



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**“Comparación de la rapidez de desgaste en torres depuradoras
de gases de desfogues ácidos en dos plantas de alquilación”**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

PRESENTA

DULCE NAZARETH RAMIREZ BECERRIL

ASESOR: Dr. M. JAVIER CRUZ GÓMEZ

MÉXICO, D.F.

AÑO 2015





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.



JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE:	Profesor: Antonio Valiente Barderas
VOCAL:	Profesor: Modesto Javier Cruz Gómez
SECRETARIO:	Profesor: Néstor Noé López Castillo
1er. SUPLENTE:	Profesor: Carlos Álvarez Maciel
2° SUPLENTE:	Profesor: Alma Delia Rojas Rodríguez

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

TORRE DE INGENIERÍA, UNAM

ASESOR DEL TEMA:

Dr. Modesto Javier Cruz Gómez

SUPERVISOR TÉCNICO:

M. en I. Nohemí Juárez Flores

SUSTENTANTE:

Dulce Nazareth Ramírez Becerril



ÍNDICE

ÍNDICE	iii
ÍNDICE DE TABLAS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
Capítulo 1. INTRODUCCIÓN.....	8
1.1 Objetivo general.....	10
1.2 Objetivos particulares	10
Capítulo 2. MARCO TEÓRICO	11
2.1 Seguridad Industrial	11
2.2 Seguridad Industrial en una Planta de Alquiler	13
2.3 Problemas, accidentes e incidentes industriales en plantas de alquiler	15
2.4 Integridad mecánica	17
2.4.1 Evaluación del deterioro o defecto.....	18
2.4.2 Métodos de inspección y pruebas.....	20
2.4.3 Medición de espesores de líneas y equipos de procesos.....	25
2.4.4 Registro, análisis y programación preventiva de espesores .	27
2.4.5 Programa general de medición preventiva de espesores.....	28
2.5 Sistema de Medición y Control de Espesores en Líneas y Equipos (SIMECELE)	29
Capítulo 3. DESARROLLO	32
3.1 Descripción del proceso de alquiler	32



3.2 Implementación de SIMECELE	41
3.2.1 Recopilación de información	41
3.2.2 Censo de circuitos	41
3.2.3 Censo de unidades de control	42
3.2.4 Actualización y digitalización de diagramas de inspección técnica	44
3.2.5 Captura de la estructura e inspecciones de una unidad de control de equipo en SIMECELE	50
3.3 Análisis estadístico formal	51
3.3.1 Velocidad de desgaste	51
3.3.2 Cálculo de la velocidad de desgaste promedio (D_{prom}) y la velocidad máxima ajustada (D_{max})	52
3.3.3 Determinación del mínimo espesor actual	53
3.3.4 Determinación de la Vida Útil Estimada (VUE), Fecha de Próxima Medición (FPME) y Fecha de Retiro Probable (FRP)	53
Capítulo 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.	55
4.1 Análisis de las mediciones de la TD-01	55
4.1.1 DOMO	55
4.1.2 ALIMENTACIÓN	58
4.1.3 FONDO	61
4.2 Análisis de las mediciones de la TD-02	65
4.2.1 DOMO	65
4.2.2 ALIMENTACIÓN	67
4.2.3 FONDO	70



4.3 Comparación de las velocidades de desgaste entre las TD.	75
4.3.1 DOMO.....	75
4.3.2 ALIMENTACIÓN.....	76
4.3.3 FONDO	78
Capítulo 5. CONCLUSIONES.....	80
Bibliografía.....	82
ANEXO 1.....	84
ANEXO 2.....	85



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Resultados unidad de control DOMO de la TD-01.....	57
Tabla 2: Resultados unidad de control ALIMENTACIÓN de la TD-01	60
Tabla 3: Resultados unidad de control FONDO de la TD-01.....	63
Tabla 4: Resultados unidad de control DOMO de la TD-02.....	66
Tabla 5: Resultados unidad de control ALIMENTACIÓN de la TD-02. ...	69
Tabla 6: Resultados unidad de control FONDO de la TD-02.....	73
Tabla 7: Comparación de las unidades de control DOMO.....	75
Tabla 8: Comparación de las unidades de control ALIMENTACIÓN.	77
Tabla 9: Comparación de las unidades de control FONDO.....	79



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Medidor de espesor por ultrasonido de precisión.	26
Figura 2: Diagrama de bloques del proceso de alquiler.	40
Figura 3: Diagrama de inspección técnica de la unidad de control DOMO.	46
Figura 4: Diagrama de inspección técnica de la unidad de control ALIMENTACIÓN.....	47
Figura 5: Primer diagrama de inspección técnica de la unidad de control FONDO.	48
Figura 6: Segundo diagrama de inspección técnica de la unidad de control FONDO.....	49
Figura 7: Gráfica de inspecciones de la unidad de control DOMO de la TD-01.....	56
Figura 8: Gráfica de inspecciones de la unidad de control ALIMENTACIÓN de la TD-01.	59
Figura 9: Gráfica de inspecciones de la unidad de control FONDO de la TD-01.....	62
Figura 10: Gráfica de inspecciones de la unidad de control DOMO de la TD-02.....	65
Figura 11: Gráfica de inspecciones de la unidad de control ALIMENTACIÓN de la TD-02.	68



Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

La industria de la refinación en nuestro país se enfrenta a distintos retos, entre los que se encuentran la creciente demanda de los productos derivados del petróleo, vinculada al desarrollo económico del país, el compromiso con el cuidado del medio ambiente, a través de la elaboración de combustibles cada vez más limpios, maximizar el valor del petróleo, a través de procesos más eficaces y rentables.

Para la industria petrolera es una gran responsabilidad el fortalecimiento de sus medidas de seguridad industrial y la mitigación del impacto al medio ambiente. Por ello, se empeña en fomentar una cultura de desarrollo sustentable, promover la seguridad de sus operaciones y mantener una relación armónica con el medio ambiente.

Uno de los aspectos más importantes que cubre la seguridad industrial, es la prevención de accidentes por pérdidas de contención en las líneas y equipos de proceso, esto se logra manteniendo en buen estado la integridad mecánica de una instalación industrial. Para conocer la integridad mecánica de una instalación, es necesario realizar trabajos de inspección, mantenimientos (preventivos o correctivos) y posibles paros programados del proceso, para la sustitución de accesorios de tuberías o equipos nuevos. Los procedimientos de inspección realizados sobre una instalación industrial, varían de un proceso a otro, debido a los fenómenos de desgaste fisicoquímicos en líneas y equipos de proceso, suelen ser diferentes por la naturaleza de los procesos, servicios requeridos y los materiales empleados.



Para el control de la integridad mecánica, se requiere de una mejor administración de la información obtenida durante las inspecciones técnicas, para ello se desarrolló un Sistema de Medición y Control de Espesores en Líneas y Equipos (SIMECELE). El cual es un sistema que aprovecha las nuevas tecnologías para mejorar la administración, el control de la información y las actividades relacionadas con la inspección técnica de espesores en líneas y equipos de proceso de las instalaciones de la industria química, petroquímica e industria de refinación del petróleo.

Este sistema tiene la información disponible, actualizada y confiable, para la toma de decisiones en los diferentes niveles, desde el personal que programa y realiza los mantenimientos, hasta el que asigna los recursos.

El análisis de los resultados obtenidos al implementar este sistema, permite conocer las condiciones en que trabaja los equipos o líneas, de manera que permite hacer un programa de mantenimiento preventivo o correctivo.

El SIMECELE está diseñado con la normatividad interna de Petróleos Mexicanos por lo que esta herramienta es evidencia de la aplicación de mejores prácticas para el aseguramiento de las actividades realizadas en las instalaciones industriales.



1.1 Objetivo general

Realizar el análisis de la información obtenida durante la implementación del Sistema de Medición y Control de Espesores en Líneas y Equipos (SIMECELE) para dos torres depuradoras de gases de desfogues ácidos, en dos plantas de Alquilerón.

1.2 Objetivos particulares

- Determinar la velocidad de desgaste promedio, velocidad máxima ajustada, vida útil estimada, fecha de próxima medición, fecha de retiro probable para cada una de las torres depuradoras.
- Comparar y analizar los resultados de ambas torres y determinar qué factores influyen en el desgaste de los materiales.
- Con base en la información obtenida proponer un programa de mantenimiento.



Capítulo 2. MARCO TEÓRICO

2.1 Seguridad Industrial

La Seguridad Industrial, constituye una de las premisas de mayor importancia en el campo petrolero, adoptando acciones responsables para evitar o atenuar significativamente las causas que provocan daños al entorno, debido al aprovechamiento de los recursos petrolíferos. Por su naturaleza, las operaciones en la industria petrolera son susceptibles de generar riesgos de seguridad a los trabajadores. El objetivo de la seguridad industrial, es vigilar que las actividades realizadas en la práctica industrial se realicen sin secuelas de daño inaceptable a los profesionales que las ejecutan, población, instalaciones y medio ambiente.

Aunque la industria deba de seguir satisfaciendo los criterios de rentabilidad económica, para los cuales es necesaria la productividad, su optimización no puede en ningún caso, contrariar los requisitos esenciales de seguridad.

La mayoría de los riesgos que surgen en un sistema se cree que son principalmente debido a defectos de diseño, material, mano de obra, o error humano.

Como consecuencia de la preocupación por el riesgo, la seguridad industrial ha ido generando en una serie de normas, procedimientos y reglamentos que articulan de manera eficaz, las exigencias planteadas



en dicho terreno. La totalidad de los países disponen de legislación de seguridad industrial, aunque ésta es realmente completa sólo en los países más avanzados y con mayor tradición tecnológica.

Actualmente en México, Petróleos Mexicanos (PEMEX) es el responsable de los recursos petroleros de la nación, procurando llevar a cabo sus actividades con los más altos niveles de seguridad industrial, reduciendo al mínimo aceptable los impactos al medio ambiente.

PEMEX impulsó el fortalecimiento de la seguridad industrial dentro de sus instalaciones, a través de la implementación de las mejores prácticas internacionales en las tres áreas de la seguridad de los procesos: personal, instalaciones y tecnología.

En 1998 implementó un Sistema Integral de Administración de la Seguridad y Protección Ambiental (SIASPA), cuyo objetivo es alcanzar las metas de Seguridad y Protección Ambiental. El sistema busca enriquecer la cultura del trabajador petrolero, de tal forma que en su quehacer diario quede incorporado, en forma prioritaria, los aspectos de Seguridad y Protección Ambiental. El SIASPA apoyó a PEMEX a la búsqueda de una alta productividad y competitividad en el ámbito mundial.

Actualmente, el SIASPA forma parte de un sistema considerado como un macro proceso de seguridad, llamado Sistema para la Administración Integral de la Seguridad, Salud y Protección Ambiental, Pemex-SSPA, sustentado por las 12 mejores prácticas internacionales de Salud y Protección Ambiental propuestas por Dupont quien es el consultor en la implementación de éste sistema ⁽¹⁾.



2.2 Seguridad Industrial en una Planta de Alquilación

Las plantas de alquilación de PEMEX refinación utilizan como catalizador en su proceso un compuesto que es extremadamente peligroso, el ácido fluorhídrico (HF) el cual, es un líquido corrosivo, transparente, incoloro, humeante, aunque también puede encontrarse en fase gaseosa, debido a las propiedades físico-químicas y toxicológicas el HF es un material de manipulación especialmente peligrosa, además es muy reactivo, ataca el vidrio, esmaltes, cemento, caucho, cuero, metales (especialmente el hierro) y compuestos orgánicos ⁽²⁾.

Considerando las características de los compuestos que se procesan, estas plantas se han diseñado para que sus instalaciones no representen algún peligro. Sin embargo, debido al desgaste del proceso ocurren incidentes en forma inesperada, que requieren de una respuesta inmediata por parte del personal que labora en las mismas quien debe desarrollar sus actividades con pleno conocimiento de las características de los productos con que puede estar en contacto, así como de las medidas preventivas de seguridad aplicables ⁽²⁾.

En el caso específico de estas plantas, existe el riesgo potencial de fuego y explosión debido a la presencia de hidrocarburos ligeros, tales como gas combustible, propano, butanos y líquidos inflamables como los productos alquilados. Sin embargo, el ácido fluorhídrico representa un riesgo mayor a considerar debido a su gran toxicidad y corrosividad.

El ácido Fluorhídrico (HF), es un ácido inorgánico fuerte, sin color en estado líquido. Al gasificarse forma una niebla blanca al contacto con el aire. Comercialmente se dispone en forma de anhídrido (sin agua) y



en forma acuosa. El HF es normalmente producido con una pureza de 99 a 99.99%. El HF anhídrido es miscible en agua. Ambas formas presenta un olor acre e irritante.

El HF no es inflamable, pero puede reaccionar con algunas sustancias desprendiendo hidrógeno. El HF en contacto con álcalis y algunos óxidos provoca reacciones exotérmicas violentas. Adicionar una pequeña cantidad de agua en HF anhídrido o a una solución concentrada de HF acuoso, provoca una reacción violenta con desprendimiento de calor y puede causar salpicaduras. Sin embargo, un exceso de agua puede actuar como un agente mitigador efectivo, porque absorbe el calor generado, siempre y cuando sea suministrado inmediatamente después de ocurrir un derrame o liberación de HF.

El HF es corrosivo, siendo su acción más severa en solución acuosa, ataca al acero inoxidable, bronce, vidrio, asbesto, concreto, hule natural, cuero y ciertos metales, en especial los que contiene silicio como el hierro colado.

Por las características de los productos que manejan, las plantas de alquiler deben realizar análisis de riesgos, con objeto de identificar y evaluar eventos que pudieran ocasionar la liberación de HF. Este análisis se debe realizar desde el diseño de la planta y actualizarse cada 5 años cuando ya estén en operación.

El análisis de riesgos para las plantas de alquiler, es una herramienta útil para:



- ❖ Identificar peligros, riesgos y estrategias para su manejo y control.
- ❖ Proveer información objetiva para la toma de decisiones.
- ❖ Cumplir con requisitos normativos y legales.

