



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA**

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL DESGASTE DE LOS  
ESPEORES EN TORRES DE REGENERACIÓN DE  
AMINAS DE LOS PROCESOS DE  
HIDRODESULFURACIÓN**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO QUÍMICO**

**PRESENTA**

**YASSER ISAAC CONDADO MORALES**

**DIRECTOR DE TESIS**

**Dr. M. JAVIER CRUZ GÓMEZ**



**MÉXICO, D.F.**

**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.



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) Condado Morales Yasser Isaac con número de cuenta 302016550 de la carrera Ingeniería Química, se le ha fijado el día 20 del mes de marzo de 2015 a las 17:00 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	DR. NÉSTOR NOÉ LÓPEZ CASTILLO
VOCAL	DR. M. JAVIER CRUZ GÓMEZ*
SECRETARIO	DR. FAUSTO CALDERAS GARCÍA
SUPLENTE	M. en I. CRESENCIANO ECHAVARRIETA ALBITER
SUPLENTE	M. en C. MARINA CABALLERO DÍAZ

*F. Calderas García*  
*J. Cruz Gómez*  
*C. Echavarieta Albitar*  
Caballero Diaz Marina

El título de la tesis que se presenta es: Análisis comparativo del desgaste de los espesores en torres de regeneración de aminas de los procesos de hidrosulfuración.

Opción de Titulación: Tesis profesional

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
México, D. F. a 7 de enero de 2015.

DR. VÍCTOR MANUEL MENDOZA NUÑEZ  
DIRECTOR

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ZARAGOZA  
DIRECCION

RECIBÍ:

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:

*“DANDO GRACIAS SIEMPRE DE TODO AL DIOS Y PADRE EN EL NOMBRE DE NUESTRO SEÑOR JESUCRISTO.” EFESIOS 5:20*

Primero quiero agradecer a Dios, porque el puso todos los medios para que pudiera estudiar y mantenerme durante la carrera y me salvo varias veces de la muerte.

También quiero agradecer a mis padres (Justino Condado Arellano y Socorro Morales Landa) por todos los esfuerzos que hicieron para que pudiera concluir mis estudios.

A mis hermanos (Saúl, Dina, Rebequita, Rubén, Noemí, que todos y cada uno en su momento, me brindaron su apoyo, gracias a Dios por darme a estos hermanos y también a mis sobrinos.

Y como no agradecer a mi esposa Abigail Molina Borges, que me aguantó tantos años y a mis bebés Abraham y Sara que los amo muchísimo.

A mis compañeros de la escuela: Roberto, Tania, Xavi, Chucho, A carnal el güero y a toda la demás bandita que no me acuerdo de sus nombres en este momento, quiero agradecerles por el apoyo durante la carrera, Muchas gracias.

De forma muy especial quiero agradecer a mi Director de tesis al Dr. Javier Cruz Gómez, por darme la oportunidad realizar el servicio social y tesis en la Torre de Ingeniería, además a el Dr. Néstor Noé López Castillo y al Dr. Rolando Bernal por tanto apoyo y paciencia durante el desarrollo de esta tesis.

También quiero agradecer a mis compañeros de la Torre de Ingeniería por todo el apoyo que me brindaron durante mi estancia en ella, en especial a mi primer residente el barbas, Luis Alarcón, Adrián (El pelón), al enojón del ropero, Isaac Fuentes y Erick Miguel León.

## ÍNDICE

ÍNDICE .....	1
ABREVIATURAS.....	3
ÍNDICE DE TABLAS .....	4
ÍNDICE DE FIGURAS .....	5
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1 Hipótesis.....	8
1.2 Objetivo general .....	8
1.3 Objetivos Particulares .....	8
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1 Seguridad Industrial .....	9
2.1.1 Administración de la seguridad de los procesos (ASP).....	10
2.2 Integridad Mecánica .....	11
2.2.1 Aseguramiento de la calidad .....	12
2.2.2 Integridad Mecánica y Aseguramiento de Calidad (IMAC).....	12
2.3 Desgaste .....	13
2.3.1 Corrosión.....	13
2.3.1.1 Mecanismos Básicos de Corrosión .....	14
2.3.2 Erosión .....	15
2.4 Ensayos no destructivos.....	15
2.4.1 Pruebas no destructivas superficiales .....	15
2.5 Inspección Técnica.....	20
2.6 Normatividad aplicable .....	21
2.6.1 DG-SASIPA-IT-0204 .....	21
2.6.2 GPII-IT-0201 .....	27
2.6.3 DG-GPASI-IT-0903 .....	29
2.6.4 GPI-IT-4200.....	30
2.7 Sistema de Medición y Control de Espesores en Líneas y Equipos (SIMECELE).....	33
2.8 Descripción del proceso de una planta hidrodeshulfuradora.....	40
CAPÍTULO III DESARROLLO.....	46



3.1 Metodología.....	46
3.2 Normatividad para dividir torres.....	47
3.3 Análisis de la rapidez de desgaste de una torre regeneradora de amina .....	49
3.3.1 Análisis de la sección Domo.....	53
3.3.2 Análisis de la sección Alimentación.....	60
3.3.3 Análisis de la sección Fondo .....	66
3.4 Resultado y análisis comparativo de metodologías para dividir torres regeneradoras de amina .....	71
3.4 Resultado y análisis del comparativo de dos torres regeneradoras de amina	73
CAPÍTULO IV. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	77
4.1 Conclusiones del análisis de método A y B de una torre regeneradora de amina .....	77
4.2 Conclusiones del análisis comparativo de dos torres regeneradoras de amina .....	78
ANEXO A. Memoria de cálculo .....	80
ANEXO B. EJEMPLO Torre I (B-1) y Torre II (B-2).....	82
BIBLIOGRAFÍA .....	141

## ABREVIATURAS

<b>PEMEX</b>	Petróleos Mexicanos.
<b>SIASPA</b>	Sistema Integral de Administración de la Seguridad y Protección Ambiental.
<b>SSPA</b>	Salud, Seguridad y Protección Ambiental.
<b>ASP</b>	Administración de la Seguridad de sus Procesos.
<b>GPASI</b>	Gerencia de Protección Ambiental y Seguridad Industrial.
<b>PVC</b>	Cloruro de vinilo.
<b>mp</b>	Milésimas de pulgada.
<b>mpa</b>	Milésimas de pulgada por año.
<b>VUE</b>	Vida Útil Estimada.
<b>FPME</b>	Fecha de Próxima Medición.
<b>FRP</b>	Fecha de Retiro Probable.
<b>SIMECELE</b>	Sistema de Medición y Control de Espesores en Líneas y Equipos.
<b>HDS</b>	Hidrodeshulfuración.
<b>IMAC</b>	Integridad mecánica y aseguramiento de la calidad.
<b>LR</b>	Límite de retiro.

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Intervalos de inspección de tornillerías.....	30
Tabla 3.1 Número de niveles de medición para torres Fuente: adaptado de DG-SASIPA-IT-0204 .....	48
Tabla 3.2 Número de puntos de medición por nivel en función del perímetro Fuente: adaptado de DG-SASIPA- IT-0204 .....	49
Tabla 3.3 Registro de Fechas de medición de espesores de la torre DA-14602...	52
Tabla 3.4 % de engrosamiento en la sección domo .....	55
Tabla 3.5 Registro de la rapidez de desgaste puntual para la sección domo .....	59
Tabla 3.6 Registro de la rapidez de desgaste puntual para la sección alimentación .....	61
Tabla 3.7 Registro de la rapidez de desgaste puntual para la sección fondo .....	67
Tabla 3.8 Comparativo de metodologías para dividir una torre regeneradora de amina .....	71
Tabla 3.9 Comparativo del desgaste de espesores dos torres regeneradoras de amina .....	74
Tabla B-1 Registro de medición de espesores de la sección domo, alimentación y fondo (Torre I) .....	82
Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección domo, alimentación y fondo (Torre II) .....	94



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Planta de Refinación del Petróleo .....	10
Figura 2.2 Corrosión en tuberías .....	14
Figura 2.3 Desgaste por erosión .....	15
Figura 2.4 Calibración en equipos .....	18
Figura 2.5 Localización de puntos en arreglos típicos .....	32
Figura 2.6 Árbol de tareas del SIMECELE .....	34
Figura 2.7 Pantalla de bienvenida SIMECELE .....	34
Figura 2.8 Recibo/Envío de datos al SIMECELE .....	36
Figura 2.9 Detalles de la inspección.....	37
Figura 2.10 Reporte de una unidad de control .....	38
Figura 2.11 Memoria de cálculo del análisis de medición de espesores .....	39
Figura 2.12 Diagrama de bloques del proceso de hidrodeshulfuración .....	42
Figura 3.1 Ejemplo de niveles de medición de espesores en torres. ....	47
Figura 3.2 Graficas de velocidad de desgaste del 2002 en las tres secciones de la torre regeneradora de amina (DA-14602) .....	50
Figura 3.3 Graficas de velocidad de desgaste del 2009 en las tres secciones de la torre regeneradora de amina (DA-14602) .....	51
Figura 3.4 Dibujo de la sección Domo.....	53
Figura 3.5 Dibujo de la sección Alimentación.....	60
Figura 3.6 Dibujo de la sección Fondo .....	66

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La industria química y petroquímica implementa políticas de seguridad y protección ambiental, con el objetivo de proteger la salud e integridad de los trabajadores y salvaguardar las instalaciones industriales. A través de esta práctica reduce los incidentes y accidentes presentados en las instalaciones, mediante la administración de riesgos y el cumplimiento normativo.

Las inspecciones son una práctica que ayuda a predecir, detectar y evaluar las fallas que se pudieran presentar en líneas y equipos en los que se llevan a cabo procesos a condiciones de operación extremas y con sustancias corrosivas. Las inspecciones apoyan el buen funcionamiento de líneas y equipos, y mejoran la operación y continuidad de los procesos. Estas prácticas disminuyen los costos que pudieran derivar de accidentes por fugas de fluidos que se manejan dentro del proceso, reducen la probabilidad de paro de planta porque se vio afectada la integridad mecánica de algún equipo.

Dentro de estas actividades se encuentra la medición preventiva de espesores, ya que las líneas y equipos de procesos están sujetos a pérdida de material principalmente por dos mecanismos, la corrosión por ataque químico y la erosión por acción mecánica.

Gracias a esta práctica se puede realizar el análisis estadístico formal y planear el mantenimiento que las líneas y equipos requieren; por lo que, al calcular la vida útil estimada, fecha de próxima medición y fecha de retiro probable, nos dará una predicción del desgaste general que las instalaciones van a tener a lo largo del tiempo de operación, asimismo nos permitirá predecir y detectar las zonas en las que se presenten mayor desgaste.

El petróleo está constituido por miles de compuestos químicos, entre muchas de las propiedades, estos compuestos se diferencian por su volatilidad (dependiente de la temperatura de ebullición). Al calentar el petróleo, se evaporan los compuestos ligeros (de estructura química sencilla y bajo peso molecular), de tal manera que conforme aumenta la temperatura, los componentes más pesados van incorporándose al vapor.

Las curvas de destilación TBP (del inglés “true boiling point”, temperatura de ebullición real) distinguen a los diferentes tipos de petróleo y definen los rendimientos que se pueden obtener de los productos por separación directa. Por ejemplo, mientras que en el crudo Istmo se obtiene un rendimiento directo de 26% volumétrico de gasolina, en el Maya sólo se obtiene 15.7%.

En México existen tres tipos de crudo: olmeca (súper ligero), istmo (ligero) y el maya (pesado), éste último es el que se está utilizando en mayor proporción en las refinerías. Anteriormente la proporción era más ligera, por lo que las plantas se están reconfigurando para este tipo de crudo.

La mezcla actual presenta también mayor cantidad de sustancias corrosivas, como el azufre, el cual favorece el adelgazamiento de pared en las líneas y equipos de la industria de refinación del petróleo y representa un riesgo a la contaminación del medio ambiente.

Para contrarrestar este problema hay procesos de hidrosulfuración, los cuales se encargan de quitar el azufre de los productos finales como el diesel y la gasolina. El azufre es arrastrado en forma de ácido sulfhídrico por medio de aminas. Para regenerar las aminas existen las torres regeneradoras de amina, las cuales son las encargadas de quitar el ácido sulfhídrico, que sale por el domo y es enviado a la planta recuperadora de azufre.

Es precisamente en este equipo en el que hay que tener más cuidado ya que es un punto crítico del proceso de hidrosulfuración. Una forma de tener un control del desgaste en la torre regeneradora de aminas es mediante las inspecciones técnicas, que permiten predecir y detectar cualquier desperfecto que esté presente. Así se puede asegurar su integridad mecánica para evitar un paro de la planta, que generaría costos, e incidentes y posibles riesgos que se pudieron haber detectado con anterioridad.

## 1.1 Hipótesis

Se espera que al comparar los datos de las inspecciones de las torres regeneradoras de amina, se demuestre que se tiene un mejor control de estos datos, seccionando dicho equipo en unidades de control de acuerdo con su desgaste de espesor, ya que no es homogénea en toda la torre y se debe seccionar en domo, fondo y alimentaciones; tantas como sean necesarias, en vez de tenerlo como una sola unidad, y así detectar oportunamente los puntos de refuerzo o seguimiento en dichos equipos.

## 1.2 Objetivo general

- Determinar el método más adecuado para dividir una torre regeneradora de aminas en unidades de control a fin de garantizar su integridad mecánica.

## 1.3 Objetivos particulares

1. Documentar la metodología a seguir para la inspección técnica de equipos de servicios auxiliares de una planta hidrosulfuradora.
2. Determinar la rapidez de desgaste en una torre regeneradora de amina para ubicar las zonas de refuerzo.
3. Comparar el desgaste entre torres regeneradoras de amina de dos plantas de hidrosulfuración.
4. Validar que el sistema de medición de espesores en la torre regeneradora de aminas se aplique correctamente en los diferentes centros de trabajo.

## CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Seguridad Industrial

Para esta tesis, se entiende por:

- Seguridad: Grado de alejamiento de un peligro o riesgo.<sup>1</sup>
- Riesgo: Probabilidad que ocurra un daño o evento.<sup>1</sup>
- Riesgo mayor: Probabilidad de ocurrencia de un accidente, que significaría el daño mayor por sus consecuencias, por el número de personas afectadas, por la magnitud de los daños materiales, afectación del medio ambiente o por la combinación de estos.<sup>1</sup>
- Evaluación de riesgos: Estudio que se desarrolla para determinar y prevenir los tipos de riesgos a la salud del personal, las instalaciones y/o lo ecosistemas, que se ocasionan como consecuencia de posibles incidentes o accidentes.<sup>1</sup>
- Peligro: Exposición a un riesgo.<sup>1</sup>

La seguridad industrial tiene como objetivo la reducción de riesgos inherentes a un proceso.

La experiencia acumulada en la industria química y petroquímica demuestra que la mayoría de los accidentes industriales son el resultado de errores o condiciones relacionadas con:

- Falta de comprensión de la tecnología del proceso.
- Procedimientos de operación
- Mantenimiento preventivo o correctivo.
- Modificaciones a los procesos o equipos no autorizados o inadecuadamente formulados.
- Programas de inspección y mantenimiento inadecuados.
- Inspecciones no realizadas en las fechas estipuladas y/o inspecciones sin seguimiento.
- Supervisión deficiente o incompetente y fallas en la comunicación de la información esencial de la seguridad del proceso.

En la industria química se manejan sustancias a condiciones de operación extremas y en grandes cantidades, las cuales exigen medidas de seguridad para reducir los riesgos que éstas podrían ocasionar y por consecuencia generar peligro. Una forma muy eficiente de evitar eventos es administrando los riesgos.



Figura 2.1 Planta de Refinación del Petróleo. Fuente: amiquintero 2013 <sup>13</sup>

### 2.1.1. Administración de la Seguridad de los Procesos (ASP)

La administración de la seguridad de los procesos tiene como principal objetivo prevenir y reducir los incidentes relacionados con los procesos de las industrias.<sup>7</sup> Para cumplir con este propósito, la ASP proporciona los controles necesarios:

- Planeación y respuesta a emergencias.
- Administración de cambios de tecnología.
- Entrenamiento y desempeño.
- Investigación y reporte de incidentes.
- Contratistas.
- Investigación de incidentes y accidentes.
- Integridad mecánica.
- Tecnología del proceso.
- Procedimientos de operación.
- Análisis de riesgos de proceso.
- Aseguramiento de calidad.
- Auditorias.
- Administración de cambios menores.
- Administración de cambios de personal.

El Sistema de Administración de la Seguridad de los Riesgos (ASP) abarca las estrategias necesarias para asegurar y mantener la excelencia en la seguridad del proceso. Así como la ASP involucra las medidas para la prevención de incidentes, al mismo tiempo proporciona las actividades necesarias en caso de que ocurran dichos eventos.

## 2.2. Integridad Mecánica

La integridad mecánica es la ejecución de los programas de actividades necesarios para garantizar que los equipos se encuentren en condiciones adecuadas para su fin a lo largo de su vida útil de operación.<sup>2</sup> Los programas de integridad mecánica varían según la industria, los requisitos reglamentarios, la geografía y las culturas de las plantas. Sin embargo, todos los programas comparten características que son similares y comunes para su éxito; como por ejemplo:

- a) Incluyen actividades para asegurar que el equipo está diseñado, fabricado, adquirido, instalado, operado y mantenido de manera apropiada para su aplicación prevista.
- b) Se emplea una base de criterios establecida para incluir a los equipos dentro del programa.
- c) Prioriza aquellos equipos que por sus características necesitan una asignación de recursos de manera óptima, por ejemplo: personal, dinero, espacio de almacenamiento, etcétera.
- d) Ayuda al personal de planta a realizar tareas de mantenimiento planificadas y reducir la necesidad de incurrir en un mantenimiento no planificado.
- e) Ayuda al personal de la planta a reconocer cuando se producen deficiencias en los equipos e incluye controles para asegurar que las deficiencias no conducirán a accidentes graves.
- f) Incorpora, reconociendo y aceptando, en general las buenas prácticas de ingeniería.
- g) Ayuda a asegurar que el personal asignado para inspeccionar, probar, mantener, adquirir, fabricar, instalar, retirar equipos de proceso tenga acceso a la información adecuada y que los procedimientos sean adecuados para estas actividades.
- h) Mantiene la documentación de servicio y otros registros que permitan la consiente realización de las actividades de integridad mecánica y proporcionar el equipo exacto, información a otros usuarios, incluyendo la seguridad del proceso y otros riesgos de elementos de gestión.



La integridad mecánica son todas las actividades que aumentan la confiabilidad de los equipos y la disciplina operativa, proporcionan un medio para reducir o eliminar eventos no deseados y garantizar la protección al personal, comunidad, ambiente y la instalación. La integridad y seguridad de las instalaciones (equipos, estructuras y componentes), deben garantizarse mediante manuales de operación y programas integrales de mantenimiento (predictivo y preventivo) apegados a normas, especificaciones y procedimientos, con el compromiso de hacerlo siempre de la manera correcta por todo el personal<sup>2</sup>.

### **2.2.1. Aseguramiento de calidad**

Para este trabajo el aseguramiento de calidad está referido al cumplimiento de normas y estándares en lo concerniente a equipos de proceso.<sup>8</sup>

El aseguramiento de equipos y materiales es la relación entre especificaciones de diseño y la instalación inicial. Los esfuerzos de aseguramiento de calidad están enfocados en garantizar que los equipos de proceso, ejemplo: calderas y recipientes sujetos a presión, estén fabricados conforme a las especificaciones de diseño y ensamblados e instalados correctamente.

La integridad mecánica y el aseguramiento de calidad son dos puntos importantes dentro de lo que conforma la administración de la Seguridad de los Procesos, el cual es un sistema que usa PEMEX, conocido como IMAC.

El aseguramiento de calidad es importante, porque de ahí depende en parte el buen funcionamiento del equipo, ya que si no está construido conforme a norma y especificación, puede ser que al estar en funcionamiento no soporte las condiciones de operación que demande el proceso.

### **2.2.2. Integridad Mecánica y Aseguramiento de Calidad (IMAC).**

Integridad mecánica y aseguramiento de calidad conforme un sistema denominado IMAC, el cual contribuye y ayuda al personal de la empresa a asegurar que sus instalaciones, sistemas, procesos equipos y componentes mantengan sus condiciones originales de diseño desde su fabricación, instalación, comisionamiento, arranque exitoso, operación durante toda su vida útil hasta su desmantelamiento y disposición, de manera confiable y segura.<sup>9</sup>

Uno de los principales objetivos del IMAC es eliminar diferencias que pueda existir entre las especificaciones originales de diseño de las instalaciones y como están físicamente construidas en estos momentos. IMAC se enfoca en el mantenimiento, las operaciones y en la mejora continua de la integridad y confiabilidad de los sistemas.



IMAC está conformado por una serie de elementos como el control y aseguramiento de calidad de los sistemas en operación a través de una serie de componentes como procedimientos de mantenimiento, capacitación de mantenimiento, reparaciones y modificaciones, además de proponer inspecciones y pruebas para dar seguimiento a cada uno de los sistemas, equipos o componentes críticos que conforman el proceso.

Así es como IMAC propone inspecciones basadas en tiempo, estado, riesgo y todo tipo de ensayos destructivos y no destructivos en todos los componentes que conforman el proceso, líneas y equipos.

## **2.3 Desgaste**

El desgaste es el deterioro de la superficie debido al uso.

Se define como el proceso mediante el cual material es desprendido de una o más superficies que se encuentran en contacto, ocurre cuando éstas se encuentran en movimiento relativo una de otra.

En el caso de las sustancias que procesa la industria química y a las condiciones a las que éstas se manejan, se puede llegar a dar un desgaste considerable y en un periodo de tiempo muy corto, dando lugar a corrosión o erosión.

### **2.3.1 Corrosión**

La corrosión es un ataque químico gradual del medio a un metal que da por resultado la conversión del metal en un óxido, una sal o algún otro compuesto, los metales que han experimentado corrosión pierden su resistencia, ductilidad y otras propiedades mecánicas.

El ataque corrosivo se produce frecuentemente en combinación con otros mecanismos de fallas, tales como fatiga, aire, las atmósferas industriales, el suelo, los ácidos, las bases y las soluciones salinas. ( ver Figura 2.2)

Para evitar este tipo de fallas en los metales es necesario realizarles inspecciones de acuerdo con su funcionamiento, para tener un control del desgaste de pared que va teniendo dicho metal.



Figura 2.2 Corrosión en tuberías. Fuente: Teleingeniero, 2013. <sup>14</sup>

### 2.3.1.1. Mecanismos básicos de corrosión.

La corrosión es el medio químico por el que se deterioran y destruyen los metales y se han reconocido dos mecanismos básicos:

- Ataque químico directo.
- Ataque electroquímico.

La diferencia de estos dos mecanismos es que en el ataque químico directo incluye todos los tipos de corrosión en los que no hay un flujo apreciable de corriente a través de un metal.

#### Ataque químico directo.

El ataque químico directo da como resultado una reacción uniforme sobre toda la superficie expuesta. Por lo general, se produce en el material metálico una capa escamosa o un depósito de espesor uniforme. Aunque dicho depósito se adhiere frecuentemente muy bien, son también comunes las capas depositadas que no se adhieren.

#### Ataque electroquímico.

El ataque electroquímico es el segundo mecanismo principal de la corrosión y se caracteriza por el establecimiento de zonas catódicas y anódicas, separadas por distancias finitas y entre las que influyen electrones, a través del metal.

En el corrosivo electrolítico, la electricidad fluye por medio del movimiento de los iones, de modo que el ataque es localizado, más que uniforme, como es el caso en el ataque químico directo.

### 2.2.3.2. Erosión

La erosión es la pérdida de material por acción mecánica. Ésta depende de muchos factores interrelacionados, tales como las propiedades y la estructura de los materiales, las condiciones del medio y las propiedades físicas y químicas de las partículas erosivas. ( ver figura 2.3)

El daño por erosión se incrementa en flujos con grandes cantidades de partículas sólidas o líquidas fluyendo a velocidades altas.



Figura 2.3 Desgaste por erosión. Fuente: Revensub. <sup>15</sup>

## 2.4. Ensayos no destructivos.

Los ensayos no destructivos (pruebas no destructivas) son técnicas de inspección que se utilizan para verificar la sanidad interna y externa de los materiales, sin deteriorarlos, alterar o afectar de forma permanente sus propiedades físicas, químicas o mecánicas.

En la actualidad existen trece técnicas establecidas, éstas se mencionan en la Práctica Recomendada SNT-TC-1A-2006 (*Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing*), se encuentran divididos en los siguientes grupos:

### 2.4.1. Pruebas no destructivas superficiales.

Nos permite encontrar discontinuidades expuestas en la superficie del material, entre ellas encontramos la prueba visual (VT), líquidos penetrantes (PT), partículas magnéticas (MT), fuga de flujo magnético (MFL), electromagnetismo (ET).

## Prueba Visual

La inspección visual es la técnica más antigua entre los Ensayos no Destructivos y la más usada por su versatilidad y su bajo costo. Esta técnica es y ha sido siempre un complemento para todos los demás EDN.

No se requiere de un gran entrenamiento para realizar una inspección visual correcta, pero los resultados dependerán en buena parte de la experiencia de inspector y de los conocimientos que este tenga respecto a la operación, los materiales y demás aspectos influyentes en los mecanismos de fallas que el objeto puede presentar.

## Líquidos Penetrantes

La prueba de líquidos penetrantes se basa en el principio de 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 pasado un tiempo suficiente como para que el líquido penetre considerablemente en cualquier abertura superficial se realiza una remoción o limpieza de exceso de líquido penetrante, mediante el uso de algún material absorbente (papel, trapo, etc.), seguido de esta acción se aplica un líquido, comúnmente llamado revelador, de color diferente al líquido penetrante, el cual absorberá el líquido que haya penetrado en la aberturas superficiales, y revelará las grietas, perforaciones, fisuras, etc. que tenga el material sobre el que se aplica.

## Partículas magnéticas

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

De acuerdo con lo anterior, si un material magnético presenta discontinuidades en su superficie, estas actuarán como polos, 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 puede esparcir sobre su superficie pequeños trozos o diminutas partículas magnéticas y así observar acumulación de las mismas, lo cual es evidencia de la presencia de discontinuidades sub-superficiales y/o superficiales en el metal.

## Fuga de Flujo Magnético

La prueba de fuga de flujo magnético es un método electromagnético de ensayos no destructivos que se utiliza para la detectar el desgaste por corrosión y picaduras en la pared de las tuberías y/o equipos, utilizando avanzados métodos electromagnéticos para escanear toda la circunferencia y a longitud de la tubería y/o equipos.

