque anormalidades en el flujo dentro de la línea como puede ser: un directo, un injerto, un cambio de dirección brusco, una reducción, válvula reductora de presión, un punto de inyección (de agua, inhibidor u otros), etc.
- Fecha de próxima medición de espesores (FPME).- Esta fecha sirve para programar la próxima medición de la unidad de control en el programa general.
- Fecha de retiro probable (FRP).- Con base en esta fecha, se deben efectuar los emplazamientos, siempre y cuando para tal fecha falten por transcurrir 1.5 años o menos.

Toda esta secuencia del análisis estadístico formal se puede llevar a cabo en el software SIMECELE (Sistema de Medición de Espesores de Líneas y Equipos), el cual sigue toda la secuencia descrita en esta norma.

1.5.2 GPEI-IT-201

Este procedimiento cubre las actividades necesarias para llevar a efecto la revisión de los arreglos básicos de niplería en líneas y equipos de proceso estáticos y dinámicos, así como el control posterior de cambios y/o modificaciones, incluyendo su registro, en las plantas que se encuentran en operación.

La revisión a que se refiere este procedimiento, deberá hacerse a todas las piezas que integran los arreglos básicos de niplería en líneas y equipos de proceso de las plantas en operación teniendo actualizado el censo. Ya que este procedimiento contempla el desarmado de los arreglos básicos roscados, es necesario jerarquizar en cada reparación la revisión de niplería dando prioridad a aquellos circuitos y equipos considerados críticos.

La revisión abarca arreglos básicos roscados y arreglos básicos soldados. Los primeros ameritan ser desarmados invariablemente y los segundos serán radiografiados.

Fundamentalmente, las características de construcción que se necesitan comprobar en el campo en los arreglos básicos de niplería son:

- Espesores, cédulas o "librajes" (límites de presión).
- Longitud de niples y coples (medios coples).
- Construcción y estado físico de las cuerdas (hembras y machos).
- Materiales.
- Estado físico en general de cada pieza.
- Estado de las soldaduras.
- Tipos de tapones y bolsas termopozo.

Debido a que este procedimiento implica el desarmado de los arreglos roscados, las revisiones tendrán que efectuarse con planta o circuito fuera de operación. Por tal motivo, la revisión deberá ajustarse al tiempo programado de paro, jerarquizando la niplería por circuitos y equipos más importantes o críticos. El periodo de revisión de niplería en circuitos y equipos críticos debe realizarse cada 1.5 años, y para los no críticos deberán revisarse cada 5 años. Los periodos de calibración de la niplería, serán los mismos que los del circuito o equipo donde van armados, de tal manera, que al calibrar la tubería de un circuito, o un equipo, al mismo tiempo se calibrará su niplería. Todos los datos de la revisión, deberán registrarse en los formatos que se adjuntan para cada arreglo, los arreglos utilizados se enlistan a continuación y se pueden observar en la figura 3:

- Cople-Niple-Válvula.
- Cople-Tapón.

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

- Cople-Termopozo.
- Orificio-Tapón.
- Orificio-Niple-Válvula.
- Orificio-codo de cola-Niple-Válvula.
- Arreglo especial (son arreglos que cumplen cuyo número de puntos de calibración no están definidos).

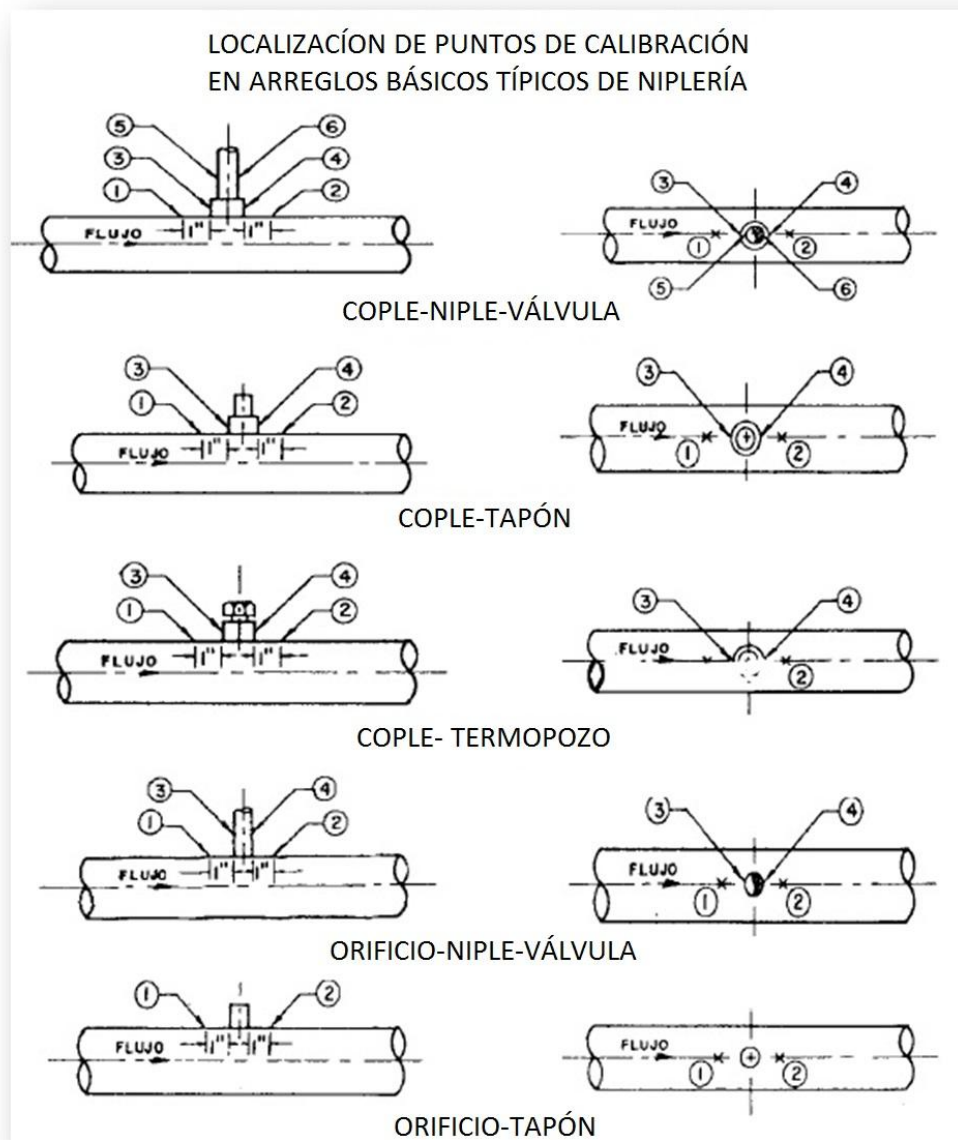


Figura 3. Arreglos básicos de niplería Fuente: GPEI-IT-201

1.5.3 GPI-IT-4200

Este procedimiento cubre las actividades necesarias para medir y mantener un control del desgaste de la niplería básica en circuitos y equipos de proceso de unidades en operación.

Para llevar el control del desgaste de los arreglos de niplería, se deberán efectuar mediciones periódicas de los espesores con medios no destructivos y prever por medio de los registros de calibraciones un análisis de los desgastes y cálculos de la vida útil de cada pieza que integran los arreglos básicos de niplería.

Los puntos de calibración en los arreglos de niplería típicos, están indicados en planta y elevación en la figura 3. Básicamente, se prevén 2 puntos sobre la línea o equipo a 1 pulgada del cople o de la pieza macho roscada dentro del orificio, 2 puntos en el cople (opuestos en el sentido del flujo) y 2 puntos en el niple (opuestos en el sentido del flujo). Los 2 puntos sobre la línea o equipo junto al cople o pieza macho roscada dentro del orificio, son necesarias, ya que nos dan una idea del desgaste que hay en la base soldada del cople donde se puede tener un desgaste acentuado por la erosión que causa la turbulencia del fluido.

Para el caso de arreglos especiales se deberán incluir dos puntos de calibración por cada elemento a calibrarse. Los medios de calibración utilizados son:

- Medición con aparatos ultrasónicos con los "transducers" adecuados.
- Medición directa con calibradores mecánicos, cuando sea posible desarmar los arreglos.
- Método radiográfico cuando sea necesario, por alta o baja temperatura, por no poder sacar el equipo de operación.

1.5.4 DG-GPASI-IT-0903

El objetivo de este procedimiento es la evaluación del estado físico de la tornillería de las tuberías y equipos de las instalaciones, a fin de detectar oportunamente daños o fallas, e implementar las acciones correctivas necesarias para garantizar la hermeticidad de todas las uniones bridadas específicamente a tornillos o espárragos de juntas bridadas en tuberías, equipos, válvulas de bloqueo, de control, de alivio y de retención.

Debido a que la agresividad del medio ambiente en cada lugar es variable y los periodos de revisión no son iguales se deben realizar las inspecciones de acuerdo con la tabla 4.

Tabla 4. Clasificación de los grados de corrosión para tornillerías

GRADO DE CORROSIÓN	DESCRIPCIÓN	PERIODO DE REVISIÓN
1) LEVE	Se observan oxidados, pero la cuerda del esparrago no se ve desgastada en forma apreciable.	5 AÑOS
2) MODERADA	Se observan depósitos de corrosión en algunas partes del esparrago y los hilos de la rosca se ven con cierto desgaste, pero con profundidad suficiente.	4 AÑOS
3) ALTA	El esparrago prácticamente ya no cuenta con rosca en alguna sección, pero se alcanzan a ver los hilos todavía.	3 AÑOS
4) SEVERA	El esparrago ya se ve en algunas zonas sin su diámetro original. Se observa acinturamiento y por su puesto los hilos de la rosca ya no existen.	2 AÑOS

Fuente: DG-GPASI-IT-0903

De acuerdo con lo anterior, cuando se tengan pruebas de grado de corrosión alta o severa se deberá solicitar el cambio de todos los tornillos o tuercas que se hayan encontrado en estos estados.

1.5.5 GPASI-IT-0209

Este procedimiento establece los criterios para efectuar la inspección de tuberías de plantas de proceso y servicios auxiliares en operación, con el objeto de conocer su estado físico y programar su cambio en caso de deterioro, a fin de mantenerlas en buen estado, seguras y confiables.

Se deben clasificar las tuberías de la siguiente manera:

Tuberías Clase 1.

- Se clasifica así a todas aquellas tuberías que por su servicio presenten el potencial más alto de riesgo que pueda afectar la seguridad o el medio ambiente, si llegara a presentarse una fuga. Incluye los siguientes servicios:
 - ❖ Servicios inflamables autorrefrigerados y que pueden inducir fracturas frágiles.
 - ❖ Servicios presurizados que puedan vaporizarse rápidamente durante su liberación, creando vapores que se puedan congregarse y formar una mezcla explosiva. Por ejemplo, fugas de etano, propano y butano.
 - ❖ Ácido sulfhídrico (concentraciones superiores a 3% en peso) en una corriente gaseosa.

Tuberías Clase 2.

- Se clasifica así a la mayoría de las tuberías de proceso y servicios auxiliares, que manejan los siguientes productos:
 - ❖ Hidrocarburos que vaporizan lentamente en el mismo lugar durante su liberación.
 - ❖ Hidrógeno, gas combustible y gas natural.
 - ❖ Ácidos y cáusticos fuertes.

Tuberías Clase 3.

- Se clasifica así a todos aquellos servicios que son inflamables pero que no vaporizan significativamente cuando se derraman y no están localizados en áreas de alta actividad, y son los siguientes:
 - ❖ Hidrocarburos que no vaporizan significativamente durante su liberación.
 - ❖ Destilados y productos hacia y desde áreas de almacenamiento y carga.
 - ❖ Ácidos y cáusticos fuera de áreas de proceso.

Los periodos de entre cada inspección de tubería se deben establecer y mantener usando los siguientes criterios:

- La velocidad de corrosión y los cálculos de vida remanente.
- La clasificación de las tuberías de acuerdo al servicio.
- Los requerimientos jurisdiccionales aplicables.
- El juicio del inspector ó especialista de corrosión basado en las condiciones de operación, historia de las inspecciones anteriores, resultados de la inspección actual, etc.

La tabla 5 contiene los intervalos de inspección máximos recomendados para las tres categorías de tuberías, para los puntos de inyección y para las tuberías con interfase suelo-aire.

Tabla 5. Intervalos de inspección recomendados según la clase de fluido manejado

Tipo de circuito	Medición de espesores	Inspección visual externa
Clase 1	5 años	5 años
Clase 2	10 años	5 años
Clase 3	10 años	10 años
Puntos de inyección	3 años	Según clase

Fuente: GPASI-IT-0209

Una de las ventajas que se tiene, mediante la medición de espesores de pared, es que se puede determinar la condición interna de cada uno de los componentes estando o no el equipo en operación.

En cuanto a la inspección visual externa es de gran utilidad para conocer las condiciones de la tubería en cuanto a aislamiento, pintura, recubrimiento así como para cualquier otro signo de desalineamiento como pueden ser vibración y fugas.

1.6 Sistema de Medición y Control de Espesores en Líneas y Equipos (SIMECELE)

El SIMECELE es un software desarrollado por el grupo CEASPA (Centro de Estudios para la Administración de la Seguridad de los Procesos Petroquímicos, Poliméricos y la Protección Ambiental), de la Facultad de Química dirigido por el Dr. M. Javier Cruz Gómez.

El SIMECELE es un sistema que aprovecha las herramientas informáticas para mejorar la administración y control de la información en las actividades relacionadas con la Integridad Mecánica y la Inspección Preventiva de Espesores en tuberías, equipos y recipientes que manejen o transportan hidrocarburos, productos químicos o petroquímicos, y sustancias tóxicas o agresivas, en las instalaciones que procesen petróleo que así lo dispongan; y ha sido desarrollado con base

en la metodología propuesta por las distintas normas de inspección técnica de PEMEX-Refinación (DG-SASIPA-IT-204, GPEI-IT-0201, GPEI-IT-4200, DG-GPASI-IT-0903, DG-GPASI-IT-0209, DG-ASIPA-IT-00008).

Su estructura consiste en una serie de módulos para la generación, administración y consulta de la información relacionada con el trabajo de inspección técnica, los cuales constan de una ventana principal que cuenta con un árbol con todos los datos de un centro de trabajo como son; sectores, plantas, circuitos y unidades de control. Una vez definiendo los parámetros anteriores podemos trabajar en:

- Captura y edición de la información.
 - ❖ Permite ingresar nuevos datos al sistema así como editar la información contenida en el mismo.
- Consulta de información.
 - ❖ Permite acceder a la información que se desee consultar acerca de la administración de la medición de espesores.
- Ver isométricos en intranet.
 - ❖ Permite ver los diagramas de inspección de la base de datos del centro de trabajo.
- Creación y consulta de reportes.
 - ❖ Permite crear y consultar los reportes para cada inspección de las unidades de control.
- Consulta de especificación de materiales de cada planta.
 - ❖ Permite administrar la información de los materiales y las especificaciones con las que fue diseñada la planta según el libro de ingeniería del licenciador de la misma
- Creación o edición de nuevos isométricos.
 - ❖ Permite la edición o creación de diagramas de inspección utilizando la barra de herramientas del SIMECELE (QITDraw).

1.6.1 Proceso de implementación del SIMECELE

El proceso de implementación de este sistema en los centros de trabajo se ve reflejada en la mejora de las prácticas de la administración de la Integridad Mecánica y la Inspección Preventiva de Espesores, tales como:

- Disponibilidad de la información del proceso a través de una intranet.

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

- Información actualizada y disponible de los expedientes de inspección técnica de líneas y equipos de proceso.
- Actualización rápida y sencilla de los Diagramas para Inspección Técnica de Espesores; mismos que son digitalizados en AutoCAD y con la ayuda de la herramienta QITDraw.
- Control y administración del trabajo de inspección que, al ser un proceso cíclico, mejora la eficacia en el trabajo cotidiano de medición de espesores en líneas y equipos.

Para su implementación es necesario llevar a cabo los siguientes pasos:

- Recopilación de información.
- Censo de circuitos.
- Censo de unidades de control.
- Actualización de diagramas de inspección técnica.
- Digitalización de diagramas de inspección técnica en AutoCAD.
- Correlación de niveles (Empate).
- Captura de especificaciones en SIMECELE.
- Captura de la estructura de las unidades de control en SIMECELE.
- Captura de inspecciones de las unidades de control en SIMECELE.
- Revisión y validación del análisis de la medición de espesores.

1.7 Proceso de desintegración catalítica

El proceso de Cracking Catalítico es considerado como el corazón de las refinerías modernas. Estos procesos son los principales productores de naftas de alto número de octano a partir de corrientes de petróleo pesadas y de bajo valor económico, como el gasoil pesado y de vacío. Además de gasolina, el proceso genera gasoil y olefinas livianas que pueden ser convertidas en naftas de alto octano mediante alquilación, y pueden emplearse como materias primas petroquímicas.

La sección más importante de la unidad de FCC está constituida por un reactor tipo Riser, un reactor-regenerador y un reactor-desgasificador. En la unidad todas las reacciones ocurren en el tubo elevador (Riser) en un período de dos a seis segundos, antes de que el catalizador y los productos se separen en el reactor-desgasificador.

La carga proveniente de la sección de precalentamiento entra al Riser cerca de la base, a través de varias boquillas de inyección, poniéndose en contacto con el catalizador regenerado.

El calor adsorbido por el catalizador en el regenerador provee la energía suficiente para vaporizar la carga, calentarla a la temperatura de reacción que va desde 516 °C a 538 °C, para que se lleven a cabo las reacciones de craqueo, las cuales son endotérmicas. Las reacciones ocurren en fase vapor e instantáneamente, cuando la carga y el catalizador se ponen en contacto el volumen expandido de los vapores generados elevan el catalizador y lo llevan a través del Riser.

Después de abandonar el Riser, los vapores de hidrocarburos y el catalizador entran al reactor-desgasificador, en donde son separados mediante unos ciclones ubicados en la parte superior del reactor; allí los productos gaseosos se separan del catalizador y fluyen hacia la fraccionadora, mientras que el catalizador y algunos hidrocarburos líquidos pesados descienden hacia la zona del agotador o stripping. El vapor inyectado permite remover los hidrocarburos del catalizador con la ayuda de algunos deflectores (baffles) instalados allí. El catalizador gastado se envía luego al regenerador a una temperatura de 477 °C a 538 °C.

Tanto en el desgasificador como en el regenerador, existen ciclones para retener las partículas sólidas de las corrientes sobrecalentadas. El coque del catalizador, producido por las reacciones de craqueo, se quema en el regenerador gracias al exceso de aire, que asegura condiciones eficientes de combustión, mientras que los vapores de hidrocarburos son enviados por el al domo del reactor hacia la fraccionadora principal. Los gases de escape producidos en el regenerador salen por la cima del mismo. Estos gases que contienen dióxido y monóxido de carbono, agua y aire en exceso, se envían a una unidad de recuperación de energía para producir vapor sobrecalentado. La operación del la FCC se mantiene en estado estacionario mientras se cumpla el balance de energía existente entre el calor producido en el regenerador y calor consumido en el reactor.

El agotador está integrado al desgasificador, en éste el catalizador gastado es despojado de los hidrocarburos adsorbidos en sus poros mediante un flujo de vapor en contracorriente con el flujo de catalizador, en una proporción de 2 a 5 libras de vapor por cada 1000 libras de catalizador circulante. La relación óptima de vapor de despojamiento puede encontrarse por ensayo y error, aumentando la velocidad del vapor y/o el nivel del despojador, hasta que no se observe reducción en la temperatura del regenerador, vigilando que la pérdida de catalizador del lado del reactor no aumente.

El catalizador despojado fluye al regenerador, en donde la mayor parte del coque que contiene el catalizador es quemado a alta temperatura (649 °C a 732 °C), con una corriente de aire como fuente de oxígeno para restaurar su actividad. Esta corriente de aire proviene de un compresor y es introducido al regenerador a través de un distribuidor localizado cerca del fondo del recipiente. El diseño de este distribuidor es importante para lograr una regeneración importante y adecuada del catalizador.

En el regenerador existen dos regiones: La fase densa y la fase diluida. En la primera están localizadas la mayoría de las partículas de catalizador y es donde se lleva a cabo la combustión del coque. La segunda es la región por encima de la fase densa hasta la entrada de los ciclones, y tiene una concentración substancialmente menor de catalizador.

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

El regenerador opera a modo de combustión total, donde se utiliza un exceso de oxígeno para completar la combustión de monóxido a dióxido de carbono, debido a que la oxidación del CO a CO₂ libera 2.5 veces más calor que la combustión del C a CO, la temperatura de este regenerador es mucho mayor. Adicionalmente con la combustión completa se logra una reducción del nivel de carbón en el catalizador lográndose valores inferiores a 0.1 % en peso y que pueden ser tan bajos como 0.02 % en peso.

El gas producido en la combustión del coque sale del tope del regenerador a través de un sistema de ciclones, de dos etapas, para separar el catalizador arrastrado. Este gas lleva una considerable cantidad de energía, la cual es recuperada en un tubo expansor, el cual junto con el motor/generador, soplador de aire y turbina de vapor, forman parte del sistema llamado “Tren de Potencia” (Ver figuras 4 y 5).

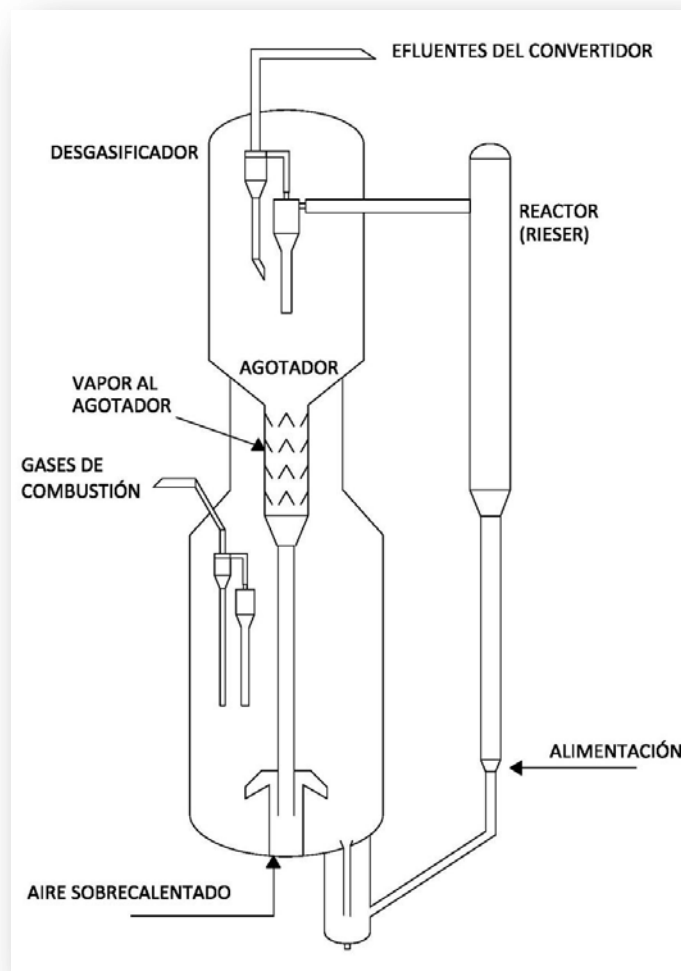


Figura 4. Diagrama del Convertidor

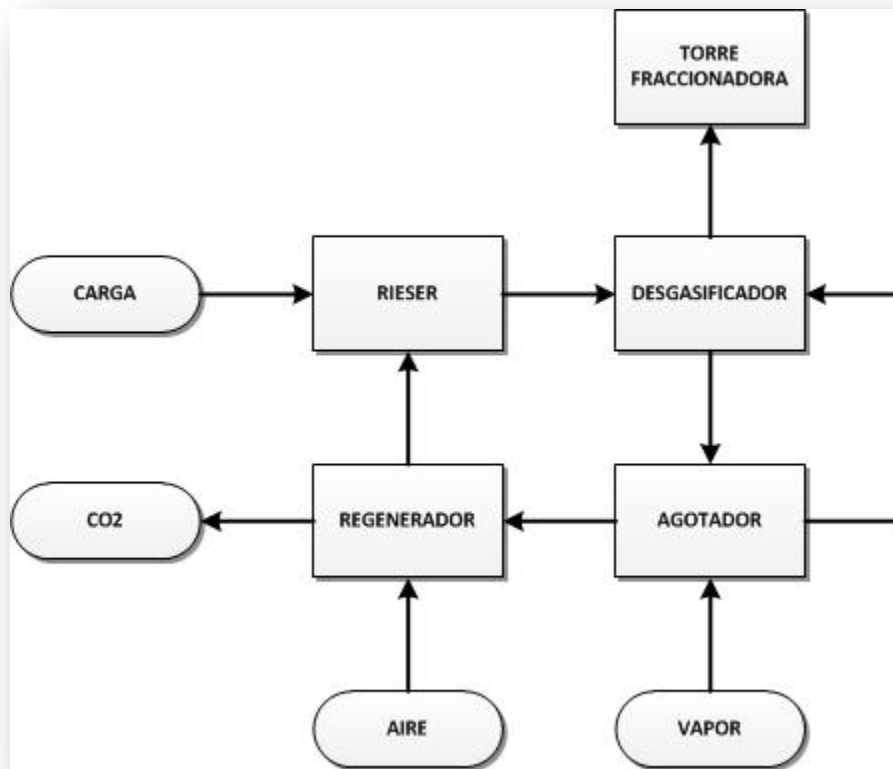


Figura 5. Diagrama de proceso del convertidor

1.8 Metodología

Después de haber implementado el SIMECELE, se llevara a cabo un análisis de resultados, como lo marca la norma DG-SASIPA-IT-00204. Este análisis se ocupa para conocer la integridad de cada unidad de control. Para realizarlo es necesario llevarse a cabo por lo menos dos inspecciones para poder calcular la velocidad de desgaste promedio, velocidad máxima ajustada, vida útil estimada, fecha de próxima medición y la fecha de retiro probable, además, con esto se podrán conocer las unidades críticas y se podrán analizar los casos de engrosamiento así como los niveles sospechosos en cada unidad de control, con la información obtenida del SIMECELE se llevarán a cabo los siguientes pasos.

