



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLÁN**

“Registro, análisis y programación de la medición preventiva de espesores en tuberías mediante la prueba de ultrasonido en la refinería “Miguel Hidalgo”, de PEMEX”.

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTAN:

MIGUEL ANGEL SÁNCHEZ LEÓN

JAIME CELERINO GARCÍA PÉREZ

ASESOR: M.I. FELIPE DÍAZ DEL CASTILLO RODRÍGUEZ

Cuautitlán Izcalli, Estado de México. 2006



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  
AVIENIMA DE  
MEXICO

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN**  
UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DEPARTAMENTO DE  
EXAMENES PROFESIONALES

**DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO**  
DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLAN  
P R E S E N T E

AT'N: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
Jefa del Departamento de Exámenes  
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 19 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Registro, análisis y programación de la medición preventiva  
de espesores en tuberías mediante la prueba de ultrasonido  
en la refinería "Miguel Hidalgo", de PEMEX.

que presenta él pasante: Jaime Celerino García Pérez  
con número de cuenta: 095353201 para obtener el TITULO de:  
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO

ATENTAMENTE.

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 28 de Abril de 2006

PRESIDENTE M.I. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez

VOCAL M.I. Rolando Cortés Montes de Oca

SECRETARIO M.I. Víctor Hugo Hernández Gómez

PRIMER SUPLENTE Ing. Rafael Berrum Escalona

SEGUNDO SUPLENTE Ing. Raymundo Morales Márquez



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN  
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR  
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

U. N. A. M.  
 FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS



DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO  
 DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLAN  
 P R E S E N T E

AT'N: Q. Ma. del Carmen García Mijares  
 Jefa del Departamento de Exámenes Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 26 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

Registro, análisis y programación de la medición preventiva  
de espesores en tuberías mediante la prueba de ultrasonido  
en la refinería "Miguel Hidalgo", de PEMEX.

que presenta él pasante: Miguel Angel Sánchez León  
 con número de cuenta: 401075207 para obtener el TITULO de:  
Ingeniero Mecánico Electricista

Considerando que dicha tesis reúne los requisitos necesarios para ser discutida en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO

ATENTAMENTE.  
 "POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cuautitlán Izcalli, Edo. de Méx., a 28 de Abril de 2006

PRESIDENTE	<u>M.I. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez</u>	
VOCAL	<u>M.I. Rolando Cortés Montes de Oca</u>	
SECRETARIO	<u>M.I. Víctor Hugo Hernández Gómez</u>	
PRIMER SUPLENTE	<u>Ing. Rafael Berrum Escalona</u>	
SEGUNDO SUPLENTE	<u>Ing. Raymundo Morales Márquez</u>	

## AGRADECIMIENTOS

A quienes a lo largo de la vida influyeron en nosotros para ser mejores.

A quienes con sus pensamientos e ideales ayudaron a forjar los nuestros.

A quienes compartieron con nosotros sus conocimientos y experiencias.

A quienes la ilusión de su vida ha sido convertirnos en personas de provecho.

Por que gracias a su apoyo y consejo, hemos concluido una de las grandes metas en  
nuestra vida.

Deseamos de corazón que este logro lo sientan como suyo.

A la UNAM por habernos formado profesional y humanamente, por ayudarnos a ser  
libres.

Portamos con orgullo y respeto el sentido de pertenencia a la Máxima Casa de Estudios  
del país.

Asumimos el compromiso y la responsabilidad de retribuir a la sociedad mexicana los  
conocimientos y el ejercicio profesional.

## ÍNDICE

	Página
Introducción.....	1
Objetivos, Alcance y limitantes.....	2
<b>CAPITULO 1.</b>	<b>3</b>
<b>DEFINICIONES Y CONCEPTOS</b>	
1.1 Definiciones.....	3
1.2 Generalidades.....	6
1.3 Excepciones.....	8
1.4 Integración de la estadística de la medición preventiva.....	9
<b>CAPITULO 2.</b>	<b>10</b>
<b>LA PRUEBA DE ULTRASONIDO Y SU USO EN LA MEDICIÓN DE ESPEORES</b>	
2.1 ¿Qué es el ultrasonido? .....	10
2.2 Principios físicos.....	12
2.3 Aplicaciones.....	13
2.4 Ventajas.....	13
2.5 Limitaciones.....	14
2.6 Los principales parámetros que deben ser controlados en un sistema ultrasónico....	14
2.7 Transductores.....	14
2.8 Equipos utilizados en la Refinería “Miguel Hidalgo”.....	17
<b>CAPITULO 3.</b>	<b>18</b>
<b>CÁLCULO DEL LÍMITE DE RETIRO EN TUBERÍAS DE PROCESO</b>	
3.1 Definiciones.....	18
3.2 Generalidades.....	19
3.3 Procedimiento de calculo.....	19

<b>CAPITULO 4.</b>	22
<b>LA MEDICIÓN DE ESPESORES</b>	
4.1 Preparativos.....	22
4.2 Análisis preliminar de espesores.....	23
4.3 Análisis estadístico formal.....	23
4.3.1 Discriminación de valores no significativos.....	24
4.3.2 Cálculo de velocidades de desgaste por punto.....	24
4.3.3 Cálculo de la velocidad de desgaste promedio y de la velocidad máxima ajustada.....	25
4.3.4 Determinación del origen de la desviación de los valores de espesores obtenidos, respecto al promedio general.....	26
4.3.5 Determinación del mínimo espesor actual.....	28
4.3.6 Cálculo de la vida útil estimada (VUE), fecha de próxima medición (FPME) y fecha de retiro probable (FRP).....	28
4.3.7 Utilización de resultados asentados en el formato tipo DG-GPASI-IT-00204..	29
<b>CAPITULO 5.</b>	30
<b>EJEMPLO DE APLICACIÓN</b>	
<b>CAPITULO 6.</b>	41
<b>CRITERIOS ADICIONALES</b>	
Conclusiones.....	44
Bibliografía.....	45
Apéndices.....	46

## INTRODUCCIÓN

El presente trabajo es aplicable para las industrias que manejen sustancias corrosivas (hidrocarburos, sales y ácidos), las cuales deben tener un control muy estricto sobre las tuberías que los transporten o procesen, ya que con el transcurso del tiempo y el servicio que brindan sufrirán un grado de corrosión que no les permitirá seguir operando.

Este control debe ser llevado a cabo mediante un método fácil, rápido y eficiente, debido a que no es conveniente parar la producción de una planta para realizarlo. Este control se lleva a cabo tomando espesores en puntos establecidos sobre la tubería, de acuerdo a un dibujo isométrico, mediante una prueba de ultrasonido, que se basa en la tecnología del ultrasonido utilizado en medicina, para medir los espesores de pared de cualquier tubería de metal, sin tener que sacarla de servicio.

En México, este tipo de monitoreo se lleva a cabo comúnmente en la paraestatal PEMEX, que por la refinación del petróleo necesita tener controles rigurosos de sus líneas, que son las que procesan los diferentes derivados del petróleo, a diferentes presiones y temperaturas.

Este control debe hacerse de la manera más formal posible, utilizando para ello formatos diseñados para el registro, análisis y cálculo de todas las variables posibles que permitan tener un  $\pm 2 \%$  de incertidumbre, que es lo ideal para este tipo de instalaciones petroleras, ya que ante todo, está el prevenir cualquier riesgo, tanto para las instalaciones como para las personas que en ella laboran.

Además, se analizan y toman en cuenta los factores, que en un momento determinado puedan afectar la veracidad y efectividad de los resultados.

El presente trabajo se enfoca a la aplicación del método de medición de espesores en tuberías de proceso por medio de una prueba ultrasónica, y a las actividades cíclicas que de esta se derivan, desde la programación, la medición en campo, el análisis y el control, que dan como resultado la información necesaria para tomar medidas preventivas y/o correctivas según sea el caso.

Al final, para que se tenga una idea más amplia de lo que se está hablando, se maneja una situación real la cual es llevada a cabo de manera rutinaria en las instalaciones de Petróleos Mexicanos.



## **OBJETIVOS DE LA TESIS**

- Mostrar la aplicación y alcances de la prueba de ultrasonido en la medición de espesores.
- Realizar el análisis estadístico de los datos obtenidos en la prueba del ultrasonido.
- Detectar y evaluar oportunamente las disminuciones de espesor abajo de los límites permisibles.

## **ALCANCE DE LA TESIS**

Establecer las actividades necesarias, para poder llevar a efecto la programación, el análisis y el control de la medición preventiva de espesores en los circuitos de tuberías de proceso de las instalaciones industriales de PEMEX-Refinación.

## **LIMITANTES DE LA TESIS**

La presente tesis no se aplica en los siguientes casos:

- En tubería de calentadores a fuego directo, de cambiadores de calor, y de otros equipos que contienen tubería interna.
- En tubería de perforación, revestimiento y producción, cabezales y válvulas, en los pozos petroleros.
- En tubería no metálica.
- En tubería que por su ubicación y condición resulta imposible aplicar dicho método de medición.

# CAPITULO I

## DEFINICIONES Y CONCEPTOS

### 1.1 Definiciones.

Con el fin de normalizar el lenguaje utilizado y evitar confusiones, se hacen las siguientes definiciones de los conceptos que se manejan más frecuentemente en este trabajo, según el DG-GPASI-IT-00204 (Apéndice).



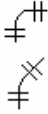

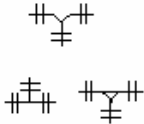



**Circuito.-** Se considera como «circuito», el conjunto de líneas que manejen un fluido de la misma composición, pudiendo variar en sus diferentes partes las condiciones de operación.

**Unidad de control.-** Los circuitos se deben dividir en «unidades de control», estas últimas se definen como secciones de circuitos que tengan una velocidad de corrosión más o menos homogénea. En el caso de tuberías, la unidad de control será la línea.

**Línea.-** Se considera como «línea» al conjunto de tramos de tubería y accesorios que manejen el mismo fluido a las mismas condiciones de operación. Normalmente esto se cumple para la tubería localizada entre dos equipos en la dirección de flujo.

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

**Pieza de tubería.-** Es el tramo recto de tubería o accesorio (te, codo, reducción, válvula, etc.) colocado entre bridas, soldaduras o roscas. El conjunto de *piezas de tubería* integrará por lo tanto, las “líneas”, figura 1.1.