Se utilizan imanes para magnetizar temporalmente la tubería de acero y los cambios del campo magnético son registrados y analizados. El flujo magnético es uniforme si no hay defecto en la pared de la tubería. Si los defectos internos o externos están presentes, tales como formas de agujeros por corrosión o de otro tipo de daño, el flujo magnético estará distorsionado más allá de la pared del tubo y esta distorsión o fuga se mide por los sensores de efecto Hall.

### **Pruebas Electromagnéticas**

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 puede ser 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 principalmente se emplea 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 del grano, dureza, dimensiones físicas, etc. También sirven para detectar traslapos, grietas, porosidades e inclusiones.

### **Pruebas no destructivas volumétricas:**

Ese tipo de pruebas no proporciona información de la integridad interna de los materiales inspeccionados, se considera a la radiografía (RT), ultrasonido industrial (UT), emisión acústica (AE), radiografiado de neutrones (NRT); laser (LT) e infrarrojo/térmico (T/IT).

### **Radiografía**

La radiografía como método de ensayo no destructivo, se basa en la capacidad de penetración que caracteriza principalmente a los “rayos x” y a los “rayos gamma”. Con este tipo de radiación es posible irradiar un material, si internamente presenta cambios considerables como para dejar de pasar, o bien, retener dicha radiación, entonces es posible determinar la presencia de dichas irregularidades, simplemente midiendo o caracterizando 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. Sin embargo, este método también tiene sus limitaciones. El equipo necesario para realizar una prueba radiográfica puede representar una seria limitación si se considera su costo de adquisición y mantenimiento.



## Inspección por ultrasonido

El método del ultrasonido en la ingeniería es utilizado para el ensayo de los materiales, es una técnica de ensayo no destructivo y tiene diversas aplicaciones, en especial para conocer el interior de un material o sus componentes según la trayectoria de la propagación de sus ondas sonoras, al procesar las señales de las ondas sonoras se conoce el comportamiento de las mismas durante su propagación en el interior de la pieza y que depende de las discontinuidades del material examinado, lo que permite evaluar aquella discontinuidad acerca de su forma, tamaño, orientación debido a que la discontinuidad opone resistencia (conocida como impedancia acústica) al paso de la onda. Las ondas pueden ser sónicas comprendidas en el intervalo de frecuencias entre 20 y 500 KHz y las ultrasónicas con frecuencias superiores a 500 KHz.

En este método se utilizan instrumentos que transmiten ondas con ciertos intervalos de frecuencias y se aplican para detectar defectos como poros, fisuras, también para conocer las propiedades básicas de los líquidos y sólidos, como la composición, estructura, etcétera.

Para llevar a cabo esta prueba, se coloca un sensor o transductor acústicamente acoplado en la superficie de un material. Este sensor, contiene un elemento piezoeléctrico, cuya función es convertir pulsos eléctricos en pequeños movimientos o vibraciones, las cuales a su vez generan sonidos. ( ver figura 2.4 )



Figura 2.4 Calibración en equipos. Fuente: ILOG <sup>16</sup>

## **Radiografiado con Neutrones**

Los ensayos de radiografiado con neutrones, es una variante de la prueba radiográfica, donde se utilizan neutrones en lugar de fotones para penetrar los materiales. Esto hace ver las cosas muy diferentes a como se observa con rayos x, debido a que los neutrones pueden pasar con facilidad a través del acero y el metal pero se detiene en los plásticos, aguas y aceites.

Puesto que la cantidad de radiación que emerge desde el lado opuesto del material puede ser detectada y medida, las vibraciones en esta cantidad (o la intensidad) de la radiación se utilizan para determinar el espesor o la composición del material.

## **Pruebas Láser (holográfica)**

Las pruebas no destructivas Holográficas utilizan interferómetros para poner a prueba la fuerza y solidez de los objetos construidos por muchas industrias. Un interferómetro es un tipo de equipo de medición que utiliza espejos para dividir los rayos láser y medir la forma en que se comporta el haz. Las pruebas holográficas pueden ser detectar imperfecciones y grietas de tensión que no pueden ser vistas por el ojo humano.

Un objeto se prueba dos veces: una antes de su tensado y luego después de que se tensa. Sutiles diferencias de los resultados de las longitudes de onda de los rayos laser pueden mostrar la tensión o inestabilidad del objeto.

## **Rayos Infrarrojos**

La principal técnica empleada en las pruebas infrarrojas es la “termografía infrarroja” (TI). Esta técnica se basa en detección de áreas calientes o frías mediante el análisis de la parte del espectro electromagnético. La radiación infrarroja se transmite en forma de calor en forma de ondas electromagnéticas a través del espacio. De esta forma, mediante instrumentos capaces de detectar la radiación infrarroja, es posible detectar discontinuidades superficiales y sub-superficiales en los materiales.

## **Pruebas no destructivas de hermeticidad**

Para los recipientes sometidos a presión, encontramos los tipos de pruebas que nos proporcionan información sobre su integridad, entre ellos, prueba neumática, prueba hidrostática, prueba de burbuja, prueba de fuga, prueba con espectrómetro de masas.

## **Análisis de Vibración**

Consiste en el estudio del tipo de la propagación de ondas elásticas en un material homogéneo y la determinación de los efectos producidos y el modo de propagación. Las vibraciones pueden ser medidas y caracterizadas midiendo la oscilación o el desplazamiento alternante de ciertos puntos al paso de una onda elástica.

## Pruebas de Fugas

Las pruebas de detección de fugas son un tipo de prueba no destructiva que se utiliza en sistemas o componentes presurizados o que trabajan en vacío, para la detección, localización de puntos de fuga y la medición del fluido que escapa por éstos. Los puntos de fuga son orificios que pueden presentarse en forma de grietas, fisuras, hendiduras, etc. donde puede recluirse o escaparse algún fluido.

### 2.5 Inspección técnica.

Inspección: Es una técnica de evaluación formal en el cual un grupo de personas examinan en detalle requerimientos de software, diseño o código, con el objetivo de detectar fallas, desviaciones a los estándares de desarrollo y otros problemas.

En el caso de la inspección técnica se realiza con el fin de encontrar fallas, debido al adelgazamiento de pared y estas se pueden clasificar en tres tipos

- a) Inspección basada en tiempo: Se establecen periodos mínimos y máximos de inspección con base en el tiempo de vida útil de un equipo o línea de proceso establecidos a partir de la experiencia de plantas con procesos similares.
- b) Inspección basada en riesgo: Su objetivo es definir planes de inspección basados en la caracterización probabilística del deterioro y el modelaje probabilístico de la consecuencia de una falla (caracterización del riesgo).
- c) Inspección basada en estado: Todo tipo de ensayos no destructivos (radiografías, pruebas de líquidos penetrantes, partículas magnéticas, medición de espesores por ultrasonido, etc.) que pueden ser realizadas en una instalación, ya sea con el proceso en operación o en algún paro total o parcial, con el objetivo de establecer la condición actual de la integridad mecánica del componente a inspeccionar, por ejemplo, un tramo de línea o un equipo de proceso.

Estos trabajos de inspección propuestos son parte del concepto de Integridad Mecánica y Aseguramiento de la Calidad, que forma parte a su vez del subsistema ASP de SSPA y se describen en el marco normativo vigente para PEMEX Refinación que abarca, entre otras, los siguientes procedimientos y guías.



## 2.6 Normatividad aplicable

**2.6.1 DG-SASIPA-IT-0204.** Guía para el registro, análisis y programación de la medición preventiva de espesores.

Objetivo:

Predecir detectar y evaluar oportunamente las disminuciones de espesores que se encuentren por debajo de sus límites permisibles, que pueda 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.<sup>3</sup>

Alcance:

Las tuberías, equipos y tanques que manejan, almacenan o transportan hidrocarburos, productos químicos o petroquímicos y sustancias agresivas.

Queda a juicio del centro de trabajo el aplicar este procedimiento a líneas y equipos no incluidos en este inciso, cuando así lo considere necesario.

Líneas y equipos que no pueden sujetarse a programas de medición de espesores independientes de sus fechas de reparación:

- Tuberías de calentadores.
- Fluxería de calderas.
- Haz de tubos de cambiadores de calor y tubería de enfriadores con aire.
- 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 envoltentes (enchaquetadas).
- Tuberías de vidrio, PVC y/o barras de acero que vayan a ser maquinadas.

Definiciones:

**Circuito:** Se considera como circuito, el conjunto de líneas y equipo que manejan un fluido de la misma composición, pudiendo variar en sus diferentes partes las condiciones de operación.

**Unidad de control:** se define como sección de un circuito que tiene una velocidad e desgaste más o menos homogénea (0 a 8 mpa, 8 a 15 mpa y más de 15 mpa).

**Velocidad de desgaste (velocidad de corrosión):** Rapidez con la cual disminuye el espesor de la pared. Se calcula comparando los espesores obtenidos en mediciones efectuadas en dos fechas consecutivas.

**Líneas y equipos críticos:** Son cuyas velocidades de desgaste exceden el valor de 15 milésimas de pulgada por año (15 mpa) puntual o promedio.

Medición de espesor 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.

Medición preventiva de espesores: Es el trabajo de medición sistemática de espesores de pared en tuberías y equipos

Programación de la medición preventiva de espesores: Se considera como tal la elaboración del programa anual de medición preventiva, en el cual se indica para cada línea y equipo la fecha en que debe medirse sus espesores conforme al criterio de unidad de control que resulta del análisis de la velocidad de desgaste y del límite de retiro.

### **Preparativos para la medición de espesores**

Con base en el programa de medición de espesores, y por cada planta, unidad de proceso o instalación donde corresponda medir en un lapso de tiempo, se prepara un juego de isométricos y/o dibujos de equipo, mismo que debe usarse para localizar los niveles de medición. Esto constituirá el “Plan de medición 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 un formato en el que se recopila la información junto con la de anteriores mediciones. El conjunto de éstos registros constituyen el “Registro de medición de espesores”.

Se analizan 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 con su vida útil, para este paso se utiliza otro formato denominado “Registro del análisis de la medición de espesores”.

La información obtenida del análisis es registrada en una base de datos electrónica y se deberá revisar constantemente para programar las siguientes inspecciones, al ejecutar en campo el programa de medición de espesores se generan nuevos datos, los que al registrarse se considerarán para repetir el nuevo ciclo.

Se debe contar con el censo de todas las tuberías y equipos de cada planta y ésta 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:

- A. 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.
  
- B. En caso de equipos:
  - a) Cuando en un recipiente, las velocidades de desgaste se puedan considerar homogéneas, o bien éstas sean menores de 15 mpa (milésimas de pulgada por año) se debe considerar como unidad de control el recipiente entero.
  - b) En cambiadores de calor (haz de tubos) se consideran dos unidades de control, cuerpo y carrete.
  - c) En cambiadores de calor (horquilla), se consideran dos unidades de control, una para el conjunto de piezas que manejen el fluido frío y otra para las que manejan el fluido caliente.
  - d) En torres de destilación con velocidades de desgaste críticas, deben seleccionarse en tantos tramos como sea necesario para tener unidades de control con velocidades de desgaste más o menos homogéneas, por ejemplo: en torres de destilación primaria, se considera la sección de fondo, la de entrada de carga, la intermedia superior y la del domo.
  - e) 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.
  - f) En tanques de almacenamiento atmosférico, esferas y esferoides considerar una unidad de control por anillo.
  - g) 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.

C. Para cada unidad de control se debe contar con la siguiente información:

- a) Diagramas de inspección técnica de líneas y desarrollo de equipos. Estos se elaborarán indicando claramente las soldaduras y niveles de medición dándoles un número consecutivo de acuerdo con la dirección del flujo, los cuales deben contener un recuadro con datos de condiciones de diseño, operación, especificación del material, diámetros, cédulas en su caso, espesor original y límite de retiro correspondiente, aislamiento, como información mínima.
- b) Todos los diagramas de inspección deben estar orientados de acuerdo con su norte de construcción de la instalación.
- c) Los arreglos de niplería y tornillería de las tuberías y equipos, deberán de estar indicados en los dibujos con números arábigos, encerrados en un triángulo y rectángulo respectivamente.
- d) Registro de medición de espesores.
- e) Registro de Análisis de la medición de espesores, con velocidad de desgaste, fecha de retiro probable y fecha de próxima medición.

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 un 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 tengan una velocidad de desgaste mayor de 15 mpa en 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 del centro de refinación o de otros.

En el caso de plantas nuevas deberá considerarse el comportamiento de unidades de control equivalentes de otras plantas similares.

La medición de las unidades de control críticas o no críticas debe efectuarse siempre al 100%, es decir, deben incluirse todos los puntos de control cada vez que, como resultado del análisis, tengan que ser medidos los espesores de la línea o unidad de control de que se trate.

### **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.

Previo a realizar el análisis estadístico formal, debe realizarse un “análisis preliminar de espesores” de la siguiente manera:

- a) Verificar que la unidad de control haya sido medida de acuerdo con las instrucciones.
- b) Revisar cada una de las mediciones obtenidas comparándolas con el límite de retiro que corresponda y con el valor de la medición anterior, a fin 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.
- c) Las señales dudosas o negativas en el equipo deben investigarse para comprobar el buen funcionamiento de éste y así obtener datos correctos, o bien verificar el buen funcionamiento del equipo de medición.

Posterior al análisis preliminar de espesores, la cantidad mínima aceptada de valores de espesor en una unidad de control será de 32 para que el análisis estadístico resulte confiable.

Para la 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 debe observar lo siguiente:

- a) Se eliminarán todos los valores que excedan en más del 5% de la anterior calibración. Los valores que presenten un incremento de espesor de 0 al 5% tendrán una velocidad de corrosión de 0.

Para el cálculo de la velocidad de desgaste por punto (ver anexo A, ecuación 1), se debe 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).

En el análisis se consideran todas las parejas de valores de espesor incluyendo aquellas cuyas diferencias sean “cero” ya sea por engrosamiento o porque no exista desgaste.

Con los valores de desgaste por punto obtenidos se calcula la velocidad de desgaste promedio (ver anexo A, ecuación 2) y la velocidad máxima ajustada (ver anexo A, ecuación 3).

Con el fin de contar con los datos necesarios para el cálculo de la vida útil estimada (VUE, ver anexo A, ecuación 4), fecha de próxima medición (FPME, ver anexo A, ecuación 5) y fecha de retiro probable (FRP, ver anexo A, ecuación 6), 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 denominan “ek” y la fecha de medición correspondiente “fk”.

En caso de que el lapso entre la última medición y la fecha de próxima medición sea menor de un año, el siguiente análisis se debe hacer comparando los datos que se obtengan en ésta última fecha, con los datos de la medición anterior que corresponda, para que la diferencia de ambas sea de un año o mayor.

La fecha de próxima medición será aquella que resulte más cercana, de la calculada para los diferentes diámetros.

### **Uso de los resultados**

El análisis estadístico formal se lleva a cabo mediante el software de administración de las mediciones de espesores SIMECELE, donde la interpretación de los resultados obtenidos es la siguiente:

- A. La velocidad de desgaste sirve para determinar:
  - a) Criticidad del circuito.
  - b) Programas de pruebas a martillo en reparaciones.
  - c) Determinación de vida útil estimada.

B. La vida útil estimada da una idea de cuándo será necesario solicitar los materiales requeridos para el cambio de las piezas de la unidad de control.

- a) Si la vida útil que se obtiene es menor o igual a 1.5 años, se debe proceder a emplazar la pieza, línea o equipo según sea el caso y continuar vigilando la unidad de control de acuerdo con el resultado del análisis. No se deben aceptar prorrogas más allá de la fecha de retiro y no es recomendable la práctica de efectuar reparaciones provisionales con parches.
- b) Si la vida útil obtenida resulta mayor de 1.5 años debe realizar lo siguiente:
  - i. 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, esto indica que es crítico y de acuerdo con el resultado programar la siguiente medición.
  - ii. 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 anomalías en el flujo dentro de la línea como puede ser: un directo, un injerto, un cambio de dirección brusco, una reducción, una válvula reductora de presión, un punto de inyección (de agua, inhibidor u otros), etc.
- c) La fecha de próxima medición de espesores, sirve para programar la próxima medición de la unidad de control en el programa general.
- d) Con base a la fecha de retiro probable se deben efectuar los emplazamientos, siempre y cuando para tal fecha falten por transcurrir 1.5 años o menos.

### 2.6.2 GPII-IT-0201

Procedimiento de revisión de niplería de plantas en operación.



Objetivo: 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 plantas que se encuentran en operación.<sup>4</sup>

### Generalidades

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 equipos de proceso en plantas en operación, a fin de que los mismos estén construidos y armados de acuerdo con lo que establece ésta norma.

Para poder programar adecuadamente esta revisión, previamente se tendrá que actualizar el censo de niplería de cada planta, a fin de que toda la niplería básica instalada pueda cubrir con el procedimiento.

Como este procedimiento implica el desarmado de los arreglos básicos roscados, es necesario jerarquizar en cada reparación la revisión de niplería dando prioridad a aquellos circuitos y equipos que se consideran críticos.

### Ejecución de la revisión

La revisión abarca arreglos roscado y soldados. Los primeros serán desarmados y los segundos deberán ser radiografiados.

Para la revisión de los arreglos roscados, se utilizarán una serie de escantillones y machuelos.

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

- Espesores, cédulas o librajés (límites de retiro).
- Longitud de nipples 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.

Especificación del fabricante de la obra por revisar.

### Arreglos roscados

- Construcción de la rosca

### Arreglos soldados

- Revisión radiográfica



- Revisión con aparato Ultrasónicos

Periodo de revisión, equipos o líneas críticos 1.5 años y para líneas y equipos no críticos 5 años.

### 2.6.3 DG-GPASI-IT-0903

Procedimiento para efectuar la revisión de la tornillería de tuberías y equipos en las instalaciones en operación de Pemex Refinación.

Objetivo:

Evaluar el estado físico el estado físico 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.<sup>5</sup>

Ámbito de aplicación:

Este procedimiento es de aplicación general, en cualquier instalación dependiente de la Dirección de Pemex Refinación, con excepción de las que se encuentran en construcción.

Alcance:

La tornillería la cual se refiere este procedimiento, es la siguiente:

Espárragos de juntas bridas y equipos.

Tornillos o espárragos colocados en las válvulas de bloqueo, cualquiera que sea el tipo de estas, incluyendo válvulas de control, de alivio y checks.

Este procedimiento no incluye la tornillería instalada en los internos de equipos.

La responsabilidad de la programación y ejecución de la revisión de la tornillería, debe estar a cargo de las dependencias de Seguridad Industrial de los propios centros de trabajo. Los trabajos de remoción, cambio o instalación de la tornillería son responsabilidad de la dependencia de mantenimiento del centro de trabajo.

Periodicidad

Debido a que la agresividad del medio ambiente en cada lugar es variable, los periodos de revisión no son iguales, debiendo ser más cortos en aquellos centros de trabajo donde sea mayor la corrosión exterior. Inclusive hay instalaciones de un mismo centro de trabajo que por su ubicación, tienen condiciones más severas de corrosión ambiental que otras del mismo centro.

La tabla 2.1 muestra los intervalos de inspección máximos recomendados para las tres categorías, para los puntos de inyección y para las tuberías con interfase suelo-aire.

**Tabla 2.1 Intervalos de inspección en tornillerías. Fuente: DG-GPASI-IT-0903**

Grado de corrosión	Descripción	Periodo de revisión
Leve	La cuerda del espárrago no se ve desgastada en forma apreciable.	5 años
Moderada	Los hilos de la rosca se ven con cierto desgaste pero todavía con profundidad suficiente.	4 años
Alta	El espárrago ya no cuenta con rosca en alguna sección, pero se alcanzan a ver los hilos.	3 años
Severa	El espárrago ya se ve en algunas zonas sin su diámetro original. Se observa acinturamiento y los hilos de la rosca ya no existen.	2 años

#### 2.6.4 GPI-IT-4200

El objeto de éste procedimiento es cubrir 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.<sup>6</sup>

Para llevar el control de desgaste se deberán efectuar mediciones periódicas de los espesores basadas en medios no destructivos. Se debe de emplear un formato para el registro de las

calibraciones, análisis de los desgastes y cálculos de 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 2.5 Básicamente:

- a) Se prevén 2 puntos sobre la línea o equipo a 1 pulgada del cople o de la pieza macho roscada dentro del orificio.
- b) 2 puntos en el cople (opuestos en el sentido del flujo).
- c) 2 puntos en el sentido del niple (opuestos en el sentido del flujo).

Los 2 puntos sobre la línea o el 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 podemos tener un desgaste acentuado por la erosión que nos causa la turbulencia del fluido.

Los arreglos básicos de niplería serán calibrados de acuerdo con los programas de calibración vigentes para circuitos y equipos.

Deben incluirse dos puntos de calibración por cada pieza susceptible de calibrarse en aquellos arreglos con un número de piezas mayores a los arreglos básicos típicos, como es en el caso de los arreglos especiales.

Los medios de calibración utilizados son:

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

LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE CALIBRACION  
EN ARREGLOS BASICOS TÍPICOS DE NIPLERIA

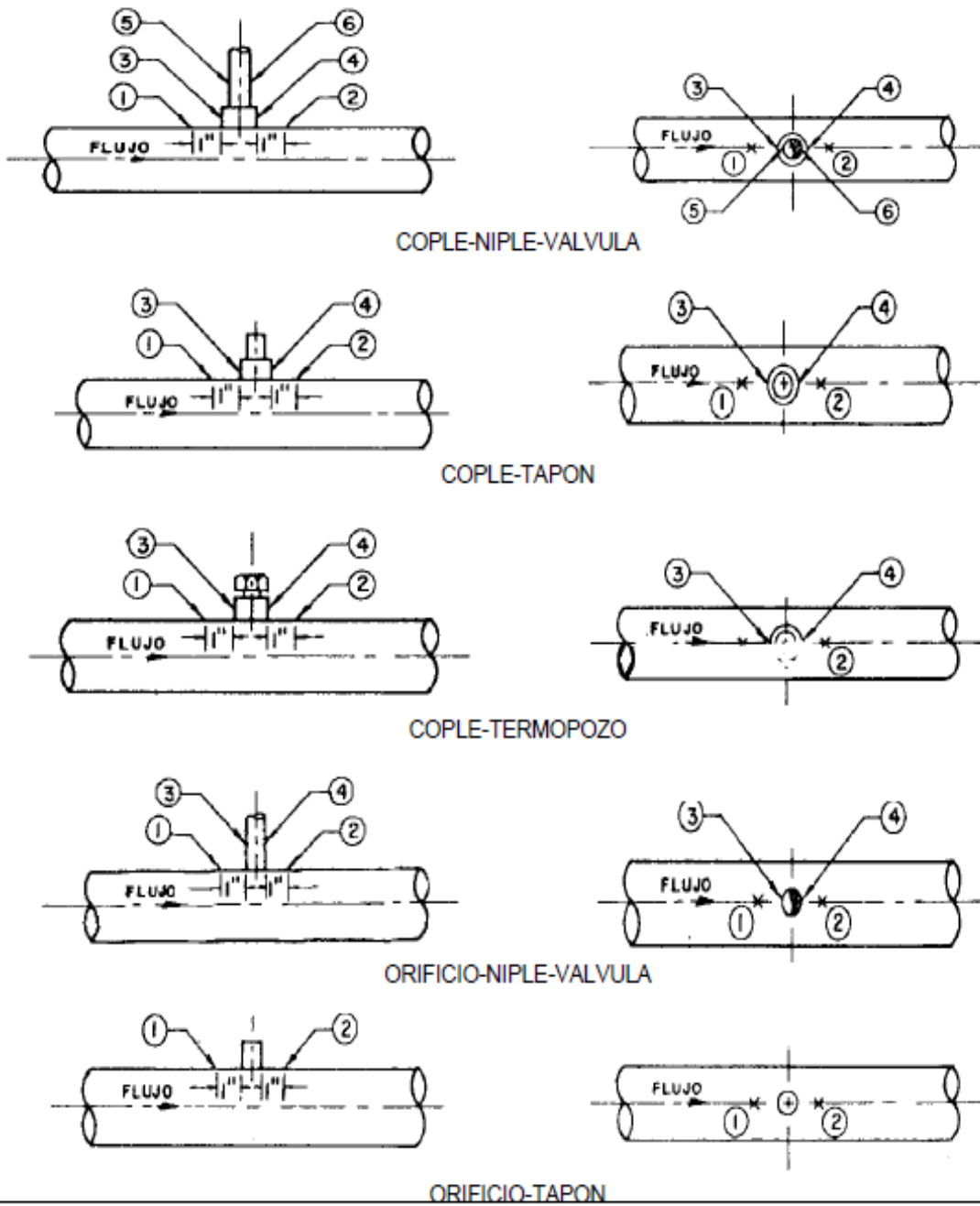


Figura 2.5 Localización de puntos en arreglos típicos. Fuente: GPI-IT-4200.

## 2.7 Sistema de Medición y Control de Espesores en Líneas y Equipos (SIMECELE).

Es un sistema informático que aprovecha las nuevas tecnologías para mejorar la administración y control de la información, así como en las actividades relacionadas con la Integridad Mecánica de los equipos, en las instalaciones de proceso de PEMEX Refinación. El SIMECELE 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-ASIPA-IT-00008).<sup>12</sup>

El SIMECELE es para todo el personal involucrado en tareas de inspección técnica, evaluación de la integridad mecánica y el análisis de la medición de espesores en líneas y equipos. Este concepto de la administración de la información también está dirigido a los ejecutivos de diferentes unidades corporativas del centro de trabajo, para monitorear los avances en los programas de inspección técnica de espesores y ser la fuente de información para la toma de decisiones.

Mejora las prácticas de la administración de la integridad mecánica en las instalaciones, tales como:

- Disponibilidad de la información.
- Información actualizada de los expedientes de medición de inspección técnica de líneas y equipos de proceso.
- Actualización rápida y sencilla de los diagramas isométricos de inspección.
- Control y administración del trabajo de inspección.

El espacio de trabajo cuenta con un conjunto de secciones disponibles, mientras el usuario tenga el programa abierto.

En la ventana principal aparece un árbol de tareas (ver figura 2.6) el cual cuenta con los elementos de un centro de trabajo, teniendo un acceso rápido y sencillo al elemento en el cual se desea trabajar, tales como:

- Centro de trabajo.
- Sector/Área.
- Planta.
- Circuito.
- Unidad de control.