- Realizar un análisis general sobre el número de inspecciones en las unidades de control.
- Identificar las unidades de control críticas, vencidas y próximas a emplazamiento.
- Identificar la cantidad de niveles críticos y los niveles con engrosamiento >5% en las unidades de control críticas.

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

- Realizar un análisis estadístico formal para las unidades de control; UC-FCCII-044, UC-FCCII-053, UC-FCCII-071, UC-FCCII-082 y UC-FCCII-095.
- Identificar en cada unidad de control analizada los tipos de nivel en que se presentaron velocidades de desgaste crítico y engrosamiento
- Identificar los niveles sospechosos mediante un análisis gráfico
- Realizar un análisis de la frecuencia en que aparecen niveles críticos, con engrosamiento y niveles sospechosos, de cada elemento de las unidades de control analizadas.

Con base a la información generada se propondrán mejoras al SIMECELE.

CAPÍTULO II. TRABAJO EN CAMPO

2.1 Recopilación de información

Con lo que respecta a la implementación del Sistema de Medición y Control de Espesores de Líneas y Equipos es necesario recopilar una serie de información de la planta de desintegración catalítica que a continuación es enlistada:

1. Diagramas de flujo simplificado.
2. Descripción de proceso.
3. Bases de diseño.
4. Diagramas de flujo de proceso DFP's.
5. Diagramas de tubería e instrumentación DTI's.
6. Manuales de operación.
7. Censo de unidades de control.
8. Especificaciones de tubería.
9. Hojas de diseño mecánico.
10. Manuales de operación.
11. Isométricos de construcción.
12. Hojas de datos de equipos.
13. Expedientes de medición de espesores.
14. Plano de planta.

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

- Sección de Craqueo Catalítico (Convertidor).
- Sección de fraccionamiento.
- Sección de compresión de gas y estabilización de gasolinas.
- Sección de tratamiento de producto.
- Sección de fraccionamiento de gas licuado.
- Sección de separación de propano y propileno.

La alimentación es precalentada según los requerimientos del proceso, para luego entrar a la parte inferior del rector (Rieser), donde entra en contacto por unos pocos segundos con el catalizador caliente proveniente del regenerador. Los productos de reacción y el catalizador, son separados en ciclones ubicados en la parte superior del desgasificador. El catalizador agotado entra al regenerador donde es quemado el coque formado como subproducto de la reacción. Una vez regenerado y limpio, el catalizador caliente es reciclado al reactor (Rieser) donde se vuelve a poner en contacto con la carga caliente. El gas producto de la combustión, es enviado al enfriador de gases de combustión para generar vapor de alta presión. El reactor (Rieser), el desgasificador y el regenerador están integrados en un solo equipo denominado convertidor.

Los productos de la reacción, una vez separados del catalizador en el desgasificador, son procesados para remover el calor excedente de la reacción de craqueo y separados en los componentes a ser enviados a almacenamiento. Los productos calientes que salen del convertidor entran a la torre de fraccionamiento principal, en la cual, la mayoría del calor es removido para generar vapor, o proveer el calor requerido para calentamiento de corrientes y equipos corrientes abajo. En la fraccionadora principal se obtienen dos corrientes finales para mezcla: aceite cíclico liviano y aceite decantado del fondo de la fraccionadora. Los productos livianos son retirados por el domo de la fraccionadora principal como una mezcla de vapor y líquido, los cuales son separados en la sección de recuperación de vapores.

La sección de recuperación de vapores comprende: el sistema de compresión, absorción, y torres de fraccionamiento simple, donde los productos son separados como: gasolina, butilenos, propileno, propano y gas combustible o gas seco.

Los gases amargos (sulfuro de hidrógeno subproducto de la reacción) son removidos de los gases livianos en la planta de aminas, la amina rica es regenerada en el regenerador de aminas y recirculada nuevamente a la planta. El sulfuro de hidrógeno o gas ácido es enviado a las unidades de recuperación de azufre de la refinería. El agua amarga condensada en el separador del domo de la fraccionadora, es enviada al agotador de aguas amargas donde es desflemada y luego enviada a la planta de tratamiento de aguas de la refinería.

Los mercaptanos, subproductos de la reacción presentes en la corriente de los efluentes del reactor, son removidos en la sección de recuperación de vapores. Estos compuestos están

presentes en las corrientes de LPG (propano, propileno, butanos/butilenos) y en la gasolina. Las especificaciones comerciales y ambientales de estos productos exigen niveles mínimos de mercaptanos (figura 7).

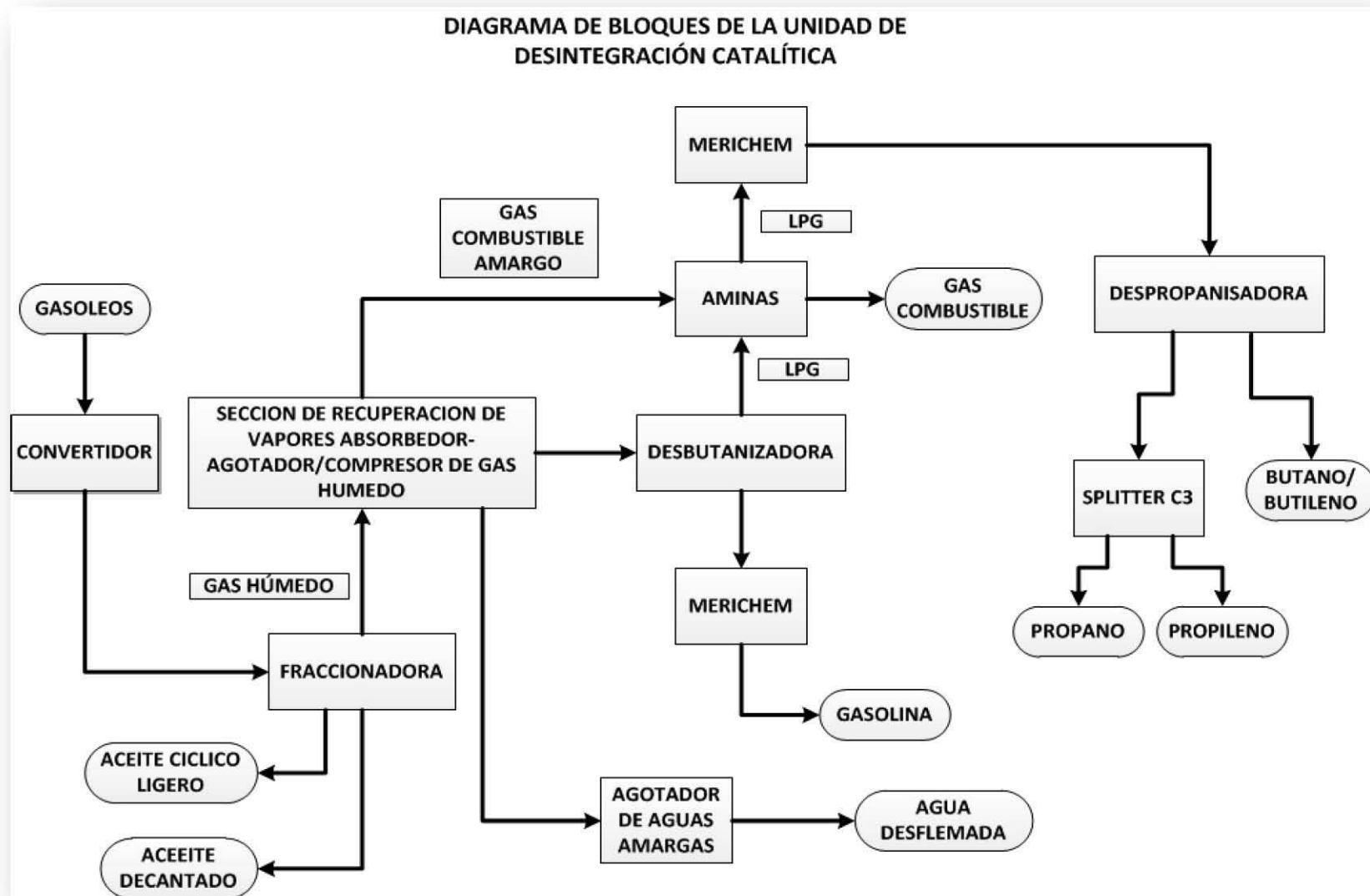


Figura 7. Diagrama de bloques de la planta de desintegración catalítica

2.3 Censo de circuitos

Para poder definir los circuitos de líneas, es necesario contar con los diagramas de flujo de proceso, la descripción de proceso y el censo de circuitos que actualmente maneja el centro de trabajo de la planta, esto para localizar las corrientes principales, del proceso que son producto de la transformación que se lleva a cabo en la planta.

En caso de no existir DFP's del centro de trabajo se deberán realizar diagramas de bloques en los que se deben colocar los equipos y las corrientes principales las que representarán a los circuitos localizados en los diagramas y se referirán como “Diagramas de Identificación de Circuitos”, para la identificación de circuitos de los equipos.

Para tener una mejor comprensión del proceso es conveniente conocer la nomenclatura y simbología en los diagramas, tomando en cuenta los siguientes elementos:

- Tipos de equipos.
- Tag's de equipos.
- Número de identificación de líneas.
- Notas de campo.
- Balances de materia.
- Servicios auxiliares.
- Líneas de desfogue.

Los criterios utilizados para la división de circuitos se basan en si el circuito cambia su composición y sucede cuando el fluido pasa a través de un equipo, por ejemplo:

- Si estos no cambian su composición aunque pueden variar sus condiciones de operación este será parte de un mismo circuito, por ejemplo, las bombas, intercambiadores de calor, tanques acumuladores y calentadores a fuego directo entre otros.
- El circuito cambia cuando el fluido cambia su composición, esto generalmente sucede al pasar a través de equipos como son reactores, torres fraccionadoras y tanques separadores de fases.

Una vez entendido el proceso se puede dividir en circuitos tomando como base los criterios descritos en la guía DG-SASISPA-IT-0204 Rev. 7, la cual especifica que “un circuito es aquel que maneja un fluido con la misma composición, pudiendo variar en sus diferentes partes las condiciones de operación”, estos se deben identificar en los diagramas de flujo de proceso (DFP) y se les asignará un número de dos dígitos y un nombre de acuerdo con el fluido que manejan. Esto

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

es como parte de los criterios de homologación que se llevan a cabo para la implementación del SIMECELE (figura 8).

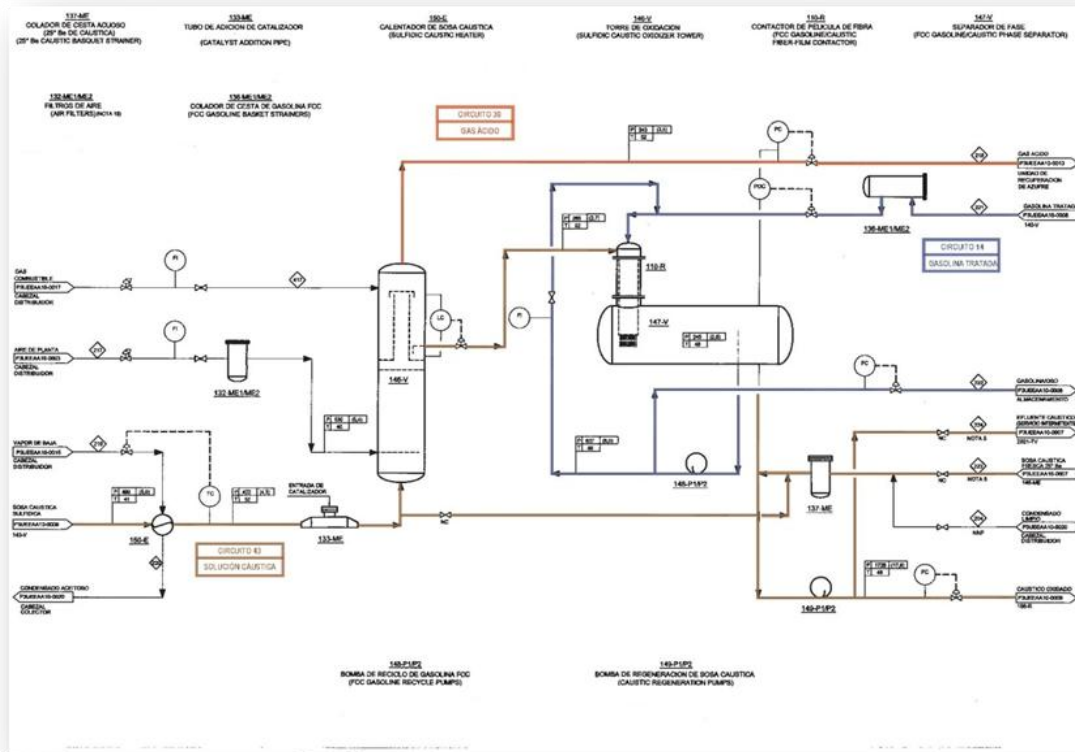


Figura 8. Ejemplo de división de circuitos de líneas. Fuente: Modificado de SIMECELE

Una vez ya identificados los circuitos de la planta se concentrarán en el censo de circuitos de líneas el cual es requerido por la normatividad, en este documento quedan registradas todas las líneas sujetas a inspección preventiva de espesores, en esta planta se registraron cincuenta circuitos.

2.4 Censo de unidades de control

Como se define en la Guía DG-SASIPA-IT-0204 Rev. 7 una unidad de control es la “Sección de circuito que tiene una velocidad de desgaste (erosión y corrosión) más o menos homogénea, en intervalos de 0-8 mpa, de 8-15 mpa y de 15 \geq mpa”. Esta división se hace con el propósito de gestionar las inspecciones necesarias, los cálculos y el mantenimiento de las mismas.

Para la realización de esta etapa es necesario contar con la información más reciente de: DFP’s DTI’s, expedientes de medición de espesores, listas de líneas y PSV’s, el censo de circuitos aprobado y un control de cambios de las unidades de control.

Para la elaboración del censo de unidades de control de deben analizar los isométricos de los expedientes de calibración o mediciones de espesores y compararlos con las líneas que los representan en los DTI’s. Esto permitirá identificar las unidades de control de líneas con base en

los expedientes de medición de calibración con los que cuenta el centro de trabajo y se utilizará el censo de circuitos como guía para dar orden a las unidades de control y sus servicios, con ello se obtendrá información referente al proceso como son: líneas principales, secundarias, TAG de líneas, sistemas de desfogue, condiciones de operación, clase de material, diámetros, válvulas entre otros; además se pueden identificar las líneas que comunican a dos o más equipos que es conocida como línea principal, la que por condiciones de operación de la planta tiene a lo largo de su trayecto mezcladores o injertos, estas son líneas secundarias comúnmente conocidas como “disparos”.

Las unidades de control se deben identificar en los diagramas de tubería e instrumentación (DTI) y se identifica con un color y un código, como por ejemplo, UC-FCCII-01-001 donde UC (Unidad de Control, FCCII (Son las iniciales con que son conocidas la planta) y 001 es el numero consecutivo de la UC que se asigna, tomando como base la numeración del circuito del que precede y debe componerse de tres dígitos (figura 9).

Para realizar la identificación de las unidades de control es importante tomar en cuenta los siguientes criterios:

- La unidad debe mantener las mismas condiciones de operación (Temperatura y Presión).
- Generalmente una unidad de control va de un equipo a otro.
- Existe un cambio de unidad de control cuando existe un cambio de material a lo largo de la línea y este es registrado en los diagramas de tubería e instrumentación.

Los criterios anteriormente mencionados, se pueden tomar en cuenta para las siguientes sugerencias en la división de las unidades de control de líneas.

- Contemplar los disparos hasta llegar a la primera válvula de bloqueo (válvula de corte) debido a que estas válvulas se encuentran normalmente cerradas y va a mantener condiciones de diferente en ambos lados de la válvula.
- Delimitar la unidad de control de líneas en las válvulas que generan una caída de presión considerable, como por ejemplo, en las válvulas de control, aunque es necesario corroborar dicho criterio revisando las condiciones de operación antes y después de la válvula de control, ya que no siempre se origina una diferencia en las condiciones de operación por la presencia de estas.
- Estudiar los arreglos básicos para la planta, como en bombas, intercambiadores, PSV's, válvulas de control, etc.
- Prestar atención en las secciones en donde existen cambios de material, ya que una unidad de control de línea no puede contener dos o más clases de material, debido a que el comportamiento de la velocidad de desgaste es distinto para cada clase.

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

- Revisar el propósito del disparo o ramificación.
- Identificar las UCL en cabezales tales como el desfogue, *flusing*, etc.

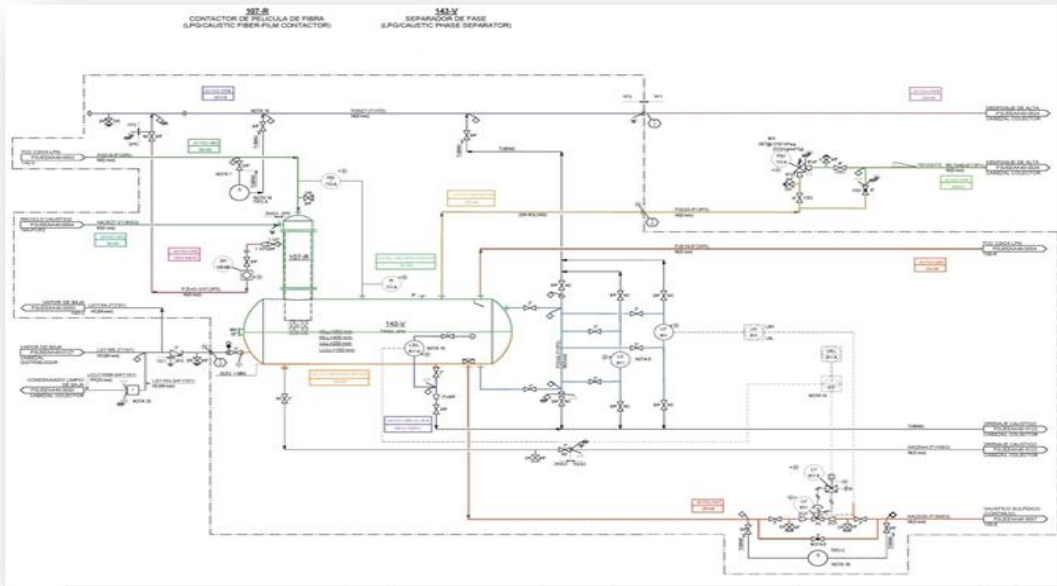


Figura 9. Ejemplo de división de unidades de control. Fuente: Modificado de SIMECELE

Una vez revisadas y comparadas las unidades de control con las actualizaciones en campo, se registrarán en el documento llamado “Censo de Unidades de Control de Líneas”.

2.5 Actualización y digitalización de diagramas de inspección

Después de haber dividido la planta en circuitos y estos a su vez en unidades de control, se realizó una actualización en campo de cada unidad de control, para ello se realizarán levantamientos en campo de forma manual como se muestra en la figura 10, y se compararán con los diagramas de inspección técnica de construcción y posteriormente se revisarán las dudas generadas en la etapa de digitalización.

Para realizar un levantamiento es importante conocer los puntos que se enlistan a continuación:

- Identificar accesorios como son: tuercas unión, coples, niples, coples reducidos e injertos.
- Distinguir entre los diferentes tipos de válvulas usadas comúnmente como son: compuerta, globo, bola, macho, mariposa, *check* columpio, *check* pistón y *check* esfera.
- Reconocer los diferentes tipos de bridas, por ejemplo las que son o no de cuello soldable, esto es necesario para evitar confusiones con alguna reducción.

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

- Localizar soldaduras intermedias especialmente en tramos rectos, regularmente un tramo tiene una longitud de seis metros.
- Identificar los diferentes arreglos de niplería.
- En el caso de las tuberías con aislamiento se deberán tomar las notas correspondientes y no dar por hecho algún tipo de arreglo que no sea evidente, estos arreglos se deberán comparar con los diagramas de construcción correspondientes.
- Los diámetros, la clase de material y el libraje deben ser verificados en el cuerpo de la válvula y no deben suponerse por su tamaño.
- Los levantamientos deberán estar dibujados con el norte hacia la parte superior derecha de la hoja y se realizará en una vista isométrica, estos iniciarán desde el punto indicado en el DTI como el inicio de la unidad de control y seguirá en sentido del flujo, además indicará correctamente las direcciones de la líneas, así como sus ramificaciones o disparos, señalando las válvulas o los equipos a las que la línea esté conectada así como de donde proviene y a dónde va la unidad de control. También se especificarán detalles como si son soldados, reforzados o roscados y sus respectivos diámetros de las tuberías, válvulas, arreglos de niplerías y accesorios como por ejemplo reducciones e injertos. El número de espárragos en la bridas no son señalados en los diagrama de inspección digitalizados pero es conveniente anotarlos en el levantamiento para la implementación del SIMECELE.

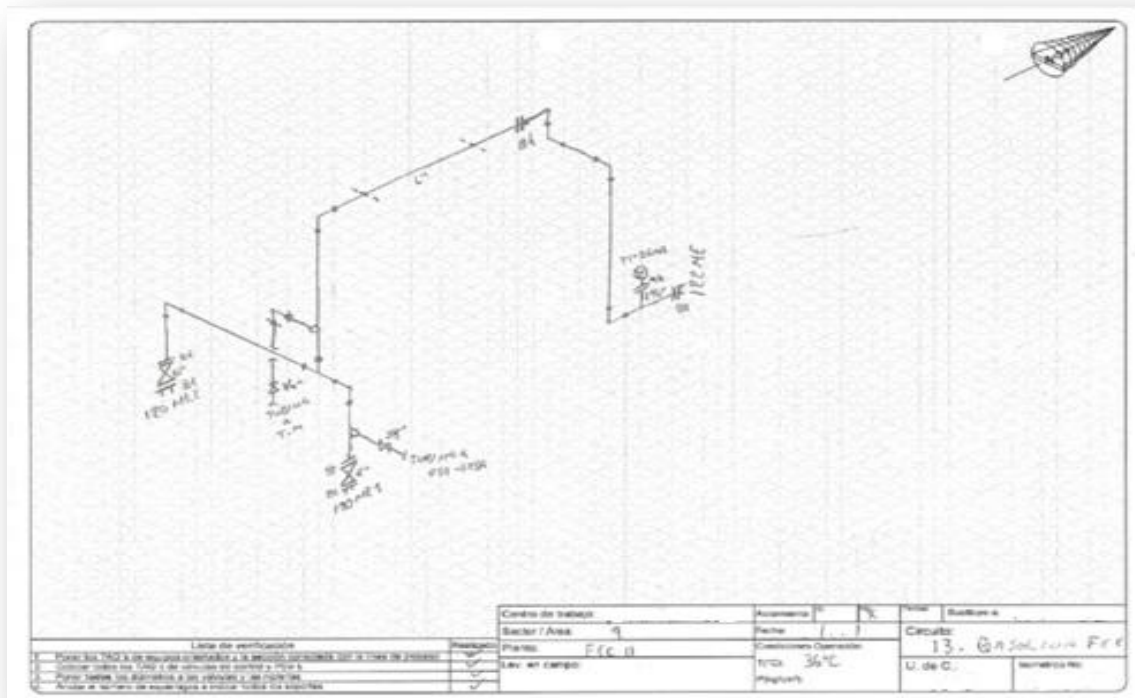


Figura 10. Ejemplo de levantamiento. Fuente: Modificado de SIMECELE

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

Los diagramas de inspección se elaboran utilizando el software AutoCAD® y la herramienta QITDraw en las plantillas correspondientes al centro de trabajo, para ello se debe de contar con el diagrama de inspección actualizado y la especificación del material de la línea. En este diagrama se indican claramente las soldaduras y niveles de medición, además contiene un recuadro con los datos de condiciones de diseño, operación, especificación de material, diámetros, cédulas, espesor original, límite de retiro correspondiente y si la línea cuenta o no con aislamiento (figura 11), como lo requiere la Guía DG-SASIPA-IT-0204 Rev. 7.