Los resultados del análisis de riesgos se emplean para evaluar el nivel de tolerabilidad del riesgo, así como para la toma de decisiones en cuanto a seleccionar la mejor opción para su administración y control ⁽³⁾.

2.3 Problemas, accidentes e incidentes industriales en plantas de alquiler

Refinería El Palito. Venezuela 2003-2004

Durante finales del año 2003 e inicios del 2004 se ejecutó el paro de la planta de alquiler, de la refinería El Palito, a un costo extraoficial de 25 millones de dólares, dicha unidad de procesamiento se encuentra detenida debido a las siguientes causas ⁽⁴⁾:

- ❖ Los líderes sindicales estuvieron a cargo de la selección y contratación del personal, para realizar los trabajos que requieren un alto grado de especialización.
- ❖ Empleo de personal no capacitado para ejecutar los oficios de alta especialización requeridos en el mantenimiento mayor realizado.
- ❖ Uso indebido de soldadura (monel) para las condiciones extremas de funcionamiento de la Unidad de Alquiler.



Los efectos que se tiene por el paro de la planta de alquilación, repercute en los costos, ya que tener la planta de Alquilación fuera de operaciones provoca que la planta FCC (craqueador catalítico) envíe al drenaje todas las olefinas producidas.

Refinería La Cruz. Venezuela. 2010

El 17 de Agosto del 2010 se registró una explosión en la planta de alquilación de la refinería La Cruz durante dicho accidente no se registran heridos ni daños materiales considerables, aunque obligó a paralizar esa sección industrial. La explosión no generó incendio y la situación se controló ⁽⁵⁾.

No se dieron a conocer las causas del incendio, pero se encontró que en esa refinería hay muchas negligencias referentes a los procedimientos para el ingreso, mantenimiento y arranque de esa planta.

Refinería La Cruz. Venezuela. 2011

El secretario general de la Federación Unitaria de Trabajadores del Petróleo de Venezuela (FUTPV), José Bodas, informó que a las dos de la madrugada del día 12 de diciembre del año 2011, se produjo una fuga de Ácido Fluorhídrico (HF) en la planta de Alquilación de la Refinería de Puerto La Cruz, aseguró que a esa hora se realizó el desalojo de los trabajadores que se encontraban de guardia, pues el HF es de gran peligrosidad y afecta gravemente las vías respiratorias.



Indicó que la falla presentada en el centro de procesamiento de crudo porteño, pone en evidencia las denuncias hechas por la FUTPV sobre la falta de mantenimiento en los equipos y las deficiencias en mecanismos de seguridad industrial en Petróleos de Venezuela s.a.

El Ácido Fluorhídrico (HF) al ser muy corrosivo para las tuberías, hace que los accidentes en Plantas de Alquilación sean recurrentes, ya que al no tener control y mantenimiento, la planta es muy propensa a tener fugas ⁽⁶⁾.

2.4 Integridad mecánica

La integridad mecánica es un conjunto de actividades interrelacionadas y enfocadas en asegurar la confiabilidad de equipos y tuberías. Abarca desde la fase de diseño, fabricación, instalación, construcción, operación, mantenimiento y desmantelamiento, para garantizar que cumplen las condiciones de funcionamiento requeridas, con el propósito de proteger a los trabajadores, instalaciones, comunidad y el medio ambiente.

La integridad mecánica permite hacer una evaluación del estado mecánico-estructural de un equipo o tubería, con base en la identificación del tipo y grado de severidad, y los defectos presentes en ellos, a partir de la inspección e informes de resultados de pruebas.

Los procedimientos usados para evaluar deterioros, defectos o fallas en tuberías, equipos estáticos y componentes, con base en la evaluación se determinarán, si son aptos para las condiciones de



operación actuales, estableciendo programas de inspección y monitoreo; o bien, se considera su reemplazo ⁽⁶⁾.

2.4.1 Evaluación del deterioro o defecto

El deterioro y defectos que tiene un equipo o tubería, se determina mediante niveles. La asignación de nivel se realiza con base en los rubros que a continuación se describen ⁽⁶⁾:

a) Nivel 1 para tuberías y equipos estáticos que cumplan con todo lo siguiente:

- ❖ Con menos de 5 años de operación o vida útil remanente mayor a 15 años.
- ❖ Con probabilidad de falla en un lapso mayor a diez años.
- ❖ Que contenga o transporte sustancias con grados de riesgo de moderada, ligera o mínimamente peligroso.
- ❖ Con operación manométrica menor de 686 kpa (7 kg/cm^2).
- ❖ Con temperatura de operación de 4°C y 50°C .
- ❖ Con paquete de tecnología de proceso y expediente de integridad mecánica inicial o subsecuente.
- ❖ Con registro de operación, mantenimiento, evaluación de integridad mecánica y que estos no registren deterioro o defectos o adviertan de un riesgo.
- ❖ Con periodos fuera de operación menor de 12 meses.

b) Nivel 2 para tuberías y equipos estático que no aplica para la evaluación nivel 1, o se encuentren en uno o más de los siguientes casos:

- ❖ Con más de 10 años de operación.



- ❖ Con vida útil menor de 10 años.
- ❖ Contenga o transporte sustancias con grado de riesgo seriamente o severamente peligroso.
- ❖ En equipo, tubería o sistema de tubería críticos.
- ❖ No cuente con paquete de tecnología de proceso.
- ❖ No cuente con expediente de integridad mecánica inicial o subsecuente.
- ❖ No cuente con registro de operación, mantenimiento, evaluación de integridad mecánica o estos registren deterioro, defectos o adviertan de un riesgo.
- ❖ No cuentan con evaluación de integridad mecánica en los últimos cinco años.
- ❖ Con periodos fuera de operación, mayores a 12 meses.

c) Nivel 3 para tuberías y equipos estático con:

- ❖ Vida útil de 5 años o menor.
- ❖ No cuenta con registro de operación, mantenimiento e inspección, o no se han atendido o subsanado las desviaciones o hallazgos.
- ❖ Se advierta un riesgo o anomalía que pone en riesgo la integridad mecánica como resultado de la evaluación nivel 1 o 2.
- ❖ Con condiciones de operación o servicio diferentes a las del diseño original.



2.4.2 Métodos de inspección y pruebas

Los métodos para realizar procedimientos de inspección, son los siguientes:

a) Pruebas destructivas

Las pruebas destructivas, son aquellas donde las propiedades físicas de un material son alteradas y sufren cambio en la estructura. Su cometido es determinar si la pieza analizada puede seguir cumpliendo con la función para la que fue creada. Por esta razón estas pruebas solo se realizan cuando las pruebas no destructivas no son suficientes para determinar el estado de los equipos o tuberías. Se rigen por el código ASME sección VII, Div. 2, Parte AM.

Las pruebas destructivas que se realizan son las siguientes:

- ❖ Resistencia a la tracción, es decir, la resistencia a la ruptura, de acuerdo con lo establecido en el método ASTM-E-8.
- ❖ Resistencia a la compresión, de acuerdo con el método ASTM-E-9.
- ❖ Prueba de impacto, de acuerdo con el método ASTM-E-23.
- ❖ Prueba de dobles, de acuerdo con el método ASTM-E-190.
- ❖ Prueba de fluencia- fatiga, de acuerdo con el método ASTM-E-2714.

b) Pruebas no destructivas

Se denominan pruebas no destructivas, a cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere de forma permanente sus



propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales. Los diferentes métodos de pruebas no destructivas, se basan en la aplicación de fenómenos físicos tales como ondas electromagnéticas, acústicas, elásticas, emisión de partículas subatómicas, capilaridad, absorción y cualquier tipo de prueba que no implique un daño considerable a la muestra examinada ⁽⁷⁾.

Inspección visual

a) *Inspección externa:* Efectuada en el exterior del equipo. En esta revisión se deben identificar todas las partes y accesorios del equipo, desde el espesor, verificación de agrietamiento en los cimientos, revisión de los soportes, boquillas y accesorios para identificar posibles fugas de materia; hasta revisar el buen estado de las tornillerías y niplerías.

b) *Inspección interna:* Está revisión es en el interior del equipo usando inspección visual, pruebas no destructivas o pruebas destructivas. En este tipo de inspección se deberá desarmar el equipo y se checará el buen estado del cuerpo, boquillas y soldaduras tratando de localizar zonas desgastadas o corroídas.

Prueba con líquidos penetrantes: El método o prueba de líquidos penetrantes, se basa en el principio físico conocido como "Capilaridad" y consiste en la aplicación de un líquido, con buenas características de penetración en pequeñas aberturas, sobre la superficie limpia del material a inspeccionar. Una vez que ha transcurrido un tiempo suficiente, para que el líquido recién aplicado, penetre en cualquier abertura superficial, se realiza una remoción o



limpieza del exceso de líquido, mediante el uso de algún material absorbente (papel, trapo, etc.), se aplica un líquido absorbente, comúnmente llamado revelador, de color diferente al líquido penetrante, el cual absorberá el líquido que haya penetrado en las aberturas superficiales.

Por consiguiente, las áreas en las que se observe la presencia de líquido penetrante después de la aplicación del líquido absorbente, son áreas que contienen discontinuidades superficiales (grietas, perforaciones, etc.).

Prueba con partículas magnética: Este método se basa en el principio físico conocido como magnetismo, el cual exhiben principalmente los materiales ferrosos como el acero, consiste en la capacidad o poder de atracción entre metales. Es decir, cuando un metal es magnético, atrae en sus extremos o polos a otros metales igualmente magnéticos o con capacidad para magnetizarse.

De acuerdo con lo anterior, si un material magnético presenta discontinuidades en su superficie, éstas actuarán como polos, y por tal, atraerán cualquier material magnético o ferromagnético que esté cercano a las mismas. De esta forma, un metal magnético puede ser magnetizado local o globalmente y se le pueden esparcir sobre su superficie, pequeños trozos o diminutas partículas magnéticas y así observar cualquier acumulación de las mismas, lo cual es evidencia de la presencia de discontinuidades sub-superficiales o superficiales en el metal.



Prueba con radiografía: La radiografía como método de prueba no destructivo, se basa en la capacidad de penetración que caracteriza principalmente a los rayos X y a los rayos Gama. Con este tipo de radiación es posible irradiar un material, sí internamente, este material presenta cambios internos considerables como para dejar pasar, o bien, retener dicha radiación, entonces es posible determinar la presencia de dichas irregularidades internas, simplemente midiendo o caracterizando la radiación incidente contra la radiación retenida o liberada por el material.

Comúnmente, una forma de determinar la radiación que pasa a través de un material, consiste en colocar una película radiográfica, cuya función es cambiar de tonalidad en el área que recibe radiación. En la parte superior se encuentra una fuente radiactiva, la cual emite radiación a un material metálico, el cual a su vez presenta internamente una serie de poros, los cuales por contener aire o algún otro tipo de gas, dejan pasar mayor cantidad de radiación que en cualquier otra parte del material. El resultado queda plasmado en la película radiográfica situada en la parte inferior del material metálico.

Prueba con emisión acústica: Este método detecta cambios internos en los materiales o dicho de otra manera, detecta micromovimientos que ocurren en los materiales cuando por ejemplo: existe un cambio microestructural, tal como lo son las transformaciones de fase en los metales, el crecimiento de grietas, la fractura de los frágiles productos de corrosión, deformación plástica, etc. La detección de estos mecanismos mediante la emisión acústica, se basa en el hecho de que cuando ocurre, parte de la energía que libera es transmitida hacia el exterior del material en forma de ondas elásticas (sonidos), es



decir, emiten sonido (emisión acústica). La detección de estas ondas elásticas se realiza mediante el uso de sensores piezo-eléctricos, los cuales son instalados en la superficie del material. Los sensores, al igual que en el método de ultrasonido, convierten las ondas elásticas en pulsos eléctricos y los envía hacia un sistema de adquisición de datos, en el cual se realiza el análisis de los mismos.

Prueba electromagnética: Las pruebas electromagnéticas se basan en la medición o caracterización de uno o más campos magnéticos generados eléctricamente e inducidos en el material de prueba. Distintas condiciones, tales como discontinuidades o diferencias en conductividad eléctrica pueden ser las causantes de la distorsión o modificación del campo magnético inducido.

La técnica más utilizada en el método electromagnético es la de Corrientes de Eddy. Esta técnica es empleada para identificar una amplia variedad de condiciones físicas, estructurales y metalúrgicas en materiales metálicos ferromagnéticos y en materiales no metálicos que sean eléctricamente conductores. De esta forma, la técnica se emplea principalmente en la detección de discontinuidades superficiales. Sus principales aplicaciones se encuentran en la medición o determinación de propiedades tales como la conductividad eléctrica, la permeabilidad magnética, el tamaño de grano, dureza, dimensiones físicas, etc., también sirve para detectar, traslapes, grietas, porosidades e inclusiones.

Inspección por réplicas metalografías y perfiles de dureza: Consiste en copiar la textura y relieves de la superficie de cualquier aleación o metal mediante la utilización de un celuloide, el cual se



prepara adecuadamente y se presiona sobre la superficie preparada en forma similar a cualquier probeta metalográfica de laboratorio, pero con un sobre ataque químico para magnificar las interfases. Este método se emplea para determinar el estado de la estructura del equipo que ha manejado materiales sumamente agresivos.

Prueba con ultrasonido: El método de Ultrasonido se basa en la generación, propagación y detección de ondas elásticas (sonido) a través de los materiales. El sonido o las vibraciones, en forma de ondas elásticas, se propaga a través del material hasta que pierde por completo su intensidad ó hasta que topa con una interfase, es decir algún otro material tal como el aire o el agua y, como consecuencia, las ondas pueden sufrir reflexión, refracción, distorsión, etc. Lo cual se traduce en un cambio de intensidad, dirección y ángulo de propagación de las ondas originales.

Con el método de ultrasonido es posible obtener una evaluación de la condición interna del material en cuestión. Sin embargo, el método de ultrasonido es más complejo en práctica y en teoría, lo cual demanda personal calificado para su aplicación e interpretación de indicaciones o resultados de prueba.