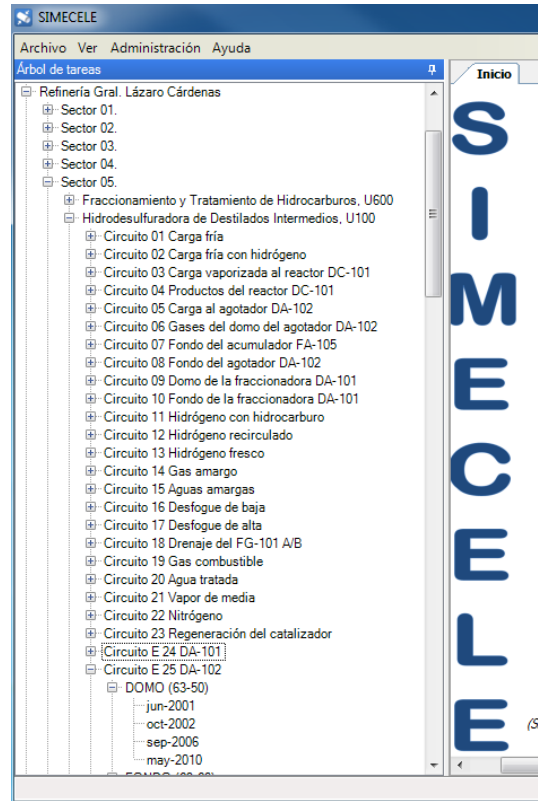


Figura 2.6 Árbol de tareas del SIMECELE. Fuente: Manual SIMECELE. <sup>12</sup>

En la pantalla de bienvenida (ver figura 2.7), se muestra un menú de acceso a los 6 módulos del programa, cada uno agrupa distintas tareas del sistema:



Figura 2.7 Pantalla de bienvenida SIMECELE. Fuente: Manual SIMECELE. <sup>12</sup>

- a) Capturar o editar información: Permite ingresar nuevos datos al sistema, así como editar la información contenida en el mismo. Se puede acceder a la captura y edición de nuevas unidades de control (líneas y equipos), inspecciones, equipos de medición, personal, etc. Además, se tienen los elementos necesarios, para simplificar la tarea de carga de datos de medición de espesores que fueron tomados en un formato de registro en papel y que deben ser capturados al sistema para crear el reporte de análisis.
- b) Consultar información: Permite acceder, de manera rápida, a la información que se desee consultar al respecto de la administración de la medición de espesores.
- c) Ver isométricos en la intranet: Se crea un enlace a través de la intranet con el sistema de Información para Diagramas Técnicos Inteligentes (SIDTI).
- d) Ver o crear reportes: Permite crear y consultar los reportes para cada inspección, de las unidades de control que se requieran, estos se generan de acuerdo con la norma DG-SASIPA-IT-00204 y pueden ser impresos desde el sistema.
- e) Ver o cargar especificación de materiales: Permite administrar la información de los materiales y las especificaciones con las que fue construida cada instalación, según el libro de ingeniería del licenciador.
- f) Hacer o editar un isométrico: En ésta ventana estarán disponibles, los espacios de edición y creación de isométricos utilizando la barra de herramienta contenida en el sistema.

Para capturar una unidad de control es necesario contar con la siguiente información:

- a) Descripción de la unidad de control.
- b) Clase de material.
- c) Condiciones de operación.
- d) Diagrama de inspección técnica.
- e) Servicio.
- f) Lista de diámetros.
- g) Localización de la unidad de control.

El diagrama de inspección técnica contiene los niveles de medición, cada nivel de medición las posiciones de medición, y por consecuencia cada posición debe tener una inspección.

Una vez dada de alta la unidad de control se puede acceder desde el árbol de tareas, y haciendo clic secundario en la unidad de control seleccionar “Nueva

inspección”, para generar la nueva inspección de forma manual es necesario tener los siguientes datos:

A. Expediente de inspecciones

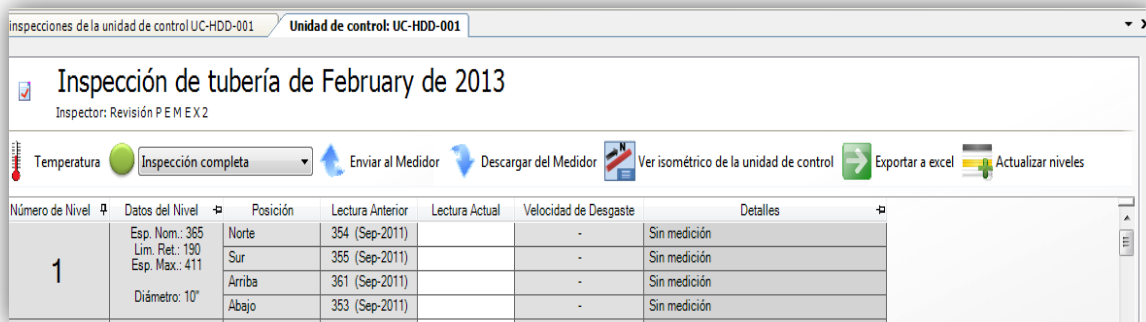
- i. Niveles de tubería
- ii. Niveles de niplería
- iii. Niveles de tornillería
- iv. Inspección visual de tubería
- v. Inspección visual de niplería
- vi. Inspección visual de tornillería

B. Correlación de niveles (empate) con el diagrama de inspección técnica actualizado.

Para realizar una captura con equipo de inspección ultrasónica se deben registrar los datos de la nueva inspección, el sistema detecta el equipo de medición de espesores al ser conectado, cuenta con interfaz para los equipos Krautkramer DMS2® y Parametrics 37DL Plus®.

Para enviar los datos al equipo de medición de espesores se conecta el equipo a la computadora, el SIMECELE enviará un archivo con la información de la unidad de control al instrumento de medición, el cual se utilizó para hacer las mediciones en campo.

Para obtener los datos de inspección, conectar el equipo a la computadora e ingresar a la edición de inspecciones y desde ahí obtener dicha información (ver figura 2.8).



Número de Nivel	Datos del Nivel	Posición	Lectura Anterior	Lectura Actual	Velocidad de Desgaste	Detalles
1	Esp. Nom.: 365	Norte	354 (Sep-2011)		-	Sin medición
	Lim. Ret.: 190	Sur	355 (Sep-2011)		-	Sin medición
	Esp. Max.: 411	Arriba	361 (Sep-2011)		-	Sin medición
	Diámetro: 10"	Abajo	353 (Sep-2011)		-	Sin medición

Figura 2.8 Recibo/Envío de datos al SIMECELE. Fuente: Manual SIMECELE. <sup>12</sup>



Una vez que se ha capturado la medición de espesores de esa unidad de control se puede ingresar a la pestaña “Validación de la inspección”, en la cual mostrará un resumen de la unidades de control y el comportamiento gráfico de las inspecciones capturadas (tubería, niplería, tornillería), con respecto al espesor nominal, y podrá visualizarse las mediciones por debajo del límite de retiro o bien mostrar si existe engrosamiento.

Una inspección puede ser cerrada cuando se hayan capturado todos los datos de inspección y éstos ya han sido validados por el inspector y aprobados por el ingeniero responsable. La inspección puede incluir uno o todos los conceptos de inspección (ver figura 2.9):

- a) Medición de espesores en línea, equipo y/o niplería.
- b) Revisión de niplería y/o tornillería.
- c) Inspección visual de línea.
- d) Notas de campo.

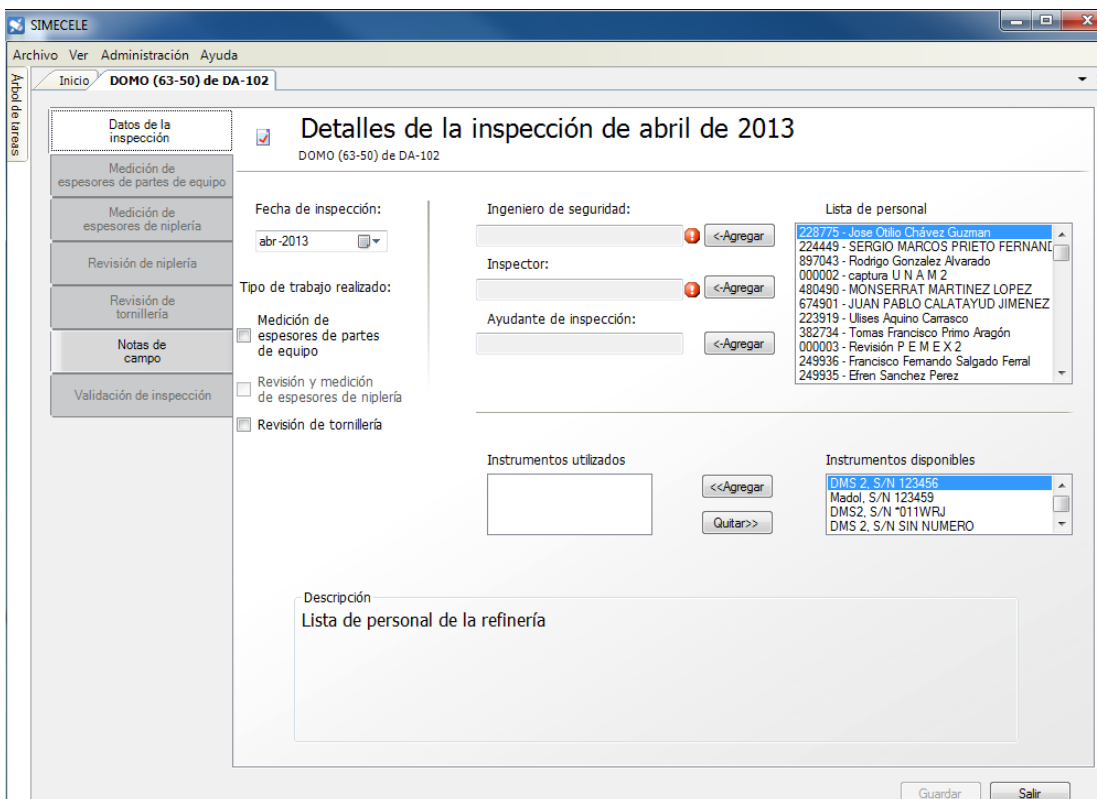
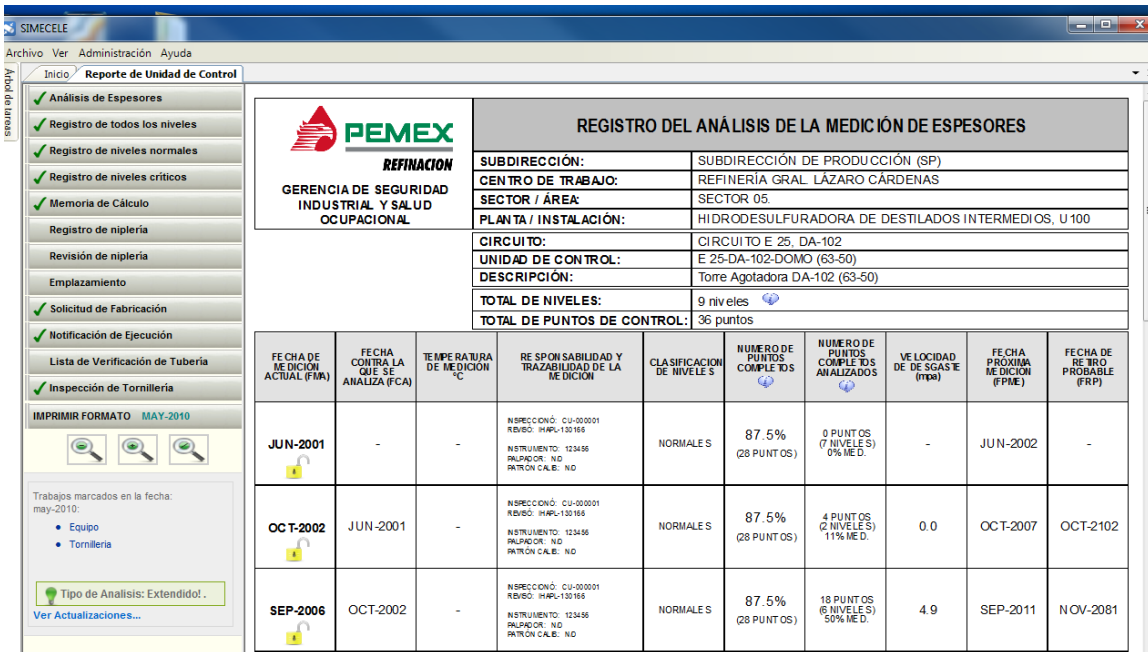


Figura 2.9 Detalles de la inspección. Fuente: Manual SIMECELE. <sup>12</sup>

También se puede consultar o editar información de las inspecciones una vez que ya fueron capturadas, incluso se puede generar un reporte por cada unidad de control. Éste reporte (ver figura 2.10) consta de la siguiente información:

- Análisis de espesores: Muestra un resumen de las inspecciones, fecha contra la cual se analiza, porcentaje de puntos completos, puntos completos analizados, velocidad de desgaste, fecha de próxima medición, fecha de retiro probable.
- Registro de todos los niveles: Muestra los niveles normales y críticos, se pueden observar las velocidades de desgaste de los puntos de medición que se encuentran por arriba del 15 mpa, y las que se encuentran por abajo pero se acercan a 15 mpa (a estos puntos hay que prestarle atención).
- Registro de niveles normales: Muestra sólo los niveles que tengan puntos de medición que se encuentran por debajo del 15 mpa.
- Registro de niveles críticos: Muestra los niveles de medición que tengan puntos por arriba de 15 mpa.



**REGISTRO DEL ANÁLISIS DE LA MEDICIÓN DE ESPESORES**


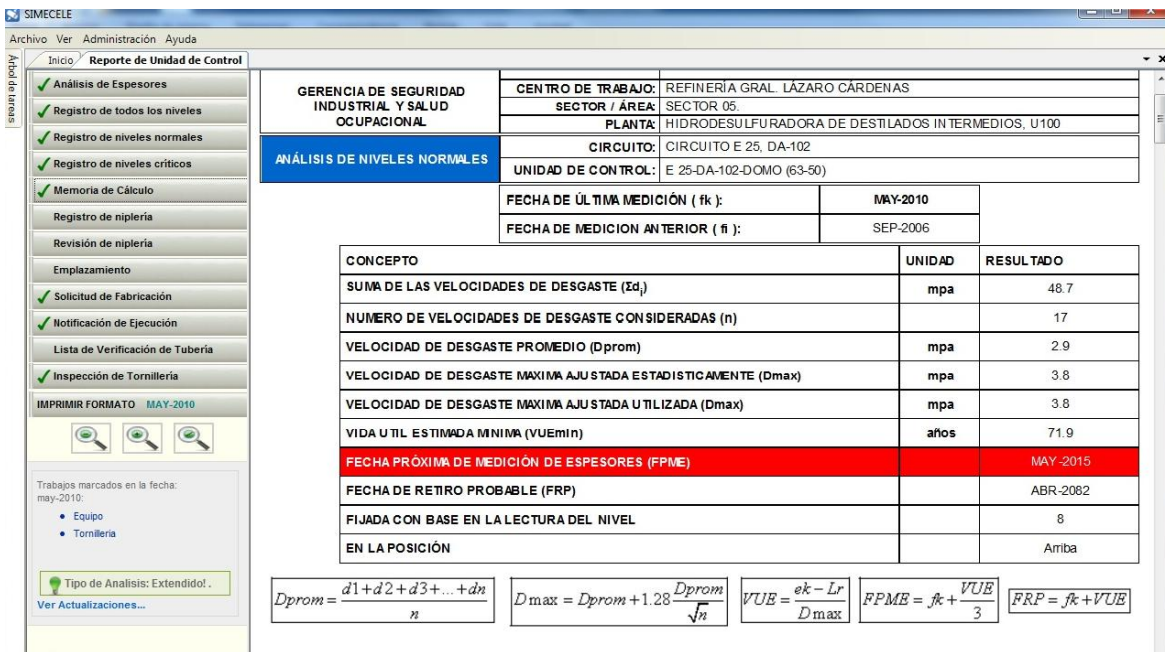
		<b>REGISTRO DEL ANÁLISIS DE LA MEDICIÓN DE ESPESORES</b>							
<b>GERENCIA DE SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SALUD OCUPACIONAL</b>		<b>SUBDIRECCIÓN:</b>		SUBDIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN (SP)					
		<b>CENTRO DE TRABAJO:</b>		REFINERÍA GRAL. LAZARO CÁRDENAS					
		<b>SECTOR / ÁREA:</b>		SECTOR 05					
		<b>PLANTA / INSTALACIÓN:</b>		HIDRODESULFURADORA DE DESTILADOS INTERMEDIOS, U100					
		<b>CIRCUITO:</b>		CIRCUITO E 25, DA-102					
		<b>UNIDAD DE CONTROL:</b>		E 25-DA-102-DOMO (63-50)					
		<b>DESCRIPCIÓN:</b>		Torre Agotadora DA-102 (63-50)					
		<b>TOTAL DE NIVELES:</b>		9 niveles					
		<b>TOTAL DE PUNTOS DE CONTROL:</b>		36 puntos					
FECHA DE MEDICIÓN ACTUAL (FMA)	FECHA CONTRA LA QUE SE ANALIZA (FCA)	TEMPERATURA DE MEDICIÓN °C	RESPONSABILIDAD Y TRAZABILIDAD DE LA MEDICIÓN	CLASIFICACIÓN DE NIVELES	NÚMERO DE PUNTOS COMPLETOS	NÚMERO DE PUNTOS COMPLETOS ANALIZADOS	VELOCIDAD DE DESGASTE (MPa)	FECHA PRÓXIMA MEDICIÓN (FPM)	FECHA DE RETIRO PROBABLE (FRP)
JUN-2001	-	-	INSPECCIÓN: CU-00001 REVISÓ: INAP-130166 INSTRUMENTO: 123456 PALPADOR: NO PATRÓN CALIB: NO	NORMALES	87.5% (28 PUNTOS)	0 PUNTOS (7 NIVELES) 0% MED.	-	JUN-2002	-
OCT-2002	JUN-2001	-	INSPECCIÓN: CU-00001 REVISÓ: INAP-130166 INSTRUMENTO: 123456 PALPADOR: NO PATRÓN CALIB: NO	NORMALES	87.5% (28 PUNTOS)	4 PUNTOS (2 NIVELES) 11% MED.	0.0	OCT-2007	OCT-2102
SEP-2006	OCT-2002	-	INSPECCIÓN: CU-00001 REVISÓ: INAP-130166 INSTRUMENTO: 123456 PALPADOR: NO PATRÓN CALIB: NO	NORMALES	87.5% (28 PUNTOS)	18 PUNTOS (6 NIVELES) 50% MED.	4.9	SEP-2011	NOV-2081

Figura 2.10 Reporte de una unidad de control. Fuente: Manual SIMECELE. 12

- Memoria de cálculo: (ver figura 2.11) Cuenta con un resumen de los cálculos realizados de acuerdo con la guía DG-SASIPA-IT-0204, como suma de velocidades de desgaste, las velocidades de desgaste consideradas, velocidad de desgaste promedio, velocidad de desgaste máxima ajustada estadísticamente, velocidad de desgaste máxima ajustada utilizada, vida útil estimada mínima, fecha de próxima medición, fecha de retiro probable y el nivel y posición con base a la cual fue fijada.
- Registro de niplería: Muestra las calibraciones de la niplería, velocidades de desgaste y vida útil.
- Revisión de niplería: Sirve para ver el estado físico de la niplería.
- Emplazamiento: Si la unidad de control tuviera un emplazamiento aparecerá el formato de la solicitud de emplazamiento.
- Solicitud de fabricación: Muestra el formato de solicitud de fabricación.
- Notificación de ejecución.
- Lista de verificación de tuberías.
- Inspección de tornillería.



**Reporte de Unidad de Control**

GERENCIA DE SEGURIDAD INDUSTRIAL Y SALUD OCUPACIONAL

CENTRO DE TRABAJO: REFINERÍA GRAL. LÁZARO CÁRDENAS  
 SECTOR / ÁREA: SECTOR 05  
 PLANTA: HIDRODESULFURADORA DE DESTILADOS INTERMEDIOS, U100  
 CIRCUITO: CIRCUITO E 25, DA-102  
 UNIDAD DE CONTROL: E 25-DA-102-DOMO (63-50)

FECHA DE ÚLTIMA MEDICIÓN ( f<sub>k</sub> ): MAY-2010  
 FECHA DE MEDICION ANTERIOR ( f<sub>i</sub> ): SEP-2006

CONCEPTO	UNIDAD	RESULTADO
SUMA DE LAS VELOCIDADES DE DESGASTE (Σd <sub>i</sub> )	mpa	48.7
NUMERO DE VELOCIDADES DE DESGASTE CONSIDERADAS (n)		17
VELOCIDAD DE DESGASTE PROMEDIO (D <sub>prom</sub> )	mpa	2.9
VELOCIDAD DE DESGASTE MAXIMA AJUSTADA ESTADISTICAMENTE (D <sub>max</sub> )	mpa	3.8
VELOCIDAD DE DESGASTE MAXIMA AJUSTADA UTILIZADA (D <sub>max</sub> )	mpa	3.8
VIDA UTIL ESTIMADA MINIMA (VUE <sub>min</sub> )	años	71.9
<b>FECHA PRÓXIMA DE MEDICIÓN DE ESPESORES (FPME)</b>		<b>MAY-2015</b>
<b>FECHA DE RETIRO PROBABLE (FRP)</b>		<b>ABR-2082</b>
FIJADA CON BASE EN LA LECTURA DEL NIVEL		8
EN LA POSICIÓN		Arriba

$D_{prom} = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n}{n}$    
 $D_{max} = D_{prom} + 1.28 \frac{D_{prom}}{\sqrt{n}}$    
 $VUE = \frac{e^k - L_r}{D_{max}}$    
 $FPME = f_k + \frac{VUE}{3}$    
 $FRP = f_k + VUE$

Figura 2.11 Memoria de cálculo del análisis de medición de espesores. Fuente: Manual SIMECELE. <sup>12</sup>

## 2.8 Descripción del proceso de una planta hidrodeshulfuradora

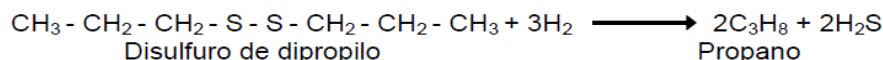
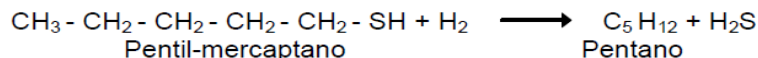
La hidrodeshulfuración es un proceso destinado a eliminar el azufre (que es una impureza contaminante) que se encuentra en el combustible al finalizar todos los tratamientos anteriores, tales como destilación fraccionada, destilación por presión reducida.

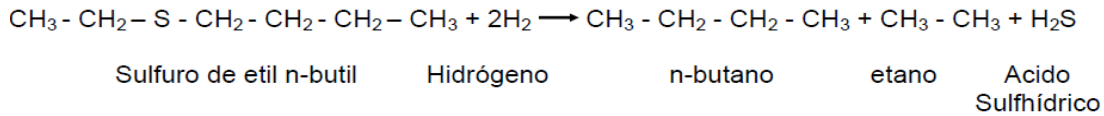
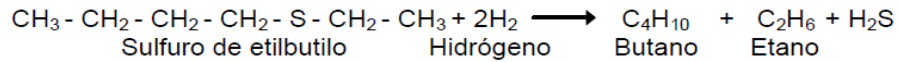
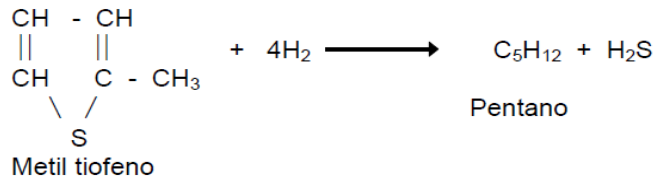
Este azufre se encuentra combinado formando componentes químicos que, de ser encontrados en los combustibles en el motor en el momento de la combustión, éste se corroería y al mismo tiempo, al ser expulsados los gases, contaminarían el ambiente.

Los componentes químicos que se encuentran en el combustible aparecen como anhidrido sulfuroso ( $\text{SO}_2$ ) y anhidrido sulfúrico ( $\text{SO}_3$ ) que luego de la combustión a más de  $100^\circ\text{C}$ , se transformarían en ácido sulfuroso ( $\text{SO}_3 \text{H}_2$ ) o ácido sulfúrico ( $\text{SO}_4 \text{H}_2$ ) que son gases no sólo corrosivos, sino que también son los que generan las lluvias ácidas responsables de la destrucción de muchos bosques.

Para eliminar estas impurezas, el combustible es sometido al proceso Hidrodeshulfuración, que consta en tratar el combustible en forma combinada con hidrógeno, alta temperatura y catalizadores. De esta manera se obtiene el combustible limpio de impurezas (sin azufre) y un gas llamado ácido sulfhídrico ( $\text{SH}_2$ ).

El azufre se encuentra en la alimentación especialmente como mercaptanos, sulfuros, disulfuros, polisulfuros y tiofenos, éstos son fácilmente convertidos a sulfuro de hidrógeno por reacciones tales como:





Los procesos convencionales de hidrosulfuración están conformados por cinco secciones principales en las que destaca la sección de reacción debido a que ésta es la sección principal de la planta:

- Sección de reacción.
- Sección de lavado.
- Sección de compresión y recirculación de gas.
- Sección de agotamiento.
- Sección de regeneración.

En la figura 2.12 se muestra en forma general las diferentes secciones de la planta de proceso que posteriormente se describirán.

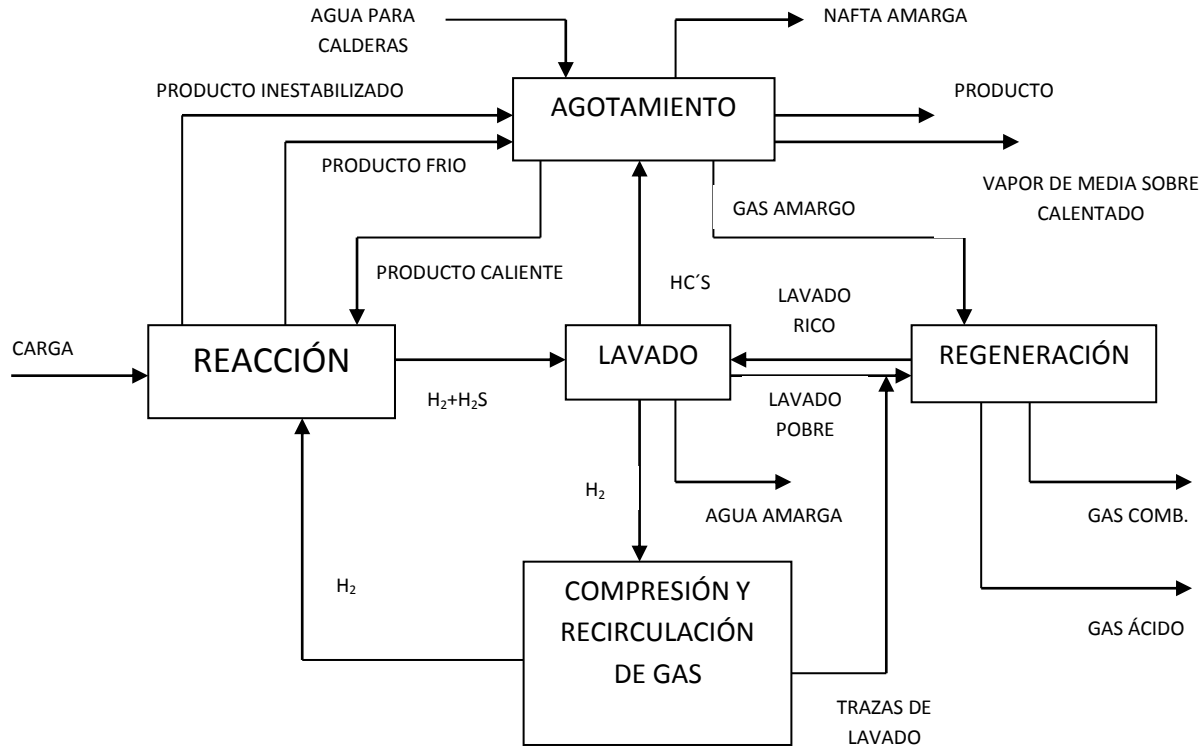


Figura 2.12 Diagrama de bloques del proceso de hidrodesulfuración.

a) Sección de reacción.