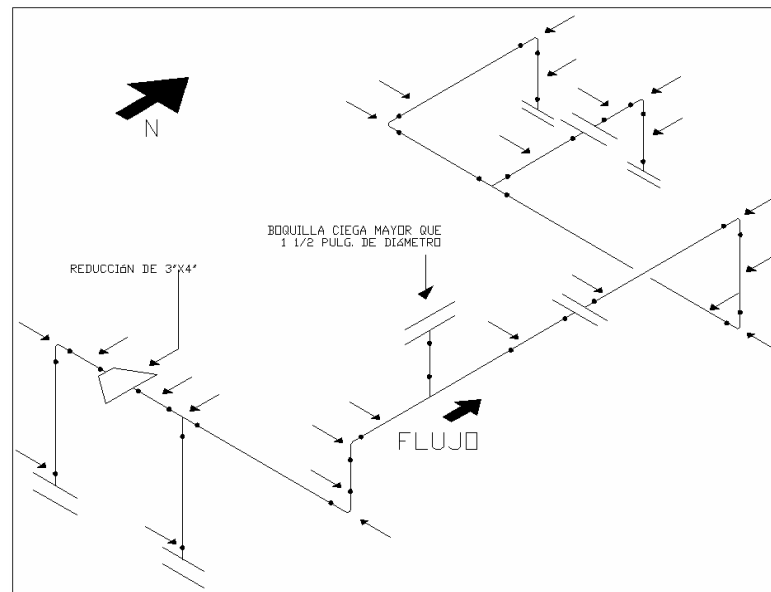
	LINEA		FILTRO
	CODO		VALVULA DE COMPUERTA
	TE		VALVULA DE GLOBO
	REDUCCION		VALVULA DE RETENCION

**Figura 1.1.** Simbología utilizada en la construcción de isométricos, según DG-GPASI-IT-00204.

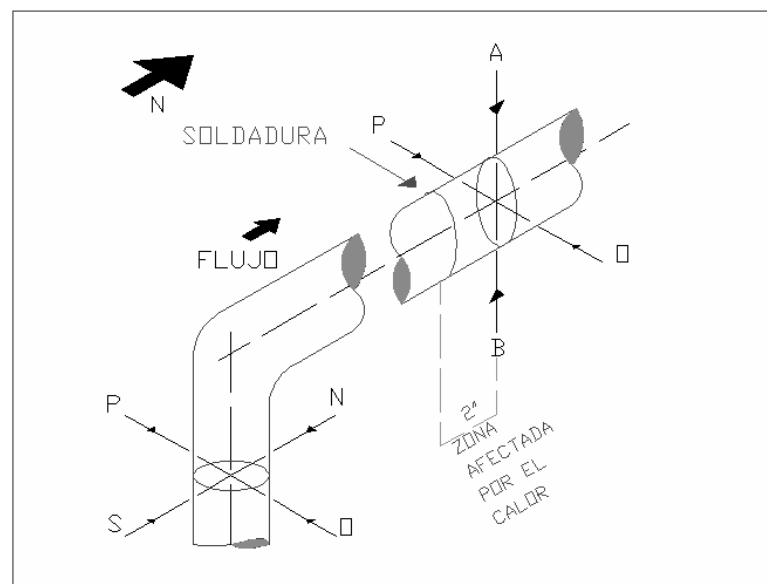
**Medición de espesores.-** Actividad en la cual se mide el espesor por medios ultrasónicos, electromagnéticos, mecánicos o la combinación de ellos.

**Posición o punto de medición.-** Es el lugar en donde se mide el espesor de pared (Norte, N ó 1; Sur, S ó 2; Este, E ó 3; Oeste, O ó 4; Arriba, A ó 5; y Abajo B ó 6). Figura 3.

**Nivel de medición.-** Es el conjunto de posiciones de medición que se deben efectuar en un mismo sitio de una tubería, por ejemplo, las cuatro mediciones que se hacen en una tubería de diámetro usual, figuras 1.2 y 1.3.



**Figura 1.2.** Ejemplo de niveles de medición de espesores en tuberías.



**Figura 1.3.** Detalle de medición de espesores. En cada nivel de medición solo se puede obtener la medición de 4 puntos, respecto a su orientación.

**100% de medición.-** Toda tubería en la que se haya medido su espesor, mínimo en dos puntos (necesariamente opuestos), en un nivel de medición por cada una de las piezas que lo componen, se considera como medida 100%.

**Periodicidad de medición de espesores.-** Se considera como tal el tiempo que transcurre entre una fecha de medición y la siguiente consecutiva y la cual depende del análisis de la velocidad de desgaste.

**Velocidad de desgaste.-** Como tal, se considera la rapidez con la cual disminuye el espesor de una pared metálica. Ordinariamente, se calcula comparando los espesores obtenidos en mediciones efectuadas en dos fechas consecutivas.

**Espesor remanente.-** Es la diferencia de espesores entre el obtenido en la última medición y el límite de retiro.

**Líneas críticas.-** Son aquellas, cuyas velocidades de desgaste exceden el valor de 20 milésimas de pulgada por año (20 m.p.a.). 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. En el caso de plantas nuevas debe considerarse el comportamiento de unidades de control equivalentes de otras plantas similares.

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

**Fecha de próxima medición de espesor (FPME).-** Es la fecha en la cual debe efectuarse la siguiente medición de la unidad de control, de acuerdo al análisis.

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

**Medición preventiva de espesores.-** Es el trabajo de medición sistemática de espesores de pared en tuberías. Esta medición se lleva a cabo generalmente mediante técnicas ultrasónicas.

**Análisis preliminar.-** Es el análisis inmediato que debe realizarse comparando los espesores obtenidos en ese momento con los de mediciones anteriores y con el límite de retiro.

**Vaciado de datos.-** Es transferir la lectura de los espesores obtenidos en el campo a un registro permanente llamado también “Registro de medición de espesores”.

**Análisis de la estadística.-** Es el análisis formal que se ejecuta a partir de los datos asentados en el “Registro de medición de espesores”, para determinar las fechas de la próxima medición y de retiro probable de tuberías.

**Verificación de puntos sospechosos.-** Es repetir la medición de los puntos cuyos espesores de acuerdo al análisis preliminar, arrojan dudas sobre su veracidad, por observarse “disparados” con respecto a los que por lógica sería recomendable encontrar. Se incluyen aquí aquellos casos donde por una u otra causa no se pudo obtener ningún valor.

**Saneamiento de la estadística.-** Es el trabajo consistente en repetir la medición de espesores en aquellas líneas, así como en aquellos puntos, cuya velocidad de desgaste sea muy diferente al típico obtenido para la línea o equipo de que se trate.

**Planeación.-** Se considera como tal la elaboración del programa con los dibujos de unidades de control, necesarios para efectuar la medición preventiva de espesores en una fecha determinada.

**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 la fecha en que deben medirse sus espesores conforme al criterio de unidad de control que resulta del análisis de la velocidad de desgaste y del límite de retiro.

**Medición de espesores con la instalación o unidad fuera de operación.-** Es la medición del espesor de líneas que se efectúa durante sus períodos de inactividad, principalmente durante las reparaciones, para verificar los resultados obtenidos en operación; para llevar a cabo la medición comprobatoria de puntos sospechosos que por alguna razón no haya podido efectuarse inmediatamente después de la medición preventiva, para medir los espesores de líneas inaccesibles, así como otras piezas donde no sea factible hacerlo en operación por diversas causas, tales como, alta temperatura, vibración, incrustación, etc.

**Prueba de martillo.-** Es la prueba que se efectúa golpeando con un martillo las tuberías y equipos, con el objeto de determinar la existencia y magnitud, de zonas de pared adelgazadas.

## **1.2 Generalidades.**

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

Los datos obtenidos en la medición, se registran en el formato tipo DG-GPASI-IT-00204-2 (Apéndice), en el que se recopila la información junto con la de anteriores mediciones. El conjunto de estos registros constituyen el “Registro de medición de espesores”.

Se procede al análisis de los datos registrados, obteniéndose la información de velocidad de desgaste estadístico, fechas de próxima medición y de retiro probable, con la cual se estima

cuando deben reemplazarse las piezas de acuerdo a su vida útil, para este paso se utiliza el formato tipo DG-GPASI-IT-00204-3 (Apéndice), “Análisis del registro de medición de espesores”.

Con la información obtenida del análisis, se procede a programar la siguiente medición, asentando las fechas correspondientes en el formato tipo DG-GPASI-IT-00204-1 (Apéndice), “Programa de medición de espesores”.

Cada mes se debe revisar la programación asentada en el “Programa de medición de espesores”, seleccionando los dibujos e isométricos de las tuberías y equipos a los que se debe medir su espesor en ese mes.

Al ejecutar en campo el programa de medición se generan nuevos datos, los que al registrarse se consideran para repetir el nuevo ciclo.

La medición preventiva de espesores es aplicable en toda tubería metálica, ya sea dentro de las instalaciones del centro de trabajo o fuera de el, exceptuando todas aquellas que se mencionan en limitantes de la tesis (pág. 2), y la información que proporciona (valores de espesores) es útil para conocer el estado en que se encuentran al momento de llevarla a cabo. Una serie de mediciones realizadas en una pieza dada, al ser comparadas adecuadamente con las obtenidas en fechas diferentes proporcionan información sobre el comportamiento de la pieza en el ambiente y condiciones en que presta servicio.

Para definir aquellas tuberías en los cuales debe aplicarse en forma obligatoria este procedimiento, a continuación se señala la siguiente regla:

- Líneas que manejan o transportan hidrocarburos, productos químicos o petroquímicos y sustancias tóxicas o agresivas.

**Nota:** Queda a juicio del centro de trabajo el aplicar este procedimiento a líneas no incluidas en este inciso, cuando así lo considere necesario.

### 1.3 Excepciones.

Las excepciones a la aplicación de este procedimiento, son aquellas tuberías, que por sus características no pueden sujetarse a programas de medición de espesores independientes de sus fechas de reparación, tales como:

- Tuberías de calentadores.
- Fluxería de calderas.
- Haces de tubos de cambiadores de calor y tubería de enfriadores con aire, los cuales normalmente son inspeccionados con otros métodos.
- Ductos de transporte enterrados, los cuales por ser inaccesibles se inspeccionan normalmente con otros procedimientos.
- Tuberías con envoltentes (enchaquetadas).
- Ductos con recubrimiento refractario interno, en plantas catalíticas, plantas de azufre y coke.

Así mismo, este procedimiento que como se ha dicho es aplicable a los casos de tuberías sujetas a corrosión de tipo generalizada, no es representativo para los siguientes casos:

- Tuberías con corrosión puntual “pittings”, o localizada, o con desgaste muy irregular, como puede ser el producido por erosión. En estos casos, el presente procedimiento debe servir como un método auxiliar.
- Tuberías sujetas a corrosión intergranular, transgranular, fallas metalúrgicas, fallas por fatiga y otras formas de deterioro similares, en donde este procedimiento no es aplicable. La cual es detectada por medios ultrasónicos, ya que una de las características que presentan, es una disminución de espesor no homogénea con respecto a otros puntos, entre otros detalles, y el análisis corre a cargo del IMP (Instituto Mexicano del Petróleo) en conjunto con la USIPA (Unidad de Seguridad Industrial Y Protección al Ambiente). Al detectarse este problema se procede al emplazamiento de la línea (formato GPASI-IT-00204-4) debido a que es un riesgo la operación de esta misma bajo estas condiciones.