2.4.3 Medición de espesores de líneas y equipos de procesos

Para el caso de estudio, el método de inspección que se utiliza aparte de la inspección visual externa, es la prueba con ultrasonido, está presenta una gran ventaja, ya que muestra una mayor capacidad de penetración, lo que permite llevar a cabo la medición de espesores de las paredes de líneas y equipos de proceso



Los medidores de espesores por ultrasonido toman medidas instantáneas, emitiendo ondas ultrasónicas desde un lado del material, lo cual evita cortar la parte corroída. Sus medidas son precisas, confiables, y repetibles.

Uno de los equipos utilizados para la medición de espesores por ultrasonido es el DMS 2, el cual consiste en un medidor de espesores portátil con registrador de datos integrado. Con este aparato se mide el espesor de pared en las piezas, por ejemplo, tubería, equipos a presión y otros equipos sujetos a una reducción gradual de espesor. Este equipo es utilizado para mediciones con el fin de comprobar la corrosión, mediante la documentación de las mediciones generando un historial de medición. Su registrador de datos puede almacenar hasta 150 000 valores de medición ⁽⁸⁾.



Figura 1: Medidor de espesor por ultrasonido de precisión.



La medición de espesores, se utiliza para calcular el espesor real en equipos o tuberías, con el espesor real se realizan los cálculos correspondientes para evaluar el estado o integridad de un material y determinar si aún servirá para prestar el servicio correspondiente, es decir, si soportará la presión con el o los fluidos que va a transportar o contener. Entre los riesgos que se busca evitar con la medición de espesores, están principalmente: deformaciones, fisuras, fugas o explosiones.

2.4.4 Registro, análisis y programación preventiva de espesores

Los trabajos de medición de espesores y su correspondiente análisis estadístico, constituyen un proceso cíclico, ya que cada uno aporta los datos necesarios para la ejecución del siguiente ⁽⁹⁾, a continuación se menciona la secuencia del proceso de análisis de los datos de medición de espesores:

- ❖ Se recopilan los datos de mediciones de espesores anteriores. Este proceso se conoce como "Registro de medición de espesores".
- ❖ Se procede al análisis de los datos registrados, obteniendo la información de velocidad estadística, fechas de próxima medición, fecha de retiro probable, con cual proporciona información de cuándo deben reemplazarse las piezas de acuerdo con su vida útil.
- ❖ La información obtenida del análisis, se registra en una base de datos, la cual estará en un portal electrónico auditable.
- ❖ La base de datos se debe monitorear periódicamente, con la finalidad de determinar que unidades de control deben ser inspeccionadas. Para ello, se deben realizar los respectivos diagramas de inspección técnica.



- ❖ Al ejecutar en campo el programa de medición, se generan nuevos datos, los cuales deben registrarse para ser considerados y comenzar el nuevo ciclo.

2.4.5 Programa general de medición preventiva de espesores

En las operaciones de mantenimiento, el mantenimiento preventivo es el destinado a la conservación de equipos mediante realización de revisión y reparación que garantice su buen funcionamiento y fiabilidad.

Su objetivo es evitar o mitigar las consecuencias de las fallas del equipo, logrando prevenir incidentes antes de que ocurran.

El mantenimiento preventivo constituye una acción, o serie de acciones necesarias, para alargar la vida útil del equipo e instalaciones y prevenir la suspensión de las actividades laborales por imprevistos. Tiene como propósito planificar periodos de paro de trabajo en momentos específicos, para inspeccionar y realizar las acciones de mantenimiento del equipo, con lo que se evitan reparaciones de emergencia.

Un mantenimiento planificado mejora la productividad hasta en 25%, reduce 30% los costos de mantenimiento y alarga la vida útil de la maquinaria y equipo hasta en un 50%.

Es necesario tener un programa de mantenimiento preventivo, para tener la información de forma ordenada y obtener información útil que nos ayude al mantenimiento del equipo ⁽¹⁰⁾.



Para cada caso se debe mantener actualizado un programa de medición de espesores, utilizando un software que contenga como mínimo la información del programa de medición de espesores.

Es de extrema importancia que la fiabilidad de la estructura sea monitoreada adecuadamente sin tener que salir de operación o remover la tubería o equipo.

Dicho programa debe planear fechas para próximas inspecciones, reemplazos y mantenimientos.

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

El Sistema Integral de Medición y Control de Espesores en líneas y equipos (SIMECELE), es un sistema que aprovecha las nuevas tecnologías para mejorar la administración y control de la información, en las actividades relacionadas con la integridad mecánica, la inspección preventiva de espesores en tuberías, equipos y recipientes que manejen o transportan hidrocarburos, productos químicos o petroquímicos y sustancias tóxicas o agresivas, que se manejan en la industria química, petroquímica y de refinación del petróleo. Ha sido desarrollado con base en la metodología propuesta por las distintas normas de inspección técnica de PEMEX-Refinación (DG-SASIPA-IT-0204, GPEI-IT-0201, GPEI-IT-4200, DG-GPASI-IT-0903, DG-GPASI-IT-0209, DG-SASIPA-IT-0008).



El SIMECELE consiste en una serie de módulos para la generación, administración y consulta de la información relacionada con el trabajo de inspección técnica. Uno de los módulos permite realizar la captura de los datos obtenidos directamente en campo, facilitando la identificación de los puntos que se están midiendo, permitiendo el análisis de los datos, para futuras tomas de decisiones generando un historial de mediciones ⁽¹¹⁾.

El proceso de implementación de este sistema en los centros de trabajo, se ve refleja en la mejora de las prácticas de la administración de la integridad mecánica y la inspección preventiva de espesores, tales como:

- ❖ Control y administración del trabajo de inspección, lo cual mejora la eficacia en el trabajo cotidiano de medición de espesores en líneas y equipos.
- ❖ Actualización rápida y sencilla de los diagramas de inspección técnica para la medición de espesores.
- ❖ Información actualizada y disponible de los expedientes de inspección técnica de líneas y equipos de proceso.
- ❖ Disponibilidad de la información del proceso a través de las tecnologías de la información, tales como la intranet.

El proceso de implementación del SIMECELE consta de las siguientes etapas:

1. Recopilación de información (Diagramas de Flujo de Procesos (DFP), Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI),



- expedientes de Unidades de Control (UC) existentes, especificación de materiales de la planta.
2. Identificación y Censo de Circuitos (CC) de acuerdo con el Diagrama de Flujo de Proceso (DFP).
 3. Identificación y Censo de Unidades de Control (CUC) de acuerdo con el Diagrama de Tubería e Instrumentación (DTI).
 4. Actualización en campo de Diagramas de inspección técnica para la medición de espesores.
 5. Digitalización en AutoCAD de los Diagramas de inspección técnica para la medición de espesores, actualizados en el formato homologado del SIMECELE.
 6. Correlación de niveles en los diagramas actualizados con los expedientes, donde se registra el historial de mediciones (Empates).
 7. Captura de especificación de materiales de la planta (Licenciador/clases de materiales, servicios).
 8. Captura de la información de la planta en SIMECELE, con base en los censos realizados y servicios de la planta (Centro de trabajo/Sector-Región/Planta-Terminal/Circuito/Unidad de Control).
 9. Captura de inspecciones de la Unidad de Control (UC) (historial de inspección o nueva inspección).
 10. Revisión y validación del análisis de la Medición de Espesores, para la generación del programa anual de Medición de Espesores.



Capítulo 3. DESARROLLO

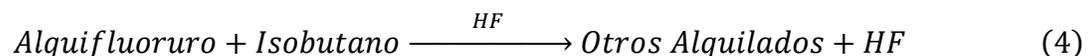
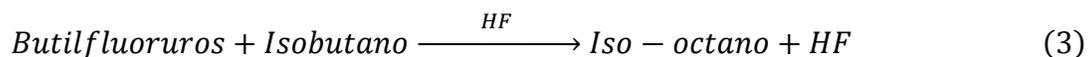
3.1 Descripción del proceso de alquilación

En el contexto de la refinación del petróleo, se utiliza el término alquilación para referirse a un procedimiento, en el cual se hace reaccionar olefinas de bajo peso molecular con parafinas para formar isoparafinas de mayor peso molecular. La reacción del proceso se realiza a baja temperatura en presencia de ácidos muy fuertes.

El proceso de alquilación se lleva a cabo a altas temperaturas y presiones sin la presencia de catalizadores; los únicos procesos de importancia comercial involucran reacciones de alquilación a baja temperatura utilizando como catalizador el ácido fluorhídrico ⁽²⁾.

El presente trabajo se enfoca en la reacción de olefinas C3 y C4 con Isobutano, usando como catalizador el ácido fluorhídrico, teniendo como productos las isoparafina de esta manera el principal objetivo de esta reacción es la obtención de gasolinas de alto octanaje.

Teóricamente, en el proceso de alquilación se llevan a cabo las siguientes reacciones principales:





Las reacciones (1) y (3) son deseables y las reacciones (2) y (4) son indeseables, es por eso que el diseño de los reactores para el proceso de Alquilación debe ser tal que la reacción (1) se favorezca y la reacción (2) se suprima. Este diseño es posible, si los factores que influyen en la cinética de las reacciones son empleados adecuadamente.

El proceso de la planta de alquilación está conformado por 8 secciones principales; destacando la sección de reacción, debido a que ésta es la sección principal de la planta. A continuación se enuncian las secciones que constituyen el proceso de Alquilación:

- a) Sección de alimentación
- b) Sección de eliminación de humedad
- c) Sección de reacción
- d) Sección de fraccionamiento
- e) Sección de tratamientos de productos
- f) Sección de agotamiento de HF
- g) Sección de regeneración de HF
- h) Sección de neutralización de efluentes

a) *Sección de alimentación*

La carga proveniente de la Unidad de Proceso de Hidrogenación Selectiva, HUELS y de la unidad de fraccionamiento de isobutano se unen en una sola corriente para llegar al tanque de alimentación de carga, la mezcla de hidrocarburos es enviada por medio de bombas hacia los secadores para eliminación de la humedad.



b) Sección de eliminación de humedad

La mezcla de olefinas e isobutano proveniente del tanque de carga llega a los secadores, en los cuales se mantiene una presión para prevenir cualquier evaporación en los secadores.

Los secadores están diseñados para reducir el contenido de agua. La carga se dirige normalmente en corriente ascendente al secador que se encuentre operando, mientras que en el secador que se está regenerando la corriente está a flujo descendente. La corriente de hidrocarburo libre de humedad sale de los secadores y se va hacia los reactores.

La deshidratación de la alimentación es esencial para minimizar el potencial de corrosión del equipo de proceso que resulta de la adición de agua al ácido fluorhídrico.

c) Sección de reacción

La corriente de olefinas e isobutano que proviene de los secadores se mezclan con la corriente de isobutano de recirculación y pasa por el mezclador estático, posteriormente entra en los reactores en donde se lleva a cabo la reacción con el ácido fluorhídrico (HF).

El producto de la reacción llega posteriormente al asentador de ácido en donde es separado el hidrocarburo del ácido de acuerdo con su peso específico.



La corriente del ácido que sale por el fondo del asentador es recirculada nuevamente a los reactores, otra corriente es enviada a la torre regeneradora de ácido, una corriente más es enviada a la torre fraccionadora y se mezcla con la corriente de hidrocarburo proveniente del asentador de ácido.

d) *Sección de fraccionamiento*

La torre fraccionadora está diseñada para la separación interna de ácido que disminuye el consumo de éste en el proceso, además de los servicios auxiliares. El medio de calentamiento para la torre fraccionadora es un calentador a fuego directo y dos rehervidores superiores los cuales operan con vapor de baja presión.

Los vapores del domo de la columna que contiene arrastres de propano, isobutano y HF pasan a los condensadores de alimentación de la agotadora de HF y posteriormente pasa al acumulador del domo.

Otra corriente es succionada del tanque acumulador y es enviada como reflujo a la torre fraccionadora y otra parte es enviada hacia la torre agotadora de HF.

De la torre fraccionadora se extrae una corriente de isobutano y es enviada al acumulador, pasando previamente por unos intercambiadores y posteriormente al enfriador, pasa a través del enfriador y llega a los reactores.

Otro corte de la torre fraccionadora es el butano normal, éste corte es extraído en forma de vapores y pasa a la torre rectificadora de



butano, los hidrocarburos que salen por el fondo son retornados a la torre fraccionadora. El butano sale por la parte superior de la rectificadora y es enviado a los tratadores de alúmina y después pasa a otro tratador con KOH esto con el fin de eliminarle los posibles arrastres de HF libre

El alquilado que sale por el fondo de la torre fraccionadora es succionado y su descarga se divide en dos corrientes, una de ellas va al calentador a fuego directo para suministrar el calor requerido, manteniendo así el perfil térmico de la torre; la otra corriente es el alquilado producto, que pasa y cede calor al rehervidor auxiliar de la torre fraccionadora y posteriormente pasa a un intercambiador para cederle calor a la carga de la torre, luego pasa a un enfriador, una vez que el alquilado producto está frío se reparte una corriente al sistema de flushing y otra corriente es enviada a un tratador con KOH y posteriormente hacia almacenamiento.

e) Sección de tratamiento de productos

❖ Propano.

La corriente de Propano que se extrae del fondo de la torre agotadora HF es enviada primeramente a los tratadores con alúmina para eliminarle el HF libre. Posteriormente, es dirigido a los tratadores con KOH para eliminarle los fluoruros orgánicos, y finalmente es conducido hacia el filtro de arena. Una vez que se encuentra en estas condiciones se envía como recirculación hacia la sección HUELS para ser incorporado a la red combustible.



❖ Butano.

La corriente de Butano que se extrae del rectificador de butano es enviada primeramente a los tratadores con alúmina para eliminarle el HF libre. Posteriormente, es dirigido a los tratadores con KOH para eliminarle los fluoruros orgánicos, y finalmente es conducido hacia el filtro de arena; posteriormente, se envía a almacenamiento.