La alimentación a la planta consiste de una mezcla de hidrocarburos a tratar que puede provenir de los tanques de almacenamiento o directamente de plantas. La corriente de carga es enviada al acumulador de carga previo paso por los filtros de carga y a un intercambiador de calor para incrementar su temperatura intercambiando calor con la del producto final procedente de la sección de agotamiento. Los filtros de carga tienen la finalidad de retener las partículas sólidas que pudieran incrustarse en los equipos subsecuentes.

A la corriente previamente calentada se le inyecta hidrógeno y es llevada al calentador de carga en donde alcanza la temperatura necesaria para ser alimentada al reactor de desmetalización donde se llevan a cabo la remoción de metales contenidos en la carga, además de algunas reacciones de hidrodesulfuración.

El efluente del reactor de desmetalización se envía como carga al reactor de hidrodeshulfuración, previa inyección de una corriente de hidrógeno de apagado. Las reacciones de hidrodeshulfuración, de desaromatización, de hidrodeshnitrogenación y de ultradeshulfuración se llevan a cabo a temperaturas y presiones elevadas.

El efluente del reactor de hidrodeshulfuración es enfriado para alimentarse al separador caliente de alta presión donde se separa la fase gaseosa compuesta principalmente por hidrógeno y ácido sulfhídrico, de la fase líquida compuesta por el hidrocarburo hidrodeshulfurado que es enviado al primer separador de producto de la sección de agotamiento.

La fase gaseosa conformada principalmente por hidrógeno, ácido sulfhídrico e hidrocarburos arrastrados, es enviada a la sección de lavado al separador frío de alta presión.

b) Sección de Lavado.

La corriente gaseosa procedente del separador caliente de alta presión antes de ser alimentada al enfriador se le inyecta agua de lavado para posteriormente llegar al separador frío de alta presión, que tiene por objetivo principal obtener una corriente libre de líquidos para ser alimentada a la torre lavadora de gas. El  $H_2S$  es removido de la corriente de gas de alimentación al ponerse en contacto a contracorriente con un agente lavador, el cual después llevará a cabo su regeneración. El gas libre de  $H_2S$  se envía al tanque de succión del compresor de reciclo.

c) Sección de compresión y recirculación de gas.

Del tanque de succión, una parte es enviada al compresor de gas de recirculación y otra parte se envía a la unidad purificadora de hidrógeno para mantener la pureza del mismo.

El hidrógeno de reposición se obtiene de los compresores correspondientes para después unirse a la corriente proveniente del compresor de recirculación. La corriente resultante se envía a la sección de reacción para mezclarse con la carga líquida.



d) Sección de agotamiento.

El objetivo de ésta sección es el eliminar los gases condensables tales como  $H_2$ ,  $H_2S$  e hidrocarburos ligeros.

El líquido proveniente del separador caliente de alta presión, se recibe en el primer separador de producto con la finalidad de separar los vapores que se generan en la expansión del producto al pasar de la sección de reacción al separador, los gases separados se envían al segundo separador de producto pasando previamente por el enfriador final de gases, para condensar la mayor cantidad de vapores.

Además de la corriente proveniente del primer separador de producto, el segundo separador de producto recibe la corriente líquida del separador frío de alta presión, con la finalidad de separar los vapores que se generan de la expansión del producto desulfurado al pasar de la sección de reacción al separador.

Las corrientes del primer y segundo separadores de producto se envían a la torre estabilizadora, el cual, el calor requerido para su operación es suministrado a los fondos de la torre por un calentador a fuego directo.

La corriente de vapores del domo se envía al acumulador de reflujo pasando previamente por el condensador de la torre estabilizadora. Los hidrocarburos líquidos se envían como reflujo a la torre estabilizadora.

El producto de fondos de la torre estabilizadora se envía al Límite de Batería previo intercambio de calor con las corrientes de proceso de la sección de reacción para finalmente ser almacenado. Para verificar constantemente la especificación del producto se cuenta en el Límite de Batería con un analizador continuo de Azufre Total.

e) Sección de regeneración.

El objetivo de ésta unidad es por la acción de agotamiento en una columna se remueve el  $H_2S$  absorbido por una solución lavadora. La corriente de gas amargo se alimenta a una torre endulzadora de gases para generar una corriente libre de hidrocarburos y ser alimentada a la torre regeneradora de la sustancia empleada para la remoción del  $H_2S$ .

La corriente del domo de la torre regeneradora se envía al condensador para ser posteriormente una corriente de reflujo y cuando hay un exceso envía el gas ácido a la planta de azufre y si la presión continúa aumentando se envía al cabezal de desfogue ácido.

La corriente del fondo de la torre intercambia calor para posteriormente ser almacenada para su recirculación al proceso.

## CAPÍTULO III. DESARROLLO, ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS

### 3.1 Metodología

El análisis de la rapidez de desgaste en torres regeneradoras de amina en plantas de hidrodesulfuración.

#### 1. Recopilación de información:

- Descripción del proceso.
- DTI's
- Hoja de diseño mecánico.
- Dibujo del equipo con sus niveles de medición.
- Expediente de la medición de espesores.
- Condensado de la estadística (fecha de análisis, fecha de próxima medición, número de puntos calibrados, velocidad de desgaste, fecha de próxima medición y fecha de retiro probable).

#### 2. Consulta del registro de medición de espesores del SIMECELE.

#### 3. Análisis de información de cada planta.

- Correlación de los niveles de medición presentados en el expediente y en SIMECELE.
- Cálculo de la rapidez de desgaste.
- Seccionamiento de la torre regeneradora de amina.
- Digitalización de la torre con sus puntos de medición y secciones localizadas.
- Determinación de la sección de mayor desgaste.
- Análisis de los posibles mecanismos de daño.

#### 4. Comparativo de dos métodos para dividir una torre regeneradora de amina en cuanto a sus velocidades de desgaste.

- ✓ Método A: Se divide el recipiente (Torre), de acuerdo con la velocidad de desgaste que esté presente.
- ✓ Método B: Se toma como una unidad de control todo el recipiente (Torre).

#### 5. Comparativo de dos torres regeneradoras de amina, divididas por el método A.

### 3.2 Normatividad para dividir torres.

De acuerdo con la guía para el registro, análisis y programación de la medición preventiva de espesores (DG-SASIPA-IT-00204), nos indica el número de unidades de control en las que se van a seccionar los equipos en este caso es una torre y estos son:

- Fondo
- Carga
- Intermedia superior
- Domo

Ver figura 3.1

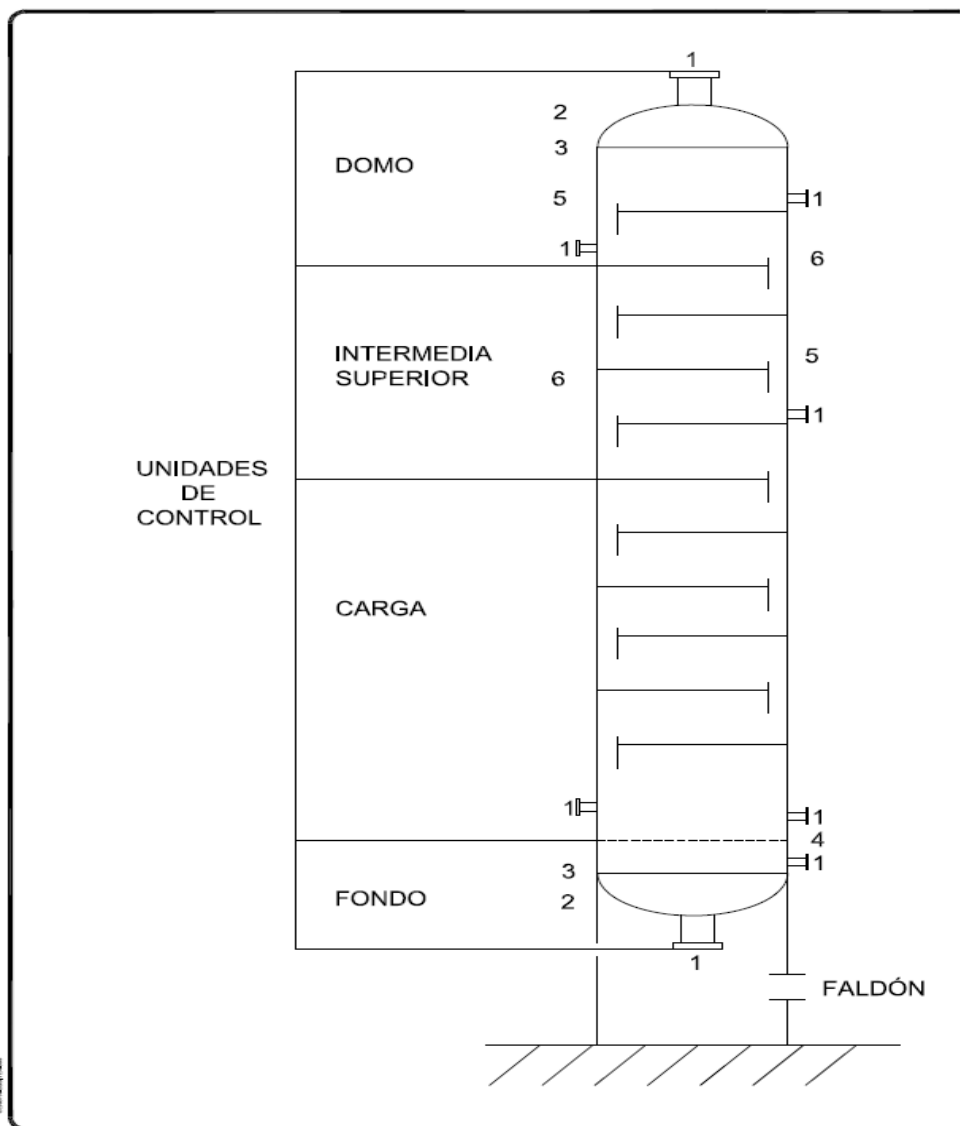


Figura 3.1 Unidades de control y niveles de medición en torres.

Esto es para cuando en un recipiente la rapidez de desgaste es diferente en cada sección, es decir, que cuando la rapidez de desgaste sea homogénea se tomara como una sola unidad de control el recipiente entero. Bajo estos argumentos se determinará:

- Si el seccionamiento propuesto por la guía es aplicable.
- Seccionar de acuerdo con la rapidez de desgaste que presenta cada sección de la torre.

La tabla 3.1 nos muestra el número de niveles de medición que corresponden a cada sección de la torre, (Ver figura 3.1).

**Tabla 3.1 Número de niveles de medición para torres. Fuente: adaptado de DG-SASIPA-IT-0204**

No.	Parte del equipo	Niveles
1	Boquillas y registro	Un nivel con cuatro posiciones.
2	Casquetes	1 o 2 niveles de 4 a 32 posiciones cada uno, preferentemente en zona alrededor de boquilla central. En el domo preferentemente alrededor de la salida de vapores.
3	Zona de transición	1 nivel cada uno de 4 a 32 posiciones (según diámetro)
4	Nivel de líq/fondo	1 nivel cada uno de 4 a 32 posiciones (según diámetro)
5	Cuerpo-zona de vapores	Los niveles que sean necesarios en zonas críticas con 4 a 32 posiciones por nivel (según diámetro).
6	Cuerpo-zona de líquidos	1 nivel cada uno de 4 a 32 posiciones (según diámetro)

En la tabla 3.2 nos muestra el número de puntos de medición que tendrá cada nivel, ya que este es función del perímetro de la torre o recipiente.

**Tabla 3.2 Número de puntos de medición por nivel en función del perímetro.**  
**Fuente: adaptado de DG-SASIPA-IT-0204**

Número de puntos/perímetro				
Perímetro				Puntos por nivel
Desde		Hasta		
cm	in	cm	in	
menor	menor	300	118	4
301	118.5	400	157	6
401	158	600	236	8
601	237	800	315	12
801	315.5	1200	472	16
1201	473	mayor	mayor	24

Si el equipo completo o alguna de sus secciones tienen recubrimiento interno (Cladding), los puntos de medición por nivel deben ser la mitad de los correspondientes al diámetro, pero en ningún caso deben ser menores a 4 puntos de medición.

En el análisis de la rapidez de desgaste sólo se consideró el cuerpo de la torre y no las boquillas del recipiente, porque generalmente el material de la torre y del cuerpo es diferente, y la rapidez de desgaste del tipo de material del que esté constituido el recipiente.

### 3.3 Análisis de la rapidez de desgaste de una torre regeneradora de amina

El análisis de la rapidez de desgaste en una torre regeneradora de amina, de la planta de hidrosulfuración tiene una capacidad de 25 000 BPD, y ésta es dividida en tres secciones (unidades de control).

- Fondo
- Alimentación
- Domo

La velocidad de desgaste en el fondo y domo es mayor, a las que presenta la alimentación, por consiguiente, se apega a lo que dice la guía para el registro análisis y programación de la medición preventiva de espesores (DG-SASIPA-IT-0204), por lo que se dividirá el equipo de acuerdo con las velocidades de desgaste que esté presente como lo muestra la figura 3.3.

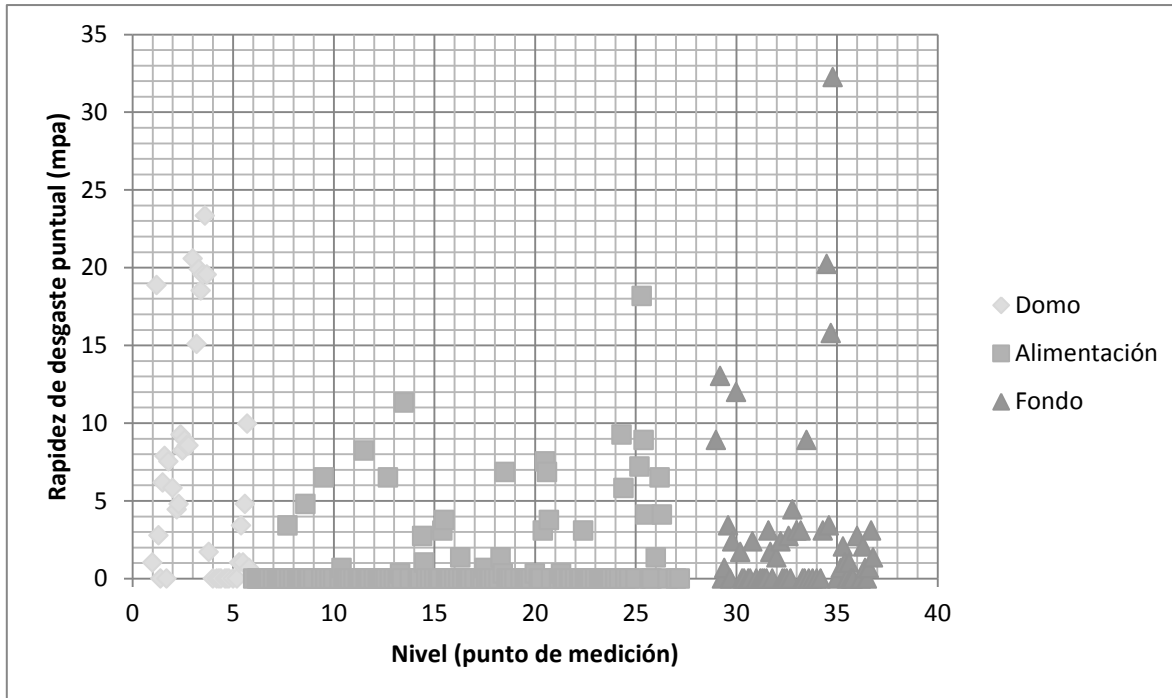


Figura 3.2 Gráfica de velocidades de desgaste del 2002, en las tres secciones de la torre regeneradora de amina.

Con base en la figura 3.3 se tomó la decisión de dividir en tres unidades de control la torre regeneradora de amina, ya que se observan nueve puntos críticos (puntos con velocidades de desgaste mayores a 15 mpa) en el domo, tres en el fondo y solo uno en la alimentación, esto nos muestra que en la sección del domo, hay una mayor velocidad de desgaste y esto se puede dar por diversas causas como:

- La presencia de  $H_2S$ .
- Las condiciones de operación.
- Posibles fallas en la estructura del acero al carbón.
- Falta de uso de inhibidores de corrosión.



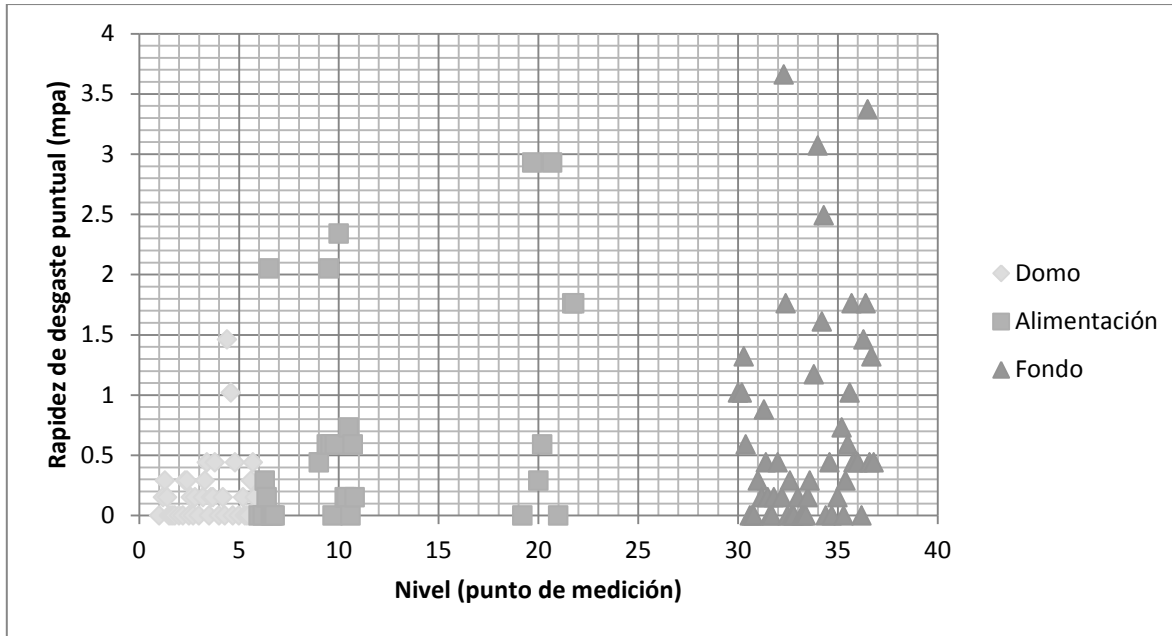


Figura 3.3 Gráfica de velocidades de desgaste del 2009, en las tres secciones de la torre regeneradora de amina.

En la figura 3.3 se muestran las velocidades de desgaste del año 2009, que comparadas con las del 2002 pasa algo muy interesante, a simple vista observando ambas gráficas nos podemos percatar del cambio tan drástico en las velocidades de desgaste, ya que no se tienen velocidades de desgaste tan altas como en el año 2002 y esto se le puede atribuir a varias causas como:

- Se utilizó un inhibidor de corrosión para disminuir drásticamente las velocidades de desgaste en toda la torre regeneradora de amina.
- La posibilidad que en algunas de las fechas de medición de espesores, los equipos con los que se les realizó la inspección estaban mal calibrados.
- El personal que realizó la medición no tenía la preparación necesaria.

Otro punto a resaltar es la disminución de puntos de medición en la sección de alimentación del año 2009 comparada con la del 2002, en el reporte del personal que realizó las inspecciones correspondientes menciona que no se realizaron por falta de andamios en la parte interna de la torre, por lo que solamente se calibró el fondo y domo por dentro, además que por el exterior de la torre sólo había tres ventanas descubiertas sobre la escalera de gato, ya que es un equipo forrado.

La torre tiene un perímetro de 670 cm, es decir, que son 8 puntos de medición por nivel ya que no cuenta con algún recubrimiento como cladding, por lo que se tendrán que medir los 8 puntos según la norma (DG-SASIPA-IT-00204), se muestra la tabla 3.2

Cada una de estas secciones presenta fechas distintas de calibración como se muestra en la Tabla 3.4. En el anexo A-1 de la tabla A1 a AXX se muestra el registro de la medición de espesores para cada sección de la torre regeneradora de amina.

**Tabla 3.3 Registro de fechas de medición de espesores de la torre DA-14602.**

Sección	Fecha de medición de espesores		
Domo	Septiembre 1999	Agosto 2002	Junio 2009
Alimentación	Septiembre 1999	Agosto 2002	Junio 2009
Fondo	Septiembre 1999	Agosto 2002	Junio 2009

### 3.3.1 Análisis de la sección domo.

Se realizó el dibujo correspondiente a esta sección (ver figura 3.4) y capturó el historial de inspecciones al software SIMECELE (anexo B) el cual calculó las velocidades de desgaste, en base a estos datos se realizó el análisis de esta sección.

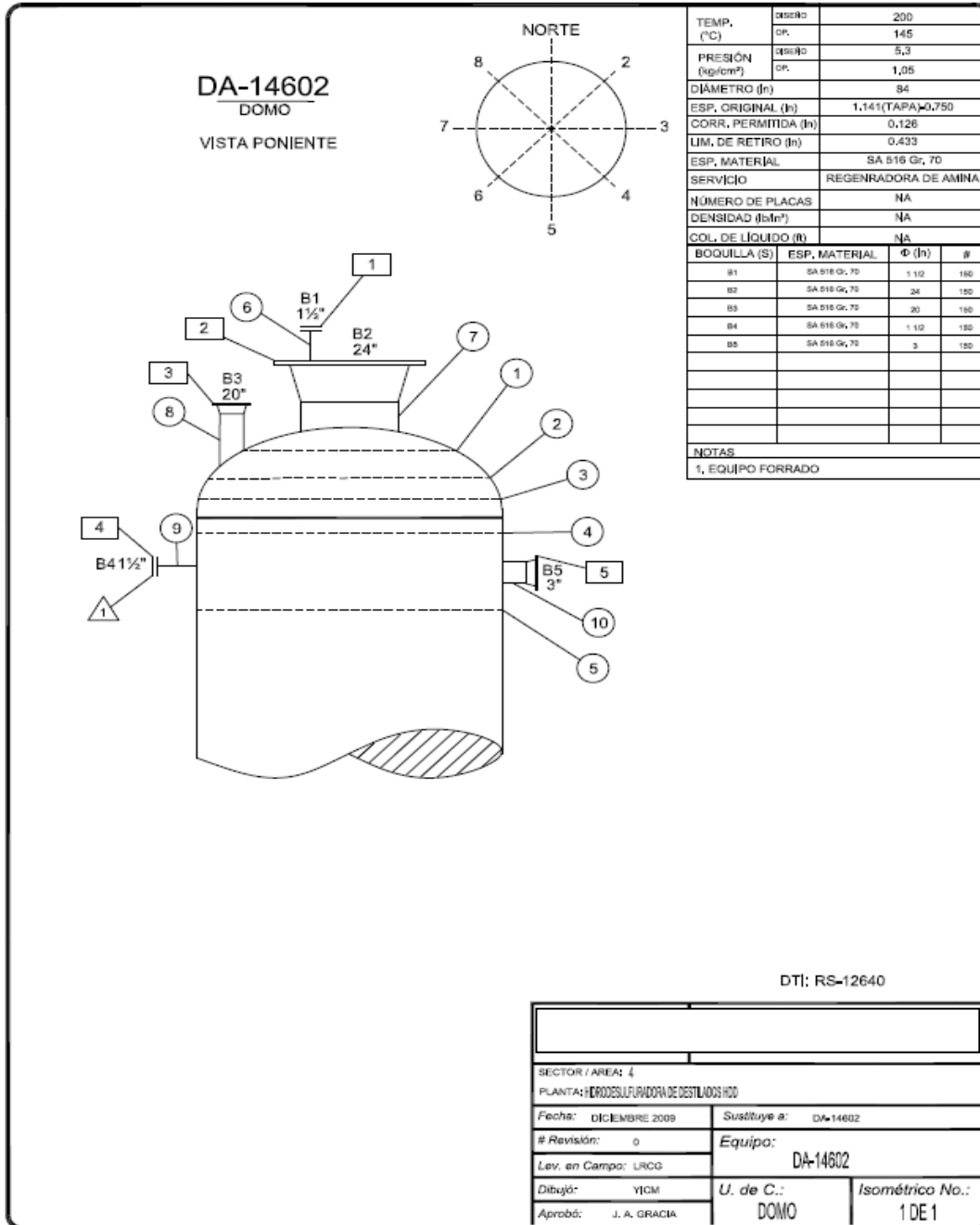


Figura 3.4 Dibujo de la sección domo.

En esta sección se encontró el mayor número de puntos críticos para agosto del 2002.