#### **1.4 Integración de la estadística de la medición preventiva**

La estadística de medición de espesores de líneas y equipos, debe integrarse de la manera siguiente:

- Se debe contar como inicio, con el censo de todas las unidades de control de los circuitos y equipos de la planta, unidad de proceso, o instalación.
- Los archivos con la estadística de medición de espesores se debe agrupar por planta, unidad de proceso, o instalación.
- Cada planta, unidad de proceso, o instalación, debe dividirse en circuitos individuales.
- Cada circuito debe dividirse en unidades de control.
- Para cada unidad de control se debe contar con lo siguiente:
  1. Dibujo isométrico de la línea o dibujo del equipo, en donde se indiquen claramente soldaduras y puntos de medición, los cuales además deben tener datos de condiciones de operación, especificación del material, diámetro, cédula (a menos que no sea Standard), espesor original y limite de retiro correspondiente.
  2. Hoja con el “Registro de medición de espesores” (formato tipo DG-GPASI-IT-00204-2 – Apéndice) para cada uno de los dibujos. En estos formatos se registran los espesores obtenidos.
  3. Hoja de “Análisis del registro de medición de espesores” (formato tipo DG-GPASI-IT-00204-3 – Apéndice), con datos tales como: velocidad de desgaste, fecha de retiro probable y fecha de próxima medición.

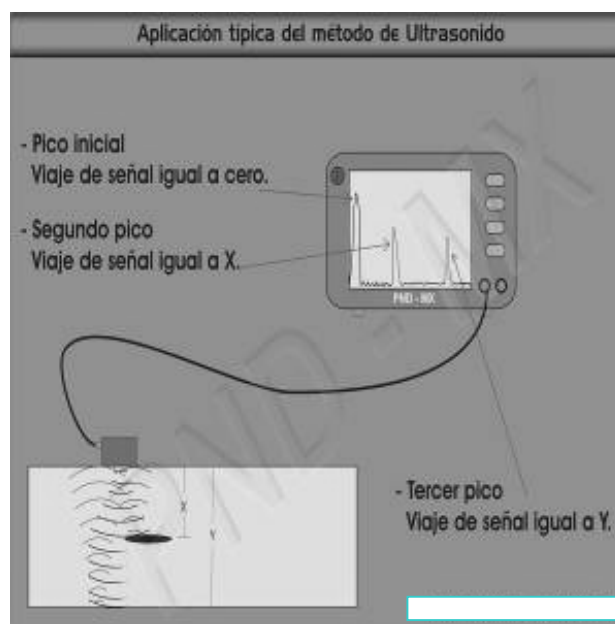


## CAPITULO 2

### LA PRUEBA DE ULTRASONIDO Y SU USO EN LA MEDICIÓN DE ESPESORES.

#### 2.1 ¿Qué es el ultrasonido?

El ultrasonido es una vibración mecánica con un rango de frecuencia mayor al audible por el oído humano que se transmite a través de un medio físico y es orientado, registrado y medido en Hertz con ayuda de un aparato creado para ese fin. **Figura 2.1.**



**Figura 2.1.** Aplicación típica del ultrasonido.

Rangos de sonido:

Infrasónica = 1 – 16 Hz.

Sónica o audible = 16 Hz. a 20 KHz.

Ultrasónica = 20 KHz. en adelante

Para la prueba de ultrasonido en materiales metálicos se utilizan frecuentemente en el rango 0.2 a 25 MHz.

La prueba no destructiva de “*ultrasonido*” se ha convertido en una técnica ampliamente usada para el control de calidad. Para la medición de espesores, esta prueba permite rápidas y confiables mediciones de espesores sin la necesidad de acceder a ambos lados de la parte a medir. Precisiones de hasta  $\pm 1$  micromilímetro o  $\pm 0.0001$  pulgadas son alcanzadas en algunas

aplicaciones. La mayoría de los materiales usados en la ingeniería pueden ser medidos ultrasónicamente, incluyendo metales, plásticos, cerámicos, y vidrio, así como niveles de líquidos y el espesor de ciertos especímenes biológicos, e inclusive en línea o proceso de algunos productos como lo son la extrusión del plástico o rolado de metal, también es posible obtener el espesor.

Los indicadores ultrasónicos de espesor usualmente operan a frecuencias de 500 Khz. y 100 MHz, usando transductores piezoeléctricos para generar ráfagas de ondas de sonido cuando es excitado por pulsos eléctricos. Se han desarrollado una amplia variedad de transductores con diversas características de acústica para cumplir las necesidades de las diferentes aplicaciones industriales. Un indicador ultrasónico de pulso-eco determina el espesor de una parte o estructura, generando un pulso ultrasónico por medio del transductor, el cual viajará a través del espesor del material y regresará al transductor como un eco al llegar al otro extremo. En muchas aplicaciones este intervalo de tiempo es un microsegundo o menos. El tiempo transcurrido en el viaje de ida y vuelta de la onda de sonido, se divide entre dos y se multiplica por la velocidad del sonido. Esto da como resultado la siguiente relación:

$$d = \frac{Vt}{2} \dots\dots\dots (2.1)$$

Donde:

d = el espesor de la pieza en pulg.

V= la velocidad de las ondas de sonido en el material, tabla 2.1, en m/s.

t= el tiempo medido que le tomó a la onda en el viaje de ida y vuelta en el espesor del material.

Adicionalmente, en la práctica real, un factor de compensación se sustrae del intervalo de tiempo para considerar los retrasos electrónicos y mecánicos. En el caso de medidas que involucren el contacto directo de los transductores, el desplazamiento del cero compensa el tiempo de transito del pulso ultrasónico a través del mismo transductor y la capa de acoplante, al igual que las pérdidas originadas en la transmisión por cables de energía eléctrica.

**Tabla 2.1.** Velocidad de propagación del sonido en distintos medios a diferentes temperaturas.

<b>VELOCIDAD DEL SONIDO (m/s)</b>	
Aire (0°C)	331.6
Aire (20°C)	344
Hidrógeno (0°C)	1,280
Agua (0°C)	1,390
Agua (20°C)	1,484
Cobre (20°C)	3,580
Acero (20°C)	5,050
Vidrio (20°C)	5,200

## 2.2 Principios físicos.

Todo equipo ultrasónico trabaja bajo principios físicos claramente establecidos y sustentados, a continuación mostramos los más importantes y algunas definiciones:

- Ondas acústicas iguales a las ondas sónicas.
- La transmisión de energía entre partículas la propicia el oscilamiento.
- El número de oscilaciones son de acuerdo al tipo de onda que se trata.
- Las ondas sónicas se propagan en todos los medios elásticos donde exista fracciones de materia (átomos o moléculas capaces de vibrar).
- La vibración depende de la separación de las partículas.
- **Amplitud (A).**- Es el desplazamiento máximo de una partícula desde su posición de cero. Su unidad es el Hertz (Hz).
- **Frecuencia (f).**- Se define como el número de veces que ocurre un evento repetitivo (ciclo) por unidad de tiempo. Su unida es el Hertz (Hz).
- **Longitud de onda (λ).**- Es la distancia ocupada por una onda completa y es igual a la distancia a través de la cual se mueve la onda por periodo de ciclo.
- **Velocidad de propagación o velocidad acústica (V).**- Es la velocidad de transmisión de la energía sonora a través de un medio. Su unidad m/s.
- **Impedancia acústica (Z).**- Es la resistencia de un material a las vibraciones de las ondas ultrasónicas. Es el producto de la velocidad máxima de vibración por la densidad del material. Unidad es el ohmio acústico (g/s.cm<sup>2</sup>).
- **Reflexión:** Cantidad de energía ultrasónica que es reflejada al incidir en una interfase acústica. Su unidad es °. **Ley de reflexión.** El ángulo de onda reflejada es igual al ángulo de la onda incidente de la misma especie.

- **Refracción** Se lleva a cabo cuando un haz ultrasónico pasa de un medio a otro, siendo su velocidad del medio diferente entre sí y cambia la dirección en relación con la dirección de incidencia. **Ley de refracción.** El cambio de dirección de la onda refractada, acercándose en la normal a su superficie de separación de ambos medios, depende de la velocidad del sonido en el segundo medio sea menor o mayor que en el primer medio.
- **Tipos de ondas**
  - Ondas longitudinales.- Sus desplazamientos de las partículas son paralelos de propagación del ultrasonido.
  - Ondas transversales.- Los desplazamientos de las partículas es en forma perpendicular a la dirección del haz ultrasónico.
  - Ondas superficiales.- Son aquellas que se desplazan sobre la superficie del material y penetran a una profundidad máxima de una longitud de onda.

### 2.3 Aplicaciones

- Detección y caracterización de discontinuidades.
- Medición de espesores, extensión y grado de corrosión.
- Determinación de características físicas.
- Características de enlace entre materiales.

### 2.4 Ventajas

- La prueba se efectúa mas rápidamente obteniendo resultados inmediatos.
- Se tiene mayor exactitud al determinar la posición de las discontinuidades internas; estimando sus dimensiones, orientación y naturaleza.
- Alta sensibilidad para detectar discontinuidades pequeñas.
- Alta capacidad de penetración, lo que permite localizar discontinuidades a gran profundidad del material.
- Buena resolución que permite diferenciar dos discontinuidades próximas entre si, hasta 1 micrómetro (una millonésima de metro).
- Solo requiere acceso por un lado del objeto a inspeccionar.
- No requiere de condiciones especiales de seguridad.

## 2.5 Limitaciones

- Baja velocidad de inspección cuando se emplean métodos manuales.
- Requiere de personal con una buena preparación técnica y gran experiencia.
- Dificultad para inspeccionar piezas con geometría compleja, espesores muy delgados o de configuración irregular.
- Dificultad para detectar o evaluar discontinuidades cercanas a la superficie sobre la que se introduce el ultrasonido.
- Requiere de patrones de calibración y referencia.
- Es afectado por la estructura del material. (tamaño de grano, tipo de material).
- Alto costo del equipo.
- Se requiere de agente acoplante.

## 2.6 Los principales parámetros que deben ser controlados en un sistema ultrasónico son:

- Sensibilidad. Es la capacidad de un transductor para detectar discontinuidades pequeñas.
- Resolución. Es la capacidad para separar dos señales cercanas en tiempo o profundidad.
- Frecuencia central. Los transductores deben utilizar en su rango de frecuencia especificado para obtener una aplicación óptima.
- Atenuación del haz. Es la pérdida de energía de una onda ultrasónica al desplazarse a través de un material. Las causas principales son la dispersión y la absorción.

## 2.7 Transductores

Es el medio por el cual la energía eléctrica se convierte en energía mecánica (ondas sonoras) o viceversa. Opera debido al efecto piezoeléctrico, el cual consiste en que ciertos cristales cuando se tensionan, se polarizan eléctricamente y generan voltaje eléctrico entre las superficies opuestas. Esto es reversible en el sentido de que al aplicar un voltaje a través las caras de un cristal, se produce una deformación del mismo. Este efecto microscópico se origina por las propiedades de simetría de algunos cristales.