❖ Alquilado.

La parte de la corriente de alquilado que se extrae del fondo de la torre fraccionadora, es enviada al tratador con KOH para eliminarle los fluoruros orgánicos y para ser neutralizada; una vez que se tienen estas condiciones, puede ser enviado a almacenamiento.

f) Sección de agotamiento de HF

La corriente que se extrae del acumulador asentador de carga de la agotadora de HF, es enviada como carga hacia la torre agotadora de HF, donde el objetivo principal es el de recuperar el HF contenido en la corriente del domo de la torre fraccionadora.

g) Sección de regeneración de HF

Parte de la corriente de HF que se extrae del asentador de ácido es dirigida hacia la torre de regeneración de HF, teniendo como objetivo la eliminación del agua y las ASAS, debido a que lo diluyen y bajan la pureza; de este modo puede emplearse de nuevo con una pureza mayor de 85% volumen. Esta torre utiliza una corriente de isobutano sobrecalentado como vapor de arrastre, así como una corriente de isobutano de reflujo. Por el domo, se extrae la corriente rica en HF, la



cual es enviada junto con el domo de la torre fraccionadora hacia los condensadores. Por el fondo se extraen las ASAS, las cuales son enviadas a la sección de neutralización para su disposición.

h) Sección de neutralización de efluentes

Las ASAS provenientes del fondo de la torre regeneradora de HF, son recibidas en el tanque acumulador de polímero para ser enviadas al neutralizador de polímero, en el cual se lleva a cabo la neutralización utilizando KOH líquido.

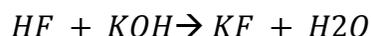
Los desfogues ácidos son recibidos en el tanque separador de desfogues, por el fondo los desfogues líquidos son enviados al tanque neutralizador, en el cual por calentamiento se vaporizan los hidrocarburos ligeros y se lleva a cabo la neutralización de los desfogues líquidos empleando KOH líquido. Por el domo del tanque separador de desfogues, se extraen los desfogues gaseosos para ser enviados a la torre depuradora de gases de desfogues ácidos, en la cual se neutralizan estos desfogues a contracorriente con una solución de KOH.

La sección de interés en este trabajo es la sección de neutralización, ya que se analizarán los datos obtenidos de la implementación del SIMECELE en dos torres depuradoras de gases desfogues ácidos. Estas se alimentan en el plato 7 de la parte media de los gases provenientes del desfogue ácido. El gas asciende a través de la sección de platos de la torre depuradora, en donde se pone en contacto a contracorriente con una solución de KOH para neutralizar cualquier vapor de HF. De este modo, los gases de desfogue ya neutralizados salen por la parte superior de la torre depuradora al



cabezal de desfogue no ácido, para ser conducido hacia el sistema de quemadores de la refinería.

El vapor de HF se remueve a través de la reacción:



La solución de KOH para esta neutralización se hace circular continuamente desde del fondo de la torre depuradora de gases de desfogue ácido, una parte se manda hacia la sección superior de la torre para que fluyendo hacia abajo contacte a la corriente de gas ácido ascendente y otra parte hacia su línea de alimentación de los gases de desfogue ácido para prevenir corrosión de esta línea y desde ese punto se establezca el contacto de la solución neutralizante con la corriente de gases ácidos por neutralizar.

Es muy importante la sección de neutralización, ya que todo tipo de efluente líquido que pueda contener HF deberá neutralizarse completamente antes de enviarlo al sistema de tratamiento de efluentes de desecho de la refinería.

En la Figura 2 se muestra el diagrama de bloques del proceso de alquilación.

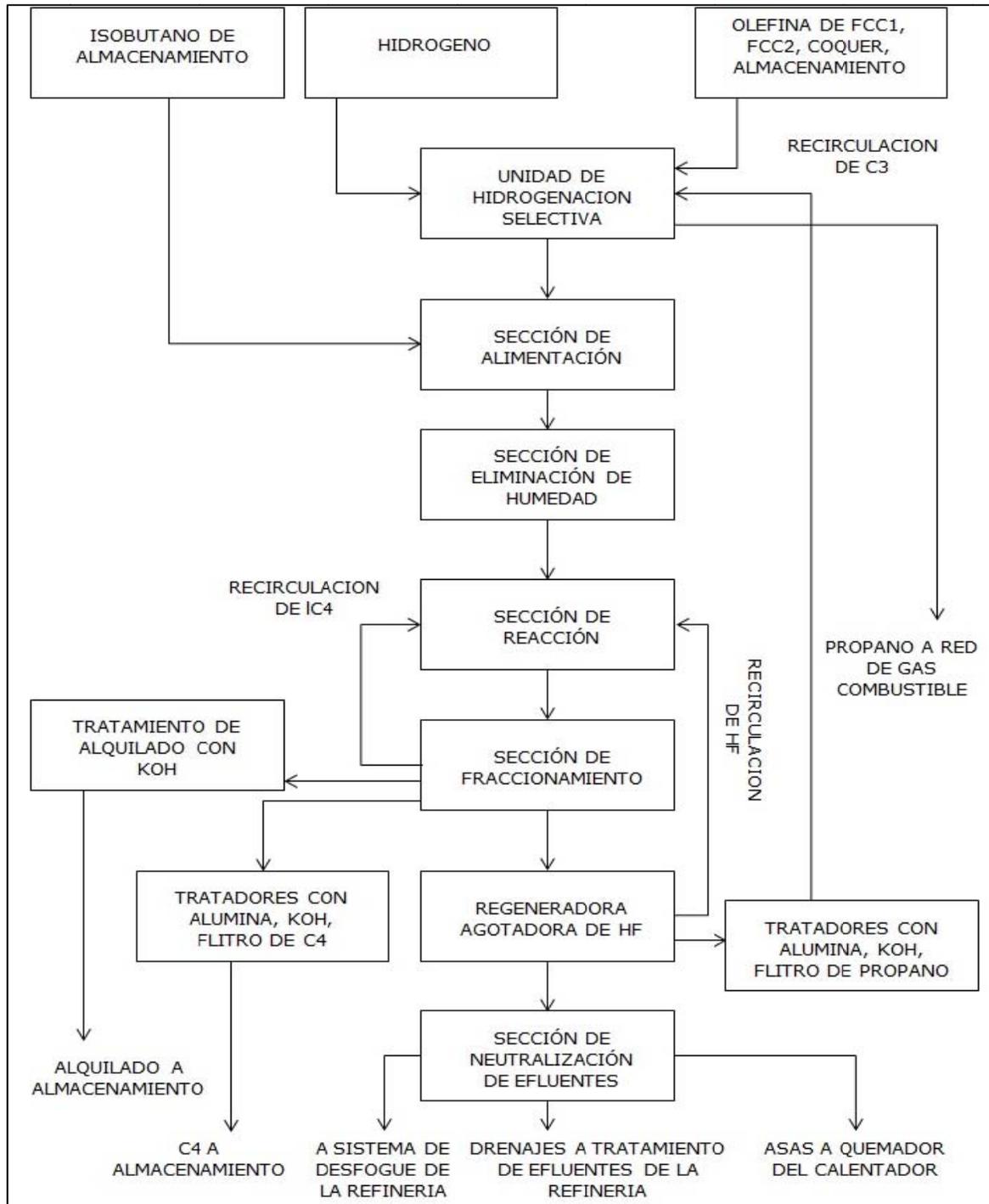


Figura 2: Diagrama de bloques del proceso de alquilación.



3.2 Implementación de SIMECELE

3.2.1 Recopilación de información

Para la implementación de SIMECELE se recopiló la información que proporciona la documentación adecuada para trabajar con el sistema de medición de espesores.

A continuación, se enlistan los documentos que permiten el análisis de la planta:

1. Descripción del proceso.
2. Diagramas de flujo de procesos.
3. Diagramas de tubería e instrumentación.
4. Listado de líneas.
5. Listado de equipos.
6. Hojas de diseño mecánico de equipo.
7. Catálogo de especificación de materiales de tuberías, Índice de servicios.
8. Diagramas de inspección técnica.
9. Expediente de medición de espesores.
10. Censo de unidades de control.

3.2.2 Censo de circuitos

Después de analizar la información obtenida, se secciona la planta para administrar la información. Una planta puede ser seccionada de varias maneras, por ejemplo: por materiales, por servicios, por secciones de procesos, operaciones unitarias, etc. Sin embargo, con el



fin de que sea funcional para la inspección técnica de acuerdo con la norma DG-SASIPA-IT-0204, se deberá seccionar en circuitos. A continuación, se describe un circuito de acuerdo con la norma DG-SASIPA-IT-0204.

- ❖ Líneas: es el conjunto de líneas que manejen un fluido de la misma composición, que puede variar en sus diferentes puntos del proceso las condiciones de operación. La división de los circuitos se realiza en diagramas de flujo de proceso, asignándole un nombre y un número a su vez, en ocasiones el nombre del circuito corresponde al servicio que maneja dicho circuito.
- ❖ Equipos: Algunas funciones de los equipos es mezclar, separar, hacer reaccionar o transportar uno o varios fluidos, por lo que no es preciso saber la composición de cada fluido en su interior y es más fácil su retiro total para su mantenimiento o reposición, por lo que cada equipo es considerado un circuito. En este caso el nombre del circuito es la etiqueta (TAG) del equipo.

Para la Planta de Alquiler se obtuvieron 80 circuitos de equipos. Los circuitos identificados para la Planta de Alquiler se muestran en el diagrama de flujo de proceso, el cual se encuentra en el Anexo 1.

2.2.3 Censo de unidades de control

Una vez obtenidos los circuitos de la planta, estos se subdividen en unidades de control. Una unidad de control se define de acuerdo con



la norma DG-SASIPA-IT-0204 como secciones de circuito que tienen una velocidad de desgaste más o menos homogénea.

Cualquier mecanismo por el cual varíe el desgaste de una tubería o equipo entre sus secciones, deberá ser indicio de una nueva unidad de control. Algunos de los mecanismos por los cuales se da una variación en la velocidad de corrosión son: cambios de condiciones de operación (presión y temperatura), cambios de materiales, mezcla de servicios, cambios de fase, etc.

En el caso de los equipos, como las torres de destilación con velocidades de desgaste críticas, deben seccionarse en tantos tramos como sea necesario, para tener unidades control con velocidades de desgaste homogéneo.

Para las torres depuradoras de gases de desfogues ácidos se divide en tres unidades de control, las cuales son:

- ❖ Domo: Sección superior de la torre, donde se concentran los gases ya neutralizados.
- ❖ Alimentación: La torre depuradora recibe la alimentación en la parte media, entran los gases ácidos y la solución neutralizante de KOH, está sección de la torre tiene una mayor velocidad de desgaste porque se encuentra en contacto directo con los desfogues ácidos por lo cual cuenta con una protección anticorrosiva de monel para disminuir su velocidad de desgaste y sea uniforme con las demás secciones de la torre.
- ❖ Fondo: Sección inferior de la torre donde se concentra la solución de KOH para la neutralización de los gases ácidos.



Esta delimitación de unidades de control se empleó para las torres depuradoras de las Plantas de Alquilación.

La información que se genera de las unidades de control de equipos se concentra en un formato denominado: censo de unidades de control de equipos, cuenta con la siguiente información: Número de circuito, nombre del circuito, nombre de la unidad de control, descripción de la línea o equipo, nombre del diagrama de tubería e instrumentación donde se encuentra las unidades de control, servicio, clase de material, condiciones de operación y diseño, diagrama de inspección técnica indicando los niveles de medición, diámetros, especificación de material, espesor nominal y límite de retiro.

En el anexo 2, se muestra el Diagrama de Tuberías e Instrumentación con las unidades de control de la torre depuradora de gases de desfogues ácidos para la Planta de Alquilación.

3.2.4 Actualización y digitalización de diagramas de inspección técnica

Un diagrama de inspección técnica es un dibujo que describe una representación de una unidad de control (UC), trátase de líneas o equipos.

En esos diagramas se muestra información del centro de trabajo al que pertenece la UC, sus condiciones de operación y de diseño, así como el número de niveles de inspección de tubería, niplería y tornillería.



Los diagramas para inspección técnica son auxiliares en el proceso de medición preventiva de espesores, por lo que cada unidad de control debe contar con su diagrama técnico ⁽¹²⁾.

Las dos torres depuradoras de gases de desfogues ácidos de las Plantas de Alquilación tienen tres unidades de control que son parte del equipo.

En las Figuras 3 y 4, se muestran los diagramas de inspección técnica de las unidades de control DOMO y ALIMENTACIÓN, respectivamente.

Para las Figuras 5 y 6 se muestran los diagramas de inspección técnica de la unidad de control FONDO.

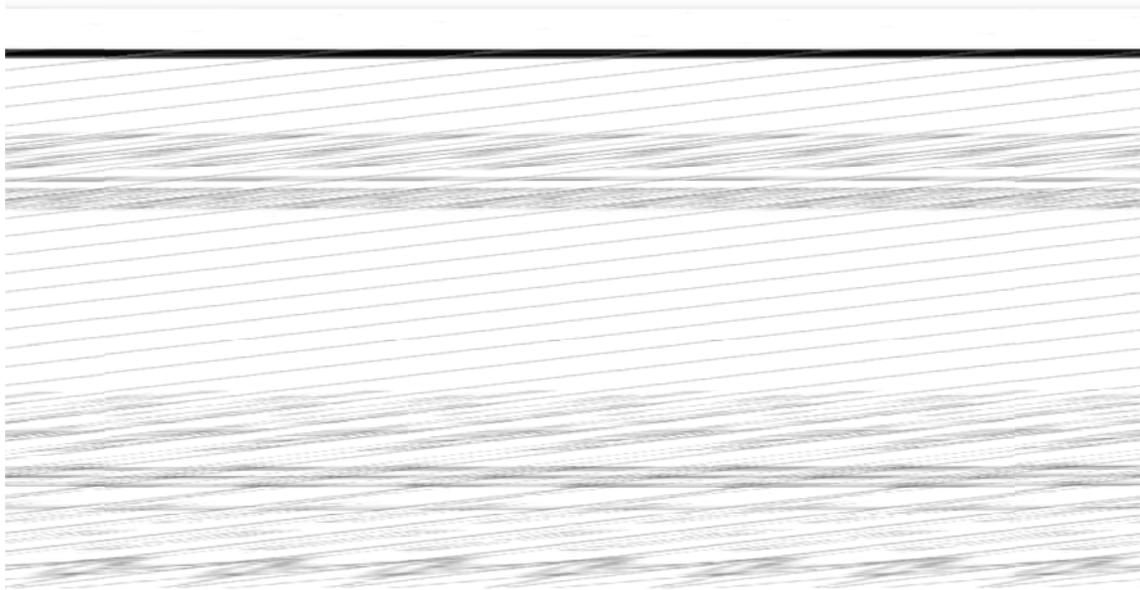


Figura 3: Diagrama de inspección técnica de la unidad de control DOMO.