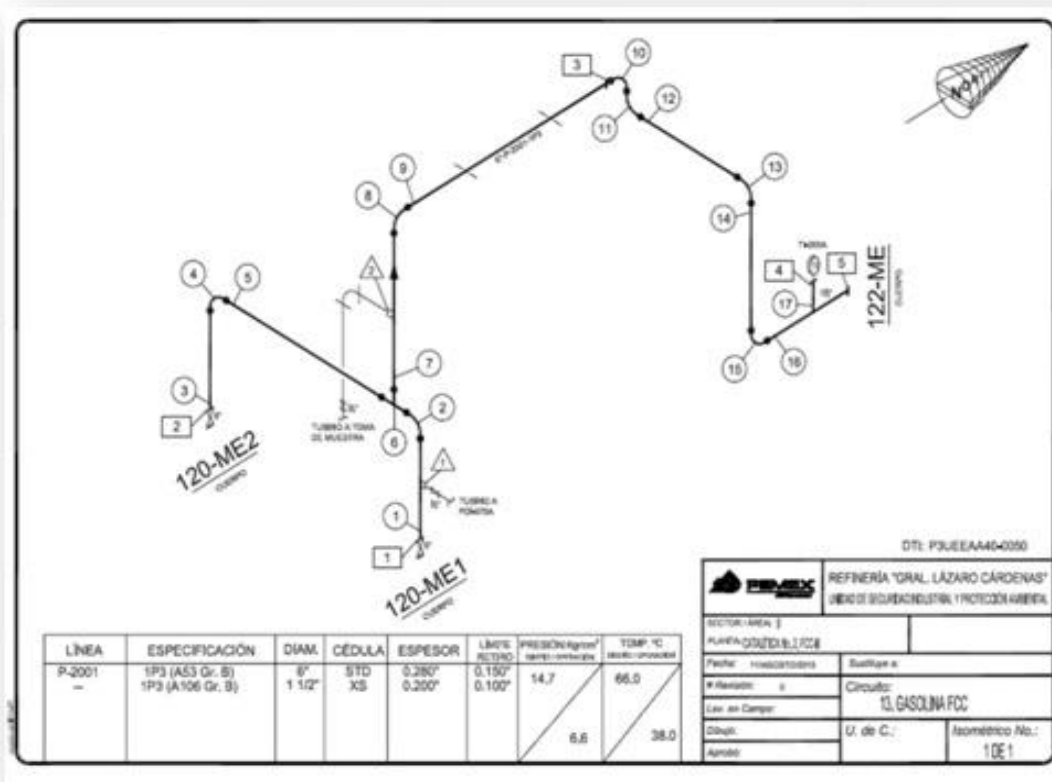


Figura 11. Ejemplo de diagrama de inspección digitalizado. Fuente: Modificado de SIMECELE

2.6 Relación de niveles (empates)

El objetivo de la relación de niveles es la preservación del historial de medición de espesores, esto se hace al relacionar los niveles de los diagramas de referencia con el diagrama de inspección técnica de espesores actualizado en el formato correspondiente, este deberá contener el nombre de la planta, la unidad de control en el SIMECELE, la unidad de control que se manejaba antes de la implementación del SIMECELE, además se revisarán que todos los diámetros coincidan en cada nivel de inspección, se indicará a que diagrama corresponde cada nivel de inspección ya sea de tubería, niplería o tornillería.

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

Es la sección donde pertenece la planta, terminal o estación que será capturada.

- Nombre de la planta, terminal o estación

En esta parte se ingresará el código de identificación (este deberá estar formado por tres o cuatro letras), el nombre oficial de la planta y el nombre común con la que es conocida, así como el nombre del licenciador, los servicios que componen la planta y el estado en el que se encuentran (sólido, líquido, gas o mezcla líquido-gas)

- Nombre del circuito de líneas o equipos

Aquí se capturará el nombre y servicio de todos los circuitos que componen la planta especificando si pertenece a algún equipo.

Al haber capturado la información anterior podemos continuar con la captura de las estructuras de las unidades de control para lo que se ocupara la siguiente información.

- Diagramas de inspección técnica de espesores.
- Especificación de materiales.
- Descripción.
- Condiciones de operación.

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

Una vez teniendo la información anterior se realizó el siguiente procedimiento:

1. En el menú de bienvenida elegir el módulo de *Captura* (figura13).



Figura 13. Menú de bienvenida. Fuente: SIMECELE

2. Dentro del menú de capturas seleccionar *Nueva unidad de control* (figura14).

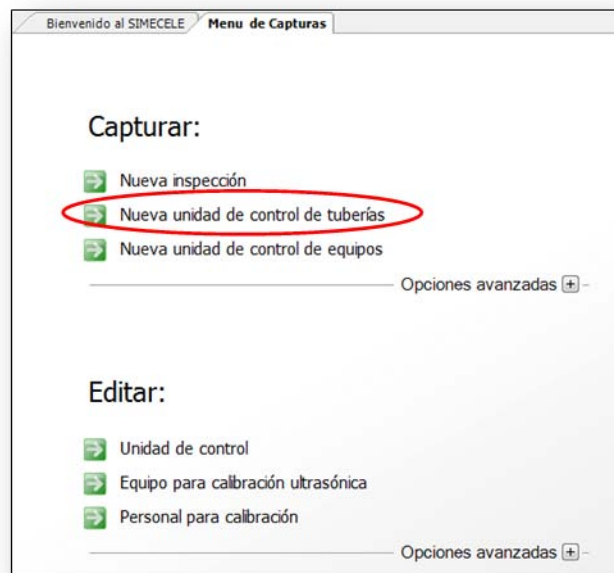


Figura 14. Menú de captura. Fuente: SIMECELE

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

3. Especificar el área o sector y el circuito al que pertenece (el circuito de nombra de acuerdo al fluido que transporta) la unidad de control de líneas (figura15).

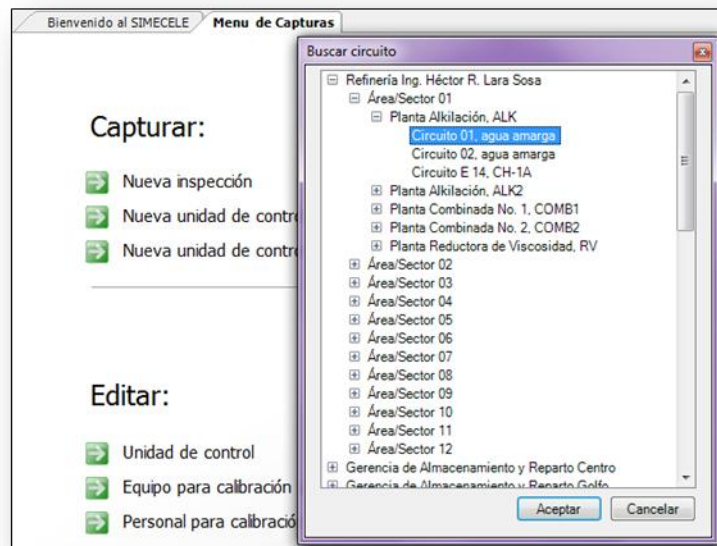


Figura 15. Árbol de localización del circuito. Fuente: SIMECELE

4. Ingresar la descripción de la unidad de control y la clave (está debe componerse de tres cifras), si la unidad de control cuenta con aislamiento se activará la casilla *Tubería forrada* (figura16).

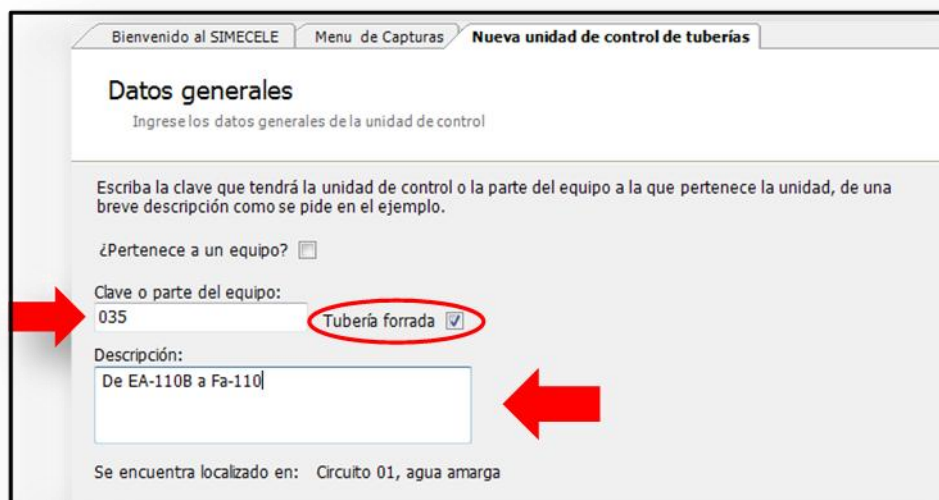


Figura 16. Captura de la descripción de la unidad de control. Fuente: SIMECELE

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

5. En la sección *Especificación Materiales* se seleccionará la clase de material que constituye a la unidad de control de acuerdo con el diagrama de inspección de la unidad de control (figura17).

Especificación Materiales
Seleccione la especificación de materiales

Seleccione el código de la especificación que se va a utilizar en la unidad de control. Verifique que el material sea el adecuado.

Código actual: A11A Rev.

Seleccione el nuevo código:

A11A Rev. 5	A13A	A13A Rev. 7
A11A Rev. 7	A13A Rev. 0	A14A Rev. 5
A12A Rev. 5	A13A Rev. 5	A14A Rev. 7

Características de código:

Licenciador: IMP (Instituto Mexicano del Petróleo)

Material: ACERO AL CARBON

Corrosión permitida: 63

Figura 17. Captura de especificación de Materiales. Fuente: SIMECELE

6. Seleccionar el servicio que contiene la unidad de control (figura18).

Rango de operación y servicio
Seleccione el servicio de la unidad de control

Seleccione el servicio que se desea utilizar. Verifique que las condiciones máximas de operación sean adecuadas.

Operación actual:

Servicio: Hidrocarburo + H2S + H2 Gas Pmax: 6.8 Tr

Seleccione el nuevo servicio:

Hidrocarburo + H2S + H2 Gas Pmax: 6.8 Tmax: 131.1
Gas amargo Gas Pmax: 6.5 Tmax: 55
Aguas amargas Líquido Pmax: 15.6 Tmax: 43.3
Hidrocarburo + H2S Líquido/Gas Pmax: 33.7 Tmax: 184.4

Condiciones máximas:

Presion Máxima (Kgf/cm²): 6.8

Temperatura Máxima (°C): 131.1

Figura 18. Captura del servicio. Fuente: SIMECELE

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

- Ingresar los datos de temperatura y presión de operación, así como el índice de riesgo. Si el índice de riesgo no se conoce se seleccionará no disponible (N.D.), en caso de ser necesario esta sección cuenta con un convertidor de unidades (figura19).

Bienvenido al SIMECELE | Menu de Capturas | Nueva unidad de control de tuberías

Características de la unidad de control

Escriba las características de la unidad de control

Escriba las condiciones de operación (presión y temperatura) normales a las que operará la unidad de control y seleccione un índice de riesgo.

Presión de Operación (Kgf/cm²):

Temperatura de Operación (°C):

Índice de Riesgo:

(Si no se cuenta con el dato de índice de riesgo favor de seleccionar N.D.)

Figura 19. Captura de las condiciones de operación. Fuente: SIMECELE

- Seleccionar los diámetros de tubería y niplería que conforman la unidad de control apoyándose del diagrama de inspección de esta unidad (figura20).

Lista de Diámetros

Lista de diámetros de la unidad de control

Seleccione los diámetros a utilizar en la tubería y accesorios de la unidad de control.

1) Diámetros de tuberías:

Diámetros actuales:

1/2"
3/4"
3"

<<Agregar

Borrar>>

Diámetros disponibles:

5/8"	5"	16"
1"	6"	18"
1 1/2"	8"	20"
2"	10"	22"
3 1/2"	12"	24"
4"	14"	

2) Diámetros de niplería:

Diámetros actuales:

1/2"
1"
2"

<<Agregar

Borrar>>

Diámetros disponibles:

5/8"
3/4"
1 1/2"

Figura 20. Captura de los diámetros que componen la unidad de control. Fuente: SIMECELE

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

9. Seleccionar el diámetro, el tipo de nivel de acuerdo con la orientación de cada nivel sometido a inspección, para ello se tiene que contar con el diagrama de inspección actualizado, en el se podrán observar las orientaciones de cada pieza de tubería; la información de la cédula, espesor nominal y límite de retiro aparecerán automáticamente después de haber especificado los primeros datos (figura21).

Nivel	Diámetro	Tipo de nivel	Cédula	Espesor nominal	Límite de retiro
1	¾"	TUBERÍA: Oriente P	XS	154	90
2	½"	Te: Oriente Obstruc	XS	147	90
3	¾"	Te: Obstrucción Sur	XS	154	90
* 4			-	0	0

Figura 21. Captura del tipo de cada nivel. Fuente: SIMECELE

10. Seleccionar el diámetro, el arreglo de niplería y activar la casilla que describa si el arreglo es soldado o roscado para cada nivel de niplería (figura22).

Arreglo	Diámetro	Tipo de arreglo	Soldado	Roscado	Cédula	Espesor nominal	Límite de retiro
1	½"	Cople-Tapón	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	160	187	120
2	1"	Cople-Termopozo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	160	250	90
* 3	1"	Cople-Tapón	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	160	250	90
* 4			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			

Figura 22. Captura del tipo de arreglo de niplería. Fuente: SIMECELE

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

11. Capturar el diámetro de la brida, el número de los espárragos de la brida y el libraje para cada nivel de tornillería (figura23).

	Brida	Diámetro	No. de espárragos	Libraje
	1	½"	1	150#
	2	3"	5	150#
	3	½"	1	150#
	4	¾"	3	150#
*				

Figura 23. Captura de los niveles de tornillería. Fuente: SIMECELE

12. Verificar que todos los datos que aparecen en el resumen general sean correctos, en caso de no ser así podrán corregirse regresando a la sección que corresponde (figura24).

¿Son los datos correctos?
Resumen general de las características de la unidad de control

Verifique que los datos de la unidad de control sean correctos, de lo contrario haga click en el botón 'Anterior' y modifique los datos necesarios.

Descripción de la Unidad de Control:
De EA-110B a FA-110

Tipo de Unidad: Unidad de control de líneas
Ubicación: / Área/Sector 01 / Planta Destilación atmosférica No. 5, AA / Circuito 01, Residuo

Temperatura de Operación (°C): 18 Temperatura Máxima (°C): 131.1
Presión de Operación (kgf/cm²): 3 Presión Máxima (kg/cm²): 6.8
No. de niveles de tubería: 3 Servicio: Hidrocarburo + H2S + H2 Gas
No. de niveles de niplera: 3 Material: ACERO AL CARBON
No. de niveles de tornillería: 4 Especificación: A12A Rev. 5
Índice de Riesgo: N.D. Condición de la inspección: Planta operando

Requisitos para la inspección:
Trabajo en altura

Figura 24. Resumen de los datos capturados de la unidad de control. Fuente: SIMECELE

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

Una vez realizado el procedimiento anterior podemos realizar las capturas correspondientes de las inspecciones de cada unidad de control, para el caso de la medición de espesores necesitaremos la siguiente información:

- Expediente de la unidad de control.
- Relación de niveles.

En este procedimiento se ingresa nuevamente a la ventana de *Bienvenida* y se selecciona la opción *Capturar o editar información*, la cual abrirá una ventana en la que se abrirá la opción “*Nueva inspección*” y se elegirá el área o sector, la planta, el circuito y la unidad de control de la cual se registrarán sus inspecciones como se muestra a continuación y se mostrarán los siguientes pasos (figura 25):

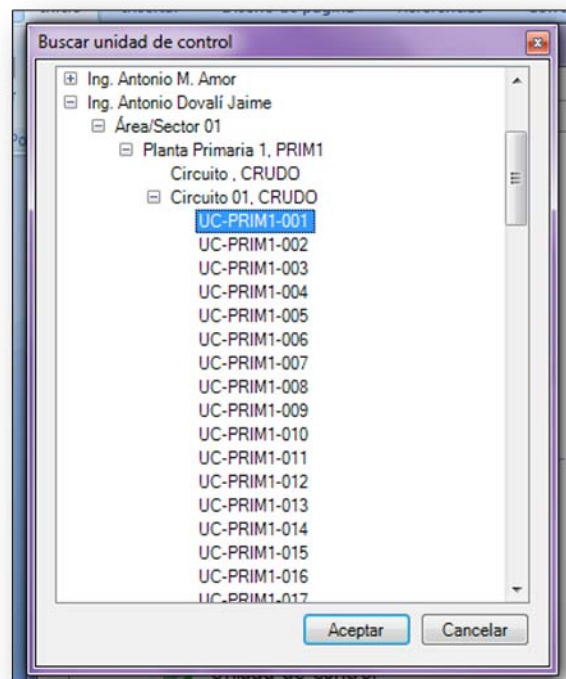


Figura 25. Árbol de localización de la unidad de control. Fuente: SIMECELE

- Se ingresan los datos de la inspección como son: la fecha en que se realizó la medición de los espesores (día/mes/año), el ingeniero de seguridad e inspector, el tipo de trabajo a realizar (inspección de tubería, inspección visual de tubería, revisión e inspección de niplería o inspección de tornillería), el tipo de instrumentos utilizados para la inspección. Para este trabajo solo se considerará la inspección de tubería (figura26).

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

Figura 26. Captura de los datos de inspección. Fuente: SIMECELE

- Capturar manualmente las inspecciones de las unidades de control tomando los datos de los expedientes (figura 27).

Número de Nivel	Datos del Nivel	Posición	Lectura Anterior	Lectura Actual	Velocidad de Desgaste	Detalles
1	Esp. Nom.: 322 Lim. Ret.: 180 Esp. Max.: 362 Diámetro: 8"	Norte	353 (dic-2006)	327	5.47	Punto Normal
		Sur	328 (nov-2008)	355	-	Lectura inválida (engrosamiento)
		Dentro (Garganta)	340 (dic-2006)	342	0.00	Engrosamiento respecto al punto anterior
2	Esp. Nom.: 322 Lim. Ret.: 180 Esp. Max.: 362 Diámetro: 8"	Fuera (Codo)	310 (dic-2006)	340	-	Alerta en velocidad de desgaste
		Norte	289 (nov-2008)	280	3.15	Punto Normal
		Sur	330 (may-2010)	296	23.27	Velocidad de desgaste crítica.
3	Esp. Nom.: 237 Lim. Ret.: 120 Esp. Max.: 267 Diámetro: 4"	Arriba	317 (may-2010)	230	63.26	EMPLAZAMIENTO, a 1.5 años
		Abajo	-	250	-	No tiene mediciones previas
		Norte	-	-	-	-
		Sur	-	-	-	Sin medición
		Oriente	-	-	-	Sin medición
		Poniente	-	-	-	Sin medición

Figura 27. Captura de los espesores de la inspección. Fuente: SIMECELE

Cuando se registra la primera inspección aparecerá en la sección de *Detalles* si existe alguna inconsistencia con los datos registrados como pueden ser si el diámetro está muy por encima del diámetro nominal o si está por debajo del límite de retiro. Al registrar la segunda

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

inspección se obtendrán los datos de la velocidad de desgaste, niveles con desgaste crítico, si se está próximo a emplazamiento o se detectó una lectura inválida por engrosamiento.

Como ya se había mencionado, en el SIMECELE se pueden administrar los siguientes tipos de inspecciones:

- Inspección visual de tubería: En esta pestaña se concentra el procedimiento GPASI-IT-0209, con el cual se verifica la existencia de fugas, desalineamiento, vibración, el estado de los soportes, corrosión aislamiento, etc (figura 28).

Anomalia		Por evaluar:	Estado
Fugas	Proceso		Si
	Indicios de vapores		No
	Grampas existentes		No
Desalineamiento	Desalineamiento de tuberías/desplazamiento restringido		No
	Desalineamiento de juntas de expansión		-
Vibración	Peso Colgado excesivo		No se reviso
	Soportes inadecuados		No
	Tuberías de pequeño calibre		No
	Conexiones roscadas		Si
	Soportes sueltos por deterioro metálico		No se reviso
Soporte	Patines de soportes		-
	Colgantes deformados o fracturados		-
	Resortes fuera de apoyo		No se reviso
	Abrazadera deformada o fracturada		Si
	Mensulas sueltas		No

Figura 28. Captura de la inspección visual de tubería. Fuente: SIMECELE

- Revisión y medición de espesores de niplería: En esta pestaña se capturan las mediciones de los espesores de niplería, el arreglo que tiene cada una, así como el estado en que se encuentran de acuerdo con el procedimiento GPEIT-0201 (figuras 29 y 30).

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

Inspección de niplería de octubre de 2011							
Inspector: Erika Bautista Ortiz							
Ver isométrico de la unidad de control Exportar a excel Actualizar niveles							
Calibración de niveles:							
Nivel y Tipo de Arreglo	Pieza	Lectura anterior	Calibración	Vida Util	Velocidad de corrosión	Detalles	
Nivel: 1 Arreglo Cople-Tapón	Base	260 (nov-2008)	100	0.2	55.89	EMPLAZAMIENTO, a 1.5 años o	
	Base	203 (dic-2006)	98	0.4	22.05	EMPLAZAMIENTO, a 1.5 años o	
	Cople	245 (may-2010)	99	0.1	105.52	EMPLAZAMIENTO, a 1.5 años o	
Nivel: 2 Arreglo Cople-Niple-Válvula	Cople	252 (may-2010)	125	0.4	91.79	EMPLAZAMIENTO, a 1.5 años o	
	Base	310 (nov-2008)	205	3.1	36.67	Velocidad de desgaste crítica, igu	
	Base	315 (nov-2008)	209	3.2	37.02	Velocidad de desgaste crítica, igu	
	Cople	290 (nov-2008)	120	0.5	59.38	EMPLAZAMIENTO, a 1.5 años o	
	Cople	215 (nov-2008)	110	0.8	33.88	EMPLAZAMIENTO, a 1.5 años o	
Nivel: 3 Arreglo Orificio-Niple-Válvula	Niple	170 (nov-2008)	75	-0.5	33.18	POR DEBAJO DEL LIMITE DE R	
	Niple	180 (nov-2008)	120	1.4	20.96	EMPLAZAMIENTO, a 1.5 años o	
	Base					Sin medición	
	Base					Sin medición	
	Niple	176 (dic-2006)				Sin medición	
	Niple	183 (dic-2006)				Sin medición	

Figura 29. Captura de la medición de espesores de niplería. Fuente: SIMECELE

Revisión visual de niplería de octubre de 2011				
Inspector: Erika Bautista Ortiz				
Ver isométrico de la unidad de control Exportar a excel				
Seleccione el nivel de niplería:				
<ul style="list-style-type: none"> 1 Arreglo Cople-Tapón 2 Arreglo Cople-Niple-Válvula 3 Arreglo Orificio-Niple-Válvula 4 Arreglo Orificio-Niple-Válvula 5 Arreglo Cople-Niple-Válvula 6 Arreglo Cople-Niple-Válvula 7 Arreglo Cople-Niple-Válvula 8 Arreglo Cople-Niple-Válvula 9 Arreglo Cople-Niple-Válvula 10 Arreglo Cople-Niple-Válvula 11 Arreglo Cople-Ternopozo 12 Arreglo Cople-Tapón 13 Arreglo Orificio-Niple-Válvula 14 Arreglo Orificio-Niple-Válvula 15 Arreglo Cople-Niple-Válvula 16 Arreglo Cople-Niple-Válvula 17 Arreglo Cople-Niple-Válvula 18 Arreglo Cople-Tapón 19 Arreglo Cople-Niple-Válvula 20 Arreglo Cople-Niple-Válvula 				
Pieza	Característica por revisar	Como se encontró	Como se dejó	
Cople	Libraje	Correcto	-	
	Longitud	1/2 cople	Cambio pendie	
	Estado de la cuerda	Cuerdas barridas	Se cambio	
	Material	No se analizó	-	
	Estado físico	Corrosión leve	Dar seguimien	
Niple	Soldadura*	Bien	-	
	Cédula	-	-	
	Longitud	-	-	
	Estado de la cuerda	-	-	
	Material	-	-	
Estado físico	-	-		
Soldadura*	-	-		

Figura 30. Captura de la inspección visual de niplería. Fuente: SIMECELE

- Revisión de tornillería: En esta pestaña se registrarán todos los datos sobre la evaluación del estado físico de los niveles de tornillería, como es la cantidad de espárragos, el diámetro de brida, el grado de corrosión y si se tiene que cambiar alguna pieza según el procedimiento DG-GPASI-IT-0903 (figura 31).

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

Datos de la inspección		Inspección de tornillería de octubre de 2011					
Inspección de tubería		Inspector: Erika Bautista Ortiz					
Inspección visual de tubería		Ver isométrico de la unidad de control		Exportar a excel			
Inspección de partes de un equipo		Número de brida	Cantidad de espárragos	Diámetro	Grado de corrosión	Número de espárragos por cambio	Observaciones
Inspección de niplera		1	8	8"	Leve		
Inspección visual de niplera		2	8	4"	Leve	-	
Revisión de tornillería		3	8	8"	Leve	-	
Notas de campo		4	8	8"	Moderada	2	
Validación de inspección		5	8	6"	Leve	-	
		6	8	6"	Leve	-	
		7	8	6"	Moderada	2	
		8	8	6"	Alta	4	
		9	8	6"	Alta	4	
		10	8	6"	Moderada	2	
		11	8	6"	Moderada	2	
		12	8	6"	Leve	-	
		13	8	6"	Leve	-	

Figura 31. Captura de la inspección visual de tornillería. Fuente: SIMECELE

CAPÍTULO III RESULTADOS

3.1 Censo de circuitos

La división por circuitos de una planta es una forma de organización, la cual se puede hacer por el tipo de materiales, por servicios, por secciones de proceso ó por procesos unitarios. Esta se ocupa dependiendo de la utilidad final. El censo de circuitos para la inspección técnica quedó definido en la tabla B-1 del anexo B

Cada circuito se dividió en unidades de control, de las cuales, se localizaron las unidades de control vencidas (unidades cuya fecha de próxima medición ha expirado) y las unidades de control críticas. En esta planta no figuraron unidades de control cercanas al límite de retiro ó próximas a emplazamiento.

3.2 Censo de unidades de control

La división de las unidades de control se realizó de manera que fuera fácil la identificación en campo de las mismas, así como para su adecuado seguimiento. A manera de resumen en el anexo C se elaboró una tabla en la que se muestra el número de unidades de control por circuito y número de inspecciones con las que cuentan las unidades de control, se encontraron unidades de control que no cuentan con inspecciones y otras que cuentan con dos, tres y cuatro inspecciones, por lo tanto, solo se pueden obtener la velocidad de desgaste y vida útil estimada con aquellas que cuentan con dos mediciones o más, para este trabajo se analizaron unidades de control que tienen registradas dos o más inspecciones y presentaron velocidades de desgaste críticas, es decir, mayores a 15 mpa.