### Algunos materiales Piezoeléctricos

- **Cuarzo.** Se obtiene a partir de cristales naturales. Posee excelentes características de estabilidad térmica, química y eléctrica. Es muy duro y resistente al desgaste así como al envejecimiento. Desafortunadamente, sufre

interferencias en el modo de conversión y es el menos eficiente de los generadores de energía acústica. Requiere alto voltaje para su manejo a bajas frecuencias. Se debe emplear a temperaturas menores de 550 °C, pues por arriba de ésta pierde sus propiedades piezoeléctricas.

- **Sulfato de litio.** Este material se considera como uno de los receptores más eficientes. Su ventaja principal en su facilidad de obtener una amortiguación acústica óptima lo que mejora el poder de resolución, no envejece y es poco afectado por la interferencia en el modo de conversión. Sus desventajas son que es muy frágil, soluble en agua y se debe emplear a temperaturas menores de 75 °C.
- **Cerámicos polarizados.** Se obtienen por sinterización y se polarizan durante el proceso de fabricación. Se consideran como los generadores más eficientes de energía ultrasónica cuando operan a bajos voltajes de excitación. Prácticamente no son afectados por la humedad y algunos pueden emplearse hasta temperaturas de 300 °C. Sus principales limitaciones son: resistencia mecánica relativamente baja, en algunos casos existe interferencia en el modo de conversión, presentan tendencia al envejecimiento. Además poseen menor dureza y resistencia al desgaste que el cuarzo.

Las características principales de materiales usados como transductores en los palpadores se muestran en la tabla 2.2.

**Tabla 2.2.** Características de los materiales usados como transductores en los palpadores.

Material	Eficiencia como transmisor	Eficiencia como receptor	Sensibilidad	Poder de resolución	Características mecánicas
Cuarzo	<i>Mala</i>	<i>Mediana</i>	<i>Escasa</i>	<i>Optima</i>	<i>Buena</i>
Sulfato de Litio	<i>Mediana</i>	<i>Buena</i>	<i>Buena</i>	<i>Optima</i>	<i>Soluble al agua</i>
Titanato de Bario	<i>Buena</i>	<i>Mediana</i>	<i>Optima</i>	<i>Mediana</i>	<i>Frágil</i>
Metaniobato de bario	<i>Buena</i>	<i>Mediana</i>	<i>Optima</i>	<i>Optima</i>	<i>Buena</i>
Zirconato titanato de plomo	<i>Buena</i>	<i>Mediana</i>	<i>Optima</i>	<i>Mediana</i>	<i>Buena</i>

**Elección del transductor:** Los principales factores que se deben tomar en cuenta para la elección del transductor adecuado son los siguientes

- **Clase de cristal.** Con la elección de cada clase de cristal se puede variar el poder resolutivo y la sensibilidad de los transductores.
- **Diámetro del cristal.** Entre mayor sea el diámetro del cristal se obtiene una mayor profundidad de penetración, así mismo una mayor longitud en un campo cercano y una menor divergencia.
- **Frecuencia.** Con la elección de una mayor frecuencia se obtiene mayor posibilidad para la identificación de discontinuidades pequeñas, mayor longitud de campo cercano, mayor poder resolutivo, menor profundidad de penetración y mínima divergencia.

**Acoplador acústico:** Es un líquido más o menos viscoso que se utiliza para permitir el paso de las ondas del transductor a la pieza bajo estudio, ya que las frecuencias que se utilizan para materiales metálicos no se transmiten en el aire.

**Las características que debe poseer un acoplador acústico son:**

- Humectabilidad. ( capaz de mojar la superficie y el palpador )
- Viscosidad adecuada, baja viscosidad.
- Baja atenuación. ( que el sonido se transmita al 100% )
- Bajo costo.
- Removible.
- No toxico.
- No corrosivo.
- Impedancia acústica adecuada.

**Y los principales tipos son:**

- Agua
- Aceite
- Grasa (lubricante).
- Glicerina
- Vaselina

## 2.8 Equipos utilizados en la Refinería “Miguel Hidalgo”.

La tecnología es indispensable para poder llevar a cabo la inspección de espesores en las tuberías de proceso, y en PEMEX no se escatima en el uso de la tecnología de punta para poder realizar este arduo trabajo, ya que cuenta con al menos 15 aparatos que le permiten ser más eficientes y rápidos en la obtención de los resultados deseados.

La característica de estos aparatos, es que guardan la información de cada uno de los puntos medidos, sin la necesidad de estar midiendo y después apuntarlo en el formato indicado, como se ha venido realizando por muchos años, con una memoria que almacena todos los datos obtenidos en campo y luego poder descargarlos a la computadora para ser analizados y obtener los resultados.

La actividad de inspección de espesores es realizada en campo, y debido a las condiciones de trabajo, que son muy difíciles y en algunos casos, extremas por las altas temperaturas, el ruido, las condiciones físicas de las tuberías de proceso, etc. es indispensable el uso de aparatos que permitan la obtención de espesores de manera confiable y rápida, figura 2.2.



**Figura 2.2.** Krautkramer DMS 2. Medidor de espesor ultrasónico con A-Scan y B-Scan.



## CAPITULO 3

### CALCULO DEL LÍMITE DE RETIRO EN TUBERÍAS DE PROCESO

#### 3.1 Definiciones.

Para poder comprender de una mejor manera el lenguaje utilizado en este capítulo es necesario conocer el significado de los siguientes conceptos, según la norma PEMEX DG-ASIPA-IT-00008:

**Límite y/o espesor de retiro.-** Es el espesor calculado de la pared de una tubería, válvula o conexión de acuerdo con el código aplicable al caso, para las condiciones de diseño, sin tomar en cuenta espesores adicionales para desgaste, y por debajo del cual se considera que no puede operar con seguridad.

**Margen de corrosión.** Es el espesor de la pared de una tubería que se adiciona al límite de retiro y que está destinado a compensar el desgaste originado por corrosión, abrasión o erosión.

**Desgaste.** Es la pérdida de material que sufren las paredes de la tubería, válvula o conexión, por la acción química del producto contenido (corrosión), por abrasión, o bien por la acción corrosiva del medio donde se encuentra instalada. No debe considerarse como desgaste la corrosión localizada, ni el deterioro del tipo metalúrgico, ya que deben considerarse zonas con disminución uniforme.

**Tuberías de proceso.** Son aquellas que se encuentran dentro de los límites de instalaciones de explotación, refinación, petroquímica, ventas, portuarias y administrativas, así como dentro de las embarcaciones.

### 3.2 Generalidades.

Las tuberías, válvulas o conexiones se retirarán de servicio en los siguientes casos:

- Cuando a consecuencia del desgaste, o por cualquier otra causa, se determinen en ellas espesores iguales o menores que el límite de retiro.
- Por modificaciones o cambios. En este caso, el nuevo tramo deberá ser diseñado de acuerdo con el código aplicable al servicio de que se trate, y con las Normas de Seguridad de Petróleos Mexicanos.

En el caso de las tuberías que trabajan a una presión inferior a la atmosférica (vacío), deberán calcularse los espesores de retiro de acuerdo a lo señalado en el punto 3.3 de este trabajo, considerando la presión de diseño con un valor de 16 psig; y para el caso de las válvulas y accesorios en las mismas condiciones, se considerarán como espesores de retiro los valores que figuren en la tabla 3.1.

### 3.3 Procedimiento de cálculo.

A) Para todas las tuberías con extremos planos, se debe calcular el espesor requerido por presión según el código ANSI B31.3 o el que corresponda por diseño tomando en cuenta la especificación del material y las condiciones de presión y temperatura de diseño, y de acuerdo a la formula de Barlow:

$$Tr = \frac{P * D}{2S} \dots\dots\dots(3.1)$$

Donde:

Tr = Espesor o límite de retiro en pulgadas.

P = Presión de diseño en Psig.

D = Diámetro nominal en pulgadas.

S = Esfuerzo máximo permisible del material a la temperatura de diseño en Lb/pulg<sup>2</sup>.

**NOTA:** Para las tuberías con extremos roscados, el espesor de retiro se calculará exactamente igual como lo señala el punto 3.3 y al espesor (Tr) obtenido se le agregará el valor R como lo indica la ecuación siguiente:

$$Trr = Tr + R \dots\dots\dots(3.2)$$

Donde:

Trr = Espesor de retiro para tuberías con extremos roscados en pulgadas.

Tr = Espesor de retiro del tubo en pulgadas.

R = Espesor adicional debido a la profundidad de la cuerda en pulgadas.

Donde:

R = 0.060" para diámetro de ¾ pulg.

R = 0.060" para diámetros de 1 a 2 pulg.

R = 0.060" para diámetros de 2 1/2" a 24 pulg.

**B)** Los espesores de retiro según lo establecido en los puntos anteriores, no deberán ser menores de 0.090" para tuberías con extremos planos, ni menores de 0.110" para tuberías con extremos roscados y se deberá tomar como definitivo el mayor valor de los comparados.

**C)** En el caso de conexiones con bridas y válvulas deberán considerarse como espesores de retiro los valores que figuran en la **Tabla 3.1** de este trabajo.

**D)** Para determinar los espesores de retiro en diámetros de tuberías mayores de 24", se observará lo establecido en el párrafo A adicionado de un estudio de flexibilidad.

**E)** Cuando por condiciones particulares de operación de algunas tuberías se prevea que una eventual falla se deba a otras razones diferentes de las de disminución de espesor, no se debe manejar el concepto de espesor de retiro.

**F)** Cuando el espesor de retiro sea indicado por el diseñador y/o fabricante se usará este.

**Tabla 3.1.** Valores de referencia para los cálculos de espesores en tuberías de proceso (pulg.).

Diámetro nominal	Tuberías con extremos planos	Tubería roscada	Conexiones con brida y válvula CLASE		
			150#	300#	600#
3/8	0.080	0.110	--	--	--
1/2	0.090	0.120	--	--	--
3/4	0.090	0.120	--	--	--
1	0.090	0.120	0.115	0.125	0.150
1 1/2	0.100	0.120	0.120	0.140	0.175
2	0.100	0.130	0.125	0.150	0.200
2 1/2	0.100	0.140	0.130	0.165	0.225
3	0.100	0.150	0.140	0.175	0.250
4	0.120	0.170	0.150	0.200	0.300
6	0.150	0.190	0.170	0.250	0.400
8	0.180	0.200	0.200	0.300	0.500
10	0.190	0.230	0.230	0.350	0.600
12	0.190	0.240	0.250	0.400	0.700
14	0.190	0.250	0.270	0.450	0.800
16	0.190	0.250	0.295	0.495	0.900
18	0.190	0.250	0.320	0.545	1.000
20	0.190	0.250	0.345	0.595	1.100
24	0.190	0.250	0.395	0.695	1.300

- Nota:
1. Esta tabla se debe de utilizar como referencia del procedimiento de cálculo.
  2. A las conexiones soldadas se le aplicarán los valores de la tubería con extremos llanos.
  3. A las conexiones con bridas y válvulas, con rangos de presión diferentes a los de la tabla o con temperaturas de diseño superiores a los 800° F, se debe consultar lo correspondiente en el Código ANSI B16.5

## CAPITULO 4

### LA MEDICIÓN DE ESPESORES

#### 4.1 Preparativos.

Se debe mantener actualizado un programa de medición, utilizando el formato “Programa de medición de espesores” DG-GPASI-IT-00204-4 (Apéndice).