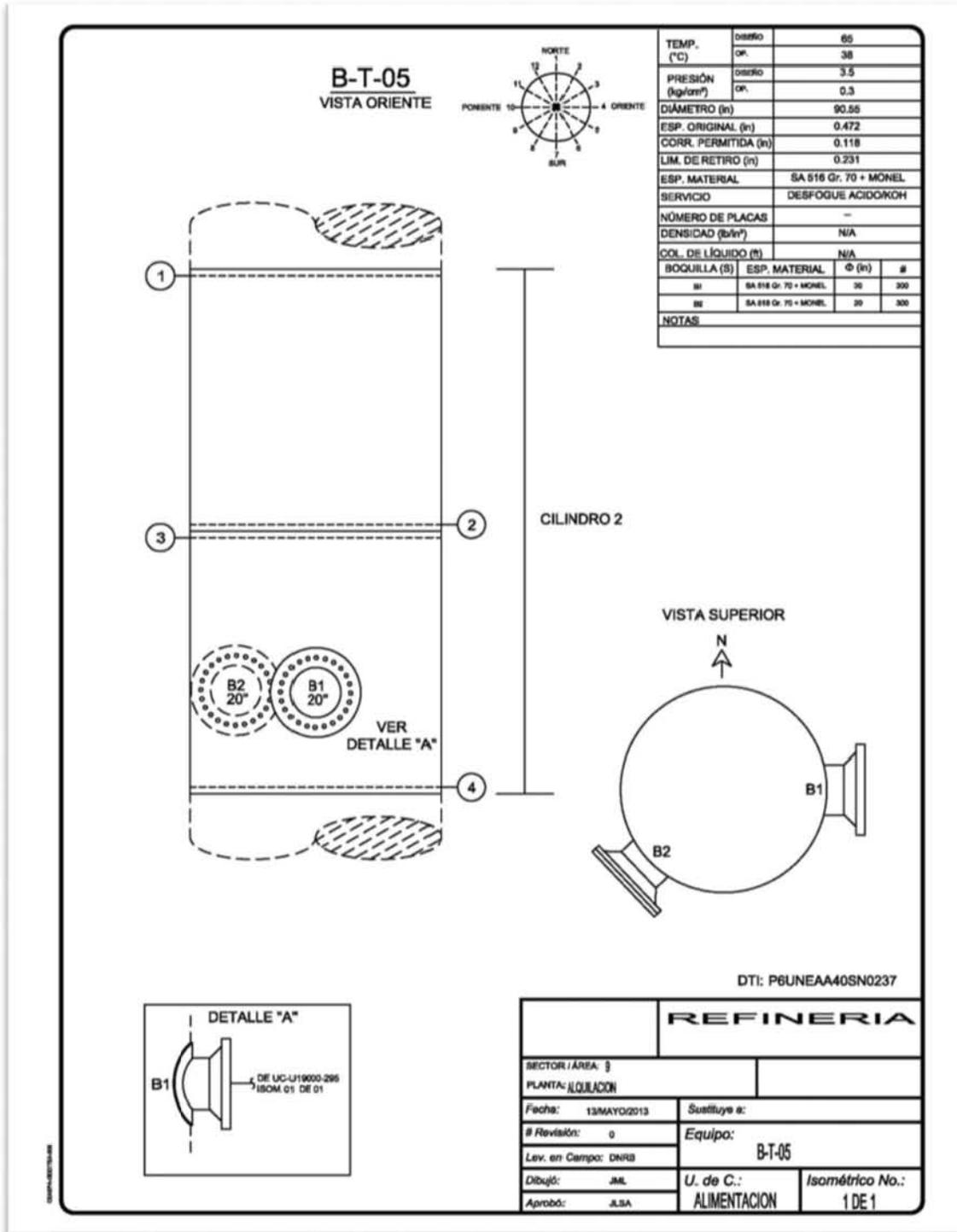


Figura 4: Diagrama de inspección técnica de la unidad de control ALIMENTACIÓN.

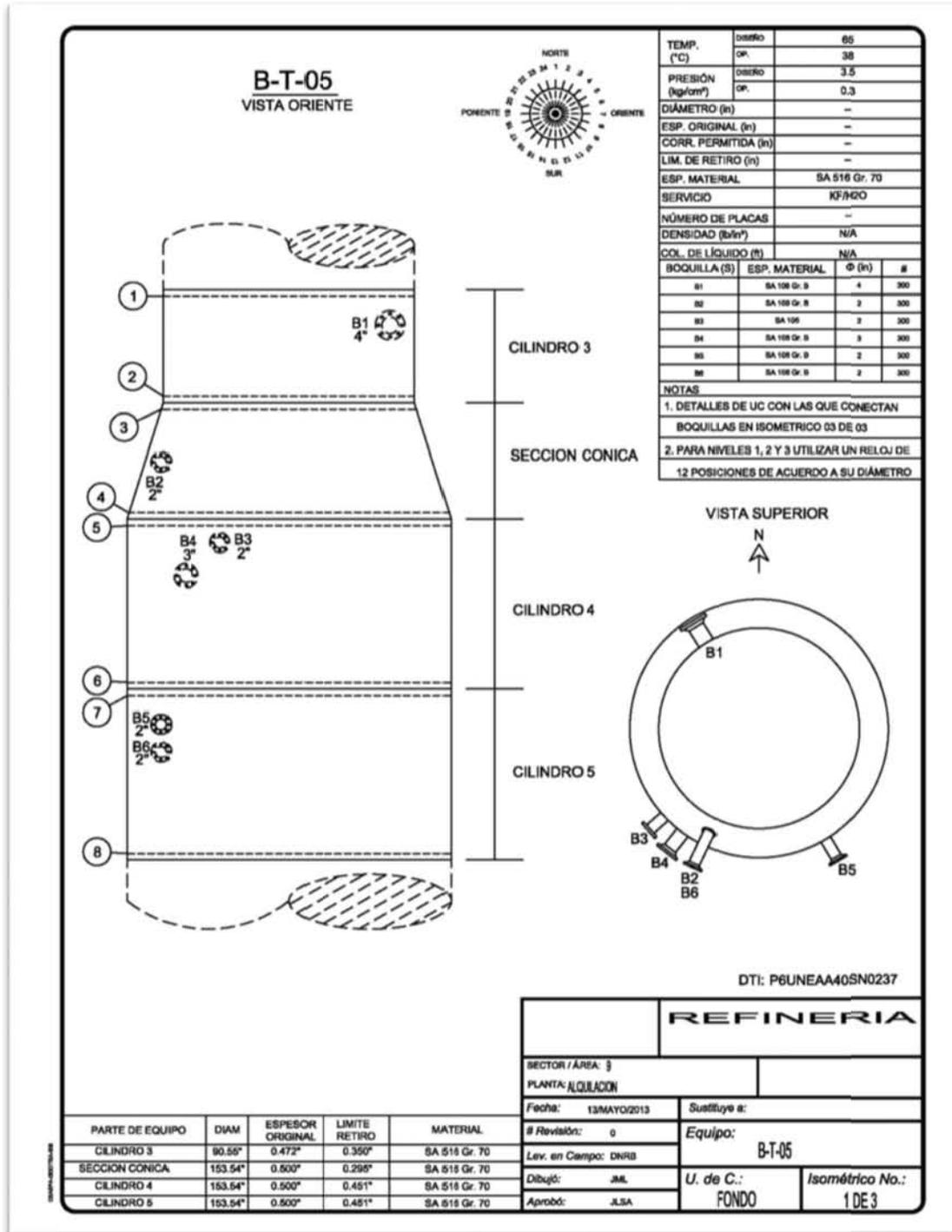


Figura 5: Primer diagrama de inspección técnica de la unidad de control FONDO.

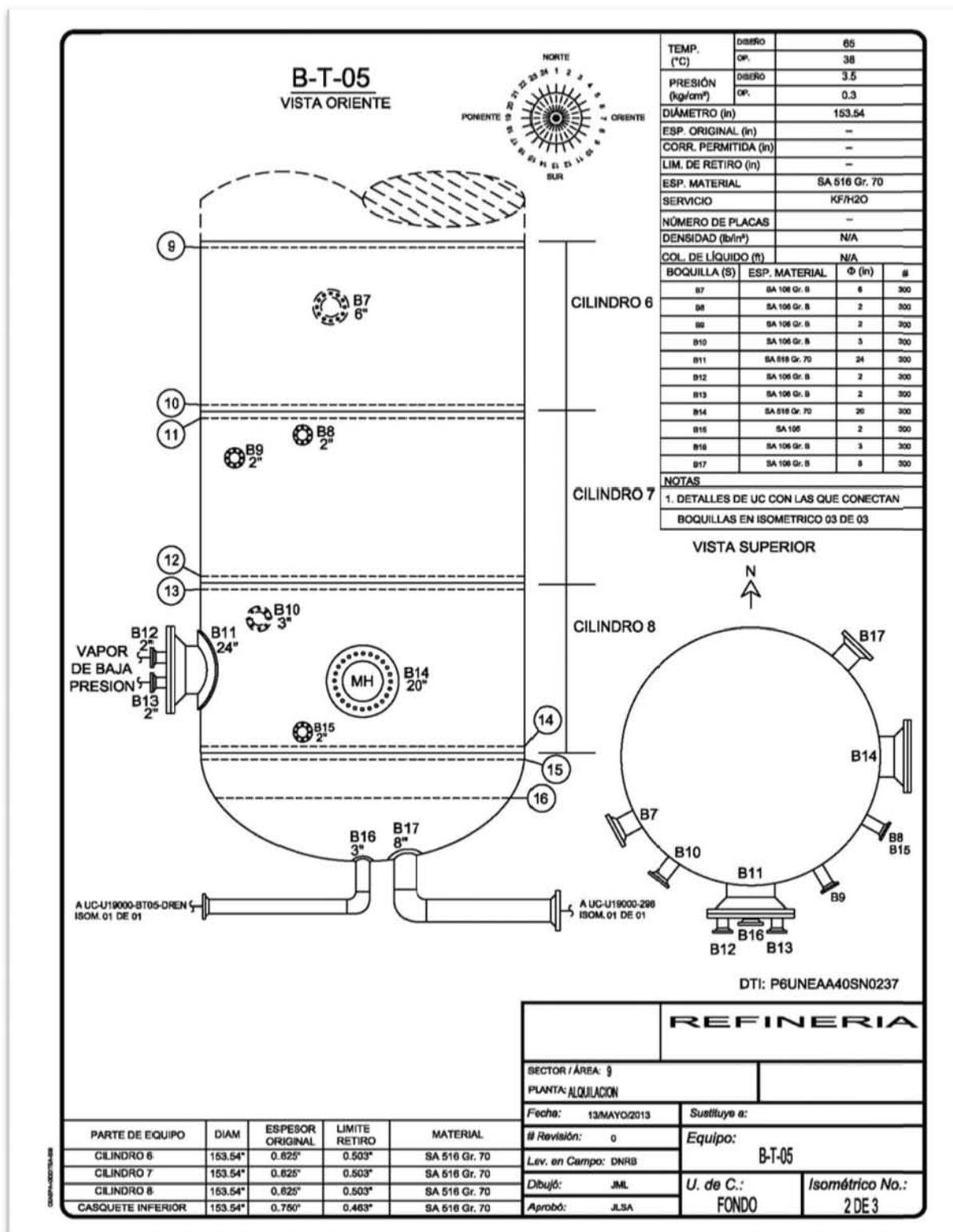


Figura 6: Segundo diagrama de inspección técnica de la unidad de control FONDO.



3.2.5 Captura de la estructura e inspecciones de una unidad de control de equipo en SIMECELE

Para capturar una unidad de control se requiere realizar una serie de actividades, que van desde la descripción del proceso de la planta para identificar los circuitos que la conforman, hasta la captura de especificaciones de los materiales en el software SIMECELE.

La información que se necesita para la captura de la unidad de control es:

- ❖ Conjunto de Diagramas de Inspección Técnica de Espesores por unidad de control, que es la descripción gráfica de la Unidad de Control con los últimos cambios que está ha sufrido.
- ❖ Control de cambios, donde ha quedado establecida de forma resumida la información necesaria para dar de alta la unidad de control.
- ❖ Expediente de la Unidad de Control donde se tienen todos los registros de las inspecciones.

Una vez capturada la estructura de la unidad de control se procede a la captura de las inspecciones. Para esto es necesario contar con la siguiente información:

- ❖ Expediente de la Unidad de Control, que contiene las inspecciones y la información referente a las fechas en que la unidad de control ha sido emplazada, además de



datos relevantes respecto a las condiciones en que se encontró la unidad de control al ser inspeccionada.

Al capturar en SIMECELE todas las inspecciones obtenidas de la información recopilada de las Unidades de Control se procede a hacer el análisis estadístico formal.

3.3 Análisis estadístico formal

El análisis estadístico formal, se lleva a cabo matemáticamente, para obtener el desgaste máximo (D_{max}) ajustado, vida útil estimada (VUE), fecha de próxima medición (FPME) y fecha de retiro probable (FRP) de una unidad de control ⁽⁷⁾.