En los niveles de medición 1 posición 2, nivel 3 posición de la 1 a la 7 presentan velocidades de desgaste críticas, es decir, por encima de las 15 milésimas de pulgada por año (mpa), según la guía para el registro análisis y programación de la medición preventiva de espesores (DG-SASIPA-IT-00204), estos puntos serán tomados como críticos, y se puede dar por varias causas como:

- ✓ La corriente de H<sub>2</sub>S y vapor de agua presentes en la sección del domo y el efecto que causa este en los metales como el acero al carbón.
- ✓ No tiene recubrimiento de cladding por lo que las concentraciones de H<sub>2</sub>S y vapor de agua afectan directamente el espesor de pared de esta sección.
- ✓ La falta de un inhibidor de corrosión, ya que es muy notorio el cambio en la rapidez de desgaste que presenta en la fecha 2002 al compararla con la del 2009 que ya no tiene puntos críticos, es decir, la velocidad de desgaste no pasa de las 15 mpa.
- ✓ Los equipos con los que se realizó la medición no estaban calibrados.
- ✓ El personal que realizó la calibración no tenía la preparación necesaria, ya que para realizar este trabajo se necesita estar certificado como nivel 2 en pruebas no destructivas.
- ✓ El punto en el que se realizó la medición con respecto a la medición pasada no era el mismo y debido al troquelado que se realiza para darle forma a las tapas de la torre, el espesor no es constante, por lo que el espesor va a variar en toda la tapa.

La guía DG-SASIPA-IT-00204 establece que cuando existe un engrosamiento con respecto a la medición anterior y éste sea < 5% se considerará como cero la velocidad de desgaste por punto, mientras que si se presenta un engrosamiento > 5% del espesor anterior la velocidad de desgaste no tendrá valor y no se tomará en cuenta para el análisis de los datos, ya que podría afectar el análisis estadístico formal puesto que al presentar un engrosamiento el valor de la rapidez de desgaste es negativo, hecho que afectaría el análisis estadístico del desgaste medio como se ejemplifica en la tabla 3.4 donde se calculó el engrosamiento de las posiciones de esta sección.

**Tabla 3.4 Tanto por ciento de engrosamiento en la sección domo.**

DOMO						
		sep-99	ago-02		jun-09	
Nivel ej. B	Posición	Espesor (mp)	Espesor (mp)	% Engrosamiento	Espesor (mp)	% Engrosamiento
1	1	893	890	0	890	0
	2	931	876	0	875	0
	3	895	887	0	885	0
	4	872	891	2.178899083	890	0
	5	892	874	0	875	0.114416476
	6	902	879	0	880	0.113765643
	7	872	880	0.917431193	880	0
	8	906	883	0	885	0.226500566
2	1	906	889	0	890	0.112485939
	2	903	890	0	890	0
	3	901	887	0	885	0
	4	914	887	0	885	0
	5	903	879	0	880	0.113765643
	6	907	881	0	880	0
	7	904	879	0	880	0.113765643
	8	901	876	0	875	0
3	1	959	899	0	900	0.111234705
	2	945	901	0	900	0
	3	935	877	0	875	0
	4	952	898	0	895	0
	5	960	903	0	905	0.221483942
	6	969	901	0	900	0
	7	953	896	0	895	0
	8	903	898	0	895	0
4	1	736	740	0.543478261	740	0
	2	738	751	1.761517615	750	0
	3	729	749	2.743484225	750	0.133511348
	4	738	755	2.303523035	745	0
	5	707	761	7.637906648	760	0
	6	732	757	3.415300546	750	0
	7	729	749	2.743484225	750	0.133511348
	8	735	753	2.448979592	750	0

**Tabla 3.4 Tanto por ciento de engrosamiento en la sección domo (continuación)**

DOMO						
Nivel ej. B	Posición	sep-99	ago-02		jun-09	
		Espesor (mp)	Espesor (mp)	% Engrosamiento	Espesor (mp)	% Engrosamiento
5	1	753	755	0.26560425	755	0
	2	752	761	1.196808511	760	0
	3	753	750	0	750	0
	4	754	744	0	750	0.806451613
	5	752	749	0	750	0.133511348
	6	766	752	0	750	0
	7	772	743	0	740	0
	8	753	751	0	750	0
6 Boquilla	Norte	402	396	0	385	0
	Sur	386	387	0.259067358	390	0.775193798
	Oriente	387	386	0	385	0
	Poniente	335	387	15.52238806	390	0.775193798
7 Boquilla	Norte	903	910	0.775193798	910	0
	Sur	899	903	0.444938821	903	0
	Oriente	903	908	0.553709856	910	0.220264317
	Poniente	909	909	0	910	0.110011001
8 Boquilla	Norte	635	642	1.102362205	640	0
	Sur	616	650	5.519480519	650	0
	Oriente	657	645	0	645	0
	Poniente	623	659	5.778491172	660	0.151745068
9 Boquilla	Oriente	560	541	0		
	Poniente	569	537	0		
	Arriba	554	540	0		
	Abajo	589	535	0		
10 Boquilla	Oriente	399	375	0		
	Poniente	381	377	0		
	Arriba	382	369	0		
	Abajo	379	370	0		

En esta sección, se hizo un análisis en todos los puntos de medición con el fin de identificar los puntos que presentan engrosamientos ya sea menor o mayor al 5% y las velocidades de desgaste críticas.

**Tabla 3.5 Registro de la rapidez de desgaste puntual para la sección del domo niveles 1 al 3.**

DOMO				
Fecha		ago-02	jun-09	Observaciones
Nivel ej. B	Posición	Rapidez de desgaste (mpa)	Rapidez de desgaste (mpa)	
1	1 (norte)	1.03	0	Nivel crítico en la posición 2 por exceder las 15 mpa y en las posiciones 4,5 de 2002 y 1,5,6,7,8 del 2009 es cero el valor de rapidez de desgaste debido a que presenta en engrosamiento menor al 5% respecto a la medición anterior.
	2	18.88	0.15	
	3	2.78	0.29	
	4	0	0.15	
	5	6.18	0	
	6	7.9	0	
	7	0	0	
	8	7.55	0	
2	1 (norte)	5.84	0	En las posiciones 1,2,5,7 del 2009 se tienen valores de engrosamiento menores al 5% respecto a la medición anterior, por lo que el valor es cero para no afectar el análisis estadístico formal.
	2	4.46	0	
	3	4.81	0.29	
	4	9.27	0.29	
	5	8.24	0	
	6	8.93	0.15	
	7	8.58	0	
	8	8.58	0.15	
3	1 (norte)	20.6	0	Nivel crítico de la posición 1 a la 7 presenta valores mayores a las 15 mpa para el 2002 y en las posiciones 1 y 5 del 2009 el valor es cero ya que presente un engrosamiento menor al 5% respecto a la medición anterior.
	2	15.1	0.15	
	3	19.91	0.29	
	4	18.54	0.44	
	5	19.57	0	
	6	23.34	0.15	
	7	19.57	0.15	
	8	1.72	0.44	



En el nivel cuatro de esta sección se observa que la medición del 2002 tiene siete puntos que presentan un engrosamiento menor al 5% y uno mayor al 5%, por lo que en este punto de medición no tuvo referencia de medición anterior y no será tomado en cuenta para hacer el análisis estadístico formal, afectándolo directamente, ya que entre menos datos se tengan menos confiable será este análisis.

**Tabla 3.5 Registro de la rapidez de desgaste puntual para la sección del domo (continuación) niveles 4 y 5.**

DOMO				
Fecha		ago-02	jun-09	Observaciones
Nivel ej. B	Posición	Rapidez de desgaste (mpa)	Rapidez de desgaste (mpa)	
4	1 (norte)	0	0	En las posiciones 1,2,3,4,6,7,8 del 2002 y 1,3,7 del 2009 presenta en engrosamiento menor al 5% respecto a la medición anterior, por lo que el valor es cero. En la posición 5 tanto del 2002 y 2009 existe un engrosamiento mayor al 5% por lo que no se tomara en cuenta.
	2	0	0.15	
	3	0	0	
	4	0	1.46	
	5	-	-	
	6	0	1.02	
	7	0	0	
	8	0	0.44	
5	1 (norte)	0	0	En las posiciones 1,2 del 2002 y 1,3,4,5 del 2009 existe un engrosamiento menor al 5% respecto a la medición anterior, por lo que el valor es cero para no afectar el análisis estadístico formal.
	2	0	0.15	
	3	1.03	0	
	4	3.43	0	
	5	1.03	0	
	6	4.81	0.29	
	7	9.96	0.44	
	8	0.69	0.15	

En a las boquillas se puede presentar un mayor desgaste debido a que cuando éstas se están soldando a la tapa o al cuerpo del recipiente, hay un cambio en las propiedades fisicoquímicas y estructurales del material, en este caso acero al carbón, debido al aumento de la temperatura, además si fueran de distintos materiales el cuerpo y la tapa respecto a la boquilla podría presentarse corrosión por reacción electroquímica, ya que un material sería el ánodo y el otro el cátodo, ver tabla 3.5.

**Tabla 3.5 Registro de la rapidez de desgaste puntual para las boquillas de la sección del domo niveles 6 al 10.**

DOMO				
Fecha		ago-02	jun-09	Observaciones
Nivel ej. B	Posición	Rapidez de desgaste (mpa)	Rapidez de desgaste (mpa)	
6 Boquilla	Norte	2.06	1.61	En la posición sur del 2002 y 2009 se tiene un engrosamiento menor al 5%, por lo que el valor es cero. En la posición poniente del 2002 y 2009 no tiene valor ya que excede el 5% del engrosamiento.
	Sur	0	0	
	Oriente	0.34	0.15	
	Poniente	-	-	
7 Boquilla	Norte	0	0	Para este nivel en particular todas las posiciones presentan un engrosamiento menor al 5%, por lo que su rapidez de desgaste es cero para 2002 y 2009.
	Sur	0	0	
	Oriente	0	0	
	Poniente	0	0	
8 Boquilla	Norte	0	0.29	En la posición sur y poniente existe un engrosamiento mayor al 5%, por lo que no se toma en cuenta. En la posición norte del 2002 y oriente del 2009 existe un engrosamiento menor al 5% respecto a la medición anterior.
	Sur	-	-	
	Oriente	4.12	0	
	Poniente	-	-	
9 Boquilla	Oriente	6.52	Inexistente	Este nivel es crítico ya que en la posición de abajo del 2002 hay un valor que rebasa las 15 mpa y para el 2009 no tiene registro de medición por que se reportó como nivel inaccesible.
	Poniente	10.98	Inexistente	
	Arriba	4.81	Inexistente	
	Abajo	18.54	Inexistente	
10 Boquilla	Oriente	8.24	Inexistente	En 2009 no tiene registro de medición por que se reportó como nivel inaccesible.
	Poniente	1.37	Inexistente	
	Arriba	4.46	Inexistente	
	Abajo	3.09	Inexistente	



**Tabla 3.6 Registro de la rapidez de desgaste puntual para la sección de alimentación niveles 1-4.**

ALIMENTACIÓN				
Fecha		ago-02	jun-09	Observaciones
Nivel ej. B	Posición	Rapidez de desgaste (mpa)	Rapidez de desgaste (mpa)	
1	1 (norte)	0	0	En el 2002 para todas las posiciones y para 2009 solo 1,2,5,6,7 existe un engrosamiento menor al 5% por lo que se considera cero, para no afectar el análisis estadístico formal.
	2	0	0	
	3	0	0.29	
	4	0	0.15	
	5	0	2.05	
	6	0	0	
	7	0	0	
	8	0	0	
2	1 (norte)	0	-	En el 2002 las posiciones 1,2,3,4,5,6,8 presentan un engrosamiento menor al 5% por lo que su valor de Rapidez de desgaste es cero con el fin de no afectar el análisis estadístico formal. No existe medición en el 2009 por que lo marca como nivel inaccesible.
	2	0	-	
	3	0	-	
	4	0	-	
	5	0	-	
	6	0	-	
	7	3.43	-	
	8	0	-	
3	1 (norte)	0	-	En el 2002 las posiciones 1,2,3,4,5,7,8 presentan un engrosamiento menor al 5% por lo que su valor de Rapidez de desgaste es cero con el fin de no afectar el análisis estadístico formal. No existe medición en el 2009 por que lo marca como nivel inaccesible.
	2	0	-	
	3	0	-	
	4	0	-	
	5	0	-	
	6	4.81	-	
	7	0	-	
	8	0	-	
4	1 (norte)	0	0.44	Para el 2002 en las posiciones 1,4,6,8 y en 2009 en la posición 7 existe un engrosamiento menor al 5% por lo que el valor es cero. En ambas fechas en las posiciones 2 y 3 el engrosamiento es mayor al 5% respecto a la medición anterior, por lo que no se tomaran en cuenta para el análisis estadístico formal.
	2	-	-	
	3	-	-	
	4	0	0.59	
	5	6.52	2.05	
	6	0	0.59	
	7		0	
	8	0	0.59	

El engrosamiento que presentan los puntos de medición del 1 al 5 de la sección alimentación, tanto en las fechas de medición 2002 como en 2009, se pueden dar por varias causas como:

- ✓ La medición se realizó con diferentes equipos ultrasónicos.
- ✓ No se calibró el equipo ultrasónico.
- ✓ No utilizó gel acoplante.
- ✓ Tiempo de exposición del palpador.
- ✓ Punto de medición, es decir, que no midan a la distancia que marca la normatividad vigente o que midan en otro punto diferente al de la medición anterior.
- ✓ Temperatura de la línea o equipo.

**Tabla 3.6 Registro de la rapidez de desgaste puntual para la sección de Alimentación (continuación) nivel 5.**

ALIMENTACIÓN				
Fecha		ago-02	jun-09	Observaciones
Nivel ej. B	Posición	Rapidez de desgaste (mpa)	Rapidez de desgaste (mpa)	
5	1 (norte)	0	2.34	Para el 2002 en las posiciones 1,3,5,6,7,8 y en 2009 en la 6 presenta un engrosamiento de menor al 5% por lo la rapidez de desgaste es cero y en ambas fechas en la posición 2 existe un engrosamiento mayor al 5% por lo que no se tomará en cuenta para el análisis estadístico formal.
	2		-	
	3	0	0.15	
	4	0.69	0.15	
	5	0	0.73	
	6	0	0	
	7	0	0.59	
	8	0	0.15	

Los niveles 6,7,8,9,10,11,12,13,17,18,19,20,21,22 para el 2002 presentan una o dos posiciones con desgaste y en las demás existe un engrosamiento menor al 5% por lo que el valor que tendría sería negativo afectaría el análisis estadístico formal por lo que se le atribuye un valor de cero: en 2009 son niveles marcados como inexistentes por falta de accesibilidad para realizar la medición correspondiente, se ejemplifican con los niveles 9 y 10 ya que todos presentan la misma similitud.

**Tabla 3.6 Registro de la rapidez de desgaste puntual para la sección de Alimentación, niveles 9 y 10.**

ALIMENTACIÓN				
Fecha		ago-02	jun-09	Observaciones
Nivel ej. B	Posición	Rapidez de desgaste (mpa)	Rapidez de desgaste (mpa)	
9	1 (norte)	-	-	En 2002 en las posiciones 2,3,6,8 existe un engrosamiento menor al 5% respecto a la medición anterior y el las posiciones 1,7 el engrosamiento es mayor al 5% por lo que se desprecia su valor, para no afectar el análisis estadístico formal. En el 2009 es marcado como nivel inexistente.
	2	0	-	
	3	0	-	
	4	2.75	-	
	5	1.03	-	
	6	0	-	
	7	-	-	
	8	0	-	
10	1 (norte)	0	-	En 2002 en las pociones 1,2,3,6,7,8 existe un engrosamiento menor al 5% con respecto a la medición anterior, por lo que la rapidez de desgaste es cero para no afectar el análisis estadístico formal.
	2	0	-	
	3	0	-	
	4	3.09	-	
	5	3.78	-	
	6	0	-	
	7	0	-	
	8	0	-	

En el caso de los niveles 14, 15 y 16. Las posiciones que no tienen valor numérico, es por que presentan un engrosamiento mayor al 5%, por lo que al calcular la velocidad de desgaste sería un número negativo y por consiguiente afectaría el análisis estadístico formal.

**Tabla 3.6 Registro de la rapidez de desgaste puntual para la sección de Alimentación, niveles 14 a 16 (continuación).**

ALIMENTACIÓN				
Fecha		ago-02	jun-09	Observaciones
Nivel ej. B	Posición	Rapidez de desgaste (mpa)	Rapidez de desgaste (mpa)	
14	1 (norte)	0	-	En el 2002 en las posiciones 1,2,3,5,6,7,8 y en 2009 en la posición 2 presenta un engrosamiento menor al 5%, por lo que la rapidez de desgaste es cero y en las posiciones 1,3,4,5,6,7,8 del 2009 existe un engrosamiento mayor al 5%, por lo que se despreciara, esto con el fin de no afectar el análisis estadístico formal
	2	0	0	
	3	0	-	
	4	-	-	
	5	0	-	
	6	0	-	
	7	0	2.93	
	8	0	-	
15	1 (norte)	0.34	0.29	En este nivel ya las velocidades de desgaste son mayores, solo en las posiciones 2,3 y 8 del 2002 existe un engrosamiento menor al 5% y para el 2009 en las posiciones 3,4,5,6 y 8 el engrosamiento que existe es mayor al 5% por lo que se despreciara para no afectar el análisis estadístico formal.
	2	0	0.59	
	3	0	-	
	4	3.09	-	
	5	7.55	-	
	6	6.87	-	
	7	3.78	2.93	
	8	0	-	
16	1 (norte)	0	0	En las posiciones 1,2,4,5,7 y 8 del 2002 y en 2009 la posición 1 presentan un desgaste menor al 5%, por lo que la rapidez de desgaste es cero y en las posiciones 2,3,4,5,6 del 2009 existe un engrosamiento mayor al 5%, por lo que la rapidez de desgaste que presenta no será tomada en cuenta.
	2	0	-	
	3	0.34	-	
	4	0	-	
	5	0	-	
	6	-	-	
	7	0	1.76	
	8	0	1.76	



El nivel de medición número 20 es el único que presenta una velocidad de desgaste que sobrepasa las 15 milésimas de pulgada por año (mpa) en la sección de la alimentación, por consiguiente, en apego a lo que dice, la guía para el registro análisis y programación de la medición preventiva de espesores (DG-SASIPA-IT-00204), se considera como nivel crítico, se le puede atribuir a varias causas como:

- ✓ La presencia de H<sub>2</sub>S disuelto en el fluido que contiene la torre regeneradora de amina y la temperatura alta favorecen el desgaste.
- ✓ Al soldar las secciones cilíndricas para armar la torre, se afectan las propiedades fisicoquímicas y estructurales del material debido a la temperatura que éste se somete, por lo que puede favorecer el adelgazamiento de pared.

**Tabla 3.6 Registro de la rapidez de desgaste puntual para la sección de Alimentación. Nivel 20 (continuación).**

ALIMENTACIÓN				
Fecha		ago-02	jun-09	Observaciones
Nivel ej. B	Posición	Rapidez de desgaste (mpa)	Rapidez de desgaste (mpa)	
20	1 (norte)	0	-	Este nivel en la posición 3 la rapidez de desgaste rebasa las 15 mpa, por lo que se considera crítico, presenta engrosamiento menor al 5% en ñas posiciones 1,7,8 y en la 6 es mayor al 5% por lo cual es despreciado, con el fin de no afectar el análisis estadístico formal.
	2	7.21	-	
	3	18.19	-	
	4	8.93	-	
	5	4.12	-	
	6	-	-	
	7	0	-	
	8	0	-	

En esta sección en particular para la medición del 2009, por falta de andamios y porque el equipo está forrado y solo contaba con tres rejillas para la medición de la torre sobre la escalera de gato, los niveles de medición fueron muy pocos y esto no es favorable para el análisis estadístico formal de la unidad de control alimentación.

### 3.3.3 Análisis de la sección de Fondo.

En esta sección existen niveles críticos, ya que la temperatura es mayor y esto pudo afectar las propiedades del material con el que está construida la torre, en este caso acero al carbón SA 516 Gr. 70, además las partículas en el fondo de la torre erosionan el metal, por acción mecánica, por lo que la velocidad de desgaste que presenta ésta sección en la medición del 2009 es muy alta.

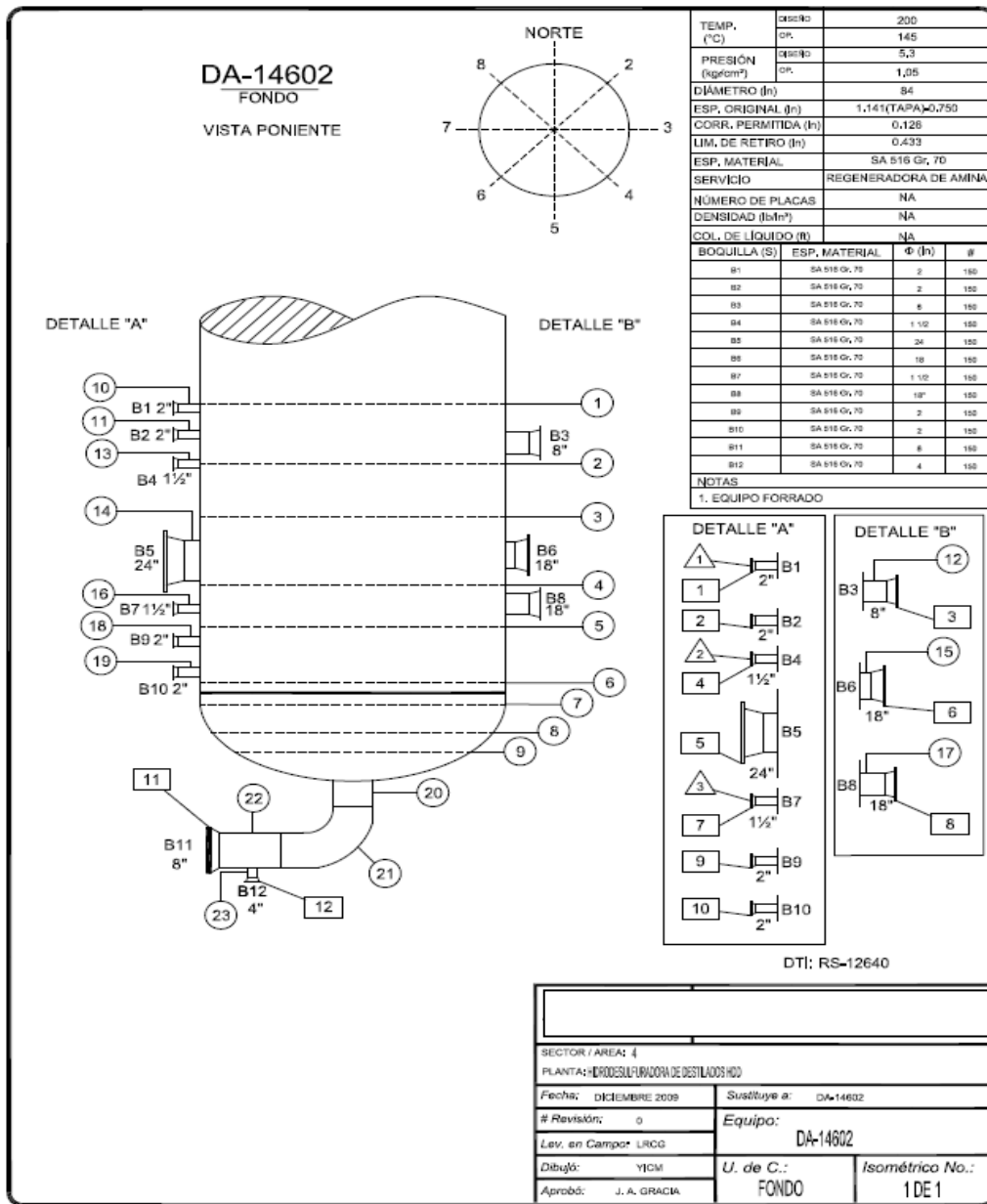


Figura 3.6 Dibujo de la sección Fondo.