En dicho programa, la fecha de próxima medición de espesores (FPME) se debe indicar con un cuadro de preferencia en rojo. Esta fecha (FPME) se determina como se indica más adelante y no podrá ser mayor de cinco años, aunque como resultado del análisis se determine una fecha mayor.

En los casos en que la **FPME** quede fuera de las fechas contenidas en el formato de programación, se indicará con una flecha en el extremo derecho del mismo, arriba de la cual se debe anotar la fecha de próxima medición, como se indica en el formato “Programa de medición de espesores” DG-GPASI-IT-00204-1 (Apéndice). Cuando el formato de programación quede totalmente lleno, deben vaciarse los últimos datos al formato subsiguiente que se elabore.

El programa general de medición de espesores se maneja mediante sistemas informáticos.

**Planeación de la medición de espesores:** Cada mes el ingeniero encargado de la seguridad en la planta, debe revisar el programa de medición, y por cada planta unidad de proceso o instalación donde corresponda medir en ese lapso, se preparará 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”.

**Criticidad de las unidades de control:** Las unidades de control críticas, son todas aquellas que tengan una velocidad de desgaste mayor de 20 m.p.a.

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 al 100% de sus puntos y dichas mediciones deben haberse efectuado con un intervalo mínimo de un año.

La medición de todas 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.

La cantidad mínima aceptada de valores de espesor en una unidad de control, será de 32, para que el análisis estadístico resulte confiable.

**Medición:** Con el juego de dibujos ya preparado, se procede a efectuar la medición en campo por parte de un asistente del ingeniero capacitado para dicha actividad.

#### **4.2 Análisis preliminar de espesores.**

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

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

#### **4.3 Análisis estadístico formal.**

##### **El análisis estadístico formal:**

- Es el que se lleva a cabo matemáticamente, para obtener el desgaste máximo ajustado, vida útil estimada, fecha de próxima medición, y fecha de retiro probable, de una unidad de control.
- El responsable de inspección y seguridad, de inmediato debe realizar el análisis estadístico formal de las mediciones haciendo uso del formato “Análisis del registro de medición de espesores” DG-GPASI-IT-00204-3 (Apéndice) y de acuerdo a la secuencia siguiente:

1. Discriminación de valores de espesores no significativos (punto 4.3.3).
2. Determinación del origen de la desviación de los valores de espesor obtenidos respecto al promedio general.
3. Cálculo de las velocidades de desgaste por punto (**d**).
4. Cálculo del promedio de velocidad de desgaste de la unidad de control considerada, efectuando el ajuste estadístico para obtener el promedio ajustado estadísticamente (**D máx.**).
5. Selección del mínimo espesor actual.
6. Obtención de la vida útil estimada (**VUE**), referida al espesor mínimo seleccionado.
7. Obtención de la fecha de próxima medición de espesores (**FPME**).
8. Obtención de la fecha de retiro probable (**FRP**).

#### **4.3.1 Discriminación de valores 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:

1. Se eliminan todos los valores de espesor que excedan en 20% o más, al espesor original, cuando éste sea conocido y se considere confiable.

#### **4.3.2 Cálculo de las velocidades de desgaste por punto.**

- 1 Obtenga 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, 1 con 1, 2 con 2, etc.) utilizando para ello el formato DG-GPASI-IT-00204-2 (Apéndice).

**Nota:** Para que sea aceptable el cálculo, debe haber transcurrido cuando menos un año entre una pareja de fechas de medición. Con fechas más cercanas se obtienen errores inadmisibles.

2. En el análisis, se considera todas las parejas de valores de espesor, incluyendo aquellas cuyas diferencias sean “cero”, ya sea por engrosamiento, o por que no exista desgaste.
3. La velocidad de desgaste por punto debe calcularse de acuerdo a la siguiente formula:

$$d = \frac{ei - ef}{ff - fi} \dots\dots\dots (4.1)$$

Donde:

**d** = velocidad de desgaste del punto en pulgadas.

**ff** = fecha de la medición más reciente (ef) en años.

**fi** = fecha de medición anterior (ei) en años.

**ei** = espesor obtenido en la fecha fi en pulg.

**ef** = espesor obtenido en la fecha ff en pulg.

4. Los valores de desgaste por punto obtenidos, se anotan en la columna correspondiente del formato tipo DG-GPASI-IT-00204-2 (Apéndice).

### 4.3.3 Cálculo de la velocidad de desgaste promedio y de la velocidad máxima ajustada.

Para calcular lo anterior, deben usarse las siguientes relaciones:

$$\bar{D} = \frac{d1 + d2 + d3 + \dots + dn}{n} \dots\dots\dots (4.2)$$

$$\bar{D}_{m\acute{a}x} = \bar{D} + 1.28 \frac{\bar{D}}{\sqrt{n}} \dots\dots\dots (4.3)$$

Donde:



**d1, d2, d3,..., dn** = Velocidades de desgaste correspondientes a cada punto de la línea o equipo considerado.

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

**D** = Promedio aritmético de las velocidades de desgaste.

**Dmáx.** = Promedio ajustado estadísticamente.

Este promedio de desgaste ajustado se anota en la columna “velocidad de desgaste” del formato tipo DG-GPASI-IT-00204-3 (Apéndice).

#### **4.3.4 Determinación del origen de la desviación de los valores de espesores obtenidos, respecto al promedio general.**

1. Si análisis hechos con anterioridad indican variación en la velocidad de desgaste, se considera el siguiente criterio:
  - 1.1. Cuando el cambio sea en el sentido de aumentar la velocidad de desgaste, se toma en cuenta el valor obtenido en el último análisis.
  - 1.2. Cuando el cambio sea en el sentido de disminuir la velocidad de desgaste, se toma en cuenta el valor obtenido en el análisis anterior, hasta tener cuando menos dos análisis consecutivos que confirmen el cambio observado, en cuyo caso se procede al reajuste. Estos valores se comparan con las velocidades de desgaste puntuales ya asentadas en el formato tipo DG-GPASI-IT-00204-2 (Apéndice), tomándose nota de aquellas velocidades de desgaste que sobrepasen apreciablemente el valor promedio. Sin embargo, cabe aclarar que las fechas de próxima medición y fechas de retiro probables, se calculan con el valor de velocidad de

desgaste obtenido en el análisis anterior, hasta comprobar la veracidad de la velocidad de desgaste última, si ésta es menor a la anterior.

2. En el caso de tenerse altas velocidades de desgaste y de que las mediciones efectuadas ya hubiesen sido ratificadas en el campo, se debe proceder de acuerdo a lo siguiente:

2.1. Si la vida útil que se obtenga es menor o igual a 1.5 años, proceder a emplazar la pieza, línea o equipo según el caso, empleando el formato tipo “Emplazamiento” DG-GPASI-IT-00204-4 (Apéndice) y continuar vigilando la unidad de control de acuerdo al resultado del análisis.

2.2. El emplazamiento debe cumplirse dentro del plazo de 1.5 años como máximo.

2.3. No se deben aceptar prórrogas más allá de la Fecha de Retiro para cumplir con los emplazamientos, y debe rechazarse la práctica de efectuar reparaciones provisionales con parches sobrepuestos.

2.4. Si es el caso, se debe analizar mediante un estudio técnico, la factibilidad de realizar una reparación provisional, la cual solo podrá ser autorizada por la máxima autoridad del centro de trabajo, mediante una acta escrita, misma que debe archivar en el expediente correspondiente.

2.5. Si la vida útil obtenida resulta mayor de 1.5. años, debe procederse en la forma siguiente:

- Si se tienen los mayores desgastes en puntos diseminados en diversas partes de la unidad de control, deben analizarse estos puntos y de acuerdo al resultado programar la siguiente medición.
- 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, etc.

#### **4.3.5 Determinación del mínimo espesor actual.**

Con el fin de contar con los datos necesarios para el cálculo de la vida útil estimada (**VUE**), fecha de próxima medición (**FPME**) y fecha de retiro probable (**FRP**), se requiere seleccionar el punto que tenga el espesor más bajo en cada uno de los diferentes diámetros de las secciones que compongan la unidad de control. Dichos espesores se denominarán “**ek**” y la fecha de medición correspondiente “**fk**”.

#### **4.3.6 Cálculo de la Vida Útil Estimada (VUE), Fecha de Próxima Medición (FPME) y Fecha de Retiro Probable (FRP).**

1. Este cálculo se debe hacer aplicando las siguientes relaciones:

$$VUE = \frac{ek - Lr}{\bar{D}_{m\acute{a}x}} \dots\dots\dots (4.4)$$

$$FRP = fk + VUE \dots\dots\dots(4.5)$$

$$FPME = fk + \frac{VUE}{3} \dots\dots\dots(4.6)$$

Donde:

**Lr** = Límite de retiro.

**ek** = Espesor más bajo encontrado en la última medición.

**fk** = Fecha de última medición.

2. En caso de que el lapso entre la última medición y la fecha de próxima medición (FPME) sea menor de un año, el siguiente análisis se debe hacer comparando los datos que se obtengan en esta última fecha, con los datos de la medición anterior que corresponda, para que la diferencia de ambas sea de un año ó mayor.
3. La fecha de próxima medición será aquella que resulte más cercana, de la calculada para los diferentes diámetros.

#### **4.3.7 Utilización de resultados asentados en el formato tipo DG-GPASI-IT-00204-4 (Apéndice).**

1. Velocidad de desgaste.- Este resultado sirve para determinar lo siguiente:
  1. Criticidad de circuito.
  2. Programas de pruebas a martillo en reparaciones.
  3. Determinación de vida útil estimada.
2. Vida útil estimada (VUE).- Este resultado da una idea de cuándo es necesario solicitar los materiales requeridos para el cambio de las piezas de la unidad de control. Cuando este valor sea igual o inferior a 1.5 años, emplazar inmediatamente.
3. Fecha de próxima medición de espesores (FPME).- Esta fecha sirve para programar la próxima medición de la unidad de control en el programa general (ver 7.1).
4. Fecha de retiro probable (FRP).- Con base en esta fecha, se deben efectuar los emplazamientos, siempre y cuando para tal fecha falten por transcurrir 1.5 años o menos.