3.3.1 Velocidad de desgaste

La velocidad de desgaste 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 ⁽⁷⁾.

Para realizar el cálculo de la velocidad de desgaste por punto se requiere:

- ❖ 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.



- ❖ Para que sea aceptable el cálculo, debe haber transcurrido cuando menos un año entre una pareja de fechas de medición. Con fechas más cercanas se obtienen errores.
- ❖ En el análisis, se considera todas las parejas de valores de espesor, incluyendo aquellas cuyas diferencias sean "cero", ya sea por engrosamiento, o por que no exista desgaste.
- ❖ La velocidad de desgaste por punto debe calcularse de acuerdo con la siguiente ecuación:

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

Dónde:

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)

(mils)= Milésima de pulgada

3.3.2 Cálculo de la velocidad de desgaste promedio (D_{prom}) y la velocidad máxima ajustada (D_{max}).

La velocidad de desgaste promedio (D_{prom}) y la velocidad máxima ajustada (D_{max}) deben calcularse de acuerdo con las siguientes ecuaciones ⁽⁷⁾:



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

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

Dónde:

$d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$ = Velocidades de desgastes correspondientes a cada punto de la línea o equipo considerado (milésimas de pulgada por año).

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

3.3.3 Determinación del mínimo espesor actual

Con el fin de 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 al punto que tenga el espesor más bajo en la unidad de control. Dichos espesores se denominarán "ek" y la fecha de medición correspondiente "fk". ⁽⁷⁾

3.3.4 Determinación de la Vida Útil Estimada (VUE), Fecha de Próxima Medición (FPME) y Fecha de Retiro Probable (FRP)

La Vida Útil Estimada (VUE), Fecha de Próxima Medición (FPME) y Fecha de Retiro Probable (FRP) debe calcularse de acuerdo a las siguientes fórmulas ⁽⁷⁾:



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

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

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

Dónde:

Lr = Límite de retiro (mils)

ek = Espesor más bajo encontrado en la última medición (mils)

fk = Fecha de última medición (años)



Capítulo 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Para el análisis de resultados se utiliza los datos obtenidos de la implementación de SIMECELE, conforme a los niveles de medición de inspecciones mostrados en el diagrama de inspección técnica explicado en el punto 3.2.4 de esta tesis, y los datos obtenidos por la recopilación de información de dos inspecciones; una en septiembre del 2006 y la otra en Diciembre del 2013, se obtienen los siguientes resultados que a continuación se hace el análisis.

Dentro del análisis de este trabajo las unidades de control que se analizaron, son las correspondientes a las torres depuradoras de las Plantas de Alquiler 1 y 2, las cuales se denotarán en el resto del documento como TD-01 y TD-02, respectivamente para cada planta.

4.1 Análisis de las mediciones de la TD-01

4.1.1 DOMO

La Unidad de control DOMO de la TD-01 cuenta con 6 niveles de medición de espesores, en cada nivel de medición se obtiene 12 inspecciones, esto es, por que se mide alrededor del diámetro del equipo.



Las gráficas obtenidas en SIMECELE muestran el comportamiento de las mediciones de espesores, comparándolos con el espesor nominal y con el límite de retiro.

En la figura 7 se muestra el comportamiento de las inspecciones realizadas en la unidad de control DOMO, las mediciones de espesores se encuentran entre dos límites, el superior el espesor nominal y el inferior el límite de retiro.

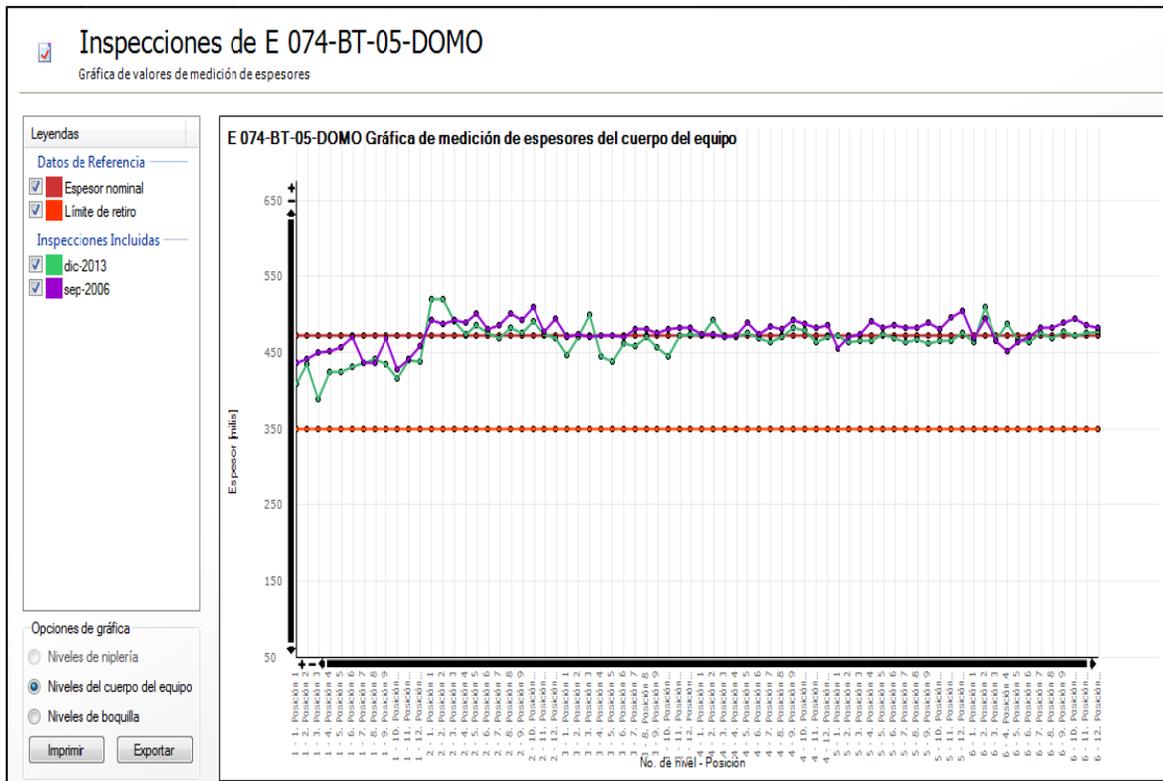


Figura 7: Gráfica de inspecciones de la unidad de control DOMO de la TD-01.



Después de verificar que ningún punto llegue al límite de retiro, se procede a hacer el análisis de los resultados.

En la tabla 1 se muestran los resultados obtenidos de la implementación de SIMECELE.

Tabla 1: Resultados unidad de control DOMO de la TD-01.

Planta	Alquilación 1
Unidad de Control	DOMO
Niveles totales	6
Velocidad de desgaste promedio (mpa)	2
Velocidad máxima ajustada (mpa)	2.3
Vida Útil Estimada (años)	16.3
Fecha de Próxima Medición	Diciembre 2018
Fecha de Retiro Probable	Marzo 2030

La unidad de control DOMO de la TD-01 tiene velocidades de desgaste promedio de 2 milésimas de pulgada por año y una velocidad máxima ajustada de 2.3 milésimas de pulgada por año, esta parte de la torre depuradora tiene la velocidad de desgaste bajo, por contener los



gases de desfogue ya neutralizados, la vida útil estimada es de 16.3 años, teniendo fecha de retiro probable en Marzo del 2030, pero se deben seguir haciendo mediciones de espesores para asegurar que el comportamiento de las velocidades de desgaste siga constantes por lo que la fecha de próxima medición es en Diciembre del 2018.

La evaluación del deterioro para esta parte de la TD-01, se encuentra en un nivel 1, ya que tiene una vida útil mayor a 15 años, con probabilidad de falla mayor a diez años, contiene sustancias con grado mínimamente peligroso, trabajando con una presión de operación de 0.3 kg/cm² y una temperatura de operación de 38 °C.

4.1.2 ALIMENTACIÓN

La unidad de control ALIMENTACIÓN está conformada por 4 niveles de medición de espesores, cada nivel con 12 inspecciones alrededor del equipo.

Las inspecciones realizadas en 2006 y en el 2013 se encuentran muy por arriba del espesor nominal, ya que la medición considera el recubrimiento interno de la TD-01, el espesor nominal solo considera el espesor del equipo.

En la figura 8, se muestra el comportamiento de las inspecciones realizadas en la unidad de control ALIMENTACIÓN, comparándolas con el espesor nominal y el límite de retiro.

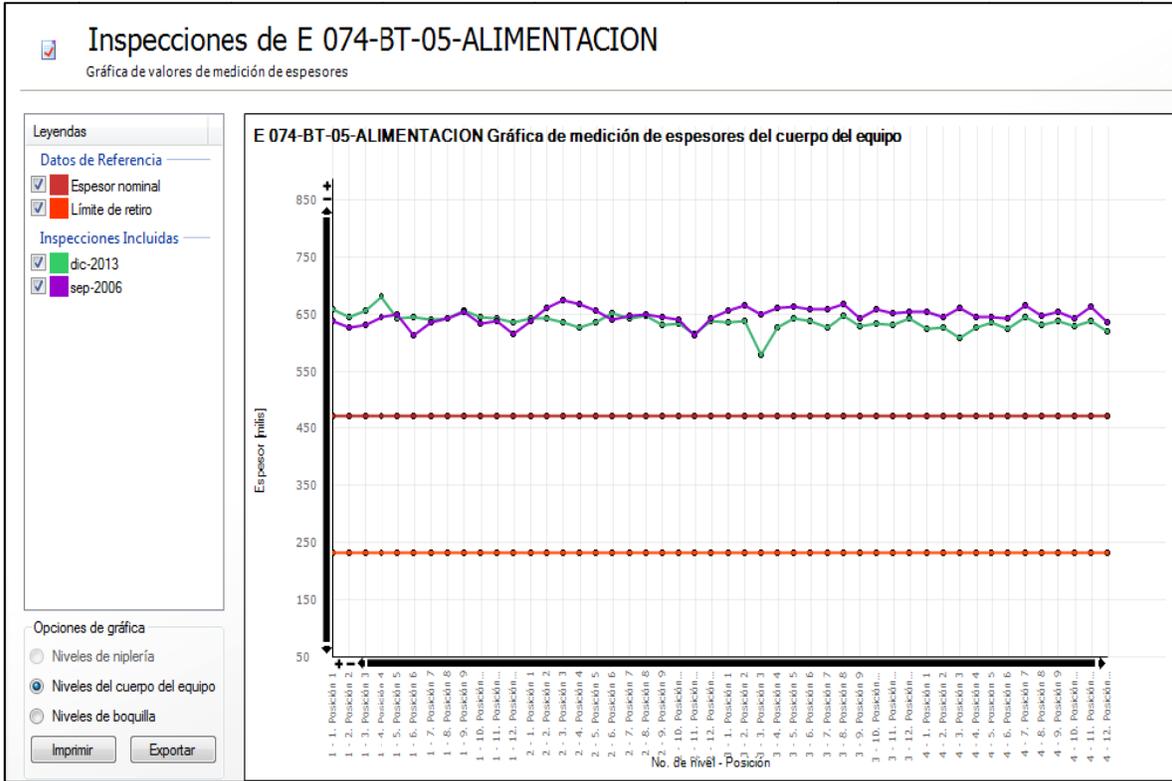


Figura 8: Gráfica de inspecciones de la unidad de control ALIMENTACIÓN de la TD-01.

Las inspecciones se encuentran por encima del espesor nominal, debido que esta parte del equipo cuenta con recubrimiento de monel.

A pesar de que cuenta con este recubrimiento, no se ve que afecte el comportamiento de las velocidades de desgaste.

Los resultados obtenidos de la implementación de SIMECELE en la unidad de control ALIMENTACIÓN se presentan en la tabla 2.



Tabla 2: Resultados unidad de control ALIMENTACIÓN de la TD-01

Planta	Alquilación 1.
Unidad de Control	ALIMENTACIÓN
Niveles totales	4
Velocidad de desgaste promedio (mpa)	2.2
Velocidad máxima ajustada (mpa)	2.6
Vida Útil Estimada (años)	132.6
Fecha de Próxima Medición	Diciembre 2018
Fecha de Retiro Probable	Diciembre 2113

La velocidad de desgaste promedio y velocidad máxima ajustada son bajas, ya que estas se calculan con las inspecciones obtenidas, al hacer el cálculo de la vida útil estimada, fecha de próxima medición y fecha de retiro probable se necesita el límite de retiro, el cual está muy por debajo de las inspecciones y por lo tanto dan una vida útil mayor a 100 años.



Esta parte de la torre tiene como función la entrada de los gases de desfogues ácidos, por lo que aumenta el riesgo de corrosión y por esa razón se coloca el recubrimiento de monel.

Este recubrimiento ayuda a que tenga una vida útil más larga que las demás partes del equipo, teniendo una fecha de retiro probable de Diciembre 2113, pero por seguridad se necesita hacer una próxima medición en Diciembre del 2018, para verificar el comportamiento de la velocidad de desgaste.

La unidad de control ALIMENTACIÓN tiene una evaluación del deterioro de nivel 1, ya que, tiene una vida útil mayor a 15 años, con probabilidad de falla mayor a diez años, contiene sustancias con grado moderadamente peligroso, trabajando con una presión de operación de 0.3 kg/cm^2 y una temperatura de operación de $38 \text{ }^\circ\text{C}$.

4.1.3 FONDO

Esta parte de la TD-01 está conformada por 6 cilindros y una sección cónica, el primer cilindro y la sección cónica tiene diámetro menor que el resto de los cilindros. Los datos del espesor nominal y el límite de retiro de cada cilindro son obtenidos de la información recopilada de la fabricación del equipo.

Para la unidad de control FONDO se tienen 16 niveles de medición en el cuerpo del equipo, en el apartado 2.2.4 de esta tesis se muestra la localización de los puntos de medición.

Los primeros tres niveles tiene 12 inspecciones y los 13 niveles restantes tiene 24 inspecciones cada una.