Las velocidades de desgaste son indispensables para determinar si un circuito es crítico y, con ello, elaborar programas para próximas inspecciones y así determinar la vida útil de la unidad de control, además se pueden identificar secciones en donde se presenten engrosamientos o niveles de desgaste puntual; los circuitos en que se identifiquen unidades de control críticas (es decir unidades cuya velocidad de desgaste sea ≥ 15 mpa promedio), serán considerados como circuitos críticos.

En la planta se encontraron 50 circuitos (ver anexo C), que se dividieron en 564 unidades de control, de las que 146 tienen una inspección, 132 tienen dos inspecciones, 46 cuentan con tres inspecciones y solo seis cuentan con cuatro inspecciones, lo que representa el 58.51% de la planta con dos inspecciones o más (figura 32), entre las que se encontraron 18 unidades con velocidades de desgaste crítica, en estas unidades se identificaron, niveles con engrosamiento y niveles sin inspección (tabla 7). Las unidades que no se capturaron sus inspecciones son debido a que no se encontró el expediente en la información proporcionada por el centro de trabajo, en estos casos el SIMECELE enviará como próxima fecha de inspección al mes siguiente después de la captura de la estructura.

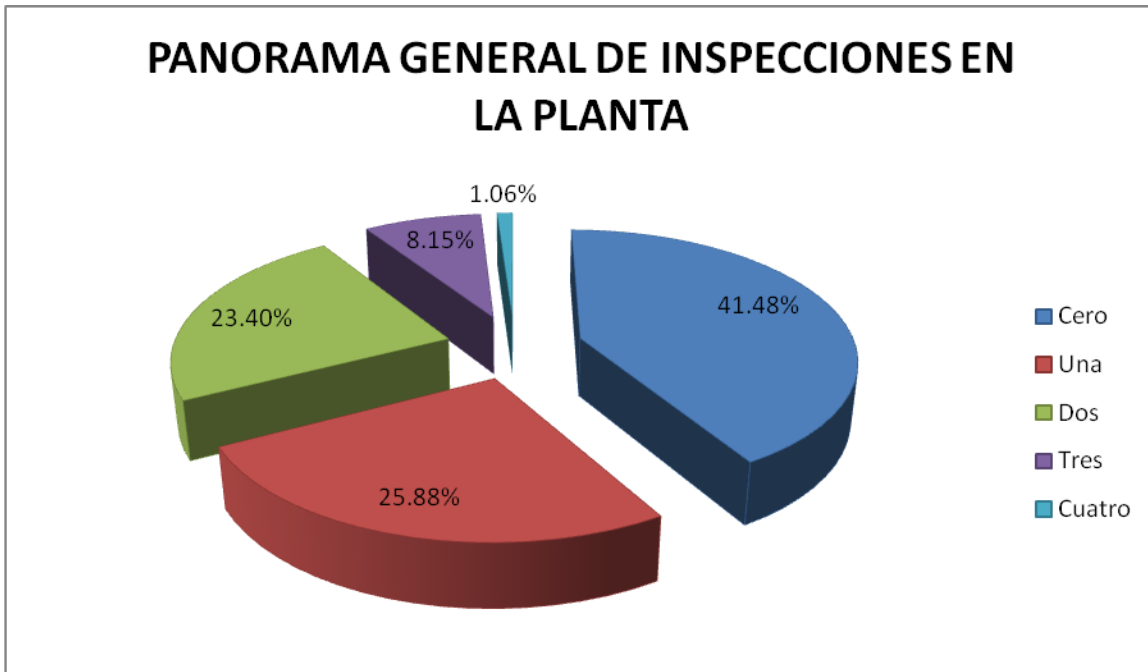


Figura 32. Panorama de inspecciones de la planta.

En la tabla 6 se observan cuatro unidades de control, tres del circuito “04. Gasolina” y una más del circuito “05. Alimentación al absorbedor y al agotador”, las cuales de acuerdo a la información disponible en SIMECELE, fueron identificadas como unidades vencidas, es decir que no se tienen registradas inspecciones en la fecha de próxima medición.

Tabla 6. Unidades de control vencidas.

UNIDAD DE CONTROL	CIRCUITO	FECHA DE ÚLTIMA MEDICION	FECHA DE PRÓXIMA MEDICION
UC-FCCII-034 (250-081)	Gasolina	ENERO 2013	DICIEMBRE 2014
UC-FCCII-035 (250-081)	Gasolina	ENERO2013	OCTUBRE 2014
UC-FCCII-040 (250-082)	Gasolina	MARZO 2013	NOVIEMBRE 2014
UC-FCCII-105 (250-354/586/587)	Alimentación al absorbedor y al agotador	JUNIO 2013	NOVIEMBRE 2014

Fuente: SIMECELE

En la tabla 7 se observan las unidades de control que presentaron velocidades de desgaste crítica en uno o más niveles, se observo que 12 unidades cuentan con un 100% de calibraciones y todas presentan niveles con engrosamiento o niveles críticos, estos niveles tendrán que ser verificados a fin de descartar errores en la medición.

Tabla 7. Unidades de control con velocidades de desgaste críticas.

Unidad de Control	Niveles Totales	Niveles con desgaste normal	Niveles con desgaste crítico	Niveles sin inspección	Niveles con engrosamiento >5%
044	25	16	9	0	4
053	18	10	8	0	1
071	47	41	6	0	16
082	312	152	160	0	38
095	30	23	7	0	3
097	3	2	1	0	1
098	88	78	10	0	6
182	65	55	10	0	6
184	63	50	13	0	2
193	99	66	33	1	25
196	34	29	5	0	3
212	191	189	2	7	15
221	79	75	4	1	5
226	77	75	2	3	3
227	101	99	2	8	5
228	37	26	11	0	3
299	25	24	1	1	0
312	173	172	1	0	1

Fuente: SIMECELE

Las unidades de control están integradas por niveles de medición y cada uno tiene cuatro posiciones, sin embargo, para que un nivel sea considerado como crítico solo es necesario que contenga una posición con velocidad de desgaste crítica, por lo que es necesario un análisis de las posiciones que presentan velocidades de desgaste crítico reales verificando si en realidad es debido al desgaste, o a otro mecanismo de daño o algún error de medición.

A continuación se revisarán los puntos sospechosos, es decir, aquellos puntos cuyos espesores arrojan dudas sobre su veracidad, de los casos que presenten engrosamientos y se realizará un análisis estadístico formal de la unidad de control UC-FCCII-044 mostrando un resumen del procedimiento que describe la guía DG-SASIPA-IT-0204, esta memoria de cálculo es la misma ocupada por el SIMECELE por lo que en lo consiguiente solo se mostrará un resumen con los resultados de cada unidad de control crítica.

UC-FCCII-044

La unidad de control UC-FCCII-044 pertenece al circuito “05. Fondo del absorbedor” esta unidad presenta engrosamientos en los niveles 8, 10, 20 y 21 como se muestra en la tabla 8, también se observan niveles sospechosos en los niveles 3, 4 y 21, el nivel 4 tiene espesor mucho mayor al nominal. Al corroborar la información con el diagrama de inspección se encontró que existía un error y que el dato del diámetro en el SIMECELE tendrá que cambiarse a 1½", al cambiar este dato se esperaría que automáticamente se corregirá el tipo de material, la cédula y el espesor nominal mostrado en la gráfica correspondiente a esta unidad, sin embargo, el espesor de estos arreglos es mucho mayor al que corresponde a esta clase de material.

En la tabla 8 se pueden observar los niveles de la unidad de control UC-FCCII-044, que presentaron engrosamiento en alguna de sus mediciones, para verificar a qué tipo de nivel pertenecen, se tendrán que verificar en el diagrama de inspección de esta unidad, en el anexo E se incluyen los puntos de medición para cada tipo de nivel, así como los espesores correspondientes a los diferentes diámetros de tubería.

Tabla 8. Niveles con engrosamiento de la unidad de control UC-FCCII-044.

NIVEL	POSICIÓN	OCTUBRE 2010	SEPTIEMBRE 2013
8	Norte	561	545
	Sur	477	550
	Fuera (Codo)	438	414
	Dentro (Garganta)	562	542
10	Arriba	526	493
	Abajo	480	492
	Fuera (Codo)	520	438
	Dentro (Garganta)	450	516
20	Norte	425	501
	Sur	418	500
	Oriente	422	500
	Poniente	415	508
21	Obstrucción	-	-
	Sur	622	670
	Oriente	621	667
	Poniente	618	689

Fuente: SIMECELE

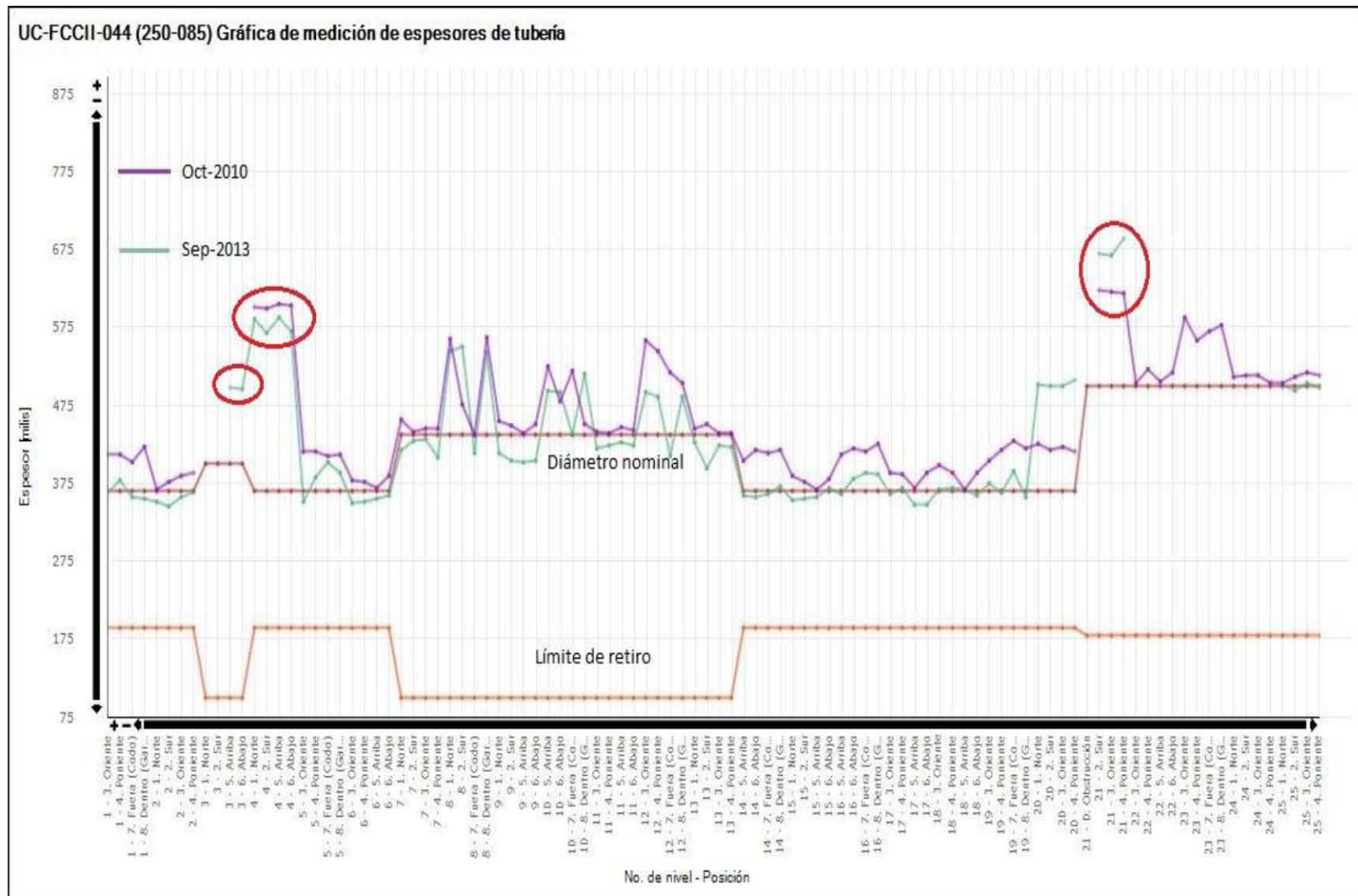


Figura 33. Gráfica de la medición de espesores en la tubería de la UC-FCCII-044. Fuente: SIMECELE

3.3 Análisis estadístico formal

El análisis estadístico formal, es el que se lleva a cabo matemáticamente, para obtener el desgaste máximo ajustado, vida útil estimada, fecha de próxima medición, y fecha de retiro probable, de una unidad de control.

La unidad de control UC-FCCII-044 cuenta con 25 niveles de medición, de los cuales, 9 tienen puntos con velocidades de desgaste crítica (figura 34). De acuerdo con las velocidades de desgaste se seleccionan aquellos puntos con velocidades de desgaste crítica y se realiza una comparación del análisis estadístico formal entre todos los niveles, los niveles con desgaste normal (0-15 mpa), y los niveles con desgaste crítico (\geq a 15 mpa).

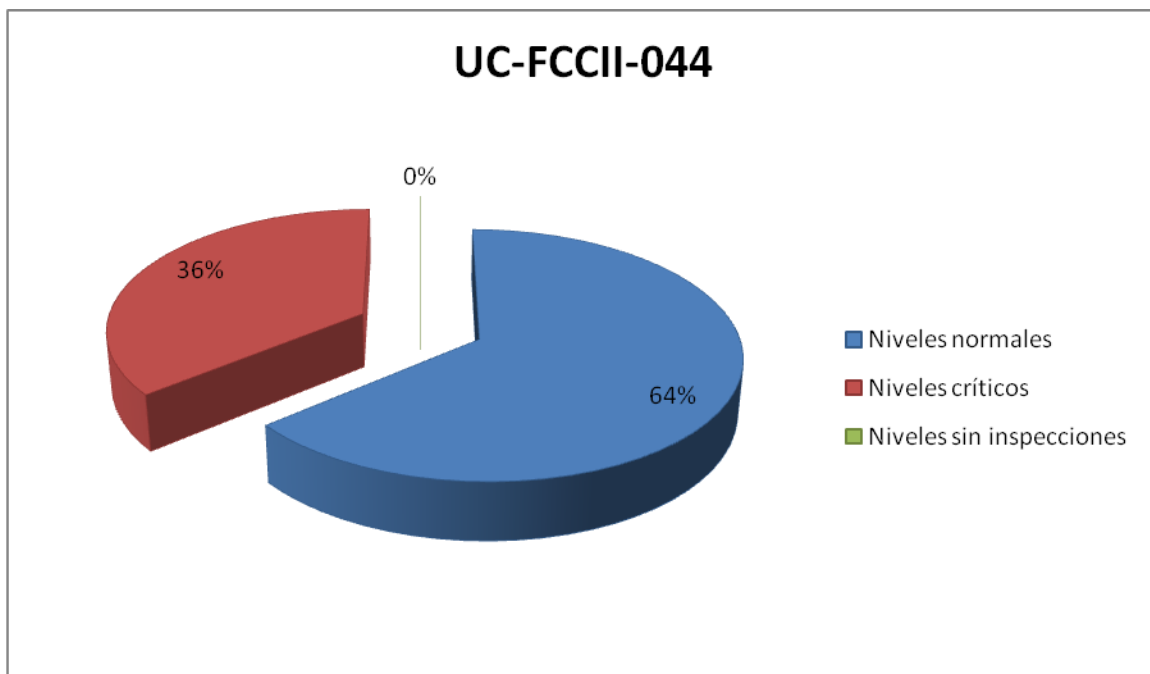


Figura 34. Inspecciones de la unidad UC-FCCII-044.

- I. Análisis de todos los niveles
 - Velocidad de desgaste por punto

Es el cálculo que mediante gradiente de dos valores obtenidos en dos fechas cuya diferencia sea de al menos de un año den la velocidad de desgaste en cada punto de medición, esto permite conocer las posiciones en que el desgaste sea mayor a 15 mpa, es decir, la posición de un nivel crítico. Para cada posición de los niveles de ocupará la siguiente ecuación.

$$d = \frac{ei - ef}{ff - fi}$$

Donde:

d= Velocidad de desgaste del punto [mpa].

ff= Fecha de la medición más reciente – ef [años].

fi= Fecha de medición anterior – ei [años].

ei= Espesor obtenido en la fecha fi [mils].

ef= Espesor obtenido en la fecha ff [mils].

Nota: [mils] Milésimas de pulgada.

Tabla 9. Ejemplo del formato de registro en el SIMECELE.

DESCRIPCIÓN		OCT-2010	SEP-2013	VELOCIDAD DE DESGASTE [mpa]
NIVEL	POSICIÓN	ESPESOR [mils]	ESPESOR [mils]	
1	Oriente	411	363	16.89
	Poniente	411	379	11.26
	Fuera (Codo)	403	357	16.19
	Dentro (Garganta)	422	356	23.22
2	Norte	366	351	5.28
	Sur	376	345	10.91
	Oriente	385	357	9.85
	Poniente	388	363	8.8

Fuente: SIMECELE

- Velocidad de desgaste promedio

Es el promedio aritmético de las velocidades de desgaste, en esta unidad se consideraron 74 velocidades de desgaste, descartando las velocidades que sobrepasan el 5% de engrosamiento, con estas velocidades se calcula el desgaste promedio.

$$D_{prom} = \frac{\sum_{n=1}^{n=\infty} d_n}{n}$$

$$D_{prom} = \frac{825.5 mpa}{74}$$

$$D_{prom} = 11.16 mpa$$

- Velocidad de desgaste máxima

$$D_{max} = D_{prom} + 1.28 \frac{D_{prom}}{\sqrt{n}}$$

$$D_{max} = 11.16 + 1.28 \frac{11.16}{\sqrt{74}}$$

$$D_{max} = 12.82 mpa$$

- Determinación de la Vida Útil Estimada (VUE) y Fecha de Próxima Medición (FPME)

$$VUE = \frac{ek - Lr}{D_{max}}$$

$$FPME = fk + \frac{VUE}{3}$$

Donde:

Lr= Límite de retiro [mils].

ek= Espesor más bajo encontrado en la última medición [mils].

fk= Fecha de última medición [años].

Nota: [mils] Milésimas de pulgada.

Tabla 10. Resumen del cálculo de vida útil estimada y fecha de próxima medición de todos los niveles de la unidad de control UC-FCCII-044.

DIÁMETRO NOMINAL	LÍMITE DE RETIRO	ESPESOR MÍNIMO (ek)	VIDA ÚTIL ESTIMADA (VUE)	FECHA DE PRÓXIMA MEDICIÓN DE ESPESORES
10"	190	345	12.1	Septiembre 2017
8"	180	493	24.4	Noviembre 2021
3"	100	394	22.9	Abril 2021
1½"	100	495	30.8	Enero 2024

II. Análisis de niveles normales

Se seleccionaron los niveles cuya velocidad de desgaste en todos sus puntos fuera ≤ 15 mpa y se realizó el análisis estadístico formal y los resultados fueron los siguientes:

- Velocidad de desgaste promedio

Con un total de 39 velocidades de desgaste consideradas, descartando las velocidades que sobrepasaban el 5% de engrosamiento, se calculó la velocidad de desgaste promedio:

$$D_{prom} = \frac{298.06mpa}{39}$$

$$D_{prom} = 7.64mpa$$

- Velocidad de desgaste máxima

$$D_{max} = 7.64 + 1.28 \frac{7.64}{\sqrt{39}}$$

$$D_{max} = 9.21 \text{ mpa}$$

Tabla 11. Resumen del cálculo de vida útil estimada y fecha de próxima medición de espesores de los niveles con velocidad de desgaste normal de la unidad de control UC-FCCII-044.

DIÁMETRO NOMINAL	LÍMITE DE RETIRO	ESPESOR MÍNIMO (ek)	VIDA ÚTIL ESTIMADA (VUE)	FECHA DE PRÓXIMA MEDICIÓN DE ESPESORES
10"	190	345	16.8	Abril 2019
8"	180	493	34.0	Septiembre 2025
3"	100	394	31.9	Abril 2024
1½"	100	495	42.9	Enero 2028

III. Análisis de niveles críticos

Se seleccionaron los niveles que en alguno de sus puntos tuvieran una velocidad de desgaste ≥ 15 mpa (Tabla 12) y se realizó el análisis estadístico formal y los resultados fueron los siguientes:

Tabla 12. Niveles críticos de la unidad de control UC-FCCII-044.

DESCRIPCIÓN		OCT-2010	SEP-2013	VELOCIDAD DE DESGASTE [mpa]
NIVEL	POSICIÓN	ESPESOR [mils]	ESPESOR [mils]	
1	Oriente	411	363	16.89
	Fuera (Codo)	403	357	16.19
	Dentro (Garganta)	422	356	23.22
5	Oriente	416	351	22.87
9	Sur	449	405	15.48
	Abajo	450	405	15.83

Fuente: SIMECELE

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

DESCRIPCIÓN	OCT-2010	SEP-2013	VELOCIDAD DE DESGASTE [mpa]	DESCRIPCIÓN
NIVEL	POSICIÓN	ESPESOR [mils]	ESPESOR [mils]	
10	Fuera (Codo)	520	438	28.85
12	Oriente	558	491	23.58
	Poniente	544	487	20.06
	Fuera (Codo)	517	409	38
13	Sur	450	394	19.71
14	Arriba	404	360	15.48
	Abajo	418	357	21.46
	Fuera (Codo)	413	362	17.95
	Dentro (Garganta)	418	370	16.89
16	Arriba	412	362	17.59
19	Poniente	418	364	19
	Dentro (Garganta)	419	357	21.82

Fuente: SIMECELE

- Velocidad de desgaste promedio

Con un total de tres velocidades de desgaste consideradas, descartando las velocidades que sobrepasaban el 5% de engrosamiento, se calculó la velocidad de desgaste promedio.

$$D_{prom} = \frac{527.44mpa}{35}$$

$$D_{prom} = 15.07mpa$$

- Velocidad de desgaste máxima

$$D_{max} = 15.07 + 1.28 \frac{15.07}{\sqrt{35}}$$

$$D_{max} = 18.33 \text{ mpa}$$

Tabla 13. Resumen del cálculo de vida útil estimada y fecha de próxima medición de espesores de los niveles con velocidad de desgaste crítica de la unidad de control UC-FCCII-044.

DIÁMETRO NOMINAL	LÍMITE DE RETIRO	ESPESOR MÍNIMO (ek)	VIDA ÚTIL ESTIMADA (VUE)	FECHA DE PRÓXIMA MEDICIÓN DE ESPESORES
10"	190	345	8.5	Mayo 2016
8"	180	493	17.1	Marzo 2019
3"	100	394	16.0	Noviembre 2019
1½"	100	495	21.5	Agosto 2020

Una vez analizando todos los niveles, los niveles normales y los niveles críticos se presenta un resumen en la tabla 14.

Tabla 14. Resumen del análisis estadístico formal de la unidad de control UC-FCCII-044.

	n (Posiciones)	D _{prom} [mpa]	D _{max} [mpa]	VUE [años]	FPME	FECHA DE RETIRO PROBABLE
TODOS LOS NIVELES	74	11.16	12..82	12.09	Octubre 2017	Noviembre 2025
NIVELES NORMALE	39	7.64	9.21	16.83	Mayo 2019	Agosto 2030
NIVELES CRÍTICOS	35	15.07	18.33	8.46	Agosto 2016	Marzo 2022

Fuente: SIMECELE

Como se puede observar, la FPME es en Junio del 2017, la fecha de los niveles normales en Octubre del 2018 y de los niveles críticos es en Junio del 2016, por lo tanto, la FPME es en Junio del 2016. La recomendación para esta unidad es la verificación de los espesores que presentan

una velocidad de desgaste crítico y si no existe algún error, se deberá corroborar que no exista otro mecanismo de daño que no pueda ser identificado mediante la medición de espesores. Como se indica en la guía DG-SASIPA-IT-0204, en su apartado para la estimación de la vida útil en su primer punto, estipula que cuando la vida útil resulta ser mayor de 1.5 años, y estos estén diseminados a lo largo de la unidad de control, se deben agrupar estos puntos como una unidad de control independiente con la terminación CR, lo cual sería aplicable en esta unidad de control.

UC-FCCII-053

La unidad de control UC-FCCII-053 pertenece al circuito “08. Gases del agotador” y presenta engrosamientos en el nivel 17 y un nivel sospechoso en el nivel 11 (figura 36), este último se debe a que este nivel se encuentra capturado como tubería, más sin embargo es una conexión especial para arreglos termopozo, en el SIMECELE no se encuentra registrado este tipo de arreglo por lo que sería un punto de mejora. En la tabla 15 se presenta el caso de engrosamiento de esta unidad de control.

Tabla 15. Niveles con engrosamiento de la unidad de control UC-FCCII-053.

NIVEL	POSICIÓN	OCTUBRE 2010	SEPTIEMBRE 2013
17	Norte	376	385
	Sur	383	387
	Fuera (Codo)	376	374
	Dentro (Garganta)	362	402

Fuente: SIMECELE

La unidad de control UC-FCCII-053 cuenta con 18 niveles de medición, de los cuales 10 tienen una velocidad de desgaste normal y 8 presentan velocidades de desgaste por arriba de 15mpa, esta unidad no presentó niveles sin medición.