## CAPITULO 5

### EJEMPLO DE APLICACIÓN

El siguiente caso nos ubica en la Refinería “Miguel Hidalgo”, ubicada en Tula, Hidalgo México, considerada una de las más importantes del país, con una producción de 280 mil barriles de petróleo crudo diarios, proporcionando los siguientes productos: turbosina, propileno, gasoleo industrial, diesel, gasolina magna y gasolina Premium y que cuenta con miles de líneas de tubería de proceso, que manejan diferentes derivados del petróleo, con diferentes condiciones de trabajo.

La línea a estudiar es parte del sector 7 donde se realiza el proceso de destilación primaria o atmosférica, esta comienza en el domo de la torre de destilación ADA-1 y termina en los condensadores AEA-17 A/B hasta el AEA-17 G/H, cuyo servicio es una mezcla de gasolina virgen con gases combustibles (propano y butano).

Siguiendo la metodología de esta tesis, se observa en el programa de medición de espesores, que la unidad de control (U.C.) 001, del circuito (CTO.) 001, tiene fecha de próxima calibración (FPC), de marzo de 2005, figura 5.1.

PROGRAMA DE MEDICION DE ESPESORES									
SECTOR NUMERO: 7					PLANTA No 31.				
PLANTA:ATMOSFERICA No 2.					PLANTA No 31.				
FECHA : 20-FEBRERO-2005					PROGRAMA DE MEDICION DE ESPESORES				
CIRCUITO	U. C.	°C	Nº DE	VEL.	FECHA	FECHA	VUE	OBSERVACIONES	
EQUIPO	NIVELES	TEMPERATURA	NIPLERIA	DES.	PROXIMA CALIBRACION	RETIRO PROBABLE			
001	001	18	100	16	11.3	Mar-05	Oct-25	25.57	
001	002	63	320	8	7.17	May-08	Oct-16	6.98	
001	003	125	150	19	0.65	Abr-10	SEP-105	100.4	
001	004	51	203	7	6.54	Feb-08	Mar-14	9.17	
001	005	97	100	10	1.76	Ago-09	May-44	15.18	
001	006	61	160	6	5.3	Sep-08	Sep-16	4.89	
001	007	46	142	6	3.32	Mar-08	Nov-22	18.67	
001	008	73	300	5	2.38	Sep-09	Ene-34	29.4	
001	009	88	180	12	7.51	Feb-07	Nov-11	7.19	
001	010	47	321	10	5.66	Ago-05	Oct-20	19.79	
001	011	80	150	17	1.98	Abr-10	Nov-50	45.57	
001	012	54	203	7	4.78	Feb-06	Mar-23	20.94	
001	013	106	160	10	10.2	May-05	Feb-06	5.86	
001	014	62	160	7	1.98	Ene-05	May-23	31.55	
001	015	49	142	6	10.6	Sep-05	Jul-09	5.78	
001	016	64	134	7	7.6	Feb-05	Abr-24	24.7	
001	017	95	380						
001	018	45							
001	019	72	160						
001	020	60	223						
001	021	52	260						
001	022	121	260						
001	023	60	164						
001	024	63							
001	025	54	223						
002	026	87							
002	027	38							
002	028	94							
002	029	47							
002	030	50							
002	031	51							
002	032	54							
002	033	46							
002	034	56							
002	035	50							
002	036	53							
002	037	49							
002	038	53							
002	039	49							
002	040	53							
002	041	49							
002	042	53							
002	043	49							
002	044	53							
002	045	49							
002	046	53							
002	047	49							
002	048	53							
002	049	49							
002	050	53							
002	051	49							
002	052	53							
002	053	49							
002	054	53							
002	055	49							
002	056	53							
002	057	49							
002	058	53							
002	059	49							
002	060	53							
002	061	49							
002	062	53							
002	063	49							
002	064	53							
002	065	49							
002	066	53							
002	067	49							
002	068	53							
002	069	49							
002	070	53							
002	071	49							
002	072	53							
002	073	49							
002	074	53							
002	075	49							
002	076	53							
002	077	49							
002	078	53							
002	079	49							
002	080	53							
002	081	49							
002	082	53							
002	083	49							
002	084	53							
002	085	49							
002	086	53							
002	087	49							
002	088	53							
002	089	49							
002	090	53							
002	091	49							
002	092	53							
002	093	49							
002	094	53							
002	095	49							
002	096	53							
002	097	49							
002	098	53							
002	099	49							
002	100	53							
002	101	49							
002	102	53							
002	103	49							
002	104	53							
002	105	49							
002	106	53							
002	107	49							
002	108	53							
002	109	49							
002	110	53							
002	111	49							

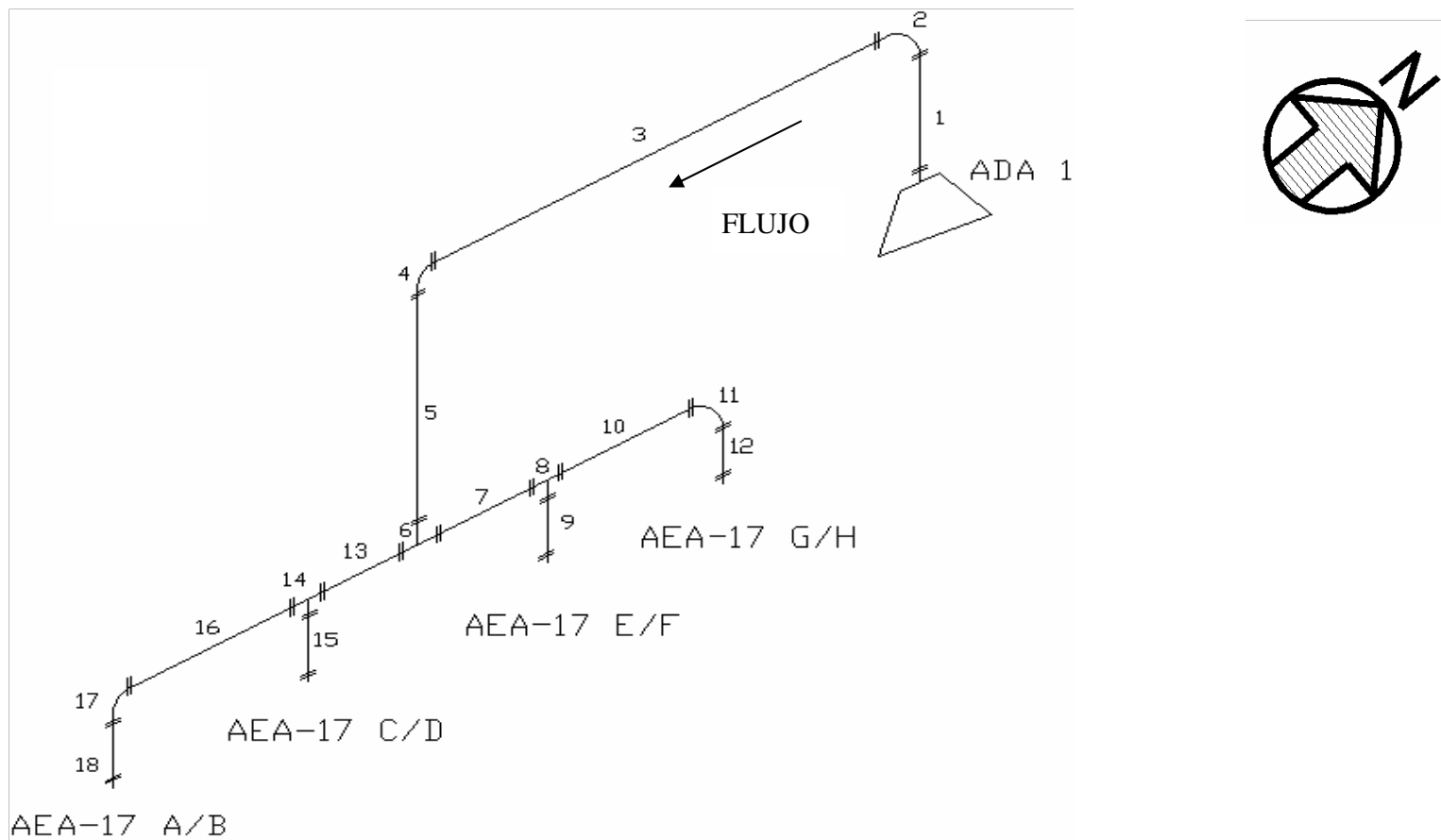
Figura 5.1. Programa de medición de espesores que indica sombreada la línea por calibrarse.

Luego, se procede a la revisión del expediente, verificando la hoja de “Análisis del registro de medición de espesores” (GPASI-IT-00204-1), el cual se muestra en la figura 5.2, de donde se toman datos relevantes del comportamiento de la línea.

ANÁLISIS DEL REGISTRO DE MEDICIÓN DE ESPESORES							
<b>PEMEX - REFINACION</b>		CENTRO DE TRABAJO:		REFINERIA "MIGUEL HIDALGO"			
GERENCIA DE PROTECCION AMBIENTAL		SECTOR O AREA:		7			
Y SEGURIDAD INDUSTRIAL		PLANTA O INSTALACIÓN:		ATMOSFERICA 2			
		CIRCUITO:		001			
		UNIDAD DE CONTROL:		001			
FECHA DE ANALISIS	FECHA DE ULTIMA MEDICION	FECHA CONTRA LA QUE SE ANALIZA	No. DE PUNTOS COMPLETOS	VEL. DE DESGASTE (mpa)	FECHA DE PROXIMA MEDICION F.P.ME.	FECHA DE RETIRO PROBABLE F.R.P.	TEMP. DE MEDICION (°C)
Mar-99	-----	-----	-----	-----	Mar-00	-----	-----
30-mar-00	Mar-00	Mar-99	67	11.34	Mar-05	Oct-25	90

**Figura 5.2.** Hoja de análisis del registro de medición de espesores.

Una vez revisado el expediente se prepara un juego de dibujos isométricos de la línea en cuestión, figura 5.3, y se procede a efectuar la medición en campo.



No. DE LINEA	ESPECIF.	DIAM	CED	E.O.	L.R.	PRESION		TEMP. °C		DIB.	A.L.P.	PLANTA: ATMOSFERICA 2
						P.DIS.	P.OP.	T.DIS.	T.OP.			
001-001	ASTM A-53 B	20"	xs	.5"	0.190	4.56	1.03	168.3	100	LEV.	C.H.G.	CIRCUITO: GV Y GC
										PROY.	M.P.M.	
										REV.	A.S.D.	
										APROB.	A.M.M.	CONT. No.----- CIRCUITO No. 001
										FECHA	19/03/1999	DIBUJO 1 DE 1 U.C: 001



PETROLEOS MEXICANOS SUPTCIA  
DE INSP TEC Y SEG IND REFINERIA  
"MIGUEL HIDALGO"

Figura 5.3 Dibujo isométrico de la unidad de control 001, del circuito 001.