En la figura 9, se muestra el comportamiento de las inspecciones realizadas en la unidad de control FONDO, comparándolas con el espesor nominal y el límite de retiro.

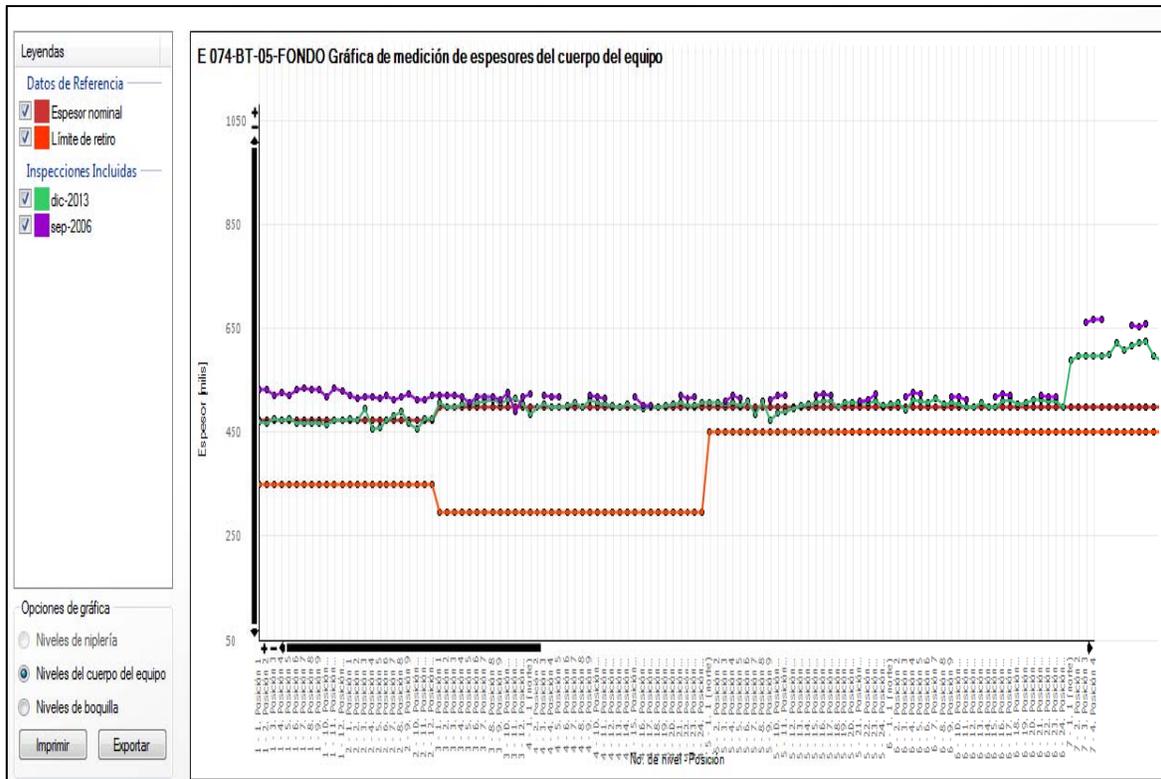


Figura 9: Gráfica de inspecciones de la unidad de control FONDO de la TD-01.

El comportamiento de las inspecciones para esta unidad de control no son muy similares, ya que algunas presentan engrosamiento en los espesores, esto puede ser por las diferencias de posiciones al hacer las mediciones, al ser la parte de la torre más grande puede tener errores de medición.



En las inspecciones de Diciembre del 2013 tiene todos los registros de las mediciones completas, pero en las inspecciones de septiembre del 2006 no tiene los registros de todas las inspecciones, por lo que al comparar los registros de las dos inspecciones tienen irregularidades.

Los resultados obtenidos de la implementación de SIMECELE en la unidad de control FONDO se presentan en la tabla 3.

Tabla 3: Resultados unidad de control FONDO de la TD-01.

Planta	Alquilación 1
Unidad de Control	FONDO
Niveles totales	16
Velocidad de desgaste promedio (mpa)	4.7
Velocidad máxima ajustada (mpa)	5.2
Vida Útil Estimada (años)	4.5
Fecha de Próxima Medición	Junio 2015
Fecha de Retiro Probable	Mayo 2018



La velocidad de desgaste promedio y la velocidad máxima ajustada son altas con base a las unidades de control DOMO y ALIMENTACIÓN.

El fondo de la TD-01 contiene la solución del KOH que recircula constantemente de arriba hacia abajo, para lavar los gases de desfogue ácidos, en el fondo de la torre se encuentra una gran cantidad de la solución por ser acuosa hace que la velocidad de desgaste sea mayor.

Al tener una velocidad de desgaste alta, tiende a tener una fecha de próxima medición cercana, por lo que se debe tener un mayor control de las mediciones de espesores.

El nivel del deterioro de esta parte de la TD-01, es de nivel 3 ya que cuenta con una vida útil menor a 5 años.



4.2 Análisis de las mediciones de la TD-02

4.2.1 DOMO

La Unidad de control DOMO de la TD-02 cuenta con 6 niveles de medición de espesores, en cada nivel de medición se obtiene 12 inspecciones.

En la figura 10, se muestra el comportamiento de las inspecciones realizadas en la unidad de control DOMO, comparándolas con el espesor nominal y el límite de retiro.

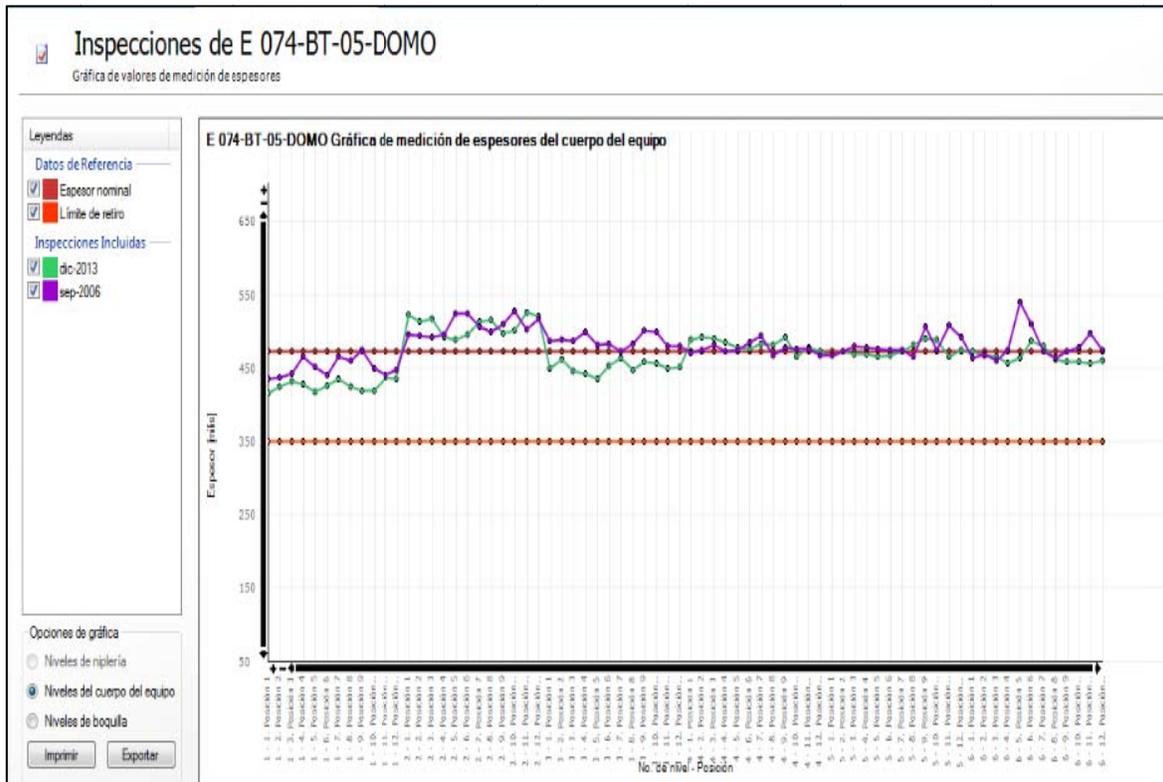


Figura 10: Gráfica de inspecciones de la unidad de control DOMO de la TD-02.



Se observa en las inspecciones que algunos puntos tienen un desgaste mayor que en otros, pero ninguno llega al límite de retiro. Tiene un comportamiento similar las dos inspecciones.

En la tabla 4 se muestran los resultados obtenidos de la implementación de SIMECELE.

Tabla 4: Resultados unidad de control DOMO de la TD-02.

Planta	Alquilación 2
Unidad de Control	DOMO
Niveles totales	6
Velocidad de desgaste promedio (mpa)	2.3
Velocidad máxima ajustada (mpa)	2.7
Vida Útil Estimada (años)	24.2
Fecha de Próxima Medición	Diciembre 2018
Fecha de Retiro Probable	Febrero 2038



La unidad de control DOMO de la TD-02 tiene velocidades de desgaste promedio de 2.3 milésimas de pulgada por año y una velocidad máxima ajustada de 2.7 milésimas de pulgada por año, esta parte de la torre depuradora tiene la velocidad de desgaste bajo, por contener los gases de desfogue ya neutralizados, la vida útil estimada es de 24.2 años teniendo fecha de retiro probable en Febrero del 2038, pero se debe seguir haciendo mediciones de espesores para asegurar que el comportamiento de las velocidades de desgaste sigan constantes por lo que la fecha de próxima medición es en Diciembre del 2018.

La evaluación del deterioro para esta parte de la TD-02, se encuentra en un nivel 1, ya que, tiene una vida útil mayor a 15 años, con probabilidad de falla mayor a diez años, contiene sustancias con grado mínimamente peligroso, trabajando con una presión de operación de 0.3 kg/cm² y una temperatura de operación de 38 °C.

4.2.2 ALIMENTACIÓN

La unidad de control ALIMENTACIÓN está conformada por 4 niveles de medición de espesores, cada nivel con 12 inspecciones alrededor del equipo.

Las inspecciones realizadas en 2006 y en el 2013 se encuentran muy por arriba del espesor nominal, ya que consideran el recubrimiento en el interior de esta parte de la TD-02, el espesor nominal solo considera el espesor del equipo.



En la figura 11, se muestra el comportamiento de las inspecciones realizadas en la unidad de control ALIMENTACIÓN, comparándolas con el espesor nominal y el límite de retiro.

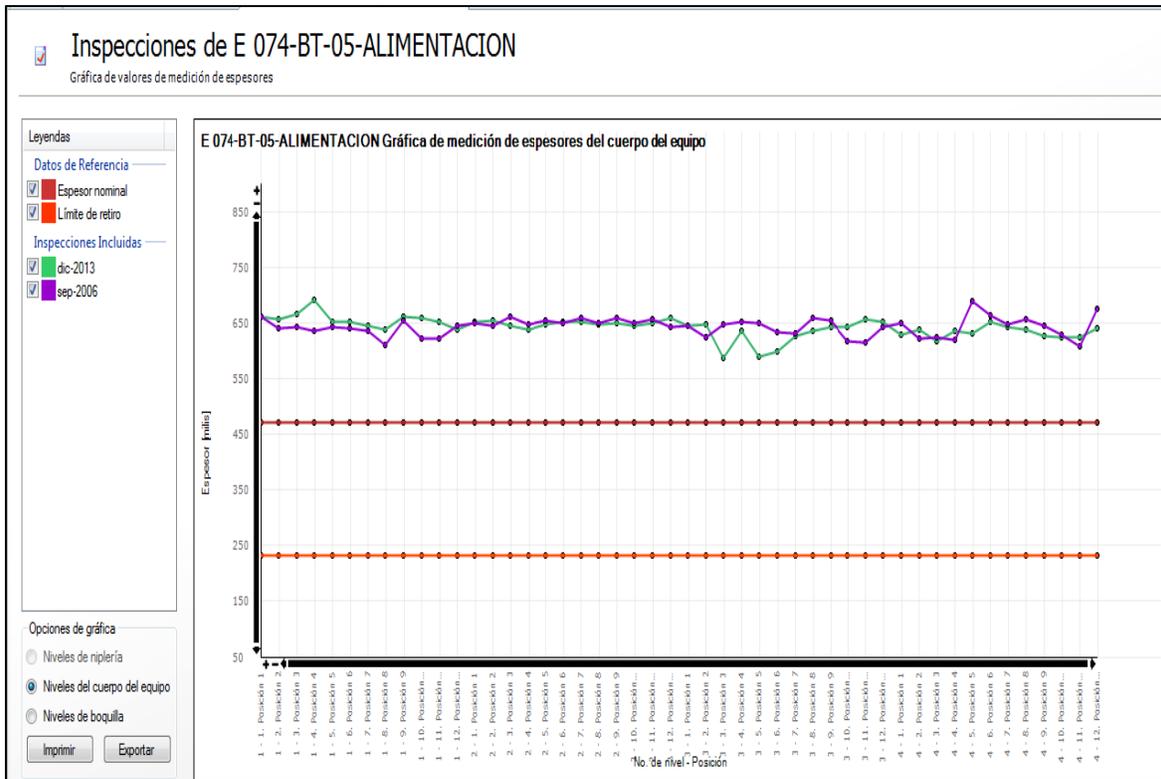


Figura 11: Gráfica de inspecciones de la unidad de control ALIMENTACIÓN de la TD-02.

Las inspecciones se encuentran por encima del espesor nominal, debido que esta parte del equipo cuenta con recubrimiento de monel.

A pesar de que cuenta con este recubrimiento, no se ve que afecte el comportamiento de las velocidades de desgaste.



Los resultados obtenidos de la implementación de SIMECELE en la unidad de control ALIMENTACIÓN se presentan en la tabla 2.

Tabla 5: Resultados unidad de control ALIMENTACIÓN de la TD-02.