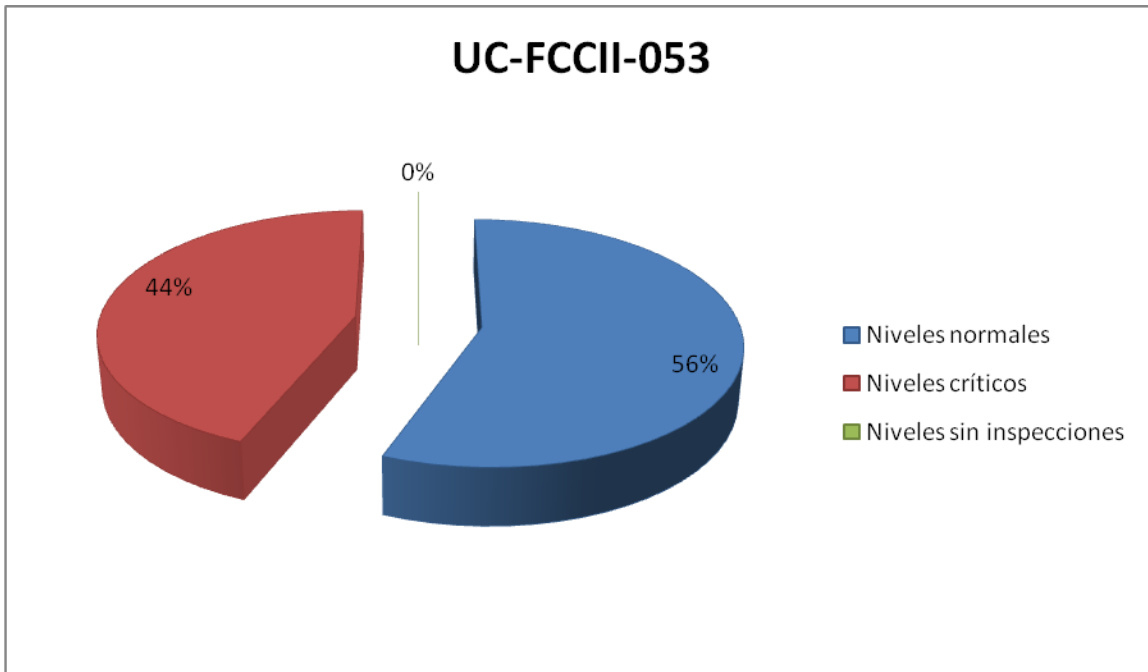


Figura 35. Inspecciones de la unidad UC-FCCII-053.

En la unidad solo se observa un nivel con puntos sospechosos, sin embargo tiene, un alto porcentaje de niveles críticos, 5 ubicados en los codos, 2 en tuberías y 1 en un injerto de 1½" de diámetro, estos niveles se deberán verificar para descartar el error humano.

En la tabla 16 se muestran las posiciones de los niveles que presentaron una velocidad de desgaste crítica.

Tabla 16. Niveles críticos de la unidad de control UC-FCCII-053

DESCRIPCIÓN		OCT-2010	SEP-2013	VELOCIDAD DE DESGASTE [mpa]
NIVEL	POSICIÓN	ESPESOR [mils]	ESPESOR [mils]	
1	Poniente	411	363	16.91
	Dentro (Garganta)	418	356	21.84
3	Poniente	410	355	19.37
5	Abajo	423	372	17.96
7	Sur	418	372	16.2
	Dentro (Garganta)	425	373	18.32
8	Poniente	393	349	15.5

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

DESCRIPCIÓN		OCT-2010	SEP-2013	VELOCIDAD DE DESGASTE [mpa]
NIVEL	POSICIÓN	ESPESOR [mils]	ESPESOR [mils]	
9	Norte	411	357	19.02
11	Oriente	690	609	28.53
	Abajo	658	600	20.43
18	Sur	428	374	19.02

Fuente: SIMECELE

En la tabla 17 se presenta un resumen de los datos obtenidos en el análisis estadístico formal.

Tabla 17. Resumen del análisis estadístico formal de la unidad de control UC-FCCII-053.

	n (Posiciones)	D _{prom} [mpa]	D _{max} [mpa]	VUE [años]	FPME	FECHA DE RETIRO PROBABLE
TODOS LOS NIVELES	71	9.07	10.45	10.15	Febrero 2017	Noviembre 2023
NIVELES NORMALES	39	5.45	6.57	14.3	Julio 2018	Enero 2028
NIVELES CRÍTICOS	32	13.47	16.52	6.42	Agosto 2015	Junio 2019

Fuente: SIMECELE

UC-FCCII-053 (250-096) Gráfica de medición de espesores de tubería

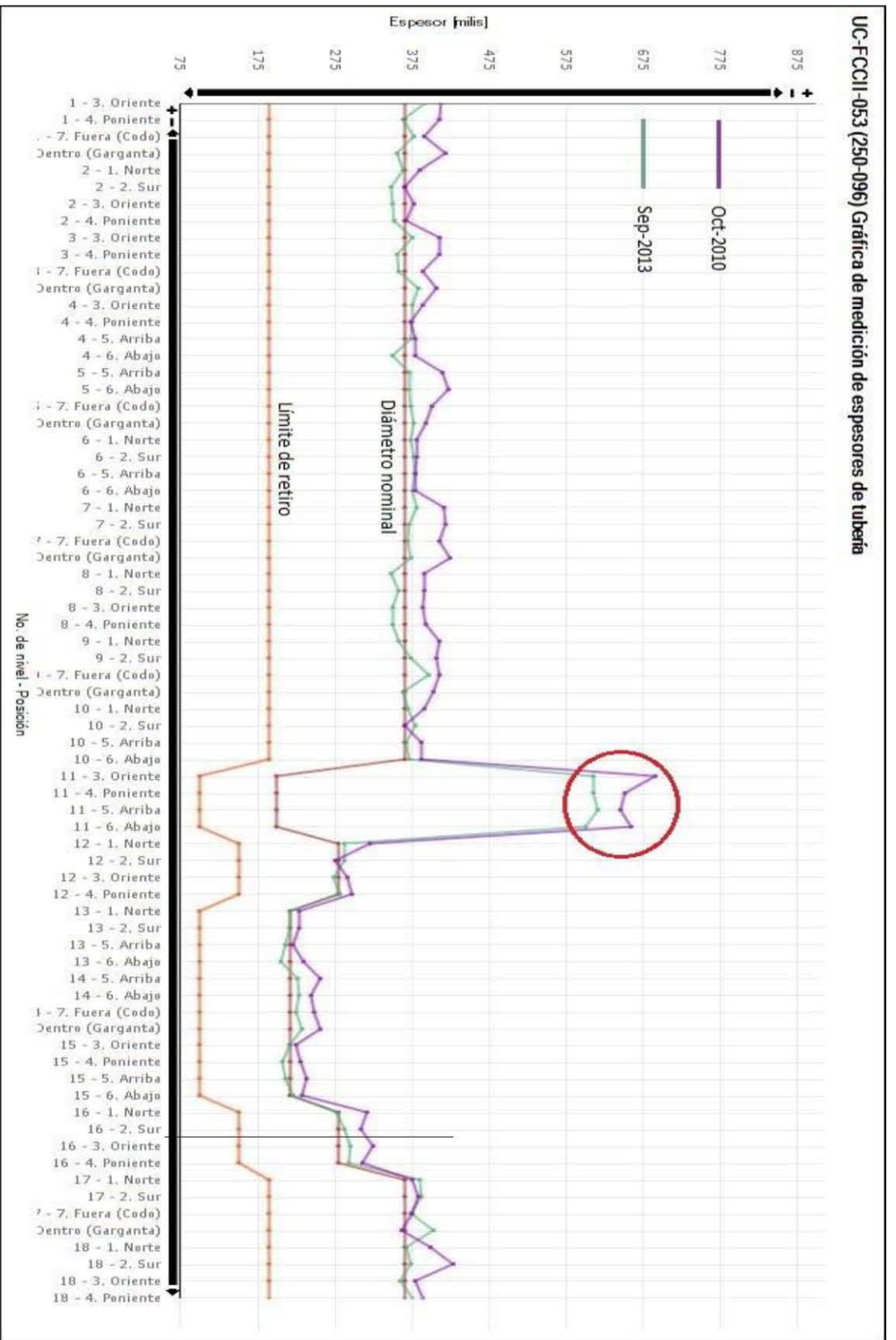


Figura 36. Gráfica de la medición de espesores en la tubería de la UC-FCCII-053. Fuente: SIMCELE

UC-FCCII-071

La unidad de control UC-FCCII-071 pertenece al circuito “13. Gasolina FCC” y presenta 16 casos de engrosamientos en los niveles 8, 11, 21, 22, 25, 27, 28, 31, 32, 34, 35, 36, 37, 39, 40 y 42, se observó que en 6 de los 18 codos se presentó engrosamiento, en las 2 tee’s que se tienen en la unidad y 10 en la tubería, se observó un nivel sospechoso en el nivel 25 (figura 38) correspondiente a una tee en la tabla 18 se presentan los niveles en que estos se presentaron.

Tabla 18. Niveles con engrosamiento de la unidad de control UC-FCCII-071.

NIVEL	POSICIÓN	AGOSTO 2010	SEPTIEMBRE 2013
8	Norte	281	282
	Sur	290	273
	Arriba	280	266
	Abajo	286	320
11	Norte	295	290
	Sur	293	279
	Oriente	286	294
	Poniente	280	305
21	Norte	294	282
	Sur	293	277
	Arriba	292	298
	Abajo	282	300
22	Norte	276	283
	Sur	286	301
	Arriba	282	280
	Abajo	295	273
25	Obstrucción	-	-
	Sur	327	373
	Oriente	320	356
	Poniente	333	361

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

NIVEL	POSICIÓN	AGOSTO 2010	SEPTIEMBRE 2013
27	Norte	316	329
	Sur	319	325
	Fuera (Codo)	300	300
	Dentro (Garganta)	317	347
28	Norte	284	284
	Sur	283	301
	Arriba	281	285
	Abajo	278	279
31	Arriba	311	-
	Abajo	308	-
	Fuera (Codo)	305	305
	Dentro (Garganta)	330	318
32	Arriba	307	-
	Abajo	314	-
	Fuera (Codo)	301	309
	Dentro (Garganta)	324	313
34	Oriente	301	301
	Poniente	292	297
	Arriba	288	282
	Abajo	281	303
35	Oriente	315	348
	Poniente	313	339
	Fuera (Codo)	323	295
	Dentro (Garganta)	324	321
36	Norte	280	290
	Sur	290	281
	Oriente	282	299
	Poniente	275	282

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

NIVEL	POSICIÓN	AGOSTO 2010	SEPTIEMBRE 2013
37	Norte	313	339
	Sur	308	294
	Fuera (Codo)	310	292
	Dentro (Garganta)	312	313
39	Norte	324	326
	Sur	328	303
	Fuera (Codo)	331	283
	Dentro (Garganta)	320	341
40	Norte	280	286
	Sur	292	288
	Oriente	294	304
	Poniente	276	294
42	Norte	280	352
	Obstrucción	-	-
	Oriente	285	318
	Poniente	287	318

Fuente: SIMECELE

La unidad UC-FCCII-071 cuenta con 47 niveles de los cuales 41 tienen una velocidad de desgaste normal, mientras que 6 presentan una velocidad ≥ 15 mpa en alguna de sus posiciones, la unidad cuenta con un 100% de inspecciones como se muestra en la figura 37.

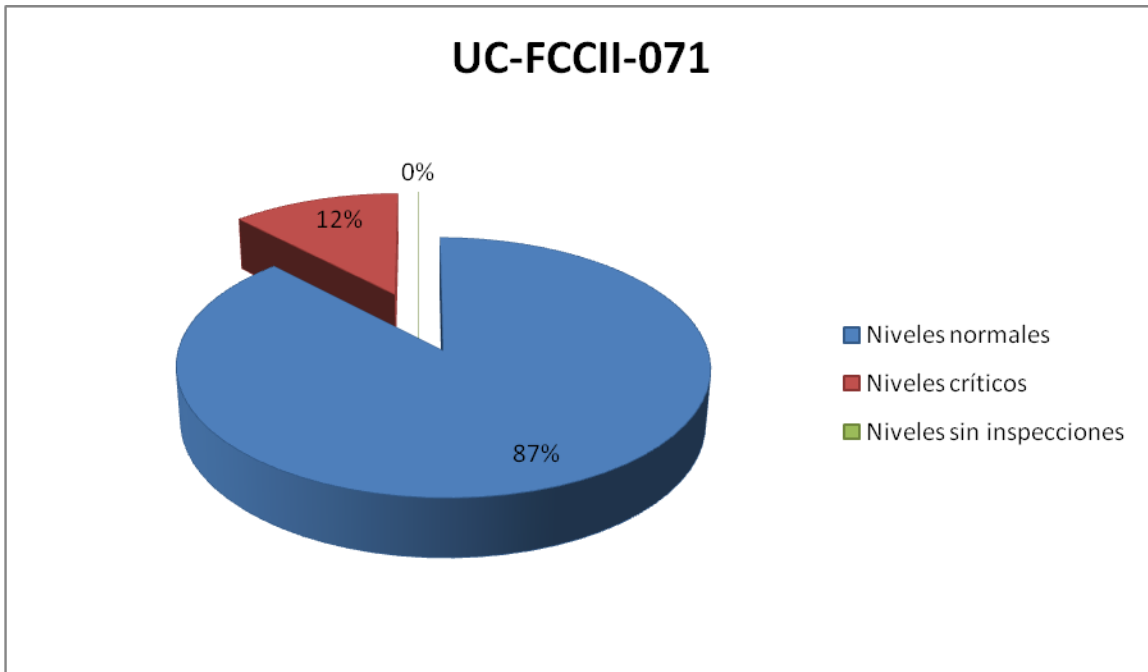


Figura 37. Inspecciones de la unidad UC-FCCII-071

En la tabla 19 se muestran las velocidades de desgaste críticas correspondientes a cada posición. Cabe destacar que en 4 de los 6 niveles críticos corresponden a codos y los 2 restantes se localizan en reducciones.

Tabla 19. Niveles críticos en la unidad de control UC-FCCII-071.

DESCRIPCIÓN		OCT-2010	SEP-2013	VELOCIDAD DE DESGASTE [mpa]
NIVEL	POSICIÓN	ESPESOR [mils]	ESPESOR [mils]	
2	Oriente	318	251	21.89
	Poniente	314	268	15.03
14	Norte	287	241	15.03
	Oriente	288	202	28.1
	Poniente	274	226	15.68
16	Fuera (Codo)	329	262	21.89
20	Fuera (Codo)	332	285	15.35
39	Fuera (Codo)	331	283	15.68
47	Fuera (Codo)	290	231	19.28

Fuente: SIMECELE

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

En la figura 38, en donde se grafican todos los espesores correspondientes a la unidad de control UC-FCCII-071 se puede observar que los espesores registrados no tienen una uniformidad con respecto a la velocidad de desgaste, por lo que es necesario que se verifique nuevamente la medición de espesores en campo y así poder descartar el error humano, además de esta verificación sería conveniente la revisión de la tubería a fin de descartar la posible existencia de otros mecanismos de daño que no pueden ser identificados mediante la medición de espesores a fin de tener una mejor tendencia de desgaste homogéneo en esta unidad de control.

Una posibilidad sería que el tipo de material no sea el sugerido para esta unidad de control o que este no cumpliera con los estándares de fabricación, por lo que se tendría que realizar una prueba para la verificación del tipo de material, aún así, se deberá analizar el comportamiento de los puntos que resultaron ser críticos y se sugeriría analizar, al mismo tiempo, aquellos que resultaron con engrosamientos, así como revisar la técnica de inspección de codos injertos, reducciones y tee's ya que en la mayoría de los casos se ha observado que son los que presentan el mayor número de puntos críticos y engrosamientos.

En la tabla 20 se presenta un resumen de los datos obtenidos en el análisis estadístico formal.

Tabla 20. Resumen del análisis estadístico formal de la unidad de control UC-FCCII-071.

	n (Posiciones)	D_{prom} [mpa]	D_{max} [mpa]	VUE [años]	FPME	FECHA DE RETIRO PROBABLE
TODOS LOS NIVELS	163	4.00	4.40	18.65	Diciembre 2019	Mayo 2032
NIVELES NORMALE	140	3.00	3.33	24.66	Diciembre 2021	Mayo 2038
NIVELES CRÍTICOS	23	10.60	12.74	6.44	Noviembre 2015	Marzo 2020

Fuente: SIMECELE

En la tabla 20 se muestra la próxima fecha de inspección para cada tipo de nivel, cabe recordar que el SIMECELE solo una herramienta por lo que siempre es necesario analizar la información generada en busca de datos que no concuerden con lo esperado.

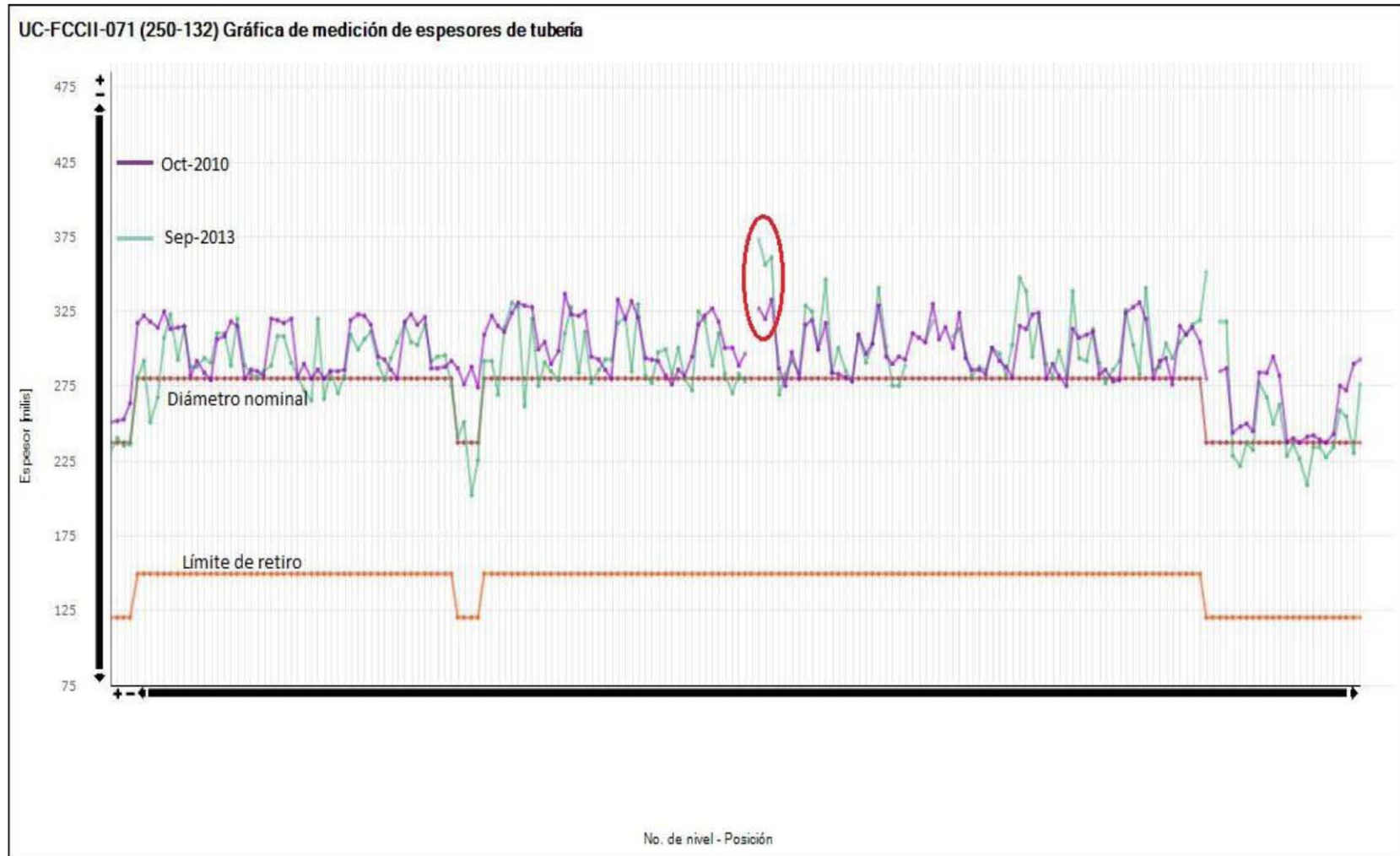


Figura 38. Gráfica de la medición de espesores en la tubería de la UC-FCCII-071. Fuente: SIMECELE

UC-FCCII-082

La unidad de control UC-FCCII-082 pertenece al circuito “15. Vapores del domo de 101-V” y presentaron 38 casos de engrosamiento en los niveles 6, 13, 26, 27, 33, 51, 61, 64, 65, 78, 88, 95, 101, 102, 103, 105, 124, 137, 138, 139, 143, 161, 163, 165, 172, 174, 175, 176, 196, 209, 210, 231, 244, 245, 280, 281, 283 y 287. En la tabla D-1 del anexo D se muestran los niveles y las posiciones correspondientes a estos engrosamientos; además se observaron 35 niveles sospechosos (figura 40), de los cuales 11 son de 1½" de diámetro y pertenecen a arreglos especiales, por lo que tienen las mismas características que el resto de la tubería, (estos están ubicados en los niveles 33, 71, 108, 144, 181, 216, 251, 286, 299, 302 y 305), 10 en las tee's, de las cuales, 8 presentan engrosamientos y 14 de los 20 accesorios de tipo cap también se presentaron con engrosamiento en todas sus posiciones, estos últimos fueron capturados como nivel de tubería, sin embargo, no tienen las mismas características que el resto de la misma, ya que en la mayoría de estos existen engrosamientos; sería conveniente revisar la técnica de inspección haya sido correctamente empleada e incluirlos como punto de mejora al SIMECELE.

Cabe señalar que en el SIMECELE se tienen registrados 34 niveles del tipo *tee/ injerto* sin embargo solo 10 corresponden a una tee, por lo que el espesor nominal de un injerto y una tee es diferente; sería conveniente incluir estos niveles como una tubería con obstrucción, de esta manera se incluirían estos niveles con las características de la tubería.

La unidad UC-FCCII-082 cuenta con 312 niveles de medición, de los cuales 160 presentan una velocidad de desgaste ≥ 15 mpa y 152 con una velocidad de desgaste ≤ 15 mpa y todos los niveles tienen por lo menos una medición (figura 39).

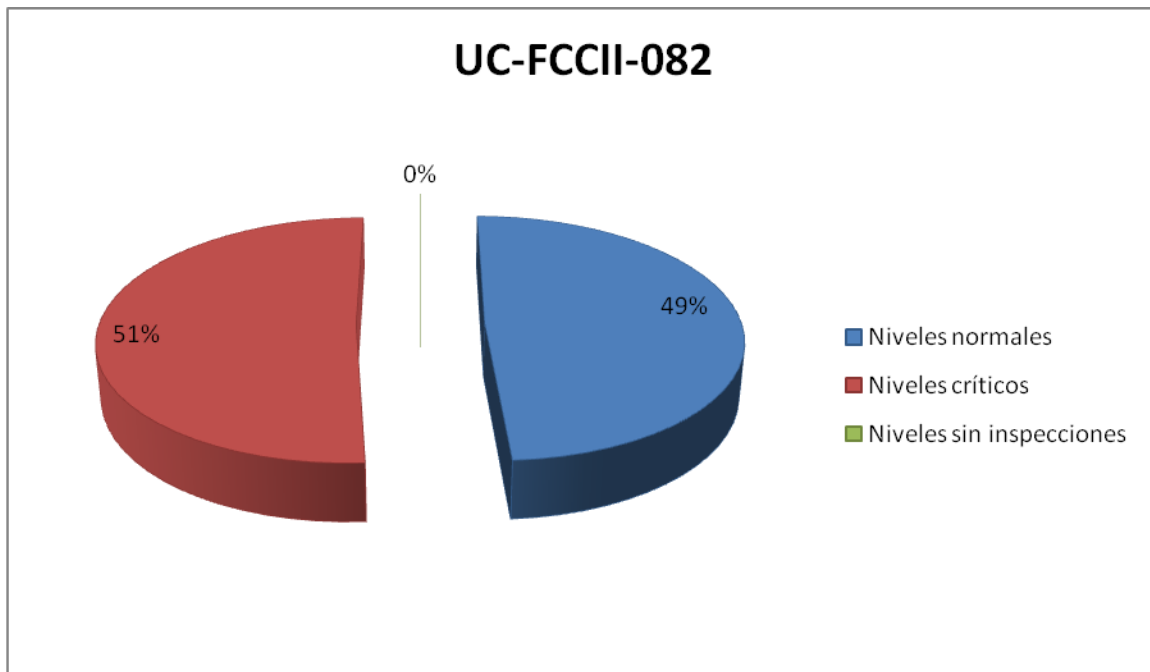


Figura 39. Inspecciones de la unidad UC-FCCII-082.

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

Como se puede observar, existe una gran cantidad de niveles críticos a lo largo de toda la unidad de control, también se presentaron casos en donde en un nivel se tiene engrosamiento en alguna posición y velocidad de desgaste crítica en otra, por ello es recomendable verificar todos los casos en donde se encontraron velocidades de desgaste crítico y todos los niveles en los que se encontraron engrosamientos, ya que en la mayoría de los casos, se encontraron en todas las posiciones de medición de los niveles.

En esta unidad se presentaron niveles críticos en 82 de los 107 codos, 67 de los 140 de tubería, 9 de los 11 arreglos especiales para la instrumentación y 1 de los 20 accesorios tipo cap.

En la tabla D-2 del anexo D se muestran los niveles y las velocidades de desgaste correspondientes a cada posición.

En la tabla 21 se presenta el resumen del análisis estadístico formal de la unidad de control UC-FCCII-082.