Una vez realizada la medición en campo, se efectúa el análisis preliminar de espesores con el objeto de comparar las mediciones con el límite de retiro, y que no haya datos disparados con respecto a este o a las mediciones anteriores, de encontrar valores disparados se debe efectuar la verificación inmediata de estos para así determinar su causa.

Posteriormente, se asientan los datos en el formato de “Registro de medición de espesores” (DG-GPASI-IT-00204-2), figuras 5.4 y 5.5.

Para este caso se muestra el procedimiento de cálculo del límite de retiro, siguiendo lo indicado en el capítulo 3.

Datos:

Temperatura (T): de diseño 168.33°C, de operación 100°C.

Presión (P): de diseño 4.56 Kg. /cm<sup>2</sup>, de operación 1.033 Kg. /cm<sup>2</sup>.

Material: ASTM A-53 grado B, cedula XS.

Esfuerzo máximo permisible a temperatura de diseño (S): 1202.25 Kg. /cm<sup>2</sup>.

Diámetro (D): 50.80 cm.

Calculo del límite de retiro (Tr) con la formula 3.1:

$$Tr = \frac{P * D}{2S}$$

$$Tr = \frac{(4.56kg / cm^2)(50.8cm)}{2(1202.25kg / cm^2)} = 0.0963cm \cong 0.050plg.$$

Referente a lo especificado en el capitulo 3 de la presente, el espesor de retiro calculado por la ecuación 3.1 (ecuación de Barlow) debe ser comparado con el valor del espesor de retiro para dicho diámetro de la tabla 3.1. eligiendo el mayor.

Aplicando el criterio anterior, el limite de retiro para un diámetro de 50.8 cm. (20 pulg.) es de 0.190 pulg. Según tabla 3.1.

$$Tr = 0.190plg$$



**REGISTRO DE MEDICION DE ESPESORES**

<b>PEMEX - REFINACION</b> GERENCIA DE PROTECCION AMBIENTAL Y SEGURIDAD INDUSTRIAL	CENTRO DE TRABAJO: REFINERIA "MIGUEL HIDALGO"
	SECTOR O AREA: SECTOR 7
	PLANTA O INSTALACION: ATMOSFERICA 2

CIRCUITO:	001
UNIDAD DE CONTROL:	001

DESCRIPCIÓN					FECHA DE MEDICIÓN							
					Mar-00		Mar-05					
NIVEL DE MEDICION	PIEZA	PUNTO DE MEDICION	DIAM. NOM. ESP. ORIG.	LIMITE DE RETIRO	ESPESOR	VELOCIDAD DE DESGASTE	ESPESOR	VELOCIDAD DE DESGASTE	ESPESOR	VELOCIDAD DE DESGASTE	ESPESOR	VELOCIDAD DE DESGASTE
1	CARRETE	N	20"	0.190	0.489	0.011	0.407					
		S			0.491	0.009	0.409					
		O	0.50		0.492	0.008	0.404					
		P			0.490	0.010	0.406					
2	CODO	O	20"	0.190	0.491	0.009	0.408					
		P			0.492	0.008	0.409					
		A	0.50		0.488	0.012	0.411					
		B			0.490	0.010	0.412					
3	CARRETE	N	20"	0.190	0.492	0.008	0.403					
		S			0.491	0.009	0.409					
		A	0.50		0.490	0.010	0.402					
		B			0.493	0.007	0.400					
4	CODO	O	20"	0.190	0.492	0.008	0.411					
		P			0.491	0.009	0.402					
		A	0.50		0.487	0.013	0.400					
		B			0.489	0.011	0.399					
5	CARRETE	N	20"	0.190	0.494	0.006	0.405					
		S			0.492	0.008	0.407					
		O	0.50		0.491	0.009	0.409					
		P			0.490	0.010	0.411					
6	TEE	N	20"	0.190	0.495	0.005	0.418					
		S			0.492	0.008	0.402					
		B	0.50		0.492	0.008	0.405					
		-										
7	CARRETE	N	20"	0.190	0.490	0.010	0.409					
		S			0.492	0.008	0.401					
		A	0.50		0.491	0.009	0.409					
		B			0.488	0.012	0.404					
8	TEE	N	20"	0.190	0.490	0.010	0.403					
		S			0.495	0.005	0.411					
		A	0.50		0.491	0.009	0.405					
		-										
9	CARRETE	N	20"	0.190	0.485	0.015	0.399					
		S			0.492	0.008	0.408					
		O	0.50		0.491	0.009	0.400					
		P			0.489	0.011	0.411					
10	CARRETE	N	20"	0.190	0.490	0.010	0.403					
		S			0.487	0.013	0.406					
		A	0.50		0.485	0.015	0.409					
		B			0.483	0.017	0.411					

OBSERVACIONES \_\_\_\_\_

ELABORÓ  
AYDTE. DE ING. JUAN CARLOS SOLIS  
NOMBRE Y FIRMA

EQUIPO UTILIZADO: DMS-2  
DG-GPASI-IT-00204-2

**Figura 5.4.** Segunda medición. Con esta información se procede al cálculo de la velocidad de desgaste.

**REGISTRO DE MEDICION DE ESPESORES**

<b>PEMEX - REFINACION</b> GERENCIA DE PROTECCION AMBIENTAL Y SEGURIDAD INDUSTRIAL	CENTRO DE TRABAJO: REFINERIA "MIGUEL HIDALGO"
	SECTOR O AREA: SECTOR 7
	PLANTA O INSTALACION: ATMOSFERICA 2

CIRCUITO:	001
UNIDAD DE CONTROL:	001

DESCRIPCIÓN					FECHA DE MEDICION							
					Mar-00		Mar-05					
NIVEL DE MEDICION	PIEZA	PUNTO DE MEDICION	DIAM. NOM. ESP. ORIG.	LIMITE DE RETIRO	ESPESOR	VELOCIDAD DE DESGASTE	ESPESOR	VELOCIDAD DE DESGASTE	ESPESOR	VELOCIDAD DE DESGASTE	ESPESOR	VELOCIDAD DE DESGASTE
11	TEE	N	20"	0.190	0.489	0.011	0.411					
		S			0.491	0.009	0.403					
		A	0.50		0.490	0.010	0.409					
		-										
12	CARRETE	N	20"	0.190	0.487	0.013	0.405					
		S			0.489	0.011	0.406					
		O	0.50		0.491	0.009	0.406					
		P			0.493	0.007	0.405					
13	CARRETE	N	20"	0.190	0.489	0.011	0.409					
		S			0.492	0.008	0.406					
		A	0.50		0.492	0.008	0.403					
		B			0.488	0.012	0.400					
14	TEE	N	20"	0.190	0.489	0.011	0.405					
		S			0.490	0.010	0.399					
		A	0.50		0.488	0.012	0.399					
		-										
15	CARRETE	N	20"	0.190	0.490	0.010	0.400					
		S			0.492	0.008	0.406					
		O	0.50		0.491	0.009	0.398					
		P			0.489	0.011	0.395					
16	CARRETE	N	20"	0.190	0.487	0.013	0.412					
		S			0.488	0.012	0.398					
		A	0.50		0.485	0.015	0.409					
		B			0.490	0.010	0.402					
17	TEE	N	20"	0.190	0.486	0.014	0.402					
		S			0.489	0.011	0.400					
		A	0.50		0.489	0.011	0.399					
		-										
18	CARRETE	N	20"	0.190	0.495	0.005	0.385					
		S			0.491	0.009	0.399					
		O	0.50		0.500	0.000	0.400					
		P			0.490	0.010	0.402					

OBSERVACIONES

---

ELABORÓ  
 AYDTE. DE ING. JUAN CARLOS SOLIS  
 NOMBRE Y FIRMA

EQUIPO UTILIZADO: DMS-2  
 DG-GPASI-IT-00204-2

**Figura 5.5.** Observamos que existen dos mediciones con las cuales procedemos al cálculo de la velocidad de desgaste.

Una vez que se cuenta con la información necesaria, se procede a realizar el análisis estadístico formal.

No habiendo valores que consideren discriminados, ya sea por engordamiento (que exceda en 20% al espesor original) o por valores disparados, se hace el cálculo de velocidades de desgaste por punto, utilizando para ello, el formato DG- GPASI-IT-00204-2, como lo indica la ecuación 4.1. Ejemplo:

NIVEL 1:

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

$$\text{Punto norte} - d = \frac{0.489 - 0.407}{2005.4 - 2000.4} = 0.016 \text{ pu lg.} / \text{año}$$

Y así sucesivamente se calculan todas las velocidades de desgaste puntuales, figura 5.6 y 5.7.

**REGISTRO DE MEDICION DE ESPESORES**

<b>PEMEX - REFINACION</b> GERENCIA DE PROTECCION AMBIENTAL Y SEGURIDAD INDUSTRIAL	CENTRO DE TRABAJO: REFINERIA "MIGUEL HIDALGO"
	SECTOR O AREA: SECTOR 7
	PLANTA O INSTALACION: ATMOSFERICA 2

CIRCUITO:	001
UNIDAD DE CONTROL:	001

DESCRIPCIÓN					FECHA DE MEDICIÓN							
					Mar-00		Mar-05					
NIVEL DE MEDICION	PIEZA	PUNTO DE MEDICION	DIAM. NOM. ESP. ORIG.	LIMITE DE RETIRO	ESPESOR	VELOCIDAD DE DESGASTE	ESPESOR	VELOCIDAD DE DESGASTE	ESPESOR	VELOCIDAD DE DESGASTE	ESPESOR	VELOCIDAD DE DESGASTE
1	CARRETE	N	20"	0.190	0.489	0.011	0.407	0.016				
		S			0.491	0.009	0.409	0.016				
		O	0.50		0.492	0.008	0.404	0.018				
		P			0.490	0.010	0.406	0.017				
2	CODO	O	20"	0.190	0.491	0.009	0.408	0.017				
		P			0.492	0.008	0.409	0.017				
		A	0.50		0.488	0.012	0.411	0.015				
		B			0.490	0.010	0.412	0.016				
3	CARRETE	N	20"	0.190	0.492	0.008	0.403	0.018				
		S			0.491	0.009	0.409	0.016				
		A	0.50		0.490	0.010	0.402	0.018				
		B			0.493	0.007	0.400	0.019				
4	CODO	O	20"	0.190	0.492	0.008	0.411	0.016				
		P			0.491	0.009	0.402	0.018				
		A	0.50		0.487	0.013	0.400	0.017				
		B			0.489	0.011	0.399	0.018				
5	CARRETE	N	20"	0.190	0.494	0.006	0.405	0.018				
		S			0.492	0.008	0.407	0.017				
		O	0.50		0.491	0.009	0.409	0.016				
		P			0.490	0.010	0.411	0.016				
6	TEE	N	20"	0.190	0.495	0.005	0.418	0.015				
		S			0.492	0.008	0.402	0.018				
		B	0.50		0.492	0.008	0.405	0.017				
		-										
7	CARRETE	N	20"	0.190	0.490	0.010	0.409	0.016				
		S			0.492	0.008	0.401	0.018				
		A	0.50		0.491	0.009	0.409	0.016				
		B			0.488	0.012	0.404	0.017				
8	TEE	N	20"	0.190	0.490	0.010	0.403	0.017				
		S			0.495	0.005	0.411	0.017				
		A	0.50		0.491	0.009	0.405	0.017				
		-										
9	CARRETE	N	20"	0.190	0.485	0.015	0.399	0.017				
		S			0.492	0.008	0.408	0.017				
		O	0.50		0.491	0.009	0.400	0.018				
		P			0.489	0.011	0.411	0.016				
10	CARRETE	N	20"	0.190	0.490	0.010	0.403	0.017				
		S			0.487	0.013	0.406	0.016				
		A	0.50		0.485	0.015	0.409	0.015				
		B			0.483	0.017	0.411	0.014				