Planta	Alquilación 2.
Unidad de Control	ALIMENTACION
Niveles totales	4
Velocidad de desgaste promedio (mpa)	1.4
Velocidad máxima ajustada (mpa)	1.7
Vida Útil Estimada (años)	210.8
Fecha de Próxima Medición	Diciembre 2018
Fecha de Retiro Probable	Diciembre 2113

La velocidad de desgaste promedio y velocidad máxima ajustada son bajas, ya que estas se calculan con las inspecciones obtenidas, al hacer el cálculo de la vida útil estimada, fecha de próxima medición y fecha de retiro probable se necesita el límite de retiro, el cual está muy



por debajo de las inspecciones y por lo tanto dan una vida útil mayor a 100 años.

Esta parte de la torre tiene como función la entrada de los gases de desfogues ácidos, por lo que aumenta el riesgo de corrosión y por esa razón se coloca el recubrimiento de monel.

Este recubrimiento ayuda a que tenga una vida útil más larga que las demás partes del equipo, teniendo una fecha de retiro probable de Diciembre 2113, pero por seguridad se necesita hacer una próxima medición en Diciembre del 2018, para verificar el comportamiento de la velocidad de desgaste.

La unidad de control ALIMENTACIÓN tiene una evaluación del deterioro de nivel 1, ya que, tiene una vida útil mayor a 15 años, con probabilidad de falla mayor a diez años, contiene sustancias con grado moderadamente peligroso, trabajando con una presión de operación de 0.3 kg/cm^2 y una temperatura de operación de $38 \text{ }^\circ\text{C}$.

En estas unidades de control tiene fecha de próxima medición más cercana, ya que al encontrarse con velocidades de desgaste mayores, se debe hacer una medición de espesores antes para que se tenga un control en este equipo.

4.2.3 FONDO

Esta parte de la TD-02 está conformada por 6 cilindros y una sección cónica, el primer cilindro y la sección cónica tiene diámetro menor que el resto de los cilindros. Los datos del espesor nominal y el



límite de retiro de cada cilindro son obtenidos de la información recopilada de la fabricación del equipo.

Los primeros tres niveles tiene 12 inspecciones y los 13 niveles restantes tiene 24 inspecciones cada una.

En la figura 11, se muestra el comportamiento de las inspecciones realizadas en la unidad de control FONDO, comparándolas con el espesor nominal y el límite de retiro.

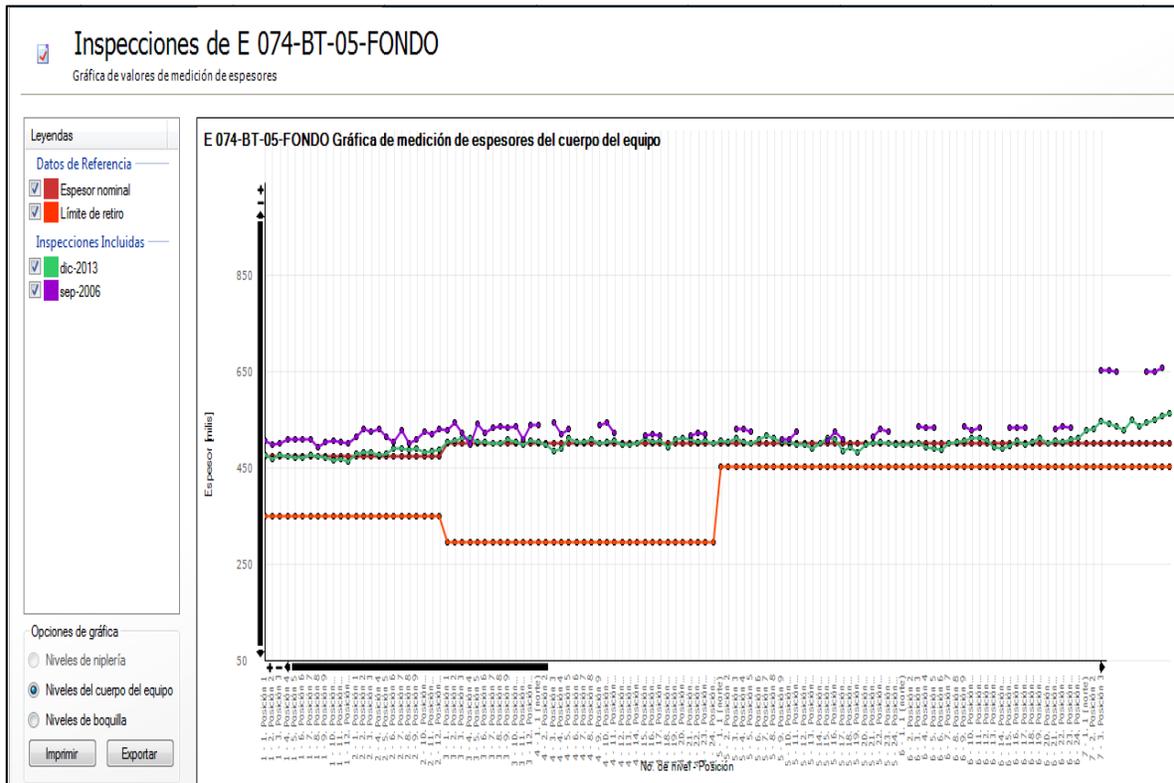


Figura 11: Gráfica de inspecciones de la unidad de control FONDO de la TD-02.



El comportamiento de las inspecciones para esta unidad de control no son muy similares, ya que algunas presentan engrosamiento en los espesores, esto puede ser por las diferencias de posiciones al hacer las mediciones, al ser la parte de la torre más grande puede tener errores de medición.

En las inspecciones de Diciembre del 2013 tiene todos los registros de las mediciones completas, pero en las inspecciones de septiembre del 2006 no tiene los registros de todas las inspecciones, por lo que al comparar los registros de las dos inspecciones tienen irregularidades.

Los resultados obtenidos de la implementación de SIMECELE en la unidad de control FONDO se presentan en la tabla 6.



Tabla 6: Resultados unidad de control FONDO de la TD-02.

Planta	Alquilación 2
Unidad de Control	FONDO
Niveles totales	16
Velocidad de desgaste promedio (mpa)	5
Velocidad máxima ajustada (mpa)	5.5
Vida Útil Estimada (años)	5.3
Fecha de Próxima Medición	Septiembre 2015
Fecha de Retiro Probable	Abril 2019

La velocidad de desgaste promedio y la velocidad máxima ajustada son altas con base a las unidades de control DOMO y ALIMENTACION.

El fondo de la TD-02 contiene la solución del KOH que recircula constantemente de arriba hacia abajo, para lavar los gases de desfogue ácidos, en el fondo de la torre se encuentra una gran cantidad de la solución por ser acuosa hace que la velocidad de desgaste sea mayor.



Al tener una velocidad de desgaste alta, tiende a tener una fecha de próxima medición cercana, por lo que se debe tener un mayor control de las mediciones de espesores.

El nivel del deterioro de esta parte de la TD-02, es de nivel 2 ya que cuenta con una vida útil menor a 10 años.



4.3 Comparación de las velocidades de desgaste entre las TD.

4.3.1 DOMO

La comparación de resultados de las unidades de control DOMO de la TD-01 y TD-02 se muestra a continuación en la tabla 7.

Tabla 7: Comparación de las unidades de control DOMO.

Planta	Alquilación 1	Alquilación 2
Unidad de Control	DOMO	DOMO
Velocidad de desgaste promedio (mpa)	2	2.3
Velocidad máxima ajustada (mpa)	2.3	2.7
Vida Útil Estimada (años)	16.3	24.2
Fecha de Próxima Medición	Diciembre 2018	Diciembre 2018
Fecha de Retiro Probable	Marzo 2030	Febrero 2038

Como se observa en la tabla 7 las velocidades de desgaste promedio y velocidad máxima ajustada de ambas torres son prácticamente semejantes, a diferencia de la vida útil estimada.



Esto debido a que la vida útil estimada depende del espesor más bajo encontrado en la última medición, como se observa en la ecuación (3).

El espesor más bajo encontrado para TD-01 es de 388 milésimas de pulgada y para TD-02 es de 415 milésimas de pulgada. Entre mayor sea el espesor más bajo encontrado, más es la vida útil estimada.

4.3.2 ALIMENTACIÓN

La comparación de resultados de las unidades de control ALIMENTACIÓN de la TD-01 y TD-02 se muestra a continuación en la tabla 8.



**Tabla 8: Comparación de las unidades de control
ALIMENTACIÓN.**

Planta	Alquilación 1	Alquilación 2
Unidad de Control	ALIMENTACIÓN	ALIMENTACIÓN
Velocidad de desgaste promedio (mpa)	2.2	1.4
Velocidad máxima ajustada (mpa)	2.6	1.7
Vida Útil Estimada (años)	132.6	210.8
Fecha de Próxima Medición	Diciembre 2018	Diciembre 2018
Fecha de Retiro Probable	Diciembre 2113	Diciembre 2113

Como se observa en la tabla 8, tanto las velocidades de desgaste promedio y la máxima ajustada difieren entre las dos torres, como también la vida útil estimada.

Para el cálculo de la velocidad de desgaste promedio, se necesita calcular la velocidad de desgaste puntual, como se muestra en la ecuación (1), algunos valores de inspecciones no son considerados para hacer este cálculo, como los que excedan de más del 5% de la calibración anterior.



El número de velocidades de desgaste puntuales consideradas en la TD-01 son 46, haciendo las sumas de las velocidades de desgaste son 101.3 y para la TD-02 el número de velocidades de desgaste puntuales son 44 y la suma de estas velocidades es 62.5. Por lo que la suma mayor es la de la TD-01, por lo tanto, es mayor su velocidad de desgaste promedio y por consecuencia la velocidad máxima ajustada.

Aunque en la TD-01 la velocidad de desgaste es mayor, la vida útil estimada es menor comparándola con la TD-02.

La vida útil estimada de las dos torres depuradoras son mayores a 100 años, estos es, porque en el cálculo de la vida útil se necesita el límite de retiro, el cual está muy por debajo de los valores de inspecciones, la diferencia de la vida útil entre la TD-01 y la TD-02 son por el espesor más encontrado en la última medición. Para la TD-01 es de 578 milésimas de pulgada y para la TD-02 son 588 milésimas de pulgada.

4.3.3 FONDO

La comparación de resultados de las unidades de control FONDO de la TD-01 y TD-02 se muestra a continuación en la tabla 9.



Tabla 9: Comparación de las unidades de control FONDO.

Planta	Alquilación 1	Alquilación 2
Unidad de Control	FONDO	FONDO
Velocidad de desgaste promedio (mpa)	4.7	5
Velocidad máxima ajustada (mpa)	5.2	5.5
Vida Útil Estimada (años)	4.5	5.3
Fecha de Próxima Medición	Junio 2015	Septiembre 2015
Fecha de Retiro Probable	Mayo 2018	Abril 2019

Como se observa en la tabla 9 estas partes de las dos torres se comportan de manera similar, tiene velocidades de desgaste parecidas y las vida útil difieren por 0.8 milésimas de pulgada por año, esto es por el espesor más bajo encontrado, para la TD-01 es de 474 milésimas de pulgada y para la TD-02 es de 480 milésimas de pulgada. Por lo que la vida útil de la TD-02 es más larga.



Capítulo 5. CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos, se determinaron las velocidades de desgaste promedio, velocidad máxima ajustada, vida útil estimada, fecha de próxima medición, fecha de retiro probable para cada unidad de control de las dos torres depuradoras de gases de desfogues ácidos.

Al realizar la comparación del análisis estadístico formal de las unidades de control se concluye que las velocidades de desgaste son muy similares, ya que al trabajar con el mismo servicio, las mismas condiciones de operación y en un tiempo relativamente igual, su desgaste de las dos torres es muy parecido.

La diferencia entre estas torres son las fechas de vida útil y fecha de retiro probable, ya que se encontró diferencias entre los espesores de las inspecciones calibradas a cada una de las torres; estas realizadas en la misma fecha, comparándolas nos damos cuenta que por fabricación la TD-02 es más gruesa que la otra, por lo que esta torre tiene una vida útil mayor y por lo tanto una fecha de retiro más lejana que en la otra.

Analizando los resultados calculados por SIMECELE, las dos torres tienen el mismo comportamiento en sus unidades de control siendo el FONDO donde se encontró el mayor desgaste, se analizó el desgaste ocasionado por la función que tiene las torres en su interior.

El programa de mantenimiento recomendado es realizar una próxima medición en las fechas obtenidas de las unidades de control FONDO para toda la torre, ya que es la parte de la torre donde la



velocidad de desgaste es mayor. Para la TD-01 en Junio del 2015 y para la TD-02 en Septiembre del 2015. Se debe observar el comportamiento de la velocidad de desgaste para saber la fecha en que se debe retirar el equipo por completo.



Bibliografía

- 1) PEMEX. Manual SIASPA Pemex Refinación, Minatitlán, Veracruz.
- 2) SP-GPASI-SI-2730 Norma de seguridad para plantas de alquilación con ácido fluorhídrico.
- 3) 800-16400-DCO-GT-75. Guías técnica para realizar análisis de riesgos de proceso.
- 4) http://www.soberania.org/Articulos/articulo_1146.htm
- 5) <http://informe21.com/actualidad/paralizada-planta-alquilacion-refineria-puerto-cruz-explosion>
- 6) NRF-274-PEMEX-2012. Evaluación de la integridad mecánica de tuberías y equipos.
- 7) <http://juliocorrea.files.wordpress.com/2007/10/pruebas-no-destructivas.pdf>
- 8) General Electric Company. GEInspection Technologies.com
<http://www.serviam.cl/productos/pdf/dms2.pdf?titulo=Kratkramer%20DMS2>
- 9) DG-SASIPA-IT-00204. Guía para el registro, análisis y programación de la medición preventiva de espesores.
- 10) www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=1685



- 11) CEASPA-MIS-005. Manual de implementación del SIMECELE

- 12) CEASPA-GDDITEA-002. Guía para dibujar diagramas para inspección técnica de espesores en AutoCAD 2008.



ANEXO 1.

Diagrama de Flujos de Proceso (DFP), identificación de circuitos en la sección de neutralización.