Tabla 21. Resumen del análisis estadístico formal de la unidad de control UC-FCCII-082.

	n (Posiciones)	D_{prom} [mpa]	D_{max} [mpa]	VUE [años]	FPME	FECHA DE RETIRO PROBABLE
TODOS LOS NIVELES	1038	12.12	12.60	10.00	Febrero 2017	Octubre 2023
NIVELES NORMALE	402	5.73	6.09	20.68	Agosto 2020	Junio 2034
NIVELES CRÍTICOS	636	16.15	16.97	7.42	Marzo 2016	Marzo 2021

Fuente: SIMECELE

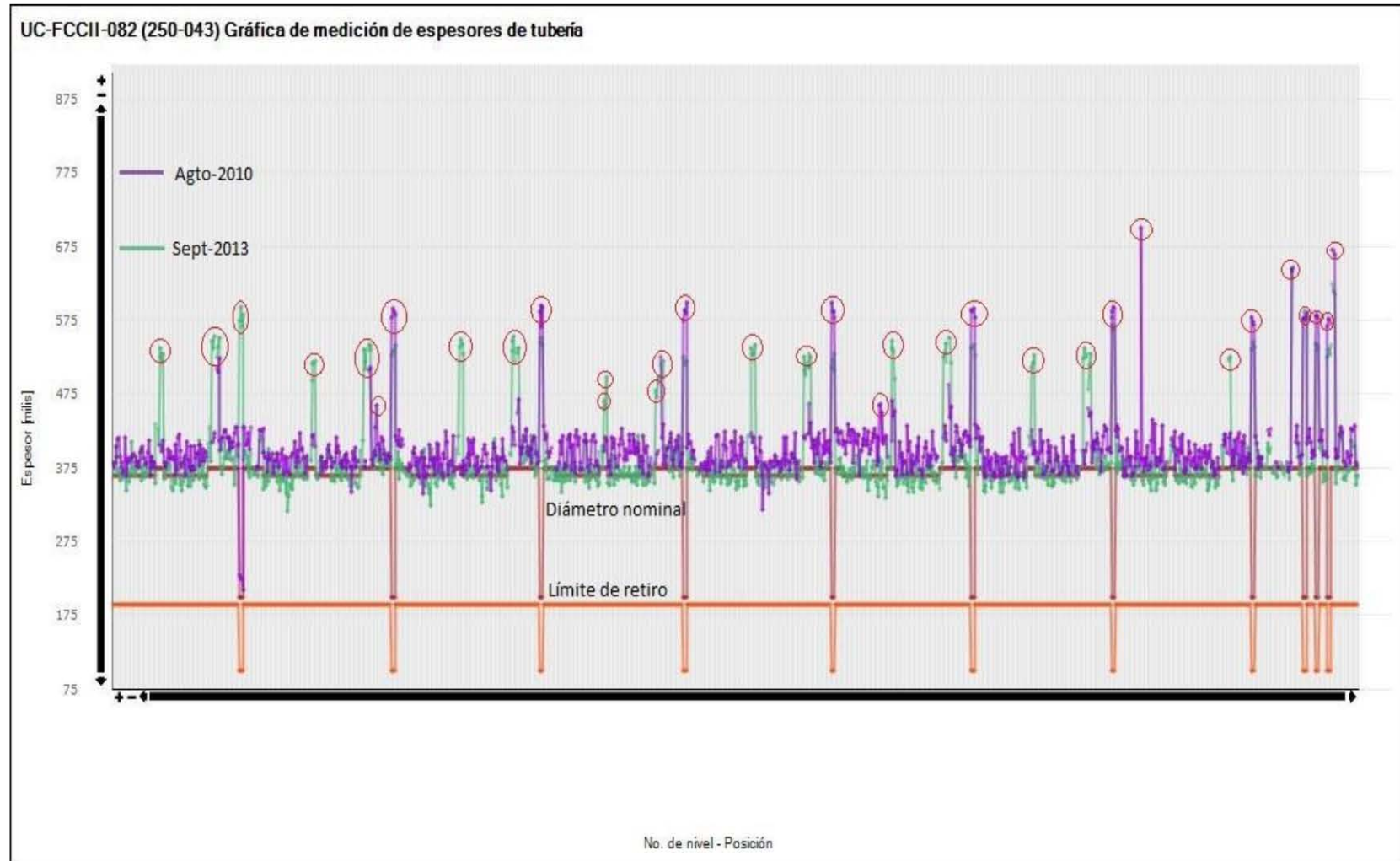


Figura 40. Gráfica de la medición de espesores en la tubería de la UC-FCCII-082. Fuente: SIMECELE

UC-FCCII-095

La unidad de control UC-FCCII-095 pertenece al circuito “16. Gas húmedo” y presenta 3 casos con engrosamientos en los niveles 2, 6 y 12, en los tres casos solamente aparece engrosamiento en una sola posición, como se muestra en la tabla 22, estos casos tendrán que ser verificados en campo y corregir la información en caso de ser necesario. También se observaron puntos sospechosos en el nivel 25 (figura 42), el primero como ya se había mencionado tendrá que ser verificado en campo y el otro es debido a que pertenece a un accesorio tipo cople y está registrado como tubería, sin embargo, no cumple con las mismas características que esta.

Tabla 22. Niveles con engrosamiento de la unidad de control UC-FCCII-095.

NIVEL	POSICIÓN	AGOSTO 2010	SEPTIEMBRE 2013
2	Norte	294	268
	Sur	282	297
	Oriente	297	273
	Poniente	292	290
6	Norte	262	231
	Sur	251	449
	Fuera (Codo)	256	237
	Dentro (Garganta)	253	213
12	Arriba	221	239
	Abajo	225	234
	Fuera (Codo)	226	235
	Dentro (Garganta)	223	223

Fuente: SIMECELE

La unidad de control UC-FCCII-095 contiene un total de 30 niveles de medición, de los cuales 23 tienen una velocidad de desgaste normal es decir ≤ 15 mpa y 7 niveles con velocidad de desgaste ≥ 15 mpa y no existen niveles sin mediciones como se muestra en la figura 41.

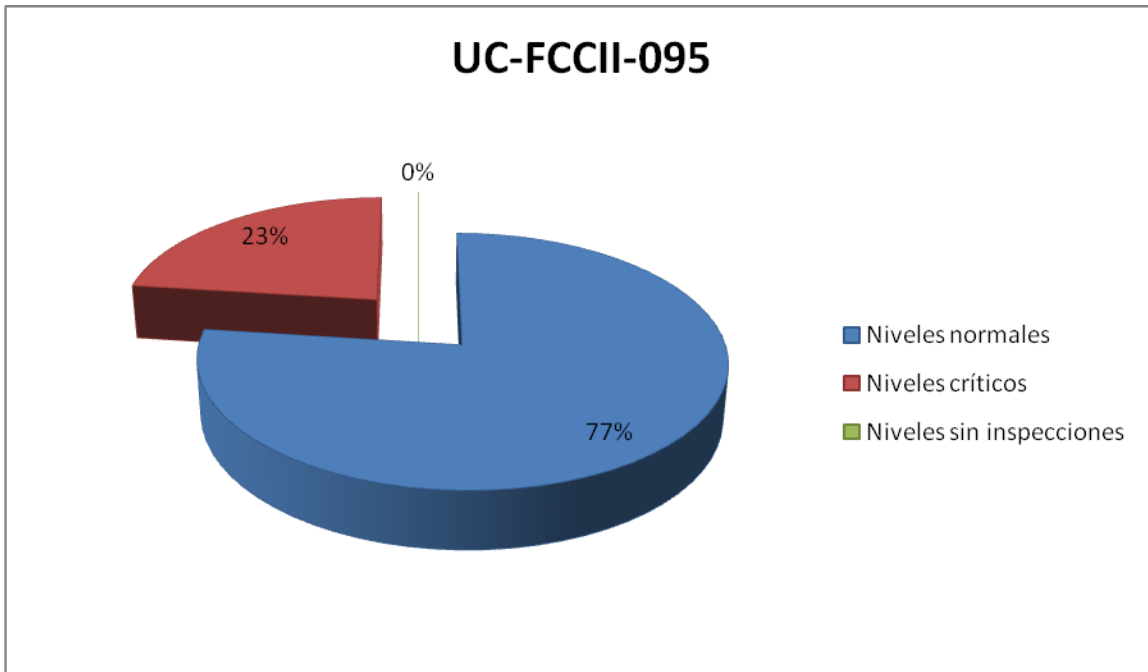


Figura 41. Inspecciones de la unidad UC-FCCII-095.

En la tabla 23 se muestran los niveles y las velocidades de desgaste críticas correspondientes a cada posición.

Tabla 23 Niveles críticos en la unidad de control UC-FCCII-095.

DESCRIPCIÓN		OCT-2010	SEP-2013	VELOCIDAD DE DESGASTE [mpa]
NIVEL	POSICIÓN	ESPESOR [mils]	ESPESOR [mils]	
8	Arriba	262	211	16.47
	Fuera (Codo)	266	210	18.08
10	Arriba	261	210	16.47
	Dentro (Garganta)	251	200	16.47
20	Oriente	343	262	26.16
	Poniente	338	260	25.19
	Abajo	350	230	38.75
21	Oriente	323	276	15.18
	Poniente	336	265	22.93

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

DESCRIPCIÓN		OCT-2010	SEP-2013	VELOCIDAD DE DESGASTE [mpa]
NIVEL	POSICIÓN	ESPESOR [mils]	ESPESOR [mils]	
27	Oriente	326	274	16.79
	Poniente	330	278	16.79
	Arriba	329	264	20.99
28	Poniente	291	203	28.42
	Arriba	281	232	15.82
	Abajo	273	225	15.5
30	Norte	286	209	24.87
	Sur	263	208	17.76
	Oriente	293	232	19.7
	Poniente	301	214	28.1

Fuente: SIMECELE

Al igual que en las unidades de control analizadas anteriormente la mayor cantidad de niveles críticos se observan en los accesorios como tee's, codos y reducciones. Esta unidad muestra una mayor uniformidad en sus espesores y no se observan mayores inconsistencias; sin embargo, se tendrían que revisar las posiciones en donde se encontraron velocidades críticas y engrosamientos a fin de descartar el error humano.

En la tabla 24 se presenta el resumen del análisis estadístico formal de la unidad de control UC-FCCII-095

Tabla 24. Resumen del análisis estadístico formal de la unidad UC-FCCII-095.

	n (Posiciones)	D _{prom} [mpa]	D _{max} [mpa]	VUE [años]	FPME	FECHA DE RETIRO PROBABLE
TODOS LOS NIVELES	108	8.56	9.61	8.32	Septiembre 2016	Abril 2022
NIVELES NORMALES	81	5.37	6.14	13.03	Abril 2018	Octubre 2026
NIVELES CRÍTICOS	27	18.11	22.57	3.54	Febrero 2015	Junio 2017

Fuente: SIMECELE

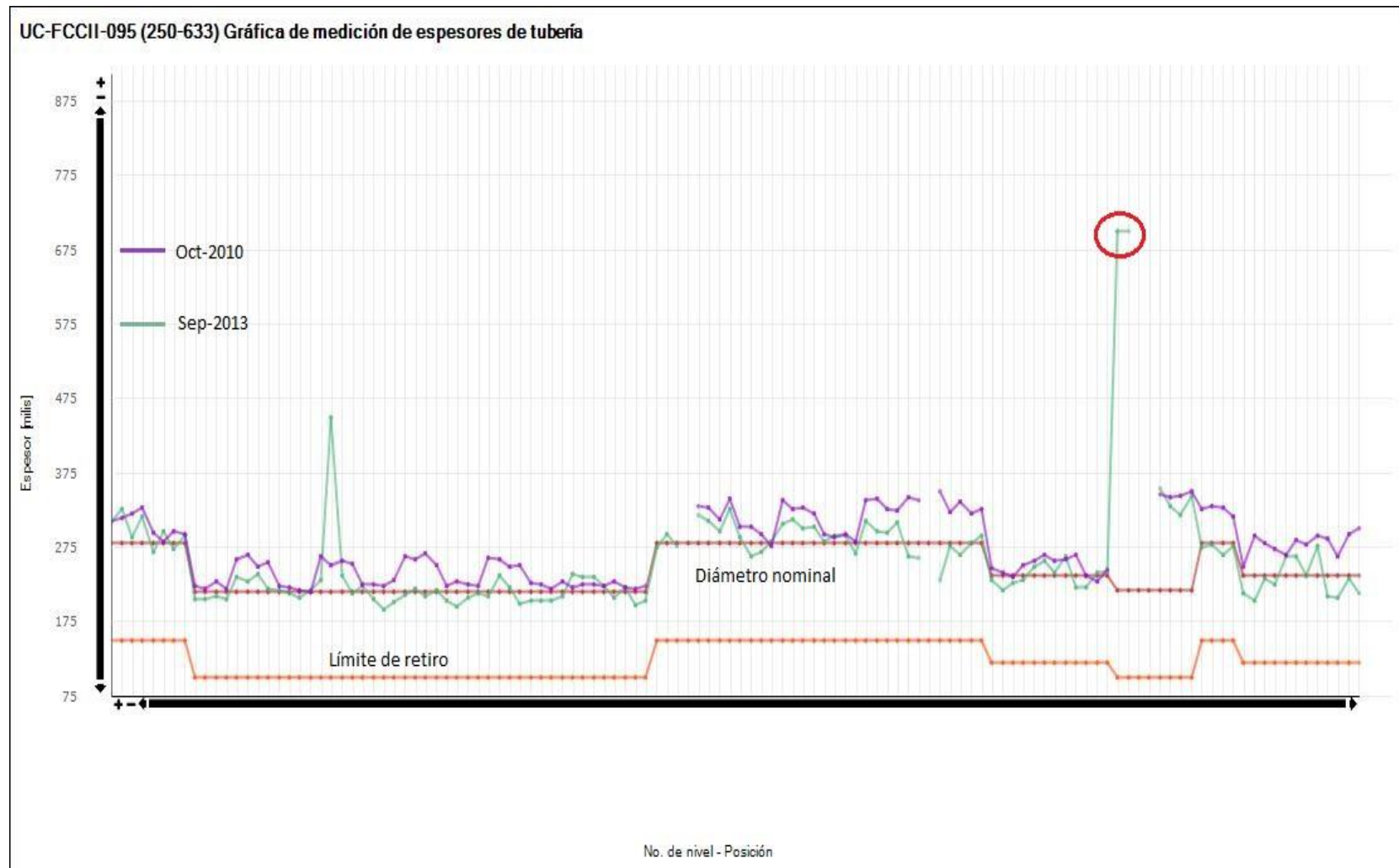


Figura 42. Gráfica de la medición de espesores en la tubería de la UC-FCCII-095. Fuente: SIMECELE

CAPÍTULO IV ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez realizado el análisis estadístico se detectaron los niveles sospechosos de las respectivas unidades de control; en esos niveles se observaron los puntos que en repetidas ocasiones originaban una duda razonable respecto a la veracidad de los datos obtenidos en el SIMECELE. Estos datos se corroboraron con la información recopilada para descartar el error por captura; también se realizó una recopilación de los niveles que presentaron desgaste crítico, aquellos en que se presentaba engrosamiento y los que se podrían incluir como mejoras al SIMECELE. En las tablas 25, 26 y 27 se muestran los datos obtenidos de este análisis.

Tabla 25. Niveles sospechosos en las unidades de control.

LOCALIZACIÓN	UC-FCCII-044	UC-FCCII-053	UC-FCCII-071	UC-FCCII-082	UC-FCCII-095
CODOS	0	0	0	0	0
TEE'S	1	N/A	2	10	0
REDUCCIONES	0	N/A	0	N/A	0
TUBERÍA	0	0	0	0	0
CAP	N/A	N/A	N/A	14	N/A
INJERTO DE 1½"	1	1	N/A	11	N/A
COPE	1	N/A	N/A	N/A	1
TOTAL	2	1	2	35	1

Tabla 26. Niveles con engrosamiento en las unidades de control.

LOCALIZACIÓN	UC-FCCII-044	UC-FCCII-053	UC-FCCII-071	UC-FCCII-082	UC-FCCII-095
CODOS	2	1	6	5	2
TEE'S	1	N/A	2	8	0
REDUCCIONES	1	N/A	0	N/A	0
TUBERÍA	0	0	8	10	1
CAP	N/A	N/A	N/A	14	N/A
INJERTO DE 1½"	0	0	N/A	1	N/A
TOTAL	4	1	16	38	3

Tabla 27. Niveles críticos en las unidades de control.

LOCALIZACIÓN	UC-FCCII-044	UC-FCCII-053	UC-FCCII-071	UC-FCCII-082	UC-FCCII-095
CODOS	7	5	4	82	2
TEE'S	0	N/A	0	1	1
REDUCCIONES	0	N/A	2	N/A	2
TUBERÍA	2	2	0	67	2
CAP	N/A	N/A	N/A	1	N/A
INJERTO DE 1½"	0	1	N/A	9	N/A
TOTAL	9	8	6	160	7

En la tabla 28 se muestra un resumen de los datos recopilados de las cinco unidades de control, en la que se observa el número de niveles de cada elemento, el número de niveles que presentaron un espesor sospechoso, niveles con velocidad de desgaste crítica y niveles con engrosamiento. Cabe mencionar que se presentaron niveles en que se tenía velocidad crítica y engrosamiento a la vez, así como niveles sospechosos con velocidad crítica o engrosamiento.

Tabla 28. Resumen de los niveles sospechosos, críticos y con engrosamiento de cada elemento en las unidades de control.

TIPO DE NIVEL	RESULTADOS			
	TOTALES	SOSPECHOSOS	CRÍTICOS	ENGROSADOS
CODOS	152	0	100	16
TEE'S	15	12	2	11
REDUCCIONES	8	0	4	1
TUBERÍA	198	0	73	19
CAP	20	14	1	14
INJERTO DE 1½"	14	14	10	1
COUPLE	2	2	0	0
TOTAL	408	41	190	62

En la figura 43 se observa en la columna de %*TOTALES* se muestra la cantidad porcentual en que aparece cada elemento de acuerdo con los datos recopilados en la tabla 28, el porcentaje de niveles sospechosos, así como el porcentaje de niveles críticos y con engrosamiento respecto a cada elemento.

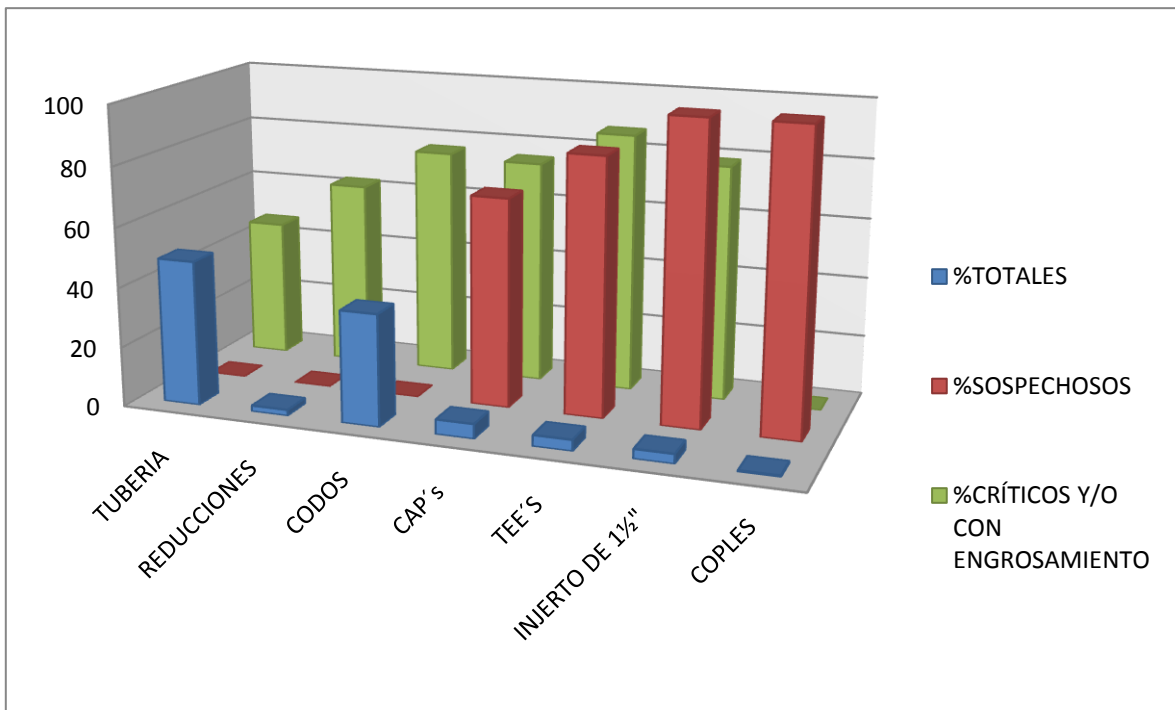


Figura 43. Resumen de porcentajes de los niveles sospechosos, críticos y con engrosamiento de cada elemento en las unidades de control.

Los niveles críticos así como los que presentan engrosamiento pueden ser resultado de diversas causas, de las que se deberá descartar el error humano y así poder tomar las medidas correspondientes. Aunque no se muestra una clara tendencia respecto a los niveles que presentan una mayor velocidad de desgaste, se puede observar que en las unidades en donde se encuentran accesorios como tee's, codos y reducciones, existen casos de engrosamiento o de niveles críticos en ellos; una mala medición generaría alguno de estos casos, por lo que se recomienda revisar que la técnica de inspección se esté empleando correctamente; en estos niveles presentan una diferencia mayor entre sus puntos de medición que los niveles de tubería, también puede ser generado por una mayor turbulencia en estos puntos debido al cambio de dirección o el cambio de presión generado por el cambio de diámetro en el caso de las reducciones.

A diferencia de los niveles que presentan engrosamiento y los niveles críticos, los niveles sospechosos no dependen de la velocidad de desgaste, estos niveles son detectados cuando se observa que los espesores en todas sus posiciones difieren notablemente con el espesor nominal, esta diferencia se puede observar mejor en la grafica de medición de espesores. En estos niveles se ubicaron tee's, accesorios tipo cap, coples e injertos de 1½" -que son arreglos termopozo-; los tres últimos, a diferencia del resto de los accesorios, no están incluidos en el sistema de captura de SIMECELE, por lo que sería conveniente incluirlos para tener una mejor descripción de los espesores de las unidades de control.

En el caso de las tee's, si están incluidas en los accesorios del SIMECELE; sin embargo, en las unidades de control UC-FCCII-071 y UC-FCCII-082 presentaron un espesor mayor al nominal en todos sus puntos de medición, lo que supondría una cédula diferente a la registrada; por ello es necesario la revisión de estos datos en campo a fin de descartar algún error en la medición. Además en la unidad de control UC-FCCII-082 se tienen registrados 34 niveles del tipo *tee/ injerto*; sin embargo, solo 10 corresponden a una tee; solamente se consideraron para el análisis de frecuencia las que eran tee's, considerando a los injertos como tubería, cabe mencionar que estos injertos no presentaron niveles sospechosos, engrosamientos o niveles críticos.

Para los accesorios tipo cap se tienen registrados 20 como niveles de tubería; sin embargo, no tienen el mismo espesor que ésta, además se registraron 14 de estos niveles con engrosamiento y 1 con velocidad de desgaste crítica; como ya se había mencionado, una mala inspección puede generar niveles con engrosamiento o críticos, por lo que es conveniente, además de incluir las características de estos accesorios al SIMECELE, verificar la técnica de inspección empleada en ellos.

También se observó que los coples se registran como un nivel de tubería; pero éstos, al igual que los coples unión, no corresponden con los espesores de la tubería, por lo que también se podrían incluir como un accesorio con las características propias de estos elementos.

CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Se identificaron 50 circuitos divididos en 564 unidades de control, de las cuales el 184 cuenta con dos inspecciones o más, 18 presentaron velocidades de desgaste crítica, se analizaron cinco de las unidades de control con velocidades de desgaste críticas y se identificaron cuatro unidades vencidas al 31 de diciembre del 2014.

Se realizó un análisis estadístico formal de las unidades UC-FCCII-044, UC-FCCII-053, UC-FCCII-071, UC-FCCII-082 y UC-FCCII-095, se identificaron los tipos de niveles críticos y con engrosamiento, estos niveles tendrán que ser verificados en campo para descartar errores en la medición, debido a que su velocidad de desgaste promedio es menor a 15 mpa; ninguna de las unidades analizadas se puede considerar crítica.

Las tuberías, reducciones y codos sólo presentaron niveles críticos o con engrosamiento; mientras que los cap, tee's e injerto de 1½", además de presentar niveles críticos o con engrosamiento, también se identificaron como niveles sospechosos en las gráfica de medición de espesores.

5.2 Recomendaciones

Se propone incluir en el SIMECELE las especificaciones adecuadas para injertos de 1½", cap's y coples, así como verificar las especificaciones de las tee's, debido a que el 86% de estas reportaron niveles sospechosos.

Es conveniente la revisión de la inspección, ya que una mala medición puede generar datos de engrosamiento o críticos. Cabe recordar que el SIMECELE es sólo una herramienta, por lo que los datos registrados en él tienen que ser sometidos a un análisis; para ello es de gran utilidad la gráfica de medición de espesores, en la cual se pueden observar las tendencias de las velocidades de desgaste, así como cualquier anomalía en los puntos de medición.

Se recomienda revisar que la técnica de inspección haya sido aplicada correctamente, ya que una inadecuada técnica puede generar datos críticos o de engrosamiento de manera apócrifa.

BIBLIOGRAFÍA

API-RP-750. "Management of Process Hazards", API Recommended Practice 750, First Edition, American Petroleum Institute, Washington, D.C., January 1990.

API Standard 1160, Managing System Integrity for Hazardous Liquid Pipelines, USA, API STANDARDS, Noviembre, 2001.

ARATA, A., (2009). Ingeniería y gestión de la confiabilidad operacional en plantas industriales [en línea]. RIL Editores disponible en <https://books.google.com.mx/books?id=4ahVVXPe-nUC&pg=PA196&dq=inspeccion+basada+en+tiempo&hl=es&sa=X&ei=TGG4VPPvOMWKyATVlIKAD&ved=0CCUQ6AEwAg#v=onepage&q=inspeccion%20basada%20en%20tiempo&f=false>

ASME B31.8S-2004, Managing System Integrity of Gas Pipelines, USA, ASME-American Society Mechanicals Engineers, 2004.

ASME B31.8-2007, Gas Transmission and Distribution Piping Systems, USA, ASME-American Society Mechanicals Engineers, 2007.