**Tabla 3.7 Registro de la rapidez de desgaste puntual para la sección de Fondo.**

FONDO				
Fecha		ago-02	jun-09	Observaciones
Nivel ej. B	Posición	Rapidez de desgaste (mpa)	Rapidez de desgaste (mpa)	
1	1 (norte)	-	-	Para el 2002 en las posiciones 2,3,7 y 8 existe un engrosamiento menor al 5%, por lo que la velocidad de desgaste es cero y en las posiciones 1 y 6 existe un engrosamiento mayor al 5%, por lo que se despreciara este valor, para no afectar el análisis estadístico formal. Para el 2009 no hay medición.
	2	0	-	
	3	0	-	
	4	1.37	-	
	5	14.07	-	
	6	-	-	
	7	0	-	
	8	0	-	
2	1 (norte)	8.93	-	En el 2002 solo en las posiciones 3 y 7 existe un engrosamiento menor al 5% respecto a su medición anterior y en la posición 5 el engrosamiento es mayor al 5% por eso no tiene valor numérico y para el 2009 el expediente de mediciones lo marca como inexistente.
	2	13.04	-	
	3	0	-	
	4	0.69	-	
	5	-	-	
	6	3.43	-	
	7	0	-	
	8	2.4	-	
3	1 (norte)	12.01	1.02	En este nivel como en el 12 ya las velocidades van siendo cada vez más grandes y esto se debe a la temperatura más alta y también presenta en las posiciones del 2002 3,4,6 y 7 y para el 2009 6,7 y 8 presentan engrosamiento menor al 5% y para ambas fechas en la posición 5 hay un engrosamiento mayor al 5%.
	2	1.72	1.02	
	3	0	1.32	
	4	0	0.59	
	5	-	-	
	6	0	0	
	7	0	0	
	8	2.4	0	
4	1 (norte)	0	0.29	En el 2002 hay un engrosamiento en las posiciones 1,2,3,4,5 y 7 y para el 2009 en las posiciones 6 y 7 menor al 5% por lo que su valor sería negativo y afectaría el análisis estadístico formal, por lo que su valor es cero.
	2	0	0.15	
	3	0	0.88	
	4	0	0.44	
	5	0	0.15	
	6	3.09	0	
	7	1.72	0	
	8	0	0.15	

**Tabla 3.7 Registro de la rapidez de desgaste puntual para la sección de Fondo (continuación).**

FONDO				
Fecha		ago-02	jun-09	Observaciones
Nivel ej. B	Posición	Rapidez de desgaste (mpa)	Rapidez de desgaste (mpa)	
5	1 (norte)	1.37	0.44	En el 2002 en las posiciones 3,4,5 y 7 y en el 2009 para las posiciones 5,7 y 8 existe un engrosamiento menor al 5%, por lo que se tomara como cero la rapidez de desgaste.
	2	2.4	0.15	
	3	0	3.66	
	4	0	1.76	
	5	0	0	
	6	2.75	0.29	
	7	0	0	
	8	4.46	0	
6	1 (norte)	3.09	0.15	En el 2002 en las posiciones 3,4,6 y 8 y en 2009 en las posiciones 2,3 y 4 existe un engrosamiento menor al 5% por lo que su valor es cero y en ambas fechas en la posición 7 presenta un engrosamiento mayor al 5% por lo que el valor se desprecia.
	2	3.09	0	
	3	0	0	
	4	0	0	
	5	8.93	0.15	
	6	0	0.29	
	7	-	-	
	8	0	1.17	
7	1 (norte)	0	3.07	Nivel crítico por que rebasa las 15 mpa de desgaste por año para las posiciones 5,7 y 8 y presenta engrosamiento menor al 5% en las posiciones 1 y 2 del 2009 y en las 4 y 7.
	2	0	1.61	
	3	3.09	2.49	
	4		0	
	5	20.25		
	6	3.43	0.44	
	7	15.79	0	
	8	32.27		
8	1 (norte)	0	0.15	En las posiciones 1,5,7 y 8 del 2002 y 3 del 2009 existe un engrosamiento menor al 5% con respecto a la medición anterior, por lo que su valor se toma como cero.
	2	0.69	0.73	
	3	2.06	0	
	4	1.03	0.29	
	5	0	0.59	
	6	1.03	1.02	
	7	0	1.76	
	8	0	0.44	

**Tabla 3.7 Registro de la rapidez de desgaste puntual para la sección de Fondo (continuación).**

FONDO				
Fecha		ago-02	jun-09	Observaciones
Nivel ej. B	Posición	Rapidez de desgaste (mpa)	Rapidez de desgaste (mpa)	
9	1 (norte)	2.75	0.44	En las posiciones 2 y 8 del 2002 y 2 del 2009 existe un engrosamiento menor al 5% con respecto a la medición anterior, por lo que su valor se toma como cero.
	2	0	0	
	3	2.06	1.46	
	4	0.69	1.76	
	5	0	3.37	
	6	0.69	0.44	
	7	3.09	1.32	
	8	1.37	0.44	
10 Boquilla	Norte	2.4	-	En la posición de abajo existe un engrosamiento menor al 5% y para el 2009 lo marca como nivel inexistente.
	Sur	2.75	-	
	Arriba	13.04	-	
	Abajo	0	-	
11 Boquilla	Oriente	47.72	-	Nivel crítico con una rapidez de desgaste muy alta, por lo que hay darle un seguimiento. En 2009 lo marca como nivel inexistente.
	Poniente	55.61	-	
	Arriba	47.37	-	
	Abajo	61.1	-	
12 Boquilla	Norte	2.75	-	En 2002 en la posición sur, existe un engrosamiento menor al 5% con respecto a la medición anterior. En 2009 lo marca como nivel inexistente.
	Sur	0	-	
	Arriba	1.37	-	
	Abajo	1.37	-	
13 Boquilla	Oriente	-	-	En la posición oriente en ambas fechas existe un engrosamiento mayor al 5% por lo que se despreciara esta medición.
	Poniente	8.93	0	
	Arriba	6.52	0	
	Abajo	8.24	0.29	
14 Boquilla	Oriente	0	0.88	En todas las posiciones del 2002 y para las posiciones arriba y abajo del 2009 existe un engrosamiento menor al 5% respecto a la medición anterior.
	Poniente	0	1.02	
	Arriba	0	0	
	Abajo	0	0	
15 Boquilla	Oriente	1.72	0	En la posición poniente del 2002 y para las posiciones oriente y poniente del 2009 existe un engrosamiento menor al 5% respecto a la medición anterior.
	Poniente	0	0	
	Arriba	0.34	0.15	
	Abajo	1.72	3.22	

**Tabla 3.7 Registro de la rapidez de desgaste puntual para la sección de Fondo (continuación).**

FONDO				
Fecha		ago-02	jun-09	Observaciones
Nivel ej. B	Posición	Rapidez de desgaste (mpa)	Rapidez de desgaste (mpa)	
16 Boquilla	Oriente	0	3.66	En el 2002 existe un engrosamiento menor al 5% por lo que su valor es cero.
	Poniente	0	1.46	
	Arriba	0	0.73	
	Abajo	0	2.34	
17 Boquilla	Norte	-	0	En el 2002, la posición norte existe un engrosamiento mayor al 5% por lo que se despreciara su valor.
	Sur	1.72	1.32	
	Arriba	0	0	
	Abajo	0.34	1.17	
18 Boquilla	Norte	3.78	0.29	En ambas fechas en la posición sur existe un engrosamiento mayor al 5% por lo que se despreciara su valor.
	Sur	-	-	
	Arriba	3.09	0.15	
	Abajo	0	0	
19 Boquilla	Norte	-	0	En el 2002, la posición norte existe un engrosamiento mayor al 5% por lo que se despreciara su valor.
	Sur	1.72	1.32	
	Arriba	0	3.07	
	Abajo	1.37	0.44	
20 Boquilla	Norte	0	2.49	Nivel crítico ya que rebasa las 15 mpa en la posición sur del 2002.
	Sur	20.6	3.66	
	Oriente	0	0	
	Poniente	0	4.83	
21 Boquilla	Norte	-	-	Este nivel no será tomado en cuenta ya que existe un engrosamiento mayor al 5% en todas las posiciones y en ambas fechas.
	Sur	-	-	
	Dentro	-	-	
	Fuera	-	-	
22 Boquilla	Oriente	0	2.2	En las mediciones del 2002 todas las posiciones presentan un engrosamiento menor al 5% por lo que su valor para el análisis es de cero.
	Poniente	0	1.9	
	Arriba	0	2.34	
	Abajo	0	2.2	
23 Boquilla	Norte			Nivel marcado como nuevo.
	Sur			
	Arriba			
	Abajo			

El desgaste que presentan las boquillas de la sección fondo se puede atribuir a varias causas como:

- ✓ Están diseñadas para las velocidades de desgaste tan altas.
- ✓ La temperatura alta favorece la corrosión del acero al carbón.
- ✓ Las partículas erosionan por acción mecánica, es decir, se desprende material.
- ✓ El H<sub>2</sub>S disuelto en el fluido que contiene el fondo.

### 3.4 Resultados y análisis comparativo de metodologías para dividir torres regeneradoras de amina.

Para este análisis se consideran dos opciones diferentes para la división de unidades de control de una torre regeneradora de amina; por un lado se propone seccionar en tres partes: domo, alimentación y fondos (método A); por otro lado, se considera toda la torre como una sola unidad de control tal y como se ha hecho típicamente para este equipo (método B).

Análisis comparativo de dos metodologías para dividir una torre regeneradora de amina en unidades de control, de acuerdo con las velocidades de desgaste que ésta presente.

**Tabla 3.8 Comparativo de metodologías para dividir una torre regeneradora de amina.**

Torre regeneradora de amina (DA-14602)	Método A			Método B
Diámetro (cm)	213.4			213.4
Productos	H <sub>2</sub> S-DEA-agua			H <sub>2</sub> S-DEA-agua
Capacidad (BPD)	25 000 BPD			25 000 BPD
Material de construcción del cuerpo	Acero al Carbón			Acero al Carbón
Especificación de Material del cuerpo	A-516 Gr. 70			A-516 Gr. 70
Recubrimiento interno	No			No
Temperatura de Operación (°C)	Domo	Alimentación	Fondo	145
	111	96	119	
Temperatura de Diseño (°C)	Domo	Alimentación	Fondo	200
	200	200	200	
Presión de Operación (kgf/cm <sup>2</sup> )	Domo	Alimentación	Fondo	1.05
	0.9	ND	1.05	
Presión de Diseño (kgf/cm <sup>2</sup> )	Domo	Alimentación	Fondo	5.3
	5.3	5.3	5.3	
Tipo de Geometría	Sección cilíndrica			Sección cilíndrica
Tipo de Alimentación	Líquida			Líquida
CA (mp)	0.125			0.125
Número de unidades de control	3			1

ND: NO DESIGNADO



Con el método A propuesto se tiene información más confiable, como se puede ver en el comparativo de las temperatura y las presiones ya que no son las mismas en el domo, alimentación y fondos, porque partiendo de las diferentes condiciones de operación que manejan también existe una variación en la velocidad de desgaste del espesor de pared, debido a que en la unidad de control domo el vapor de agua y el H<sub>2</sub>S son la principal causa de la corrosión. En el fondo una de las causas de la corrosión es el agua y el H<sub>2</sub>S aun disuelto y esto combinado con una temperatura de 119 °C hace más corrosiva la solución de H<sub>2</sub>S-DEA-agua, además la velocidad de degaste pueden ser altas debido a la erosión, es decir, las partículas sólidas que lleguen a estar en contacto con las paredes del recipiente lo van a ir desgastando por acción mecánica.

En el número de unidades de control cambió de uno a tres, de esta forma se puede tener un mejor control de los puntos críticos y así facilitar su localización y el seguimiento que éstos deben de tener, para asegurar la integridad mecánica de los diferentes equipos, en este caso la torre regeneradora de amina, a fin evitar un incidente o accidente dentro de las instalaciones.

Otro beneficio sería que no se tendría que mandar a inspeccionar toda la torre, únicamente la unidad de control donde existan los puntos críticos y las otras unidades de control de acuerdo con su velocidad de desgaste (hasta cinco años).

**Tabla 3.8 Comparativo de metodologías para dividir una torre regeneradora de amina (continuación).**

Torre regeneradora de amina (DA-14602)	Método A			Método B
Número de niveles de medición	Domo	Alimentación	Fondo	55
	10	23	23	
Número de puntos de medición	Domo	Alimentación	Fondo	368
	64	180	128	
Niveles críticos 2002	Domo	Alimentación	Fondo	7
	3	1	3	
Puntos críticos 2002	Domo	Alimentación	Fondo	18
	9	1	8	
Niveles críticos 2009	Domo	Alimentación	Fondo	ND
	ND	ND	ND	
Puntos críticos 2009	Domo	Alimentación	Fondo	ND
	ND	ND	ND	
Puntos que presentan engrosamiento menor al 5%.	Domo	Alimentación	Fondo	62
	24	12	26	
Puntos que presentan engrosamiento mayor al 5%.	Domo	Alimentación	Fondo	16
	4	3	9	

Vida útil estimada (años)	Domo	Alimentación	Fondo	>100
	>100			
Esesor mínimo encontrado (milsp)	Domo	Alimentación	Fondo	375
	385	750	375	
Nivel con esesor mínimo (Nivel-Posición)	Domo	Alimentación	Fondo	51 - Norte
	6 - 1	15 - 7	18 - 1	
Fecha de retiro probable	Domo	Alimentación	Fondo	01/06/2109
	21/06/2109			
Velocidad de desgaste máxima	Domo	Alimentación	Fondo	0.77
	0.23	1.35	1.02	

ND: NO DESIGNADO

El número de niveles y posiciones disminuyó, lo que facilita la detección de puntos donde la velocidad de desgaste sea más alta.

Los engrosamientos provocan que exista menos muestra para el análisis estadístico formal ya que los puntos donde éste sea menor al 5% serán tomados como cero y en los mayores a 5% se despreciarán, lo interesante es que aparentemente sería más confiable el método B porque tiene más datos, pero al momento de localizar los puntos críticos es donde se dificultaría y costaría más mandar a inspeccionar toda la torre que solo la unidad de control donde esté el punto crítico.

La vida útil estimada y la fecha de retiro probable es la misma por los dos métodos por lo que nos dice que el método B también es válido

En la velocidad de desgaste máxima se puede apreciar la ventaja del método A sobre el método B puesto que se localizó el punto de desgaste máximo en el domo y así se puede darle un seguimiento.

### 3.5 Resultados y análisis comparativo de dos torres regeneradoras de amina.

El análisis de estas torres regeneradoras de amina se hizo con base en el cálculo de velocidades de desgaste utilizando el espesor original y primera inspección, de cada equipo, ya que en la Torre II sólo se tenía la primera inspección.

En la tabla 3.3 se muestra de forma resumida lo que se conoce de cada torre regeneradora de amina.

Torre de Regeneración de amina planta HDD: Torre I

Torre de Regeneración de amina planta HDGO: Torre II

En el anexo B la tabla B-1 muestra el registro de la medición de espesores para cada sección de la torre regeneradora de amina I.

En el anexo B la tabla B-2 muestra el registro de la medición de espesores para cada sección de la torre regeneradora de amina II.

**Tabla 3.9 Comparativo de torres regeneradora de amina.**

Torre regeneradora de amina	I (DA-14602)			II (V-11055)		
Diámetro (cm)	213.4			400		
Número de posiciones por nivel	8			16		
Productos	H <sub>2</sub> S-DEA-agua			H <sub>2</sub> S-DEA-agua		
Capacidad (BPD)	25 000 BPD			ND		
Material de construcción del cuerpo	Acero al Carbón			Acero al Carbón		
Especificación de Material del cuerpo	A-516 Gr. 70			A-516 Gr. 70		
Recubrimiento interno	No			Cladding (Domo)		
Temperatura de Operación (°C)	Domo	Alimentación	Fondo	Domo	Alimentación	Fondo
	111	96	119	120	96	129
Temperatura de Diseño (°C)	Domo	Alimentación	Fondo	Domo	Alimentación	Fondo
	200	200	200	150	150	150
Presión de Operación (kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup> )	Domo	Alimentación	Fondo	Domo	Alimentación	Fondo
	0.9	ND	1.05	1.3	ND	1.5
Presión de Diseño (kg <sub>f</sub> /cm <sup>2</sup> )	Domo	Alimentación	Fondo	Domo	Alimentación	Fondo
	5.3	5.3	5.3	5	5	5
Tipo de Geometría	Sección cilíndrica			Sección cilíndrica		
Tipo de Alimentación	Líquida			Líquida		
CA (mp)	0.125			0.125		
Número de unidades de control	3			3		
Número de inspecciones	3			1		
Fechas de inspecciones	Sep-1999, Ago-2002, Jun-2009			Sep-2013		

Existe una gran diferencia en el número de puntos de medición ya que el diámetro de la torre I es de 213.4 cm y el de la torre II de 400 cm a lo que corresponderían 8 y 16 puntos de medición respectivamente como lo muestra la Tabla 3.9.

Un punto muy interesante es el recubrimiento de cladding con el que cuenta la Torre II en la sección del domo, ya que es una torre con fecha de construcción más reciente, por lo que se supone, que en el diseño, se tomaron en cuenta las propiedades corrosivas del H<sub>2</sub>S y vapor de agua, al formar una mezcla a una temperatura de 99 °C y estar en constante contacto con la pared del acero al

carbón, adelgazaría considerablemente el espesor de pared de la sección domo, además del recubrimiento, se inyecta un anticorrosivo en la línea que alimenta a la torre.

Al comparar las condiciones de operación son más altas las de la torre II y esto se debe al tamaño que ésta presenta.

**Tabla 3.9 Comparativo de torre regeneradora de amina (continuación).**

Torre regeneradora de amina	I (DA-14602)			II (V-11055)		
	Domo	Alimentación	Fondo	Domo	Alimentación	Fondo
Número de niveles de medición	Domo	Alimentación	Fondo	Domo	Alimentación	Fondo
	10	23	23	20	24	32
Número de puntos de medición	Domo	Alimentación	Fondo	Domo	Alimentación	Fondo
	64	180	128	152	336	280
Niveles críticos	Domo	Alimentación	Fondo	Domo	Alimentación	Fondo
	8	11	ND	2	ND	14
Puntos críticos	Domo	Alimentación	Fondo	Domo	Alimentación	Fondo
	38	18	ND	48	ND	42
Puntos que presentan engrosamiento menor al 5%.	Domo	Alimentación	Fondo	Domo	Alimentación	Fondo
	11	135	30	6	201	4
Puntos que presentan engrosamiento mayor al 5%.	Domo	Alimentación	Fondo	Domo	Alimentación	Fondo
	2	16	35	6	25	253
Espesor mínimo encontrado (milsp)	Domo	Alimentación	Fondo	Domo	Alimentación	Fondo
	872	709	894	523	ND	ND
Nivel con espesor mínimo (Nivel-Posición)	Domo	Alimentación	Fondo	Domo	Alimentación	Fondo
	1-3,7	21-5	9-2	1-21	ND	30-OC
Velocidad de desgaste máxima	Domo	Alimentación	Fondo	Domo	Alimentación	Fondo
	268.73	40.95	251	66.96	ND	81.95

En la sección de la alimentación de la torre II se observa que no hay desgaste y se le puede atribuir a la efectividad del anticorrosivo que se le inyecta a la línea de proceso antes de ser alimentada a la torre.

Las velocidades de desgaste máximas se pueden dar por:

- ✓ Estaba diseñada con un sobre espesor considerando que la velocidad de desgaste sobrepasaría las 15 mpa en el caso de la torre I, ya que esta no cuenta con el cladding.

- ✓ La presencia de un agente corrosivo como H<sub>2</sub>S disuelto en la solución de DEA-agua y a la temperatura de 119 en el caso de la torre I y 129 en la torre II el cual disminuiría el espesor de pared.
- ✓ En el envoltente y tapas se puede dar por el rolado y troquelado ya que su espesor disminuye o la placa que se uso era de un espesor mayor.

El engrosamiento presente en la mayoría de los puntos disminuye la confiabilidad del análisis estadístico formal ya que deberá tener un mínimo de 32 puntos de medición para que este tenga mayor confiabilidad.

**Tabla 3.9 Comparativo del desgaste de espesores de dos torres regeneradoras de amina (continuación).**

Torre regeneradora de amina	I (DA-14602)			II (V-11055)		
	Domo	Alimentación	Fondo	Domo	Alimentación	Fondo
velocidad de desgaste promedio (mpa)	129.72	16.51	113.53	54.65	ND	ND
Velocidad máxima ajustada (mpa)	153.94	20.57	133.31	64.17	ND	ND
Vida útil estimada (años)	2.85	13.41	3.45	1.4	ND	ND
Fecha de próxima medición (años)	2000.75	2004.27	2000.95	2014.27	ND	ND
Fecha de retiro probable (años)	2002.65	2013.21	2003.26	2015.20	ND	ND

La velocidad de desgaste promedio y velocidad máxima ajustada, son mayores en la torre I ya que en la torre II en la alimentación y fondo presenta engrosamiento en todos los puntos del envoltente, por lo que no se pudo realizar los cálculos por que presentan valores de velocidad de desgaste negativos, que si son tomados en cuenta afectarían el análisis estadístico formal.

En el domo y fondo de la torre I, los valores de velocidad de desgaste promedio y velocidad máxima ajustada son mayores que en la alimentación, además que son valores muy grandes y esto se puede dar por causas como:

- ✓ La placa que se usó para hacer las tapas, pudo tener un espesor mayor que el requerido, ya que en el diseño de la torre se obtiene el espesor de diseño, pero se usa el espesor nominal (espesor de la placa utilizada para hacer la tapa) además que podría afectar el espesor al ser troquelado, por

consiguiente al realizar la primer calibración y compararla con el espesor de diseño va a existir una variación.

- ✓ No se calibró el equipo con el que se realizó la inspección.
- ✓ El personal que calibró la torre, no cuenta la preparación necesaria.
- ✓ El fluido que contiene dicha torre puede formar incrustaciones.

### **CAPÍTULO III. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **4.1 Conclusiones del análisis de método A y B en una torre regeneradora de amina.**

Las torres regeneradoras de amina, esenciales en los procesos de hidrodeshulfuración son, al igual que otros, equipos vulnerables a diferentes mecanismos que perjudican su integridad física. Las condiciones de proceso y los fluidos que manejan estos equipos, promueven mecanismos de daño que pueden evaluarse a través de técnicas de inspección. La medición de espesores es una práctica de inspección que permite analizar el desgaste de material por estos mecanismos de daño.

Al comparar la rapidez de desgaste de las inspecciones en la torre regeneradora de amina, se demostró que en el método B se tiene un mejor control de las fechas de próxima medición y de los puntos críticos, dividiéndola en tantas unidades de control como sean necesarias, ya que estos puntos se encuentran en la zonas de refuerzo tales como el domo y el fondo, además en estas secciones es donde las condiciones de operación, la alta concentración de las sustancias corrosivas y partículas que pudieran llegar a tener en el fondo, causan el adelgazamiento del espesor de pared y así afectar la integridad mecánica la torre regeneradora de amina.

La torre regeneradora de amina al ser analizada por método A y B.

Método A: Se dividió en tres unidades de control el cuerpo de la torre.

Método B: Se tomó todo el cuerpo como una sola unidad de control.

Se tiene que la rapidez de desgaste varía a lo largo de ésta, dado los diferentes mecanismos que se pueden presentar bajo ciertas condiciones de operación. La torre regeneradora de amina que se seccionó por los métodos A y B se dividió en una unidad de control (método A), de acuerdo con el centro de trabajo, pero al analizar sus valores de espesor de pared se lograron identificar zonas con rapidez de desgaste distinta, con lo que se determinó que sería más conveniente dividir el cuerpo de la torre en tres secciones (método B):

- ✓ Domo
- ✓ Alimentación
- ✓ Fondo

Al aumentar el número de unidades de control se tendrán algunas ventajas en cuanto a la inspección se refiere, como las siguientes:

- ✓ Mejor manejo de las mediciones.
- ✓ Reducción de costos de inspección.

El manejo de la información va ser más eficiente ya que al tener el equipo dividido en tres unidades de control, se localizarán los puntos críticos más rápido y por consiguiente se tendrá un mejor control de estos.

La torre al ser analizada en tres unidades de control, resulta en costos menores debido a que en las zonas con mayor desgaste se tomaron como una unidad de control y al programar las fechas de próxima medición ya no inspeccionará toda la torre, solamente aquella unidad de control que presente los puntos con mayor velocidad de desgaste, por lo que el método B es el más adecuado.

#### **4.2 Conclusiones del análisis comparativo de dos torres regeneradoras de amina.**

Al realizar el análisis comparativo de las dos torres regeneradoras de amina.

Torre de Regeneración de amina planta HDD: Torre I

Torre de Regeneración de amina planta HDGO: Torre II

El análisis comparativo de las torres I y II, se obtuvieron datos poco confiables ya que solo se contaba con una medición y esta se tomó como la segunda y el espesor original como la primera, por lo que al realizar el análisis estadístico formal, las velocidades de desgaste en las secciones como el domo y fondo, eran muy altas o presentaban un engrosamiento muy alto.

El engrosamiento en la mayoría de puntos de medición, genera un menor número de valores de rapidez de desgaste para el análisis, ya que, si el engrosamiento es  $< 5\%$ , la rapidez de desgaste se toma como nula, mientras que si el engrosamiento  $> 5\%$  es invalidada dicha rapidez de desgaste y en este caso en particular se le puede atribuir a que el análisis se debió realizar con dos mediciones posteriores, es decir, con dos calibraciones y no con el espesor original, pero lo que se pudo apreciar es que en las hojas de diseño mecánico da un espesor original y al medir al año siguiente como lo marca la normatividad



vigente, este presenta un aumento de espesor de pared muy por encima o muy por debajo de lo esperado.

La disminución de puntos de medición también se debió a causas de inaccesibilidad como las siguientes:

- ✓ Solo se puede medir donde no tiene forro el equipo o donde se han colocado ventanas de medición.
- ✓ Existen niveles inaccesibles, como pueden ser zonas de altura.
- ✓ El personal que realiza el trabajo de calibración no cuenta con el equipo de seguridad necesario y por consiguiente no lo hace.
- ✓ Existen zonas obstruidas, y estas pueden ser porque al realizar las inspecciones normalmente el equipo está fuera de operación y es cuando se realizan trabajos de mantenimiento y no se pueden realizar dos eventos al mismo tiempo.

#### **4.3 Recomendaciones.**

Los siguientes factores afectan la medición de espesores y no permiten realizar un análisis más confiable, por lo que se recomienda:

- ✓ Realizar una medición de confirmación en los puntos que estén muy por encima o debajo de lo esperado para tener el mayor número de puntos de medición para el análisis.
- ✓ Que las mediciones tengan un mínimo de un año entre ellas.
- ✓ Los equipos con los que se realiza la inspección estén calibrados.
- ✓ El personal debe ser nivel II.



## ANEXO A. MEMORIA DE CÁLCULO

### A. Cálculo de la velocidad de desgaste por punto (d)

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

- d = Velocidad de desgaste por punto
- ff = Fecha de la medición más reciente
- fi = Fecha de medición anterior – ei [años]
- ei = Espesor obtenido en la fecha fi [mpa]
- ef = Espesor obtenido en la fecha ff [mpa]

### B. Cálculo de la velocidad de desgaste promedio (Dprom)

$$D_{prom} = \frac{d1 + d2 + d3 + \dots + dn}{n} \quad \dots \dots \dots (2)$$

### C. Velocidad máxima ajustada (Dmax)

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

- d1, d2, d3, ..., dn = 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.
- Dprom = Promedio aritmético de las velocidades de desgaste [mpa]
- Dmax = Velocidad de desgaste máxima ajustada estadísticamente [mpa]

### D. Vida útil estimada

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

### E. Fecha de próxima medición

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

## F. Fecha de retiro probable

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

Lr = Límite de retiro [mpa].

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

fk= Fecha de última medición [años]

**ANEXO B. Registro de medición de espesores del cuerpo y boquillas.**

**ANEXO B-1 EJEMPLO TORRE I (Domo, Alimentación y Fondo).**

Tabla B-1 Registro de medición de espesores de la sección domo.

DOMO				
		sep-99	ago-02	jun-09
Nivel ej. B	Posición	Espesor (mp)	Espesor (mp)	Espesor (mp)
1	1	893	890	890
	2	931	876	875
	3	895	887	885
	4	872	891	890
	5	892	874	875
	6	902	879	880
	7	872	880	880
	8	906	883	885
2	1	906	889	890
	2	903	890	890
	3	901	887	885
	4	914	887	885
	5	903	879	880
	6	907	881	880
	7	904	879	880
	8	901	876	875
3	1	959	899	900
	2	945	901	900
	3	935	877	875
	4	952	898	895
	5	960	903	905
	6	969	901	900
	7	953	896	895
	8	903	898	895
4	1	736	740	740
	2	738	751	750
	3	729	749	750
	4	738	755	745
	5	707	761	760
	6	732	757	750
	7	729	749	750
	8	735	753	750

Tabla B-1 Registro de medición de espesores de la sección Domo (continuación).

DOMO				
		sep-99	ago-02	jun-09
Nivel ej. B	Posición	Espesor (mp)	Espesor (mp)	Espesor (mp)
5	1	753	755	755
	2	752	761	760
	3	753	750	750
	4	754	744	750
	5	752	749	750
	6	766	752	750
	7	772	743	740
	8	753	751	750
6 Boquilla	Norte	402	396	385
	Sur	386	387	390
	Oriente	387	386	385
	Poniente	335	387	390
7 Boquilla	Norte	903	910	910
	Sur	899	903	903
	Oriente	903	908	910
	Poniente	909	909	910
8 Boquilla	Norte	635	642	640
	Sur	616	650	650
	Oriente	657	645	645
	Poniente	623	659	660
9 Boquilla	Oriente	560	541	inexistente
	Poniente	569	537	inexistente
	Arriba	554	540	inexistente
	Abajo	589	535	inexistente
10 Boquilla	Oriente	399	375	inexistente
	Poniente	381	377	inexistente
	Arriba	382	369	inexistente
	Abajo	379	370	inexistente

Tabla B-1 Registro de medición de espesores de la sección Alimentación.