BANCO MUNDIAL. El Petróleo. Rentas del petróleo (% del PIB) disponible en <http://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.PETR.RT.ZS> Última consulta: 19/03/2015.

BS-PAS 55, Asset Management, UK, British Standard, 2004.

CASAL, J., Montiel, H., Planas, E., Vílchez, J. (1999). Análisis del riesgo en instalaciones industriales Editorial Universidad Politécnica de Cataluña (1ª. Ed.) Barcelona

CEASPA-MIS-005 (2011) MANUAL DE IMPLEMENTACIÓN DEL SIMECELE (Sistema Integral de Medición y Control de Espesores de Líneas y Equipos)

CRF-195.452, Pipeline Integrity Management in High Consequence Areas, USA, Code of Federal Regulations, mayo, 2011

DG-SASIPA-IT-0204 (2010). Guía para el registro, análisis y programación de la medición preventiva de espesores.

Dupont (2015) Seguridad en el Lugar de Trabajo y Consultoría de DuPont. Disponible en <http://www.dupont.mx/productos-y-servicios/consulting-services-process-technologies/seguridad-laboral-consultoria.html> Última consulta: 19/03/2015.

Excélsior (2013 1º de febrero) Los accidentes más severos de Pemex desde 1984. Excélsior. Disponible en <http://www.excelsior.com.mx/2013/02/01/882272#imagen-6> Última consulta: 19/03/2015.

GUHA-Sapir, D., Below, R., Hoyois, Ph. - EM-DAT (2015): Base de Datos de Desastres Internacional. Disponible en <http://www.emdat.be/> Universidad Católica de Louvain, Bruselas, Bélgica.

INEGI (2015). El petróleo. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes. Disponible en: <http://cuentame.inegi.org.mx/economia/petroleo/default.aspx?tema=S>. Última consulta: 19/03/2015.

KRAUS, R (2011). Elaboración de un programa de gestión de seguridad de procesos, Enciclopedia de salud y seguridad de en trabajo, Tomo 3, Capítulo 77.3. Disponible en <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo3/77.pdf>

MARTÍNEZ-Frías, Jorge Enrique; Sánchez-Pineda, Francisco; Gutiérrez-López, Juan Carlos. (2012). Sistema de gestión de administración en integridad mecánica y confiabilidad operativa para plataformas marinas fijas. Científica, Enero-Marzo, 33-45. Disponible en <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61424633004>

NOM-028-STPS (2012). Sistema para la administración del trabajo-Seguridad en los procesos y equipos críticos que manejen sustancias químicas peligrosas. Norma Oficial Mexicana. México pp. 3. Disponible en: <http://www.stps.gob.mx/bp/secciones/dgsst/normatividad/normas/Nom-028.pdf>. Última consulta: 19/03/2015.

NRF-279-PEMEX (2012). Medidor de espesor ultrasónico. Comité de normalización de petróleos mexicanos y organismos subsidiarios. Disponible en <http://www.pemex.com/proveedores-y-suministros/normas-referencia/Normas%20vigentes/NRF-279-PEMEX-2012.pdf> Última consulta: 19/03/2015.

PEMEX-DG-GPASI-IT-0903 (1995) Procedimiento para efectuar la revisión de la tornillería de tuberías y equipos en las instalaciones en operación de Pemex refinación.

PEMEX- GPASI-IT-0209 (1994). Procedimiento para efectuar la inspección de tuberías de Proceso y servicios auxiliares en operación de las instalaciones de Pemex refinación.

PEMEX- GPEI-IT-0201. (1986) Procedimiento de revisión de niplería de plantas en operación

PEMEX- GPI-IT-4200 (1986) Procedimiento para el control de desgaste de niplería.

PEMEX (SD). Infraestructura de Plantas de Proceso, Sistema de Ductos y Terminales de Almacenamiento y Reparto. Petróleos Mexicanos. México. pp. 116 Disponible en: <http://www.ref.pemex.com/files/content/03transparencia/RC/REF05.pdf>. Última consulta: 19/03/2015.

SENER (SD). Refinación, Secretaría de Energía. México. Disponible en: http://www.sener.gob.mx/res/85/Refinacion_Web.pdf. Última consulta: 19/03/2015.

ANEXO A. MEMORIA DE CÁLCULO

- 1) Cálculo de la velocidad de desgaste por punto(d)

$$d = \frac{ei-ef}{ff-fi}.....(1)$$

Donde:

d= Velocidad de desgaste del punto [mpa].

ff= Fecha de la medición más reciente – ef [años].

fi= Fecha de medición anterior – ei [años].

ei= Espesor obtenido en la fecha fi [mils].

ef= Espesor obtenido en la fecha ff [mils].

Nota: [mils] Milésimas de pulgada.

- 2) Cálculo de la velocidad de desgaste promedio (Dprom)

$$D_{prom} = \frac{d_1+d_2+d_3+...+d_n}{n}.....(2)$$

- 3) Velocidad máxima ajustada (Dmax)

$$D_{max} = D_{prom} + 1.28 \frac{D_{prom}}{\sqrt{n}}.....(3)$$

$d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$ = Velocidades de desgaste correspondientes a cada punto de la línea o equipo considerado [mpa].

n = Número de valores de velocidades de desgaste que intervienen en el cálculo.

D_{prom} = Promedio aritmético de las velocidades de desgaste [mpa]

D_{max} = Velocidad de desgaste máxima ajustada estadísticamente [mpa]

Nota: [mpa] milésimas de pulgada por año

4) Vida útil estimada

$$VUE = \frac{ek - Lr}{D_{max}} \dots\dots\dots(4)$$

5) Fecha de próxima medición

$$FPME = fk + \frac{VUE}{3} \dots\dots\dots(5)$$

6) Fecha de retiro probable

$$FRP = fk + VUE \dots\dots\dots(6)$$

Donde:

Lr= Límite de retiro [mils].

ek= Espesor más bajo encontrado en la última medición [mils].

fk= Fecha de última medición [años].

Nota: [mils] Milésimas de pulgada.

ANEXO B. CENSO DE CIRCUITOS.

Tabla B- 1. Censo de circuitos

No.	CIRCUITO	DESCRIPCIÓN	SERVICIO
01	GASÓLEO CALIENTE	Carga de límite de batería al reactor.	Gasóleo
02	EFLUENTE DEL CONVERTIDOR	Del reactor a la fraccionadora principal 101-V.	Efluentes de reacción
03	GASÓLEO FRÍO	De límite de batería a unirse con la línea que entra al tambor de carga fresca 116-V.	Gasóleo
04	GASOLINA	Del fondo del tambor de reflujo 115-V al domo de la fraccionadora 101-V y al Absorbedor-agotador 103-V.	Gasolina
05	FONDOS DEL ABSORBEDOR	Del fondo del Absorbedor 103-V a la unión con la línea que entra al condensador de alta presión 110-E.	Gasolina
06	RECIRCULACIÓN SUPERIOR DEL ABSORBEDOR	Recirculación superior del Absorbedor del 103-V.	Gasolina
07	RECIRCULACIÓN INFERIOR DEL ABSORBEDOR	Recirculación inferior del Absorbedor del 103-V.	Gasolina
08	GASES DEL AGOTADOR	De la parte superior del agotador del 103-V a la unión con la línea que entra al condensador de alta presión 110-E.	Gasolina
09	RECIRCULACIÓN DEL AGOTADOR	Recirculación de la parte media del agotador del 103-V.	Gasolina
10	REHERVIDOR DEL AGOTADOR	Línea al rehervidor del absorbedor-agotador 103-V	Gasolina
11	FONDOS DEL AGOTADOR	Del fondo del absorbedor-agotador 103-V a la torre debutanizadora 105-V y línea de arranque a 111-P1/P2.	Gasolina
12	RECIRCULACIÓN DEL FONDO DE LA DEBUTANIZADORA	Recirculación del fondo de la debutanizadora 105-V.	Gasolina
13	GASOLINA FCC	Del fondo de la torre debutanizadora 105-V a almacenamiento y a la unión con la línea que viene del tambor de reflujo del domo de la fraccionadora 115-V y que entra a 103-V y a tratamiento de gasolina.	Gasolina FCC
14	GASOLINA TRATADA	Del separador de fase 140-V hacia gasolina tratada, gasolina fuera de especificación , gasolina FCC a almacenamiento y al separador de fase 147-V.	Gasolina tratada

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

No.	CIRCUITO	DESCRIPCIÓN	SERVICIO
15	VAPORES DEL DOMO DE 101-V	Del domo de la torre fraccionadora principal 101-V al tambor de reflujo 115-V.	Vapores de la fraccionadora
16	GAS HÚMEDO	Vapores del tambor de reflujo 115-V hacia compresor de gas húmedo 117-V y al tambor separador de alta presión 119-V.	Gas húmedo
17	ALIMENTACIÓN AL ABSORBEDOR Y AL AGOTADOR	Del tambor separador de alta presión 119-V al absorbedor-agotador 103-V.	Hidrocarburos
18	VAPORES DEL DOMO DE 103-V	Del domo del absorbedor-agotador 103-V hacia el absorbedor secundario 104-V.	Vapores del absorbedor
20	GAS SECO	Del absorbedor de H ₂ S 107-V a límite de batería.	Gas seco
21	AMINA RICA	Del fondo del absorbedor de H ₂ S 107-V hacia el regenerador de aminas 109-V.	Amina rica
22	AMINA POBRE	Del tanque de almacenamiento de aminas 126-V al absorbedor de H ₂ S del gas combustible 107-V y del gas LP; del domo del regenerador de aminas al tanque de almacenamiento 126-V; de la fosa 101-A a la línea que sale del fondo del tambor de reflujo 127-V.	Amina pobre
23	MEA	Del tanque de preparación de amina 157-V1 y tanque de suministro de amina 157-V2 hacia la descargas de las bombas 143-P1/P2.	Monoetanolamina
24	RECIRCULACIÓN DE NAFTA PESADA	De la fraccionadora principal a las bombas 117-P1/P2 y al riser del reactor.	Nafta
25	ACEITE ESPONJA POBRE	Descarga de las bombas 107-P1/P2 al absorbedor secundario 104-V.	Aceite
26	ACEITE ESPONJA RICO	Del fondo del absorbedor secundario 104-V, hacia la unión con la línea de salida de los aerofriadores 107-EA que va a la fraccionadora principal 101-V.	Aceite
27	PROPANO-BUTANO AMARGO	Del domo de la torre debutanizadora 105-V hacia el tambor de carga de la depropanizadora 121-V y al absorbedor de H ₂ S del gas LP 108-V.	Propano-butano amargo
28	GAS LP TRATADO	Del absorbedor de H ₂ S 108-V hacia separadores de fase y al tambor de carga a la despropanizadora.	Gas LP
29	CARGA A LA DEPROPANIZADORA	Del tambor de carga 121-V hacia la despropanizadora 106-V.	Propano-butano amargo

Fuente: SIMECELE

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

No.	CIRCUITO	DESCRIPCIÓN	SERVICIO
30	BUTANO-BUTILENO	Recirculación del fondo de la torre depropanizadora 106-V y a almacenamiento y a la planta de alquilación.	Butano-butileno
31	PROPANO	Del domo de la torre depropanizadora al splitter de C3.	Propano
32	PROPANO A ALMACENAMIENTO	Del splitter de C3 a almacenamiento y a recirculación de la 111-V.	Propano
33	RECIRCULACIÓN DEL DOMO DE 111-V	Recirculación del domo del splitter de C3.	Propileno
34	PROPILENO	Propileno grado químico del splitter de C3 a almacenamiento.	Propileno
35	AGUAS AMARGAS	Salida de aguas amargas al agotador 110-V.	Agua amarga
36	RECIRCULACIÓN INFERIOR DE 110-V	Recirculación inferior del agotador 110-V.	Agua amarga
37	AGUA DESFLEMADA	De la torre agotadora 110-V a límite de batería tratamiento de aguas residuales.	Agua desflemada
38	RECIRCULACIÓN SUPERIOR DEL 110-V	Recirculación superior del agotador 110-V.	Gas ácido
39	GAS ÁCIDO	Del domo del agotador 110-V hacia el tambor de desgasificación, a planta de azufre y al desfogue ácido.	Gas ácido
40	FONDOS DE LA FRACCIONADORA	Del fondo de la fraccionadora principal 101-V a recirculación y a almacenamiento.	Fondos de la fraccionadora
41	ACEITE CÍCLICO LIGERO	Del plato 12 de la torre fraccionadora principal 101-V hacia límite de batería para enviar a la planta U-24000 y a recirculación a la torre 101-V.	Aceite cíclico ligero
42	ACEITE CÍCLICO PESADO	Del plato 18 de la torre fraccionadora principal 101-V hacia unirse con la línea que entra a la succión de las bombas de carga fresca 101-P1/P2 y a recirculación a la torre 101-V.	Aceite cíclico pesado
43	SOLUCIÓN CÁUSTICA	Solución cáustica de límite de batería hacia los separadores de fase y al tanque 2021-TV.	Solución cáustica
44	DESFOGUE ÁCIDO	Salidas de las unidades de control al desfogue ácido de la planta.	Gases ácidos
45	ACEITE	De las botas de los tambores K.O. de desfogue de alta presión 136-V, desfogue de baja 138-V y desfogue ácido 139-V hacia los cabezales colectores de desfogue de alta, baja y ácido.	Aceite
46	DESFOGUE DE BAJA	Gases de desfogue de baja presión a tanques slop de la unidad de integración.	Gases

Fuente: SIMECELE

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

No.	CIRCUITO	DESCRIPCIÓN	SERVICIO
47	DESFOGUE DE ALTA	Gases de desfogue de alta presión a cabezal colector de la unidad de integración.	Gases
48	GAS COMBUSTIBLE	Cabezal de gas combustible a los calentadores.	Gas combustible
49	NITRÓGENO	Gases de desfogue de alta presión a cabezal colector de la unidad de integración.	Nitrógeno
50	FLUSHING	De las bombas de aceite de limpieza 167-P1 y 167-P2 a las bombas.	Aceite de limpieza

Fuente: SIMECELE

ANEXO C. RESUMEN GENERAL DE INSPECCIONES FCCII

Tabla C- 1. Resumen general de inspecciones FCCII

No.	CIRCUITO	SIN DATOS	CERO INSPECCIONES	UNA INSPECCIONES	DOS INSPECCIONES	TRES INSPECCIONES	CUATRO INSPECCIONES	TOTAL
01	GASÓLEO CALIENTE	15	0	0	0	0	0	15
02	EFLUENTE DEL CONVERTIDOR	1	0	0	0	0	0	1
03	GASÓLEO FRÍO	13	0	0	1	0	0	14
04	GASOLINA	0	0	0	0	12	1	13
05	FONDOS DEL ABSORBEDOR	0	0	0	3	0	0	3
06	RECIRCULACIÓN SUPERIOR DEL ABSORBEDOR	0	0	0	3	0	0	3
07	RECIRCULACIÓN INFERIOR DEL ABSORBEDOR	0	0	0	3	0	0	3
08	GASES DEL AGOTADOR	0	0	1	0	0	0	1
09	RECIRCULACIÓN DEL AGOTADOR	2	0	0	0	0	0	2
10	REHERVIDOR DEL AGOTADOR	2	0	0	0	0	0	2
11	FONDOS DEL AGOTADOR	2	0	0	0	0	0	2
12	RECIRCULACIÓN DEL FONDO DE LA DEBUTANIZADORA	2	0	0	0	0	0	2
13	GASOLINA FCC	4	0	3	2	1	0	10
14	GASOLINA TRATADA	0	0	3	5	1	0	9
15	VAPORES DEL DOMO DE 101-V	0	0	1	4	0	0	5
16	GAS HÚMEDO	3	0	5	7	2	1	18
17	ALIMENTACIÓN AL ABSORBEDOR Y AL AGOTADOR	0	0	0	0	7	0	7
18	VAPORES DEL DOMO DE 103-V	0	0	0	1	0	0	1
19	GAS COMBUSTIBLE AMARGO	1	0	4	2	0	0	7

Fuente: SIMECELE

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

No.	CIRCUITO	SIN DATOS	CERO INSPECCIONES	UNA INSPECCIONES	DOS INSPECCIONES	TRES INSPECCIONES	CUATRO INSPECCIONES	TOTAL
20	GAS SECO	0	0	3	1	0	0	4
21	AMINA RICA	0	0	2	3	0	0	
22	AMINA POBRE	6	2	8	13	0		29
23	MEA	0		5	0	1	1	7
24	RECIRCULACIÓN DE NAFTA PESADA	14	0	0	0	0	0	14
25	ACEITE ESPONJA POBRE	2	0	0	0	1	1	4
26	ACEITE ESPONJA RICO	1	0	0	2	1	0	4
27	PROPANO-BUTANO AMARGO	1	0	2	5	1	1	10
28	GAS LP TRATADO	0	0	3	1	2	0	6
29	CARGA A LA DEPROPANIZADORA	0	0	0	0	3	0	3
30	BUTANO-BUTILENO	3	0	1	0	0	0	4
31	PROPANO	0	0	0	6	3	0	9
32	PROPANO A ALMACENAMIENTO	4	0	0	0	1	0	5
33	RECIRCULACIÓN DEL DOMO DE 111-V	0	0	0	1	2	1	4
34	PROPILENO	0	0	1	2	0	0	3
35	AGUAS AMARGAS	3	0	10	6	1	0	20
36	RECIRCULACIÓN INFERIOR DE 110-V	2	0	0	0	0	0	2
37	AGUA DESFLEMADA	9	0	0	1	0	0	10
38	RECIRCULACIÓN SUPERIOR DEL 110-V	3	0	2	0	0	0	5
39	GAS ÁCIDO	6	0	0	3	0	0	9
40	FONDOS DE LA FRACCIONADORA	15	0	0	0	0	0	15
41	ACEITE CÍCLICO LIGERO	8	0	0	2	1	0	11

Fuente: SIMECELE

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

No.	CIRCUITO	SIN DATOS	CERO INSPECCIONES	UNA INSPECCIONES	DOS INSPECCIONES	TRES INSPECCIONES	CUATRO INSPECCIONES	TOTAL
42	ACEITE CÍCLICO PESADO	8	0	0	0	0	0	8
43	SOLUCIÓN CÁUSTICA	0	0	14	15	0	0	29
44	DESFOGUE ÁCIDO	3	0	20	3	0	0	26
45	ACEITE	0	0	1	4	0	0	5
46	DESFOGUE DE BAJA	2	9	20	12	0	0	43
47	DESFOGUE DE ALTA	1	62	2	24	0	0	89
48	GAS COMBUSTIBLE	0	25	25	0	0	0	50
49	NITRÓGENO	0	0	11	0	0	0	11
50	FLUSHING	0	2	0	0	0	0	2
TOTAL		136	100	147	135	40	6	564

Fuente: SIMECELE

ANEXO D. NIVELES CRÍTICOS Y CON ENGROSAMIENTO DE LA UNIDAD DE CONTROL UC-FCCII-082

Tabla D- 1. Engrosamientos de la unidad de control UC-FCCII-082.

NIVEL	POSICIÓN	AGOSTO 2010	SEPTIEMBRE 2013
6	Arriba	384	410
	Abajo	391	374
	Fuera (Codo)	393	364
	Dentro (Garganta)	390	381
13	Oriente	405	537
	Poniente	406	525
	Arriba	397	520
	Abajo	411	530
26	Oriente	410	546
	Poniente	410	536
	Arriba	421	552
	Abajo	416	548
27	Obstrucción	-	-
	Poniente	509	525
	Arriba	505	538
	Abajo	523	550
33	Norte	228	574
	Sur	226	593
	Oriente	224	566
	Poniente	210	582
51	Oriente	406	494
	Poniente	418	518
	Arriba	420	515
	Abajo	403	520

Fuente: SIMECELE

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

NIVEL	POSICIÓN	AGOSTO 2010	SEPTIEMBRE 2013
61	Norte	342	376
	Sur	396	375
	Fuera (Codo)	386	375
	Dentro (Garganta)	401	388
64	Oriente	377	535
	Poniente	376	520
	Arriba	384	509
	Abajo	382	535
65	Obstrucción	-	-
	Poniente	508	541
	Arriba	509	534
	Abajo	512	540
78	Oriente	383	364
	Poniente	387	354
	Arriba	395	375
	Abajo	340	377
88	Oriente	379	539
	Poniente	366	549
	Arriba	376	542
	Abajo	383	529
95	Oriente	377	347
	Poniente	376	349
	Arriba	369	362
	Abajo	344	362
101	Oriente	406	532
	Poniente	430	546
	Arriba	423	552
	Abajo	406	519

Fuente: SIMECELE

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

NIVEL	POSICIÓN	AGOSTO 2010	SEPTIEMBRE 2013
102	Obstrucción	-	-
	Poniente	449	536
	Arriba	450	531
	Abajo	468	537
103	Norte	380	404
	Sur	401	412
	Arriba	394	397
	Abajo	402	404
105	Norte	396	403
	Sur	391	392
	Oriente	402	398
	Poniente	382	417
124	Oriente	403	456
	Poniente	397	465
	Arriba	416	460
	Abajo	411	498
137	Oriente	380	479
	Poniente	394	471
	Arriba	397	497
	Abajo	397	490
138	Obstrucción	-	-
	Poniente	526	515
	Arriba	415	498
	Abajo	433	519

Fuente: SIMECELE

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

NIVEL	POSICIÓN	AGOSTO 2010	SEPTIEMBRE 2013
139	Norte	380	401
	Sur	392	397
	Arriba	379	403
	Abajo	399	389
161	Oriente	421	536
	Poniente	410	530
	Arriba	416	530
	Abajo	401	540
163	Oriente	416	375
	Poniente	398	382
	Fuera (Codo)	395	377
	Dentro (Garganta)	319	371
165	Arriba	373	379
	Abajo	341	364
	Fuera (Codo)	383	375
	Dentro (Garganta)	382	382
172	Norte	382	374
	Sur	360	384
	Arriba	380	372
	Abajo	383	356
174	Oriente	418	508
	Poniente	416	525
	Arriba	413	501
	Abajo	419	517
175	Obstrucción	-	-
	Poniente	461	529
	Arriba	422	512
	Abajo	435	525

Fuente: SIMECELE

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

NIVEL	POSICIÓN	AGOSTO 2010	SEPTIEMBRE 2013
176	Norte	402	416
	Sur	411	411
	Arriba	381	406
	Abajo	403	400
196	Oriente	411	547
	Poniente	465	536
	Arriba	446	532
	Abajo	452	496
209	Oriente	415	526
	Poniente	431	531
	Arriba	411	542
	Abajo	422	519
210	Obstrucción	-	-
	Poniente	488	550
	Arriba	444	550
	Abajo	457	517
231	Oriente	425	512
	Poniente	394	518
	Arriba	397	517
	Abajo	410	527
244	Oriente	397	524
	Poniente	380	536
	Arriba	397	525
	Abajo	407	530
245	Obstrucción	-	-
	Poniente	456	482
	Arriba	445	515
	Abajo	450	529

Fuente: SIMECELE

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

NIVEL	POSICIÓN	AGOSTO 2010	SEPTIEMBRE 2013
280	Obstrucción	-	-
	Poniente	394	523
	Arriba	416	521
	Abajo	421	526
281	Norte	378	371
	Sur	398	359
	Arriba	378	411
	Abajo	388	397
283	Norte	376	390
	Sur	382	385
	Oriente	409	376
	Poniente	368	390
287	Arriba	418	365
	Abajo	408	364
	Fuera (Codo)	388	380
	Dentro (Garganta)	375	397

Fuente: SIMECELE

Tabla D- 2. Puntos críticos en UC-FCCII-082.

DESCRIPCIÓN		OCT-2010	SEP-2013	VELOCIDAD DE DESGASTE [mpa]
NIVEL	POSICIÓN	ESPESOR [mils]	ESPESOR [mils]	
2	Fuera (Codo)	413	369	23.19
	Dentro (Garganta)	415	373	22.14
3	Oriente	389	358	16.34
4	Abajo	415	365	26.35
	Fuera (Codo)	387	345	22.14
6	Fuera (Codo)	393	364	15.28
8	Fuera (Codo)	402	359	22.66
10	Norte	396	364	16.87
	Sur	411	374	19.5
16	Oriente	385	349	18.97
	Poniente	389	345	23.19
17	Arriba	405	355	26.35
	Fuera (Codo)	415	375	21.08
	Dentro (Garganta)	419	388	16.34
18	Norte	397	358	20.56
	Arriba	377	345	16.87
19	Dentro (Garganta)	410	380	15.81
20	Oriente	385	350	18.45
	Abajo	404	369	18.45
22	Oriente	395	364	16.34
24	Sur	388	353	18.45
	Arriba	395	348	24.77
	Abajo	389	351	20.03
28	Arriba	416	367	25.83
	Abajo	416	377	20.56

Fuente: SIMECELE

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

DESCRIPCIÓN		OCT-2010	SEP-2013	VELOCIDAD DE DESGASTE [mpa]
NIVEL	POSICIÓN	ESPESOR [mils]	ESPESOR [mils]	
29	Norte	424	388	18.97
	Fuera (Codo)	425	387	20.03
30	Norte	416	387	15.28
31	Dentro (Garganta)	421	352	36.37
32	Poniente	429	392	19.5
34	Arriba	429	386	22.66
	Abajo	430	398	16.87
35	Norte	421	368	27.93
	Arriba	400	363	19.5
	Abajo	430	393	19.5
38	Abajo	427	395	16.87
39	Norte	395	346	25.83
	Oriente	388	350	20.03
40	Oriente	393	357	18.97
42	Fuera (Codo)	394	356	20.03
43	Norte	376	344	16.87
	Sur	394	361	17.39
44	Abajo	389	356	17.39
	Fuera (Codo)	370	341	15.28
45	Oriente	388	316	37.95
	Poniente	370	336	17.92
	Abajo	389	348	21.61
46	Oriente	393	360	17.39
	Poniente	393	346	24.77
47	Sur	398	369	15.28

Fuente: SIMECELE

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

DESCRIPCIÓN		OCT-2010	SEP-2013	VELOCIDAD DE DESGASTE [mpa]
NIVEL	POSICIÓN	ESPESOR [mils]	ESPESOR [mils]	
48	Norte	422	377	23.72
	Dentro	397	368	15.28
49	Arriba	390	361	15.28
57	Fuera (Codo)	404	371	17.39
62	Arriba	384	348	18.97
	Abajo	382	348	17.92
67	Norte	429	392	19.5
	Sur	460	398	32.68
68	Poniente	411	366	23.72
71	Norte	579	528	26.88
	Sur	591	533	30.57
	Oriente	586	532	28.46
	Poniente	582	540	22.14
72	Arriba	418	374	23.19
	Abajo	412	380	16.87
	Dentro (Garganta)	426	361	34.26
73	Arriba	413	380	17.39
	Abajo	406	370	18.97
76	Sur	396	360	18.97
	Oriente	401	360	21.61
	Poniente	394	359	18.45
78	Poniente	387	354	17.39
80	Sur	376	341	18.45
	Arriba	405	346	31.1
	Abajo	386	325	32.15

Fuente: SIMECELE

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

DESCRIPCIÓN		OCT-2010	SEP-2013	VELOCIDAD DE DESGASTE [mpa]
NIVEL	POSICIÓN	ESPESOR [mils]	ESPESOR [mils]	
82	Oriente	386	355	16.34
	Poniente	408	351	30.04
	Abajo	405	362	22.66
84	Norte	394	365	15.28
	Oriente	424	366	30.57
	Poniente	409	380	15.28
86	Sur	417	348	36.37
90	Poniente	414	365	25.83
	Dentro (Garganta)	409	369	21.08
91	Poniente	414	362	27.41
	Arriba	409	375	17.92
93	Arriba	377	329	25.3
	Abajo	383	336	24.77
94	Arriba	399	364	18.45
	Abajo	405	375	15.81
	Dentro (Garganta)	394	356	20.03
95	Oriente	377	347	15.81
98	Sur	387	353	17.92
	Fuera (Codo)	390	337	27.93
104	Norte	417	382	18.45
	Dentro (Garganta)	427	386	21.61
106	Dentro (Garganta)	416	364	27.41
108	Norte	587	545	22.14
	Sur	594	550	23.19
	Poniente	592	540	27.41

Fuente: SIMECELE

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

DESCRIPCIÓN		OCT-2010	SEP-2013	VELOCIDAD DE DESGASTE [mpa]
NIVEL	POSICIÓN	ESPESOR [mils]	ESPESOR [mils]	
109	Arriba	431	384	24.77
	Abajo	414	372	22.14
	Fuera (Codo)	417	370	24.77
110	Norte	395	360	18.45
	Arriba	396	360	18.97
113	Oriente	409	369	21.08
	Poniente	412	378	17.92
	Fuera (Codo)	394	342	27.41
	Dentro (Garganta)	417	373	23.19
115	Abajo	418	379	20.56
	Fuera (Codo)	402	358	23.19
	Dentro (Garganta)	420	376	23.19
116	Sur	406	365	21.61
117	Arriba	418	375	22.66
	Abajo	425	377	25.3
	Fuera (Codo)	406	375	16.34
	Dentro (Garganta)	415	377	20.03
119	Oriente	412	373	20.56
	Poniente	410	357	27.93
	Fuera (Codo)	419	366	27.93
121	Norte	411	371	21.08
	Sur	417	377	21.08
	Fuera (Codo)	419	377	22.14
	Dentro (Garganta)	410	362	25.3
126	Fuera (Codo)	408	352	29.52

Fuente: SIMECELE

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

DESCRIPCIÓN		OCT-2010	SEP-2013	VELOCIDAD DE DESGASTE [mpa]
NIVEL	POSICIÓN	ESPESOR [mils]	ESPESOR [mils]	
128	Arriba	406	373	17.39
	Abajo	414	373	21.61
	Fuera (Codo)	427	367	31.62
	Dentro (Garganta)	408	364	23.19
129	Arriba	399	365	17.92
130	Abajo	412	375	19.5
	Fuera (Codo)	420	376	23.19
	Dentro (Garganta)	396	362	17.92
131	Oriente	396	357	20.56
	Poniente	420	367	27.93
	Arriba	395	358	19.5
	Abajo	412	357	28.99
132	Poniente	402	353	25.83
	Fuera (Codo)	398	369	15.28
134	Fuera (Codo)	396	353	22.66
	Dentro (Garganta)	404	365	20.56
140	Fuera (Codo)	410	371	20.56
142	Dentro (Garganta)	417	377	21.08
144	Norte	574	525	25.83
	Sur	588	515	38.48
	Oriente	584	520	33.73
	Poniente	598	520	41.11
145	Arriba	402	370	16.87
	Abajo	420	382	20.03
	Dentro (Garganta)	410	381	15.28

Fuente: SIMECELE

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

DESCRIPCIÓN		OCT-2010	SEP-2013	VELOCIDAD DE DESGASTE [mpa]
NIVEL	POSICIÓN	ESPESOR [mils]	ESPESOR [mils]	
152	Arriba	417	386	16.34
	Abajo	419	365	28.46
	Fuera (Codo)	420	366	28.46
	Dentro (Garganta)	417	379	20.03
153	Sur	383	354	15.28
154	Arriba	405	374	16.34
	Abajo	424	381	22.66
	Fuera (Codo)	401	363	20.03
156	Poniente	409	377	16.87
	Dentro (Garganta)	424	370	28.46
157	Norte	392	356	18.97
	Sur	390	346	23.19
158	Norte	406	364	22.14
	Fuera (Codo)	415	371	23.19
	Dentro (Garganta)	410	370	21.08
159	Arriba	382	353	15.28
162	Poniente	384	352	16.87
163	Oriente	416	375	21.61
164	Oriente	380	348	16.87
	Arriba	377	348	15.28
166	Arriba	384	353	16.34
	Abajo	392	362	15.81
169	Oriente	416	381	18.45
	Dentro (Garganta)	416	364	27.41
171	Dentro (Garganta)	422	385	19.5

Fuente: SIMECELE

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

DESCRIPCIÓN		OCT-2010	SEP-2013	VELOCIDAD DE DESGASTE [mpa]
NIVEL	POSICIÓN	ESPESOR [mils]	ESPESOR [mils]	
177	Norte	411	369	22.14
	Dentro (Garganta)	421	367	28.46
178	Norte	407	375	16.87
	Poniente	404	366	20.03
179	Poniente	425	359	34.79
	Dentro (Garganta)	410	379	16.34
181	Norte	598	511	45.85
	Sur	587	521	34.79
	Oriente	587	508	41.64
	Poniente	579	529	26.35
182	Arriba	423	368	28.99
	Abajo	428	369	31.1
	Fuera (Codo)	411	369	22.14
	Dentro (Garganta)	407	367	21.08
183	Norte	422	386	18.97
	Sur	424	388	18.97
	Arriba	424	366	30.57
	Abajo	411	374	19.5
184	Sur	409	369	21.08
	Poniente	410	356	28.46
185	Oriente	420	363	30.04
	Poniente	433	360	38.48
	Fuera (Codo)	426	372	28.46
	Dentro (Garganta)	410	375	18.45

Fuente: SIMECELE

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

DESCRIPCIÓN		OCT-2010	SEP-2013	VELOCIDAD DE DESGASTE [mpa]
NIVEL	POSICIÓN	ESPESOR [mils]	ESPESOR [mils]	
186	Oriente	425	361	33.73
	Poniente	425	375	26.35
	Abajo	422	370	27.41
187	Arriba	411	380	16.34
	Fuera (Codo)	420	390	15.81
	Dentro (Garganta)	418	367	26.88
188	Abajo	413	363	26.35
189	Arriba	406	375	16.34
	Abajo	427	362	34.26
	Fuera (Codo)	406	374	16.87
190	Oriente	423	345	41.11
	Poniente	406	365	21.61
	Arriba	393	361	16.87
	Abajo	400	360	21.08
191	Oriente	410	377	17.39
	Poniente	422	374	25.3
	Fuera (Codo)	416	384	16.87
	Dentro (Garganta)	428	383	23.72
192	Norte	418	357	32.15
	Sur	379	350	15.28
	Oriente	415	348	35.31
	Poniente	384	336	25.3
193	Norte	460	388	37.95
	Sur	462	360	53.76
	Dentro (Garganta)	450	380	36.89

Fuente: SIMECELE

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

DESCRIPCIÓN		OCT-2010	SEP-2013	VELOCIDAD DE DESGASTE [mpa]
NIVEL	POSICIÓN	ESPESOR [mils]	ESPESOR [mils]	
194	Norte	408	349	31.1
	Sur	413	350	33.2
	Arriba	418	334	44.27
	Abajo	389	359	15.81
198	Oriente	410	360	26.35
200	Arriba	431	364	35.31
	Abajo	397	343	28.46
201	Norte	392	356	18.97
	Arriba	382	343	20.56
202	Abajo	403	374	15.28
	Dentro (Garganta)	415	367	25.3
204	Poniente	401	356	23.72
	Fuera (Codo)	401	354	24.77
	Dentro (Garganta)	409	375	17.92
206	Sur	423	378	23.72
	Fuera (Codo)	399	359	21.08
207	Norte	388	358	15.81
	Sur	383	354	15.28
	Arriba	389	357	16.87
	Abajo	392	360	16.87
212	Norte	423	362	32.15
	Sur	432	384	25.3
	Fuera (Codo)	429	389	21.08

Fuente: SIMECELE

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

DESCRIPCIÓN		OCT-2010	SEP-2013	VELOCIDAD DE DESGASTE [mpa]
NIVEL	POSICIÓN	ESPESOR [mils]	ESPESOR [mils]	
214	Oriente	419	388	16.34
	Poniente	417	384	17.39
	Fuera (Codo)	423	391	16.87
	Dentro (Garganta)	423	363	31.62
215	Oriente	410	380	15.81
	Poniente	417	350	35.31
	Arriba	413	375	20.03
	Abajo	403	373	15.81
216	Norte	589	537	27.41
	Sur	586	537	25.83
	Oriente	591	540	26.88
	Poniente	578	528	26.35
217	Abajo	416	383	17.39
	Fuera (Codo)	430	367	33.2
218	Abajo	416	379	19.5
219	Sur	387	351	18.97
221	Oriente	387	348	20.56
226	Oriente	406	359	24.77
	Poniente	395	365	15.81
	Dentro (Garganta)	421	377	23.19
227	Sur	387	358	15.28
228	Norte	428	369	31.1
	Dentro (Garganta)	396	367	15.28
229	Abajo	387	348	20.56
232	Norte	396	364	16.87

Fuente: SIMECELE

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

DESCRIPCIÓN		OCT-2010	SEP-2013	VELOCIDAD DE DESGASTE [mpa]
NIVEL	POSICIÓN	ESPESOR [mils]	ESPESOR [mils]	
233	Poniente	425	372	27.93
	Fuera (Codo)	397	362	18.45
	Dentro (Garganta)	410	363	24.77
235	Arriba	395	353	22.14
	Abajo	412	369	22.66
239	Oriente	415	361	28.46
241	Norte	409	369	21.08
	Fuera (Codo)	417	375	22.14
247	Norte	410	376	17.92
	Sur	414	385	15.28
	Dentro (Garganta)	408	375	17.39
248	Norte	400	366	17.92
249	Oriente	418	371	24.77
	Poniente	431	389	22.14
	Fuera (Codo)	426	391	18.45
	Dentro (Garganta)	428	374	28.46
251	Oriente	593	562	16.34
252	Arriba	426	380	24.24
	Abajo	417	369	25.3
	Dentro (Garganta)	428	375	27.93
255	Oriente	414	374	21.08
257	Arriba	424	376	25.3
260	Oriente	403	368	18.45
	Abajo	376	345	16.34
261	Oriente	411	381	15.81
	Poniente	440	360	42.16
	Dentro (Garganta)	433	390	22.66

Fuente: SIMECELE

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

DESCRIPCIÓN	OCT-2010		SEP-2013	VELOCIDAD DE DESGASTE [mpa]	
	NIVEL	POSICIÓN	ESPEJOR [mils]		ESPEJOR [mils]
262		Norte	378	344	17.92
		Sur	387	349	20.03
263		Dentro (Garganta)	431	375	29.52
267		Sur	392	358	17.92
		Oriente	399	360	20.56
		Poniente	384	354	15.81
268		Poniente	416	380	18.97
		Fuera (Codo)	395	358	19.5
		Dentro (Garganta)	419	370	25.83
269		Poniente	387	358	15.28
270		Abajo	410	381	15.28
271		Sur	383	349	17.92
272		Arriba	405	375	15.81
273		Oriente	399	363	18.97
274		Fuera (Codo)	403	364	20.56
275		Norte	391	344	24.77
		Sur	396	353	22.66
		Poniente	406	360	24.24
277		Arriba	387	352	18.45
281		Sur	398	359	20.56
282		Norte	411	379	16.87
		Fuera (Codo)	416	383	17.39
		Dentro (Garganta)	421	380	21.61
283		Oriente	409	376	17.39
284		Oriente	418	372	24.24

Fuente: SIMECELE

“Análisis de la medición de espesores de una planta de desintegración catalítica (FCC) del sistema nacional de refinación.”

DESCRIPCIÓN		OCT-2010	SEP-2013	VELOCIDAD DE DESGASTE [mpa]
NIVEL	POSICIÓN	ESPEJOR [mils]	ESPEJOR [mils]	
286	Norte	579	535	23.19
	Sur	573	536	19.5
	Poniente	568	539	15.28
287	Arriba	418	365	27.93
	Abajo	408	364	23.19
300	Arriba	408	365	22.66
	Abajo	416	366	26.35
	Fuera (Codo)	427	370	30.04
	Dentro (Garganta)	409	368	21.61
302	Norte	581	542	20.56
	Sur	583	535	25.3
	Oriente	578	540	20.03
	Poniente	579	538	21.61
304	Norte	391	356	18.45
	Arriba	395	360	18.45
	Abajo	390	360	15.81
305	Norte	567	525	22.14
	Sur	577	535	22.14
	Oriente	574	530	23.19
	Poniente	571	540	16.34
306	Poniente	670	625	23.72
	Arriba	671	615	29.52
	Abajo	665	610	28.99
307	Oriente	387	355	16.87

Fuente: SIMECELE

ANEXO E. ESPESOR NOMINAL DE LAS TUBERÍAS.

Tabla E- 1. Espesor nominal de las tuberías.

DIAMETRO		CED 15	CED 20	CED 30	STD	CED 40	XS	CED 60	CED 80	CED 120	CED 160	XXS	E.P.	E.R.
NOMINAL	EXTERIOR													
1/2"	0.840				0.109	0.109	0.146		0.147		0.188	0.294	0.090	0.120
3/4"	1.050				0.113	0.113	0.154		0.154		0.219	0.308	0.090	0.120
1"	1.315				0.133	0.133	0.179		0.179		0.250	0.358	0.090	0.120
1.5"	1.900				0.145	0.145	0.200		0.200		0.281	0.400	0.090	0.120
2"	2.375				0.154	0.154	0.218		0.216		0.344	0.436	0.100	0.130
2.5"	2.875				0.203	0.203	0.276		0.276		0.375	0.552	0.100	0.140
3"	3.500				0.216	0.216	0.300		0.300		0.438	0.600	0.100	0.150
4"	4.500				0.237	0.237	0.337		0.337	0.436	0.531	0.674	0.120	0.170
6"	6.625				0.280	0.280	0.432		0.432	0.562	0.719	0.864	0.150	0.180
8"	8.625		0.250	0.277	0.322	0.322	0.500	0.406	0.500	0.719	0.906	0.875	0.180	0.200
10"	10.750		0.250	0.307	0.365	0.365	0.500	0.500	0.594	0.844	1.125	1.000	0.190	0.250
12"	12.750		0.250	0.330	0.375	0.406	0.500	0.582	0.688	1.000	1.312	1.000	0.200	0.250
14"	14.000	0.250	0.312	0.375	0.375	0.438	0.500	0.594	0.750	1.094	1.406		0.200	0.250
16"	16.000	0.250	0.312	0.375	0.375	0.500	0.500	0.656	0.844	1.219	1.594		0.230	
18"	18.000	0.250	0.312		0.375	0.562	0.500	0.750	0.938	1.375	1.781		0.230	
20"	20.000	0.250	0.375	0.500	0.375	0.594	0.500	0.812	1.031	1.500	1.969		0.230	
22"	22.000	0.250	0.375	0.500	0.375		0.500	0.875	1.125	1.625	2.125		0.230	
24"	24.000	0.250	0.375	0.552	0.375	0.688	0.500	0.969	1.219	1.912	2.344		0.230	
26"	26.000	0.312	0.500		0.375		0.500							
28"	28.000	0.312	0.500	0.625	0.375		0.500							
30"	30.000	0.312	0.500	0.625	0.375		0.500							
32"	32.000	0.312	0.500	0.625	0.375	0.688	0.500							
34"	34.000	0.312	0.500	0.625	0.375	0.688	0.500							
36"	36.000	0.312	0.500	0.625	0.375	0.750	0.500							
ESPEORES ORIGINALES DE ACUERDO CON ASA B 36.10-1359								STD = ESTANDAR			E.P. = TUBERÍA CON EXTREMOS PLANOS			
ESPEORES ABSOLUTOS DE RETIRO DEACUERDO CON PEMEX A VIII-4								XS = EXTRA RESISTENTE			E.R.= TUBERÍA CON EXTREMOS ROSCADOS			

Figura D- 2. Puntos de medición en las piezas de tubería.

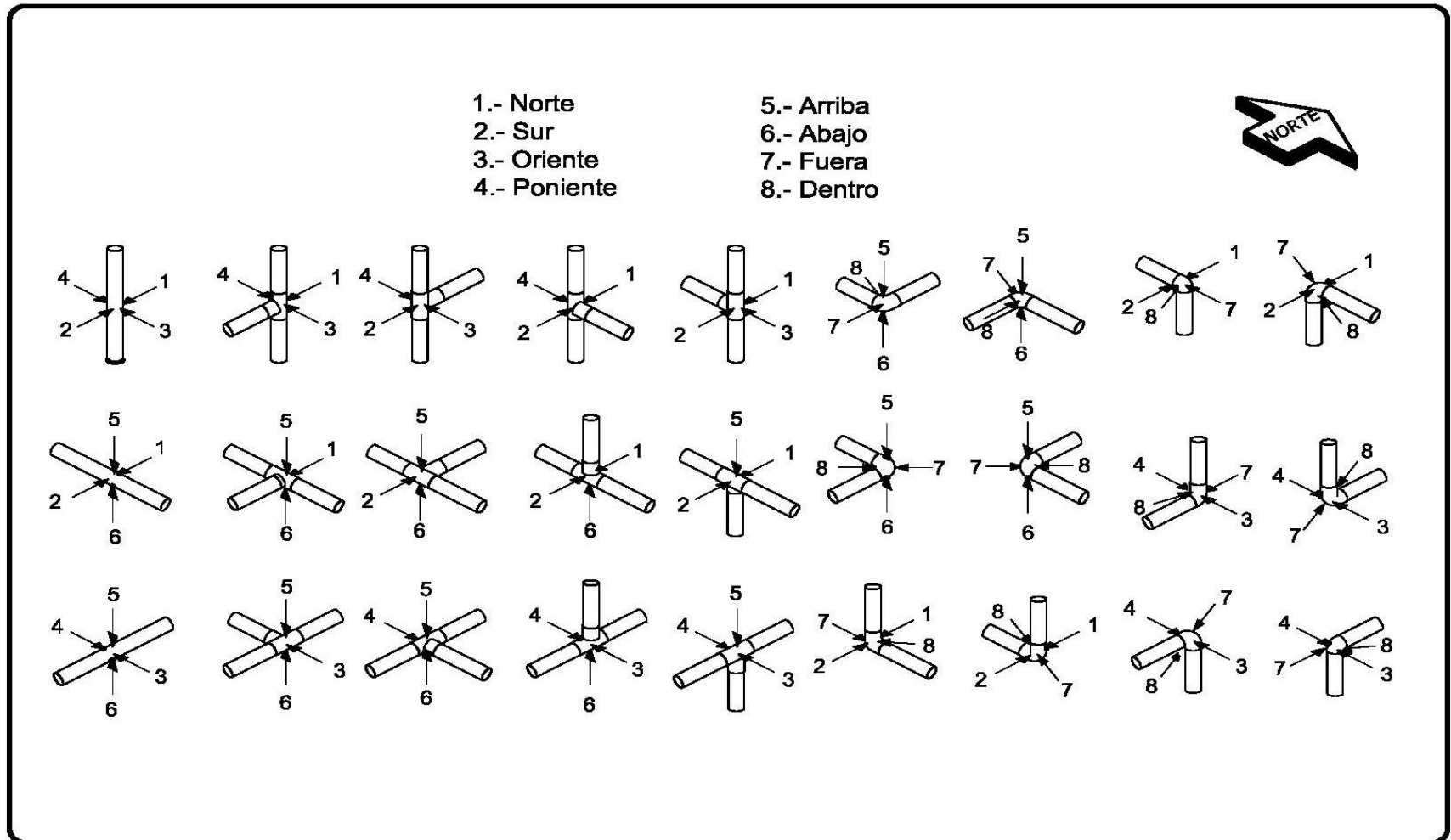


Figura 44. Puntos de medición para piezas de tubería

GLOSARIO

Abrasión: Pérdida progresiva de material por la acción del rozamiento de un fluido.

Centro de trabajo: Cada una de las dependencias de Petróleos Mexicanos, que por el conjunto de labores de sus diversos departamentos o unidades de trabajo, cumple con funciones relacionadas con la industria, tales como refinerías, centros petroquímicos, terminales de almacenamiento y distribución, embarcaciones de servicios marítimos, etcétera.

Clase: Designación adimensional para la clasificación de componentes de tubería, que relacionan un rango de presión-temperatura con base en las propiedades mecánicas de los materiales, así como dimensiones necesarias para acoplamiento entre componentes de tubería; en sistema americano

Corrosión: Fenómeno espontáneo causado por un ataque de una reacción química o electroquímica causado por el medio ambiente.

Ensayos No Destructivos: Son técnicas de inspección que se utilizan para verificar la sanidad interna y externa de los materiales, sin deteriorarlos, ni alterar o afectar de forma permanente sus propiedades físicas, químicas o mecánicas.

Equipos: Son todos aquellos dispositivos (recipientes, cambiadores, tanques de almacenamiento, bombas, etc.) que conjuntamente con las líneas integran los circuitos.

Fecha de próxima medición de espesor (FPME): Es la fecha en la cual debe efectuarse la siguiente medición de la unidad de control (próximo periodo de inspección), de acuerdo con el análisis de la estadística.

Fecha de retiro probable (FRP): Es la fecha en la cual se estima que debe retirarse la unidad de control, por haber llegado al término de su vida útil estimada.

Inspección técnica: Análisis realizado mediante la observación directa de las instalaciones, equipos y procesos productivos para identificar los peligros existentes y evaluar los riesgos en los puestos de trabajo.

Isométrico de tubería: Dibujo con la representación ortogonal del diseño de una tubería, donde se muestra su trayectoria, componentes, dimensiones, localización, características y requerimientos constructivos de la misma.

Límite de retiro: Es el espesor con el cual deben retirarse los tramos de tubería y equipos de acuerdo con sus condiciones de diseño.

Línea: Es el conjunto de tramos de tubería y accesorios (tee, codo, reducción, válvula, etc.) que manejan el mismo fluido a las mismas condiciones de operación. Normalmente esto se cumple para la tubería localizada entre dos equipos en la dirección de flujo

Medición de espesores de pared: Actividad en la cual se mide el espesor de pared por medios ultrasónicos, radiográficos, electromagnéticos, mecánicos o la combinación de ellos.

Nivel de medición: Es el conjunto de posiciones de medición de espesores de pared que se deben efectuar en un mismo sitio de una tubería o equipo, por ejemplo, las cuatro mediciones que se hacen en una tubería, las mediciones que se hacen en un recipiente o cambiador alrededor de una boquilla (4 o más), etcétera.

Pieza de tubería: Es el tramo recto de tubería o accesorio (tee, codo, reducción, válvula, etc.) colocado entre bridas, soldaduras o roscas. El conjunto de “piezas de tubería” integrará por lo tanto, las “líneas”.

Posición o punto de medición: Es el lugar en donde se mide el espesor de pared.

Producto Interno Bruto (PIB): Conjunto de los bienes y servicios producidos en un país durante un espacio de tiempo, generalmente un año.

Puntos sospechosos: Puntos cuyos espesores de acuerdo con el análisis preliminar, arrojan dudas sobre su veracidad

Sustancias peligrosas: Aquellas que por sus propiedades físicas o químicas, al ser manejadas, transportadas, almacenadas o procesadas presenten la posibilidad de provocar riesgos a la salud, de inflamabilidad, de reactividad o especiales, y pueden afectar la salud de las personas o causar daños materiales a las instalaciones. Se clasifican por grados de riesgo de acuerdo con la NOM-018-STPS-2000

Velocidad de desgaste (Velocidad de corrosión): Es la rapidez con la cual disminuye el espesor de la pared. Ordinariamente, se calcula comparando los espesores obtenidos en mediciones efectuadas en dos fechas consecutivas con mínimo de un año de diferencia.

Velocidad de desgaste crítica: Es la velocidad de desgaste que excede 15 milésimas de pulgada por año (15 mpa), puntual o promedio.

Vida útil estimada (VUE): Es el tiempo estimado que debe transcurrir antes de que la unidad de control llegue a su límite de retiro.