ALIMENTACIÓN				
		sep-99	ago-02	jun-09
Nivel ej. B	Posición	Espesor (mp)	Espesor (mp)	Espesor (mp)
1	1	731	751	751
	2	754	763	765
	3	757	772	770
	4	756	756	755
	5	779	779	765
	6	769	769	770
	7	764	764	765
	8	755	780	780
2	1	745	778	inexistente
	2	744	765	inexistente
	3	748	766	inexistente
	4	747	774	inexistente
	5	744	781	inexistente
	6	768	768	inexistente
	7	762	752	inexistente
	8	748	765	inexistente
3	1	757	772	inexistente
	2	759	766	inexistente
	3	765	765	inexistente
	4	763	772	inexistente
	5	760	781	inexistente
	6	790	776	inexistente
	7	725	761	inexistente
	8	756	762	inexistente
4	1	766	768	765
	2	760	805	800
	3	732	772	770
	4	766	769	765
	5	788	769	755
	6	733	769	765
	7	758	802	770
	8	784	819	815

Tabla B-1 Registro de medición de espesores de la sección Alimentación (continuación).

ALIMENTACIÓN				
		sep-99	ago-02	jun-09
Nivel ej. B	Posición	Espesor (mp)	Espesor (mp)	Espesor (mp)
5	1	763	781	765
	2	732	775	770
	3	768	771	770
	4	768	766	765
	5	731	760	755
	6	757	763	765
	7	749	769	765
	8	760	761	760
6	1	759	765	inexistente
	2	760	785	inexistente
	3	756	779	inexistente
	4	766	788	inexistente
	5	786	762	inexistente
	6	759	770	inexistente
	7	755	791	inexistente
	8	757	764	inexistente
7	1	756	769	inexistente
	2	760	763	inexistente
	3	762	768	inexistente
	4	762	785	inexistente
	5	757	767	inexistente
	6	757	767	inexistente
	7	779	760	inexistente
	8	754	763	inexistente
8	1	755	770	inexistente
	2	756	776	inexistente
	3	763	762	inexistente
	4	762	766	inexistente
	5	796	763	inexistente
	6	726	769	inexistente
	7	726	785	inexistente
	8	750	767	inexistente

Tabla B-1 Registro de medición de espesores de la sección Alimentación (continuación).

ALIMENTACIÓN				
		sep-99	ago-02	jun-09
Nivel ej. B	Posición	Espesor (mp)	Espesor (mp)	Espesor (mp)
9	1	757	796	inexistente
	2	764	772	inexistente
	3	768	780	inexistente
	4	770	762	inexistente
	5	775	772	inexistente
	6	761	769	inexistente
	7	725	775	inexistente
	8	732	766	inexistente
10	1	765	781	inexistente
	2	763	778	inexistente
	3	767	773	inexistente
	4	770	761	inexistente
	5	774	763	inexistente
	6	758	773	inexistente
	7	752	786	inexistente
	8	754	781	inexistente
11	1	756	788	inexistente
	2	765	766	inexistente
	3	769	765	inexistente
	4	772	794	inexistente
	5	724	786	inexistente
	6	762	769	inexistente
	7	752	759	inexistente
	8	752	765	inexistente
12	1	750	769	inexistente
	2	757	795	inexistente
	3	758	768	inexistente
	4	761	764	inexistente
	5	767	765	inexistente
	6	746	772	inexistente
	7	751	763	inexistente
	8	751	783	inexistente

Tabla B-1 Registro de medición de espesores de la sección Alimentación (continuación).

ALIMENTACIÓN				
		sep-99	ago-02	jun-09
Nivel ej. B	Posición	Espesor (mp)	Espesor (mp)	Espesor (mp)
13	1	759	793	inexistente
	2	767	770	inexistente
	3	766	762	inexistente
	4	766	765	inexistente
	5	786	766	inexistente
	6	760	762	inexistente
	7	752	779	inexistente
	8	759	764	inexistente
14	1	755	764	inexistente
	2	750	806	780
	3	753	776	inexistente
	4	753	795	inexistente
	5	755	755	inexistente
	6	756	775	inexistente
	7	754	780	760
	8	737	770	inexistente
15	1	763	762	760
	2	761	764	760
	3	759	793	inexistente
	4	761	752	inexistente
	5	789	767	inexistente
	6	790	770	inexistente
	7	781	770	750
	8	759	796	
16	1	762	802	780
	2	762	767	inexistente
	3	765	764	inexistente
	4	768	785	inexistente
	5	766	770	inexistente
	6	761	800	inexistente
	7	755	772	760
	8	762	767	755



Tabla B-1 Registro de medición de espesores de la sección Alimentación (continuación).

ALIMENTACIÓN				
		sep-99	ago-02	jun-09
Nivel ej. B	Posición	Espesor (mp)	Espesor (mp)	Espesor (mp)
17	1	760	771	inexistente
	2	761	778	inexistente
	3	761	780	inexistente
	4	768	759	inexistente
	5	765	798	inexistente
	6	766	799	inexistente
	7	784	787	inexistente
	8	765	779	inexistente
18	1	760	773	inexistente
	2	768	801	inexistente
	3	762	791	inexistente
	4	760	762	inexistente
	5	765	781	inexistente
	6	772	786	inexistente
	7	758	776	inexistente
	8	726	762	inexistente
19	1	761	776	inexistente
	2	761	771	inexistente
	3	793	766	inexistente
	4	775	758	inexistente
	5	783	802	inexistente
	6	726	774	inexistente
	7	763	773	inexistente
	8	730	773	inexistente
20	1	768	776	inexistente
	2	809	788	inexistente
	3	811	758	inexistente
	4	804	778	inexistente
	5	801	789	inexistente
	6	769	809	inexistente
	7	754	771	inexistente
	8	773	777	inexistente

Tabla B-1 Registro de medición de espesores de la sección Alimentación (continuación).

ALIMENTACIÓN				
		sep-99	ago-02	jun-09
Nivel ej. B	Posición	Espesor (mp)	Espesor (mp)	Espesor (mp)
21	1	775	771	inexistente
	2	792	773	inexistente
	3	792	780	inexistente
	4	725	793	inexistente
	5	709	758	inexistente
	6	750	776	inexistente
	7	753	791	inexistente
	8	739	803	inexistente
22	1	770	799	inexistente
	2	772	779	inexistente
	3	768	770	inexistente
	4	724	762	inexistente
	5	763	765	inexistente
	6	758	774	inexistente
	7	772	770	inexistente
	8	771	775	inexistente
23 Boquilla	Oriente	748	737	735
	Poniente	767	783	760
	Arriba	749	749	740
	Abajo	744	731	730

Tabla B-1 Registro de medición de espesores de la sección Fondo.

FONDO				
		sep-99	ago-02	jun-09
Nivel ej. B	Posición	Espesor (mp)	Espesor (mp)	Espesor (mp)
1	1	784	828	inexistente
	2	769	769	inexistente
	3	766	772	inexistente
	4	761	757	inexistente
	5	794	753	inexistente
	6	783	833	inexistente
	7	801	833	inexistente
	8	781	799	inexistente
2	1	793	767	inexistente
	2	798	760	inexistente
	3	758	762	inexistente
	4	757	755	inexistente
	5	721	775	inexistente
	6	780	770	inexistente
	7	725	750	inexistente
	8	786	779	inexistente
3	1	802	767	760
	2	772	767	760
	3	754	774	765
	4	750	774	770
	5	722	780	780
	6	734	768	770
	7	752	759	760
	8	754	747	750
4	1	753	767	765
	2	729	751	750
	3	753	766	760
	4	752	773	770
	5	755	756	755
	6	754	745	745
	7	733	728	730
	8	752	761	760

Tabla B-1 Registro de medición de espesores de la sección Fondo (continuación).

FONDO				
		sep-99	ago-02	jun-09
Nivel ej. B	Posición	Espesor (mp)	Espesor (mp)	Espesor (mp)
5	1	777	773	770
	2	748	741	740
	3	749	780	755
	4	750	782	770
	5	738	740	740
	6	760	752	750
	7	749	758	760
	8	763	750	750
6	1	745	736	735
	2	744	735	735
	3	721	744	745
	4	746	753	755
	5	782	756	755
	6	749	752	750
	7	709	756	755
	8	740	768	760
7	1	940	941	920
	2	924	931	920
	3	951	942	925
	4	900	953	930
	5	935	876	920
	6	918	908	905
	7	938	892	930
	8	943	849	930
8	1	899	901	900
	2	902	900	895
	3	900	894	895
	4	900	897	895
	5	902	904	900
	6	905	902	895
	7	901	902	890
	8	903	903	900

Tabla B-1 Registro de medición de espesores de la sección Fondo (continuación).

FONDO				
		sep-99	ago-02	jun-09
Nivel ej. B	Posición	Espesor (mp)	Espesor (mp)	Espesor (mp)
9	1	891	883	880
	2	889	889	890
	3	896	890	880
	4	894	892	880
	5	895	903	880
	6	895	893	890
	7	898	889	880
	8	902	898	895
10 Boquilla	Norte	437	430	-
	Sur	443	435	-
	Arriba	476	438	-
	Abajo	439	440	-
11 Boquilla	Oriente	573	434	-
	Poniente	599	437	-
	Arriba	584	446	-
	Abajo	620	442	-
12 Boquilla	Norte	397	389	-
	Sur	374	387	-
	Arriba	394	390	-
	Abajo	392	388	-
13 Boquilla	Oriente	599	648	648
	Poniente	671	645	645
	Arriba	658	639	640
	Abajo	671	647	645
14 Boquilla	Oriente	626	636	630
	Poniente	629	637	630
	Arriba	632	634	635
	Abajo	624	640	640
15 Boquilla	Oriente	635	630	630
	Poniente	624	627	630
	Arriba	632	631	630
	Abajo	642	637	615

Tabla B-1 Registro de medición de espesores de la sección Fondo (continuación).

FONDO				
		sep-99	ago-02	jun-09
Nivel ej. B	Posición	Espesor (mp)	Espesor (mp)	Espesor (mp)
16 Boquilla	Oriente	756	775	750
	Poniente	755	760	750
	Arriba	755	755	750
	Abajo	751	771	755
17 Boquilla	Norte	388	-	390
	Sur	399	394	385
	Arriba	387	390	390
	Abajo	399	398	390
18 Boquilla	Norte	388	377	375
	Sur	350	375	375
	Arriba	390	381	380
	Abajo	369	374	375
19 Boquilla	Norte	430	462	430
	Sur	439	434	425
	Arriba	458	466	445
	Abajo	457	453	450
20 Boquilla	Norte	615	617	600
	Sur	675	615	590
	Oriente	612	615	615
	Poniente	614	643	610
21 Boquilla	Norte	-	-	-
	Sur	-	-	-
	Dentro	-	-	-
	Fuera	-	-	-
22 Boquilla	Oriente	621	625	610
	Poniente	612	613	600
	Arriba	599	616	600
	Abajo	603	625	610
23 Boquilla	Norte	nuevo	nuevo	nuevo
	Sur	nuevo	nuevo	nuevo
	Arriba	nuevo	nuevo	nuevo
	Abajo	nuevo	nuevo	nuevo

**ANEXO B-2 EJEMPLO TORRE II (Domo, Alimentación y Fondo).**

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Domo.

<b>DOMO</b>				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
1 Tapa	1 (norte)	590	280	524
	Posición 2	590	280	526
	Posición 3	590	280	524
	Posición 4	590	280	523
	Posición 5	590	280	527
	Posición 6	590	280	525
	Posición 7	590	280	526
	Posición 8	590	280	524
	Posición 9	590	280	525
	Posición 10	590	280	525
	Posición 11	590	280	526
	Posición 12	590	280	526
	Posición 13	590	280	527
	Posición 14	590	280	526
	Posición 15	590	280	528
	Posición 16	590	280	523
	Posición 17	590	280	524
	Posición 18	590	280	526
	Posición 19	590	280	524
	Posición 20	590	280	524
	Posición 21	590	280	523
	Posición 22	590	280	525
	Posición 23	590	280	527
	Posición 24	590	280	524

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Domo (continuación).

DOMO				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
2 Tapa	1 (norte)	590	280	531
	Posición 2	590	280	532
	Posición 3	590	280	537
	Posición 4	590	280	535
	Posición 5	590	280	532
	Posición 6	590	280	532
	Posición 7	590	280	536
	Posición 8	590	280	537
	Posición 9	590	280	534
	Posición 10	590	280	534
	Posición 11	590	280	535
	Posición 12	590	280	536
	Posición 13	590	280	534
	Posición 14	590	280	535
	Posición 15	590	280	530
	Posición 16	590	280	532
	Posición 17	590	280	532
	Posición 18	590	280	531
	Posición 19	590	280	532
	Posición 20	590	280	530
	Posición 21	590	280	532
	Posición 22	590	280	534
	Posición 23	590	280	533
	Posición 24	590	280	532



Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Domo (continuación).

DOMO				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
3	1 (norte)	590	460	603
	Posición 2	590	460	601
	Posición 3	590	460	597
	Posición 4	590	460	595
	Posición 5	590	460	597
	Posición 6	590	460	599
	Posición 7	590	460	604
	Posición 8	590	460	603
	Posición 9	590	460	607
	Posición 10	590	460	608
	Posición 11	590	460	609
	Posición 12	590	460	599
	Posición 13	590	460	607
	Posición 14	590	460	602
	Posición 15	590	460	601
	Posición 16	590	460	603
	Posición 17	590	460	604
	Posición 18	590	460	603
	Posición 19	590	460	602
	Posición 20	590	460	604
	Posición 21	590	460	603
	Posición 22	590	460	602
	Posición 23	590	460	605
	Posición 24	590	460	604

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Domo (continuación).

DOMO				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
4	1 (norte)	590	460	605
	Posición 2	590	460	601
	Posición 3	590	460	601
	Posición 4	590	460	595
	Posición 5	590	460	597
	Posición 6	590	460	600
	Posición 7	590	460	604
	Posición 8	590	460	603
	Posición 9	590	460	605
	Posición 10	590	460	602
	Posición 11	590	460	609
	Posición 12	590	460	599
	Posición 13	590	460	602
	Posición 14	590	460	602
	Posición 15	590	460	601
	Posición 16	590	460	603
	Posición 17	590	460	607
	Posición 18	590	460	603
	Posición 19	590	460	602
	Posición 20	590	460	597
	Posición 21	590	460	599
	Posición 22	590	460	602
	Posición 23	590	460	601
	Posición 24	590	460	604

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Domo (continuación).

DOMO				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
5	1 (norte)	590	460	603
	Posición 2	590	460	607
	Posición 3	590	460	608
	Posición 4	590	460	609
	Posición 5	590	460	599
	Posición 6	590	460	607
	Posición 7	590	460	605
	Posición 8	590	460	601
	Posición 9	590	460	603
	Posición 10	590	460	598
	Posición 11	590	460	597
	Posición 12	590	460	595
	Posición 13	590	460	607
	Posición 14	590	460	611
	Posición 15	590	460	607
	Posición 16	590	460	605
	Posición 17	590	460	595
	Posición 18	590	460	597
	Posición 19	590	460	596
	Posición 20	590	460	601
	Posición 21	590	460	607
	Posición 22	590	460	612
	Posición 23	590	460	607
	Posición 24	590	460	605

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Domo (continuación).

DOMO				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
6	1 (norte)	590	460	601
	Posición 2	590	460	607
	Posición 3	590	460	605
	Posición 4	590	460	611
	Posición 5	590	460	609
	Posición 6	590	460	607
	Posición 7	590	460	609
	Posición 8	590	460	599
	Posición 9	590	460	602
	Posición 10	590	460	602
	Posición 11	590	460	601
	Posición 12	590	460	603
	Posición 13	590	460	607
	Posición 14	590	460	601
	Posición 15	590	460	600
	Posición 16	590	460	604
	Posición 17	590	460	595
	Posición 18	590	460	597
	Posición 19	590	460	603
	Posición 20	590	460	604
	Posición 21	590	460	603
	Posición 22	590	460	602
	Posición 23	590	460	601
	Posición 24	590	460	603

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Domo (continuación).

DOMO				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
7	1 (norte)	590	460	604
	Posición 2	590	460	605
	Posición 3	590	460	604
	Posición 4	590	460	601
	Posición 5	590	460	602
	Posición 6	590	460	603
	Posición 7	590	460	605
	Posición 8	590	460	601
	Posición 9	590	460	603
	Posición 10	590	460	598
	Posición 11	590	460	597
	Posición 12	590	460	604
	Posición 13	590	460	607
	Posición 14	590	460	603
	Posición 15	590	460	607
	Posición 16	590	460	605
	Posición 17	590	460	607
	Posición 18	590	460	597
	Posición 19	590	460	601
	Posición 20	590	460	601
	Posición 21	590	460	607
	Posición 22	590	460	605
	Posición 23	590	460	602
	Posición 24	590	460	604

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Domo (continuación).

DOMO				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
8	1 (norte)	590	460	608
	Posición 2	590	460	611
	Posición 3	590	460	609
	Posición 4	590	460	607
	Posición 5	590	460	602
	Posición 6	590	460	598
	Posición 7	590	460	597
	Posición 8	590	460	595
	Posición 9	590	460	596
	Posición 10	590	460	593
	Posición 11	590	460	601
	Posición 12	590	460	603
	Posición 13	590	460	611
	Posición 14	590	460	613
	Posición 15	590	460	614
	Posición 16	590	460	602
	Posición 17	590	460	604
	Posición 18	590	460	595
	Posición 19	590	460	604
	Posición 20	590	460	602
	Posición 21	590	460	603
	Posición 22	590	460	604
	Posición 23	590	460	604
	Posición 24	590	460	608

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Domo (continuación).

DOMO				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
9	1 (norte)	590	460	604
	Posición 2	590	460	603
	Posición 3	590	460	605
	Posición 4	590	460	604
	Posición 5	590	460	603
	Posición 6	590	460	605
	Posición 7	590	460	610
	Posición 8	590	460	611
	Posición 9	590	460	607
	Posición 10	590	460	609
	Posición 11	590	460	603
	Posición 12	590	460	605
	Posición 13	590	460	607
	Posición 14	590	460	601
	Posición 15	590	460	612
	Posición 16	590	460	604
	Posición 17	590	460	595
	Posición 18	590	460	599
	Posición 19	590	460	603
	Posición 20	590	460	604
	Posición 21	590	460	604
	Posición 22	590	460	602
	Posición 23	590	460	604
	Posición 24	590	460	603

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Domo (continuación).

DOMO				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
10	1 (norte)	590	460	604
	Posición 2	590	460	607
	Posición 3	590	460	605
	Posición 4	590	460	605
	Posición 5	590	460	605
	Posición 6	590	460	611
	Posición 7	590	460	595
	Posición 8	590	460	597
	Posición 9	590	460	603
	Posición 10	590	460	604
	Posición 11	590	460	607
	Posición 12	590	460	611
	Posición 13	590	460	604
	Posición 14	590	460	602
	Posición 15	590	460	603
	Posición 16	590	460	600
	Posición 17	590	460	601
	Posición 18	590	460	602
	Posición 19	590	460	604
	Posición 20	590	460	607
	Posición 21	590	460	608
	Posición 22	590	460	604
	Posición 23	590	460	603
	Posición 24	590	460	607



Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Domo (continuación).

DOMO				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
11 Boquilla	Norte	591	280	608
	Sur	591	280	602
	Oriente	591	280	613
	Poniente	591	280	608
12 Boquilla	Norte	713	280	727
	Sur	713	280	736
	Oriente	713	280	740
	Poniente	713	280	749
13 Boquilla	Norte	273	135	358
	Sur	273	135	357
	Oriente	273	135	360
	Poniente	273	135	363
14 Boquilla	Oriente	462	178	507
	Poniente	462	178	499
	Arriba	462	178	504
	Abajo	462	178	513
15 Boquilla	Norte	591	41	594
	Sur	591	41	597
	Arriba	591	41	587
	Abajo	591	41	589
16 Boquilla	Norte	455	207	490
	Sur	455	207	495
	Arriba	455	207	489
	Abajo	455	207	493
17 Boquilla	Norte	462	178	485
	Sur	462	178	510
	Arriba	462	178	497
	Abajo	462	178	517
18 Boquilla	Norte	591	41	586
	Sur	591	41	578
	Arriba	591	41	590
	Abajo	591	41	583

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Domo (continuación).

DOMO				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
19 Boquilla	Norte	440	281	523
	Sur	440	281	491
	Arriba	440	281	510
	Abajo	440	281	526
20 Boquilla	Norte	440	281	511
	Sur	440	281	507
	Arriba	440	281	501
	Abajo	440	281	511

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Alimentación (continuación).

ALIMENTACIÓN				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
1	1 (norte)	590	450	604
	Posición 2	590	450	603
	Posición 3	590	450	605
	Posición 4	590	450	604
	Posición 5	590	450	603
	Posición 6	590	450	605
	Posición 7	590	450	610
	Posición 8	590	450	611
	Posición 9	590	450	607
	Posición 10	590	450	609
	Posición 11	590	450	603
	Posición 12	590	450	605
	Posición 13	590	450	607
	Posición 14	590	450	601
	Posición 15	590	450	612
	Posición 16	590	450	604
	Posición 17	590	450	595
	Posición 18	590	450	599
	Posición 19	590	450	603
	Posición 20	590	450	604
	Posición 21	590	450	604
	Posición 22	590	450	602
	Posición 23	590	450	604
	Posición 24	590	450	603

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Alimentación (continuación).

ALIMENTACIÓN				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
2	1 (norte)	590	450	601
	Posición 2	590	450	602
	Posición 3	590	450	603
	Posición 4	590	450	605
	Posición 5	590	450	611
	Posición 6	590	450	609
	Posición 7	590	450	607
	Posición 8	590	450	609
	Posición 9	590	450	599
	Posición 10	590	450	602
	Posición 11	590	450	602
	Posición 12	590	450	601
	Posición 13	590	450	603
	Posición 14	590	450	601
	Posición 15	590	450	600
	Posición 16	590	450	604
	Posición 17	590	450	599
	Posición 18	590	450	598
	Posición 19	590	450	603
	Posición 20	590	450	607
	Posición 21	590	450	602
	Posición 22	590	450	605
	Posición 23	590	450	606
	Posición 24	590	450	603

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Alimentación (continuación).

ALIMENTACIÓN				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
3	1 (norte)	590	450	604
	Posición 2	590	450	607
	Posición 3	590	450	605
	Posición 4	590	450	605
	Posición 5	590	450	605
	Posición 6	590	450	611
	Posición 7	590	450	609
	Posición 8	590	450	607
	Posición 9	590	450	609
	Posición 10	590	450	599
	Posición 11	590	450	602
	Posición 12	590	450	602
	Posición 13	590	450	601
	Posición 14	590	450	603
	Posición 15	590	450	603
	Posición 16	590	450	600
	Posición 17	590	450	601
	Posición 18	590	450	602
	Posición 19	590	450	604
	Posición 20	590	450	607
	Posición 21	590	450	608
	Posición 22	590	450	604
	Posición 23	590	450	603
	Posición 24	590	450	607

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Alimentación (continuación).

ALIMENTACIÓN				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
4	1 (norte)	590	450	601
	Posición 2	590	450	605
	Posición 3	590	450	611
	Posición 4	590	450	609
	Posición 5	590	450	607
	Posición 6	590	450	609
	Posición 7	590	450	599
	Posición 8	590	450	602
	Posición 9	590	450	602
	Posición 10	590	450	601
	Posición 11	590	450	603
	Posición 12	590	450	604
	Posición 13	590	450	603
	Posición 14	590	450	603
	Posición 15	590	450	609
	Posición 16	590	450	605
	Posición 17	590	450	607
	Posición 18	590	450	598
	Posición 19	590	450	601
	Posición 20	590	450	601
	Posición 21	590	450	611
	Posición 22	590	450	612
	Posición 23	590	450	610
	Posición 24	590	450	604

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Alimentación (continuación).

ALIMENTACIÓN				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
5	1 (norte)	590	450	605
	Posición 2	590	450	601
	Posición 3	590	450	604
	Posición 4	590	450	608
	Posición 5	590	450	607
	Posición 6	590	450	606
	Posición 7	590	450	605
	Posición 8	590	450	611
	Posición 9	590	450	609
	Posición 10	590	450	607
	Posición 11	590	450	609
	Posición 12	590	450	599
	Posición 13	590	450	602
	Posición 14	590	450	602
	Posición 15	590	450	601
	Posición 16	590	450	603
	Posición 17	590	450	607
	Posición 18	590	450	603
	Posición 19	590	450	602
	Posición 20	590	450	597
	Posición 21	590	450	599
	Posición 22	590	450	602
	Posición 23	590	450	601
	Posición 24	590	450	604

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Alimentación (continuación).

ALIMENTACIÓN				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
6	1 (norte)	590	450	601
	Posición 2	590	450	599
	Posición 3	590	450	615
	Posición 4	590	450	617
	Posición 5	590	450	609
	Posición 6	590	450	603
	Posición 7	590	450	605
	Posición 8	590	450	607
	Posición 9	590	450	601
	Posición 10	590	450	609
	Posición 11	590	450	601
	Posición 12	590	450	605
	Posición 13	590	450	607
	Posición 14	590	450	601
	Posición 15	590	450	600
	Posición 16	590	450	604
	Posición 17	590	450	599
	Posición 18	590	450	598
	Posición 19	590	450	603
	Posición 20	590	450	607
	Posición 21	590	450	602
	Posición 22	590	450	605
	Posición 23	590	450	606
	Posición 24	590	450	603



Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Alimentación (continuación).

ALIMENTACIÓN				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
7	1 (norte)	590	450	601
	Posición 2	590	450	609
	Posición 3	590	450	601
	Posición 4	590	450	605
	Posición 5	590	450	599
	Posición 6	590	450	604
	Posición 7	590	450	608
	Posición 8	590	450	607
	Posición 9	590	450	606
	Posición 10	590	450	605
	Posición 11	590	450	611
	Posición 12	590	450	609
	Posición 13	590	450	607
	Posición 14	590	450	601
	Posición 15	590	450	600
	Posición 16	590	450	604
	Posición 17	590	450	595
	Posición 18	590	450	597
	Posición 19	590	450	603
	Posición 20	590	450	604
	Posición 21	590	450	603
	Posición 22	590	450	602
	Posición 23	590	450	601
	Posición 24	590	450	603

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Alimentación (continuación).

ALIMENTACIÓN				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
8	1 (norte)	590	450	609
	Posición 2	590	450	607
	Posición 3	590	450	603
	Posición 4	590	450	605
	Posición 5	590	450	603
	Posición 6	590	450	605
	Posición 7	590	450	603
	Posición 8	590	450	595
	Posición 9	590	450	597
	Posición 10	590	450	603
	Posición 11	590	450	605
	Posición 12	590	450	607
	Posición 13	590	450	601
	Posición 14	590	450	609
	Posición 15	590	450	601
	Posición 16	590	450	605
	Posición 17	590	450	599
	Posición 18	590	450	604
	Posición 19	590	450	608
	Posición 20	590	450	607
	Posición 21	590	450	606
	Posición 22	590	450	605
	Posición 23	590	450	606
	Posición 24	590	450	604

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Alimentación (continuación).

ALIMENTACIÓN				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
9	1 (norte)	590	450	604
	Posición 2	590	450	605
	Posición 3	590	450	602
	Posición 4	590	450	606
	Posición 5	590	450	609
	Posición 6	590	450	596
	Posición 7	590	450	599
	Posición 8	590	450	615
	Posición 9	590	450	617
	Posición 10	590	450	609
	Posición 11	590	450	603
	Posición 12	590	450	605
	Posición 13	590	450	607
	Posición 14	590	450	601
	Posición 15	590	450	612
	Posición 16	590	450	604
	Posición 17	590	450	595
	Posición 18	590	450	599
	Posición 19	590	450	603
	Posición 20	590	450	604
	Posición 21	590	450	604
	Posición 22	590	450	602
	Posición 23	590	450	604
	Posición 24	590	450	603

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Alimentación (continuación).

ALIMENTACIÓN				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
10	1 (norte)	590	450	604
	Posición 2	590	450	609
	Posición 3	590	450	607
	Posición 4	590	450	602
	Posición 5	590	450	602
	Posición 6	590	450	609
	Posición 7	590	450	603
	Posición 8	590	450	599
	Posición 9	590	450	604
	Posición 10	590	450	594
	Posición 11	590	450	596
	Posición 12	590	450	599
	Posición 13	590	450	615
	Posición 14	590	450	617
	Posición 15	590	450	609
	Posición 16	590	450	606
	Posición 17	590	450	607
	Posición 18	590	450	603
	Posición 19	590	450	607
	Posición 20	590	450	597
	Posición 21	590	450	598
	Posición 22	590	450	596
	Posición 23	590	450	600
	Posición 24	590	450	604

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Alimentación (continuación).

ALIMENTACIÓN				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
11	1 (norte)	590	450	607
	Posición 2	590	450	602
	Posición 3	590	450	604
	Posición 4	590	450	605
	Posición 5	590	450	602
	Posición 6	590	450	606
	Posición 7	590	450	609
	Posición 8	590	450	596
	Posición 9	590	450	599
	Posición 10	590	450	615
	Posición 11	590	450	617
	Posición 12	590	450	602
	Posición 13	590	450	609
	Posición 14	590	450	599
	Posición 15	590	450	602
	Posición 16	590	450	602
	Posición 17	590	450	599
	Posición 18	590	450	600
	Posición 19	590	450	601
	Posición 20	590	450	602
	Posición 21	590	450	600
	Posición 22	590	450	609
	Posición 23	590	450	611
	Posición 24	590	450	608

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Alimentación (continuación).

ALIMENTACIÓN				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
12	1 (norte)	590	450	609
	Posición 2	590	450	603
	Posición 3	590	450	599
	Posición 4	590	450	604
	Posición 5	590	450	594
	Posición 6	590	450	596
	Posición 7	590	450	599
	Posición 8	590	450	615
	Posición 9	590	450	617
	Posición 10	590	450	602
	Posición 11	590	450	609
	Posición 12	590	450	599
	Posición 13	590	450	602
	Posición 14	590	450	602
	Posición 15	590	450	601
	Posición 16	590	450	603
	Posición 17	590	450	607
	Posición 18	590	450	603
	Posición 19	590	450	602
	Posición 20	590	450	597
	Posición 21	590	450	599
	Posición 22	590	450	602
	Posición 23	590	450	601
	Posición 24	590	450	604

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Alimentación (continuación).

ALIMENTACIÓN				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
13	1 (norte)	590	450	603
	Posición 2	590	450	604
	Posición 3	590	450	607
	Posición 4	590	450	602
	Posición 5	590	450	609
	Posición 6	590	450	607
	Posición 7	590	450	602
	Posición 8	590	450	602
	Posición 9	590	450	609
	Posición 10	590	450	603
	Posición 11	590	450	599
	Posición 12	590	450	604
	Posición 13	590	450	610
	Posición 14	590	450	611
	Posición 15	590	450	609
	Posición 16	590	450	606
	Posición 17	590	450	607
	Posición 18	590	450	604
	Posición 19	590	450	607
	Posición 20	590	450	602
	Posición 21	590	450	603
	Posición 22	590	450	601
	Posición 23	590	450	602
	Posición 24	590	450	607

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Alimentación (continuación).

ALIMENTACIÓN				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
14	1 (norte)	590	450	604
	Posición 2	590	450	605
	Posición 3	590	450	607
	Posición 4	590	450	598
	Posición 5	590	450	605
	Posición 6	590	450	602
	Posición 7	590	450	609
	Posición 8	590	450	607
	Posición 9	590	450	602
	Posición 10	590	450	609
	Posición 11	590	450	597
	Posición 12	590	450	604
	Posición 13	590	450	607
	Posición 14	590	450	603
	Posición 15	590	450	607
	Posición 16	590	450	605
	Posición 17	590	450	607
	Posición 18	590	450	597
	Posición 19	590	450	601
	Posición 20	590	450	601
	Posición 21	590	450	607
	Posición 22	590	450	605
	Posición 23	590	450	602
	Posición 24	590	450	604



Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Alimentación (continuación).

ALIMENTACIÓN				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
15	1 (norte)	590	450	604
	Posición 2	590	450	604
	Posición 3	590	450	601
	Posición 4	590	450	605
	Posición 5	590	450	607
	Posición 6	590	450	597
	Posición 7	590	450	603
	Posición 8	590	450	604
	Posición 9	590	450	607
	Posición 10	590	450	602
	Posición 11	590	450	609
	Posición 12	590	450	607
	Posición 13	590	450	602
	Posición 14	590	450	609
	Posición 15	590	450	611
	Posición 16	590	450	612
	Posición 17	590	450	611
	Posición 18	590	450	605
	Posición 19	590	450	606
	Posición 20	590	450	603
	Posición 21	590	450	612
	Posición 22	590	450	611
	Posición 23	590	450	601
	Posición 24	590	450	604

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Alimentación (continuación).

ALIMENTACIÓN				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
16	1 (norte)	590	450	604
	Posición 2	590	450	603
	Posición 3	590	450	603
	Posición 4	590	450	609
	Posición 5	590	450	601
	Posición 6	590	450	605
	Posición 7	590	450	607
	Posición 8	590	450	597
	Posición 9	590	450	603
	Posición 10	590	450	604
	Posición 11	590	450	607
	Posición 12	590	450	611
	Posición 13	590	450	604
	Posición 14	590	450	602
	Posición 15	590	450	603
	Posición 16	590	450	600
	Posición 17	590	450	601
	Posición 18	590	450	602
	Posición 19	590	450	604
	Posición 20	590	450	607
	Posición 21	590	450	608
	Posición 22	590	450	604
	Posición 23	590	450	603
	Posición 24	590	450	607

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Alimentación (continuación).

ALIMENTACIÓN				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
17	1 (norte)	590	450	609
	Posición 2	590	450	597
	Posición 3	590	450	604
	Posición 4	590	450	607
	Posición 5	590	450	603
	Posición 6	590	450	597
	Posición 7	590	450	604
	Posición 8	590	450	603
	Posición 9	590	450	603
	Posición 10	590	450	609
	Posición 11	590	450	601
	Posición 12	590	450	605
	Posición 13	590	450	607
	Posición 14	590	450	601
	Posición 15	590	450	600
	Posición 16	590	450	604
	Posición 17	590	450	599
	Posición 18	590	450	598
	Posición 19	590	450	603
	Posición 20	590	450	607
	Posición 21	590	450	602
	Posición 22	590	450	605
	Posición 23	590	450	606
	Posición 24	590	450	603

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Alimentación (continuación).

ALIMENTACIÓN				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
18	1 (norte)	590	450	601
	Posición 2	590	450	605
	Posición 3	590	450	609
	Posición 4	590	450	607
	Posición 5	590	450	602
	Posición 6	590	450	609
	Posición 7	590	450	597
	Posición 8	590	450	604
	Posición 9	590	450	607
	Posición 10	590	450	603
	Posición 11	590	450	597
	Posición 12	590	450	604
	Posición 13	590	450	603
	Posición 14	590	450	603
	Posición 15	590	450	609
	Posición 16	590	450	605
	Posición 17	590	450	607
	Posición 18	590	450	598
	Posición 19	590	450	601
	Posición 20	590	450	601
	Posición 21	590	450	611
	Posición 22	590	450	612
	Posición 23	590	450	610
	Posición 24	590	450	604

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Alimentación (continuación).

ALIMENTACIÓN				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
19	1 (norte)	590	450	604
	Posición 2	590	450	604
	Posición 3	590	450	609
	Posición 4	590	450	599
	Posición 5	590	450	602
	Posición 6	590	450	605
	Posición 7	590	450	607
	Posición 8	590	450	598
	Posición 9	590	450	605
	Posición 10	590	450	602
	Posición 11	590	450	609
	Posición 12	590	450	607
	Posición 13	590	450	602
	Posición 14	590	450	609
	Posición 15	590	450	611
	Posición 16	590	450	612
	Posición 17	590	450	611
	Posición 18	590	450	605
	Posición 19	590	450	606
	Posición 20	590	450	603
	Posición 21	590	450	612
	Posición 22	590	450	611
	Posición 23	590	450	601
	Posición 24	590	450	604

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Alimentación (continuación).

ALIMENTACIÓN				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
20	1 (norte)	590	450	609
	Posición 2	590	450	607
	Posición 3	590	450	603
	Posición 4	590	450	605
	Posición 5	590	450	603
	Posición 6	590	450	605
	Posición 7	590	450	603
	Posición 8	590	450	595
	Posición 9	590	450	597
	Posición 10	590	450	596
	Posición 11	590	450	593
	Posición 12	590	450	600
	Posición 13	590	450	607
	Posición 14	590	450	601
	Posición 15	590	450	601
	Posición 16	590	450	612
	Posición 17	590	450	599
	Posición 18	590	450	604
	Posición 19	590	450	608
	Posición 20	590	450	607
	Posición 21	590	450	606
	Posición 22	590	450	605
	Posición 23	590	450	606
	Posición 24	590	450	604

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Alimentación (continuación).

ALIMENTACIÓN				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
21	1 (norte)	590	450	601
	Posición 2	590	450	605
	Posición 3	590	450	602
	Posición 4	590	450	601
	Posición 5	590	450	602
	Posición 6	590	450	598
	Posición 7	590	450	600
	Posición 8	590	450	607
	Posición 9	590	450	601
	Posición 10	590	450	601
	Posición 11	590	450	605
	Posición 12	590	450	602
	Posición 13	590	450	609
	Posición 14	590	450	599
	Posición 15	590	450	602
	Posición 16	590	450	605
	Posición 17	590	450	607
	Posición 18	590	450	598
	Posición 19	590	450	601
	Posición 20	590	450	601
	Posición 21	590	450	611
	Posición 22	590	450	612
	Posición 23	590	450	610
	Posición 24	590	450	604

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Alimentación (continuación).

ALIMENTACIÓN				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
22	1 (norte)	590	450	595
	Posición 2	590	450	597
	Posición 3	590	450	596
	Posición 4	590	450	593
	Posición 5	590	450	600
	Posición 6	590	450	607
	Posición 7	590	450	601
	Posición 8	590	450	601
	Posición 9	590	450	605
	Posición 10	590	450	602
	Posición 11	590	450	609
	Posición 12	590	450	599
	Posición 13	590	450	602
	Posición 14	590	450	602
	Posición 15	590	450	601
	Posición 16	590	450	603
	Posición 17	590	450	607
	Posición 18	590	450	603
	Posición 19	590	450	602
	Posición 20	590	450	597
	Posición 21	590	450	599
	Posición 22	590	450	602
	Posición 23	590	450	601
	Posición 24	590	450	604
23 Boquilla	Norte	600	135	616
	Sur	600	135	614
	Arriba	600	135	614
	Abajo	600	135	609
24 Boquilla	Norte	591	142	596
	Sur	591	142	586
	Arriba	591	142	597
	Abajo	591	142	579



Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Fondo.

FONDO				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
1	1 (norte)	590	460	725
	Posición 2	590	460	723
	Posición 3	590	460	728
	Posición 4	590	460	726
	Posición 5	590	460	723
	Posición 6	590	460	728
	Posición 7	590	460	726
	Posición 8	590	460	723
	Posición 9	590	460	719
	Posición 10	590	460	723
	Posición 11	590	460	725
	Posición 12	590	460	719
	Posición 13	590	460	723
	Posición 14	590	460	726
	Posición 15	590	460	727
	Posición 16	590	460	718
	Posición 17	590	460	719
	Posición 18	590	460	723
	Posición 19	590	460	724
	Posición 20	590	460	726
	Posición 21	590	460	724
	Posición 22	590	460	718
	Posición 23	590	460	716
	Posición 24	590	460	715

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Fondo (continuación).

FONDO				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
2	1 (norte)	590	460	724
	Posición 2	590	460	725
	Posición 3	590	460	724
	Posición 4	590	460	719
	Posición 5	590	460	736
	Posición 6	590	460	714
	Posición 7	590	460	722
	Posición 8	590	460	723
	Posición 9	590	460	728
	Posición 10	590	460	726
	Posición 11	590	460	723
	Posición 12	590	460	728
	Posición 13	590	460	726
	Posición 14	590	460	731
	Posición 15	590	460	724
	Posición 16	590	460	731
	Posición 17	590	460	724
	Posición 18	590	460	724
	Posición 19	590	460	729
	Posición 20	590	460	728
	Posición 21	590	460	734
	Posición 22	590	460	724
	Posición 23	590	460	736
	Posición 24	590	460	724

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Fondo (continuación).

FONDO				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
3	1 (norte)	590	460	723
	Posición 2	590	460	724
	Posición 3	590	460	726
	Posición 4	590	460	721
	Posición 5	590	460	723
	Posición 6	590	460	728
	Posición 7	590	460	726
	Posición 8	590	460	723
	Posición 9	590	460	728
	Posición 10	590	460	726
	Posición 11	590	460	723
	Posición 12	590	460	719
	Posición 13	590	460	723
	Posición 14	590	460	725
	Posición 15	590	460	727
	Posición 16	590	460	715
	Posición 17	590	460	716
	Posición 18	590	460	722
	Posición 19	590	460	724
	Posición 20	590	460	724
	Posición 21	590	460	726
	Posición 22	590	460	718
	Posición 23	590	460	719
	Posición 24	590	460	725

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Fondo (continuación).

FONDO				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
4	1 (norte)	590	460	724
	Posición 2	590	460	723
	Posición 3	590	460	724
	Posición 4	590	460	730
	Posición 5	590	460	724
	Posición 6	590	460	725
	Posición 7	590	460	724
	Posición 8	590	460	719
	Posición 9	590	460	723
	Posición 10	590	460	724
	Posición 11	590	460	726
	Posición 12	590	460	721
	Posición 13	590	460	723
	Posición 14	590	460	728
	Posición 15	590	460	726
	Posición 16	590	460	723
	Posición 17	590	460	728
	Posición 18	590	460	726
	Posición 19	590	460	731
	Posición 20	590	460	724
	Posición 21	590	460	731
	Posición 22	590	460	721
	Posición 23	590	460	724
	Posición 24	590	460	719

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Fondo (continuación).

FONDO				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
5	1 (norte)	590	460	715
	Posición 2	590	460	718
	Posición 3	590	460	721
	Posición 4	590	460	724
	Posición 5	590	460	725
	Posición 6	590	460	724
	Posición 7	590	460	719
	Posición 8	590	460	736
	Posición 9	590	460	714
	Posición 10	590	460	722
	Posición 11	590	460	723
	Posición 12	590	460	728
	Posición 13	590	460	726
	Posición 14	590	460	731
	Posición 15	590	460	724
	Posición 16	590	460	731
	Posición 17	590	460	724
	Posición 18	590	460	724
	Posición 19	590	460	729
	Posición 20	590	460	728
	Posición 21	590	460	734
	Posición 22	590	460	724
	Posición 23	590	460	736
	Posición 24	590	460	724

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Fondo (continuación).

FONDO				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
6	1 (norte)	590	460	724
	Posición 2	590	460	723
	Posición 3	590	460	724
	Posición 4	590	460	730
	Posición 5	590	460	724
	Posición 6	590	460	725
	Posición 7	590	460	724
	Posición 8	590	460	719
	Posición 9	590	460	723
	Posición 10	590	460	724
	Posición 11	590	460	726
	Posición 12	590	460	721
	Posición 13	590	460	715
	Posición 14	590	460	718
	Posición 15	590	460	721
	Posición 16	590	460	724
	Posición 17	590	460	723
	Posición 18	590	460	726
	Posición 19	590	460	724
	Posición 20	590	460	728
	Posición 21	590	460	723
	Posición 22	590	460	721
	Posición 23	590	460	724
	Posición 24	590	460	719

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Fondo (continuación).

FONDO				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
7	1 (norte)	590	460	719
	Posición 2	590	460	723
	Posición 3	590	460	724
	Posición 4	590	460	726
	Posición 5	590	460	721
	Posición 6	590	460	715
	Posición 7	590	460	718
	Posición 8	590	460	721
	Posición 9	590	460	724
	Posición 10	590	460	725
	Posición 11	590	460	724
	Posición 12	590	460	719
	Posición 13	590	460	723
	Posición 14	590	460	724
	Posición 15	590	460	726
	Posición 16	590	460	721
	Posición 17	590	460	715
	Posición 18	590	460	718
	Posición 19	590	460	721
	Posición 20	590	460	724
	Posición 21	590	460	723
	Posición 22	590	460	718
	Posición 23	590	460	716
	Posición 24	590	460	715

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Fondo (continuación).

FONDO				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
8	1 (norte)	590	460	715
	Posición 2	590	460	718
	Posición 3	590	460	721
	Posición 4	590	460	730
	Posición 5	590	460	724
	Posición 6	590	460	725
	Posición 7	590	460	724
	Posición 8	590	460	719
	Posición 9	590	460	723
	Posición 10	590	460	723
	Posición 11	590	460	724
	Posición 12	590	460	726
	Posición 13	590	460	721
	Posición 14	590	460	715
	Posición 15	590	460	718
	Posición 16	590	460	721
	Posición 17	590	460	724
	Posición 18	590	460	723
	Posición 19	590	460	722
	Posición 20	590	460	723
	Posición 21	590	460	728
	Posición 22	590	460	726
	Posición 23	590	460	731
	Posición 24	590	460	726



Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Fondo (continuación).

FONDO				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
9 Tapa	1 (norte)	590	420	756
	Posición 2	590	420	758
	Posición 3	590	420	754
	Posición 4	590	420	751
	Posición 5	590	420	754
	Posición 6	590	420	753
	Posición 7	590	420	754
	Posición 8	590	420	752
	Posición 9	590	420	754
	Posición 10	590	420	756
	Posición 11	590	420	754
	Posición 12	590	420	758
	Posición 13	590	420	751
	Posición 14	590	420	752
	Posición 15	590	420	753
	Posición 16	590	420	754
	Posición 17	590	420	755
	Posición 18	590	420	758
	Posición 19	590	420	752
	Posición 20	590	420	754
	Posición 21	590	420	752
	Posición 22	590	420	754
	Posición 23	590	420	756
	Posición 24	590	420	754

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Fondo (continuación).

FONDO				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
10 Tapa	1 (norte)	590	420	731
	Posición 2	590	420	728
	Posición 3	590	420	729
	Posición 4	590	420	727
	Posición 5	590	420	729
	Posición 6	590	420	731
	Posición 7	590	420	735
	Posición 8	590	420	727
	Posición 9	590	420	729
	Posición 10	590	420	724
	Posición 11	590	420	728
	Posición 12	590	420	729
	Posición 13	590	420	731
	Posición 14	590	420	734
	Posición 15	590	420	728
	Posición 16	590	420	726
	Posición 17	590	420	728
	Posición 18	590	420	726
	Posición 19	590	420	725
	Posición 20	590	420	726
	Posición 21	590	420	724
	Posición 22	590	420	728
	Posición 23	590	420	731
	Posición 24	590	420	729

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Fondo (continuación).

FONDO				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
11	Oriente	625	315	620
	Poniente	625	315	621
	Arriba	625	315	617
	Abajo	625	315	607
12	Oriente	500	407	576
	Poniente	500	407	576
	Arriba	500	407	579
	Abajo	500	407	573
13	Norte	625	315	569
	Sur	625	315	583
	Arriba	625	315	578
	Abajo	625	315	575
14	Norte	625	315	564
	Sur	625	315	557
	Arriba	625	315	576
	Abajo	625	315	579
15	Oriente	625	315	571
	Poniente	625	315	573
	Arriba	625	315	575
	Abajo	625	315	565
16	Oriente	625	315	617
	Poniente	625	315	614
	Arriba	625	315	625
	Abajo	625	315	622
17	Oriente	625	315	621
	Poniente	625	315	607
	Arriba	625	315	615
	Abajo	625	315	609
18	Oriente	625	315	inexistente
	Poniente	625	315	inexistente
	Arriba	625	315	inexistente
	Abajo	625	315	inexistente

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Fondo (continuación).

FONDO				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
19	Norte	591	42	584
	Sur	591	42	575
	Arriba	591	42	592
	Abajo	591	42	568
20	Norte	500	408	530
	Sur	500	408	542
	Arriba	500	408	539
	Abajo	500	408	538
21	Norte	432	408	522
	Sur	432	408	520
	Arriba	432	408	535
	Abajo	432	408	522
22	Norte	625	315	609
	Sur	625	315	609
	Arriba	625	315	618
	Abajo	625	315	599
23	Norte	625	315	inexistente
	Sur	625	315	inexistente
	Arriba	625	315	inexistente
	Abajo	625	315	inexistente
24	Norte	625	315	611
	Sur	625	315	609
	Arriba	625	315	613
	Abajo	625	315	611
25	Norte	625	315	613
	Sur	625	315	617
	Arriba	625	315	608
	Abajo	625	315	610
26	Norte	625	315	inexistente
	Sur	625	315	inexistente
	Arriba	625	315	inexistente
	Abajo	625	315	inexistente

Tabla B-2 Registro de medición de espesores de la sección Fondo (continuación).

FONDO				
Nivel	Posición	Espesor nominal	Límite de retiro	1er Medición
27	Oriente	625	315	609
	Poniente	625	315	611
	Arriba	625	315	611
	Abajo	625	315	607
28	Oriente	625	315	inexistente
	Poniente	625	315	inexistente
	Arriba	625	315	inexistente
	Abajo	625	315	inexistente
29	Oriente	625	315	620
	Poniente	625	315	617
	Arriba	625	315	619
	Abajo	625	315	607
30	Norte	591	295	514
	Sur	591	295	511
	Oriente	591	295	512
	Poniente	591	295	509
	Oriente	591	295	512
	Poniente	591	295	509
	Fuera (Codo)	591	295	533
	Dentro (Garganta)	591	295	519
	Oriente	591	295	512
	Poniente	591	295	509
	Arriba	591	295	521
	Abajo	591	295	522
31	Oriente	438	188	406
	Poniente	438	188	408
	Arriba	438	188	411
	Abajo	438	188	417
32	Norte	438	315	455
	Sur	438	315	456
	Oriente	438	315	452
	Poniente	438	315	461

## Bibliografía

- <sup>1</sup>PEMEX. Manual SIASPA.
- <sup>2</sup>*Guidelines for mechanical integrity systems by center for Chemical Process Safety*. American Institute of Chemical Engineers.
- <sup>3</sup>DG-SASIPA-IT-0204. Guía para el registro análisis y programación de la medición de espesores. 2010. Rev. 7 EDITA PEMEX REFINACIÓN
- <sup>4</sup>GPEI-IT-0201. Procedimiento de revisión de niplería de plantas en operación. 1986. Rev. 0 EDITA PEMEX REFINACIÓN
- <sup>5</sup>DG-GPASI-IT-0903 Procedimiento para efectuar la revisión de la tornillería de tuberías y equipos en las instalaciones en operación de Pemex refinación. 1995. Rev. 3 EDITA PEMEX REFINACIÓN
- <sup>6</sup>GPI-IT-4200 Procedimiento para el control de desgaste de niplería. 1986. Rev. 0 EDITA PEMEX REFINACIÓN EDITA PEMEX REFINACIÓN
- <sup>7</sup>Center for Chemical Process Safety. (1995). *Plant Guidelines for Technical Management of Chemical Process Safety*. USA. American Institute of Chemical Engineers
- <sup>8</sup>Degarmo, E. Paul; Black, J T.; Kohser, Ronald A. (2007), *Materials and Processes in Manufacturing* (10th edición), Wiley
- <sup>9</sup>Callister, William. (1995). *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales*. España. Ed Reverté.
- <sup>10</sup>Hellier Charles. (2003). *Handbook of nondestructive evaluation*. USA. Ed. Mc Graw-Hill.
- <sup>11</sup>International Atomic Energy Agency (2001). *Guidebook for the fabrication of non-destructive testing (NDT) test specimens*. Vienna
- <sup>12</sup>Manual SIMECELE. 2009. Rev. 2 EDITA UNAM
- <sup>13</sup>Teleingeniero 2013. El Ánodo de sacrificio. Oxídate tu que a mi me da la risa. Disponible en: <http://www.teleingeniero.com/?p=210> . Consultada el 29/10/2014.
- <sup>14</sup>El camino de la refinación en América Latina, Por Alfredo Vetencourt Pantin Disponible en: <https://pensandoenpetroleo.wordpress.com/2013/12/16/el-camino-de-la-refinacion-en-america-latina/> . Consultada el 29/10/2014.
- <sup>15</sup>Revensub Disponible en: [http://www.revensub.com/catalogo\\_productos.php?SOLUFORCE%99\\_Tuberias\\_de\\_alta\\_robustez\\_para\\_servicios\\_petroleros\\_\(agua\\_gas\\_y\\_petr%F3leo\)&CCOD=199](http://www.revensub.com/catalogo_productos.php?SOLUFORCE%99_Tuberias_de_alta_robustez_para_servicios_petroleros_(agua_gas_y_petr%F3leo)&CCOD=199) . Consultada el 29/10/2014.

<sup>16</sup> ILOG S.A. DE C .V. Disponible en:

<http://www.ilogsa.com/Productos/Ultrasonido/MedidoresDeEspesor/DMSGo/DMSGo.php> Consultada el 29/10/2014.