OBSERVACIONES \_\_\_\_\_

ELABORÓ

AYDTE. DE ING. JUAN CARLOS SOLIS

NOMBRE Y FIRMA

EQUIPO UTILIZADO: DMS-2

DG-GPASI-IT-00204-2

**Figura 5.6.** Se han calculado las velocidades de desgaste por punto.

**REGISTRO DE MEDICION DE ESPESORES**

<b>PEMEX - REFINACION</b> GERENCIA DE PROTECCION AMBIENTAL Y SEGURIDAD INDUSTRIAL	<b>CENTRO DE TRABAJO: REFINERIA "MIGUEL HIDALGO"</b>
	<b>SECTOR O AREA: SECTOR 7</b>
	<b>PLANTA O INSTALACION: ATMOSFERICA 2</b>

<b>CIRCUITO:</b>	001
<b>UNIDAD DE CONTROL:</b>	001

DESCRIPCIÓN					FECHA DE MEDICION							
					Mar-00				Mar-05			
NIVEL DE MEDICION	PIEZA	PUNTO DE MEDICION	DIAM. NOM. ESP. ORIG.	LIMITE DE RETIRO	ESPEJOR	VELOCIDAD DE DESGASTE	ESPEJOR	VELOCIDAD DE DESGASTE	ESPEJOR	VELOCIDAD DE DESGASTE	ESPEJOR	VELOCIDAD DE DESGASTE
11	TEE	N	20"	0.190	0.489	0.011	0.411	0.016				
		S			0.491	0.009	0.403	0.018				
		A	0.50		0.490	0.010	0.409	0.016				
		-										
12	CARRETE	N	20"	0.190	0.487	0.013	0.405	0.016				
		S			0.489	0.011	0.406	0.017				
		O	0.50		0.491	0.009	0.406	0.017				
		P			0.493	0.007	0.405	0.018				
13	CARRETE	N	20"	0.190	0.489	0.011	0.409	0.016				
		S			0.492	0.008	0.406	0.017				
		A	0.50		0.492	0.008	0.403	0.018				
		B			0.488	0.012	0.400	0.018				
14	TEE	N	20"	0.190	0.489	0.011	0.405	0.017				
		S			0.490	0.010	0.399	0.018				
		A	0.50		0.488	0.012	0.399	0.018				
		-										
15	CARRETE	N	20"	0.190	0.490	0.010	0.400	0.018				
		S			0.492	0.008	0.406	0.017				
		O	0.50		0.491	0.009	0.398	0.019				
		P			0.489	0.011	0.395	0.019				
16	CARRETE	N	20"	0.190	0.487	0.013	0.412	0.015				
		S			0.488	0.012	0.398	0.018				
		A	0.50		0.485	0.015	0.409	0.015				
		B			0.490	0.010	0.402	0.018				
17	TEE	N	20"	0.190	0.486	0.014	0.402	0.017				
		S			0.489	0.011	0.400	0.018				
		A	0.50		0.489	0.011	0.399	0.018				
		-										
18	CARRETE	N	20"	0.190	0.495	0.005	0.385	0.022				
		S			0.491	0.009	0.399	0.018				
		O	0.50		0.500	0.000	0.400	0.020				
		P			0.490	0.010	0.402	0.018				
OBSERVACIONES												

OBSERVACIONES

ELABORÓ

AYDTE. DE ING. JUAN CARLOS SOLIS

NOMBRE Y FIRMA

EQUIPO UTILIZADO: DMS-2

DG-GPASI-IT-00204-2

**Figura 5.7.** Con estos datos se calcula VUE, FRP y FPME

Obtenidos las velocidades de desgaste por punto, se calcula la velocidad de desgaste promedio y la velocidad máxima ajustada utilizando la ecuación 4.2 y 4.3.

$$\bar{D} = \frac{d1 + d2 + d3 + \dots + dn}{n}$$

$$\bar{D} = \frac{1146}{67} = 17.10 \text{ mpa}$$

$$\bar{D}_{\text{máx}} = \bar{D} + 1.28 \frac{\bar{D}}{\sqrt{n}}$$

$$\bar{D}_{\text{máx}} = 17.10 + 1.28 \frac{17.10}{\sqrt{67}} = 19.78 \text{ mpa}$$

Obtenidos estos valores se observa que la línea esta muy cerca de considerarse crítica (ver definición de línea crítica Pág.7), además se observa que el comportamiento de la velocidad de desgaste aumenta considerablemente con respecto al análisis anterior, según el expediente, pero también se observa que se cuenta con un margen amplio de espesor obtenido con respecto al límite de retiro.

Ahora se procede a calcular la vida útil estimada, fecha de próxima medición y la fecha de retiro probable utilizando las ecuaciones 4.4, 4.5 y 4.6 respectivamente.

$$VUE = \frac{ek - Lr}{\bar{D}_{\text{máx}}}, \quad VUE = \frac{385 - 190}{19.78} = 9.86 \text{ años.}$$

$$FRP = fk + VUE, \quad FRP = 2005.4 + 9.86 = 2015.11 \cong \text{ene} - 2015$$

$$FPME = fk + \frac{VUE}{3}, \quad FPME = 2005.4 + \frac{9.86}{3} = 2008.54 \cong \text{jun} - 2008$$

Con los datos obtenidos en el análisis formal, se actualiza en primera instancia la hoja de análisis de registro de espesores (DG-GPASI-IT-00204-3), que se encuentra al principio de cada expediente, posteriormente estos datos son registrados en el programa de medición de espesores ((DG-GPASI-IT-00204-3), para considerarlos en la fecha de su próxima calibración, figura 5.8 y 5.9

ANÁLISIS DEL REGISTRO DE MEDICIÓN DE ESPESORES							
PEMEX - REFINACION		CENTRO DE TRABAJO:		REFINERIA "MIGUEL HIDALGO"			
GERENCIA DE PROTECCION AMBIENTAL Y SEGURIDAD INDUSTRIAL		SECTOR O AREA:		7			
		PLANTA O INSTALACIÓN:		ATMOSFERICA 2			
		CIRCUITO:		001			
		UNIDAD DE CONTROL:		001			
FECHA DE ANALISIS	FECHA DE ULTIMA MEDICION	FECHA CONTRA LA QUE SE ANALIZA	No. DE PUNTOS COMPLETOS	VEL. DE DESGASTE (mpa)	FECHA DE PROXIMA MEDICION F.P.ME.	FECHA DE RETIRO PROBABLE F.R.P.	TEMP. DE MEDICION (°C)
Mar-99	-----	-----	-----	-----	Mar-00	-----	-----
30-mar-00	Mar-00	Mar-99	67	11.34	Mar-05	Oct-25	90
5-mar-05	Mar-05	Mar-00	67	19.78	jun-08	Ene-15	95
OBSERVACIONES:							

Figura 5.8 Se actualiza la hoja del registro de mediciones.

PEMEX - REFINACION REFINERIA "MIGUEL HIDALGO" SUPERINTENDENCIA DE INSPECCION TECNICA Y SEGURIDAD INDUSTRIAL									
SECTOR NUMERO: 7 PLANTA: ATMOSFERICA No 2					PLANTA No 31.				
RESUMEN DE ANALISIS DE CALIBRACIONES									
CIRCUITO	U. C. O EQUIPO	°C TEMPERATURA	N° DE NIPLEERIA	VEL. DES.	FECHA PROXIMA CALIBRACION	FECHA RETIRO PROBABLE	VUE	OBSERVACIONES	
001	001	18	100	16	19.8	Jun-08	Ene-15	9.86	
001	002	63	320	8	7.17	May-08	Oct-16	6.98	
001	003	125	150	19	0.65	Abr-10	SEP-105	100.4	
001	004	51	203	7	6.54	Feb-08	Mar-14	9.17	
001	005	97	100	10	1.76	Ago-09	May-44	15.18	
001	006	61	160	6	5.3	Sep-08	Sep-16	4.89	
001	007	46	142	6	3.32	Mar-08	Nov-22	18.67	
001	008	73	300	5	2.38	Sep-09	Ene-34	29.4	
001	009	88	180	12	7.51	Feb-07	Nov-11	7.19	
001	010	47	321	10	5.66	Ago-05	Oct-20	19.79	

Figura 5.9 Se actualiza el programa de medición de espesores.

De esta manera se archiva el expediente con la seguridad de que la línea trabaja en condiciones seguras hasta la fecha de su próxima calibración, y con esto se concluye el ciclo de monitoreo para dicho expediente.

## **CAPITULO 6**

### **CRITERIOS ADICIONALES**

Para la adecuada aplicación de este procedimiento deben considerarse los criterios adicionales siguientes:

- 1 Cuando las velocidades de desgaste sean mayores en determinados puntos de las líneas o equipos, debe considerarse que pudiera tenerse el caso de corrosión de tipo localizado y por lo tanto, se procede a hacer la revisión de los materiales y de las corrientes de la unidad de control, como base para un estudio de corrosión posterior.
- 2 Cuando el desgaste se encuentre localizado y definido en alguna sección de las líneas o equipos, se deben analizar materiales tanto de diseño como de construcción, cambios bruscos de dirección, cédula menor, inyección de aditivos, orificios de restricción, incrustación interior, etc.
- 3 Si en una unidad de control existen diferentes clases de materiales en piezas de tubería o partes de equipo, deben analizarse en forma separada, ya que su comportamiento en cuanto a velocidades de desgaste, es totalmente distinto.
- 4 Cuando un emplazamiento o solicitud de fabricación se haya cumplido, para fines de control se llenará el formato tipo “Notificación de ejecución” DG-GPASI-IT-00204-6 (Apéndice).
- 5 En el caso de piezas de tubería o equipos con materiales fuera de norma o especificación, como podrían ser materiales o cédulas distintas al diseño, o que presenten problemas metalúrgicos, soldaduras defectuosas, fracturas, poros, corrosión exterior o cualquier otro tipo de falla o defecto diferente al concepto de velocidad de desgaste, en lugar de utilizar el formato de “Emplazamiento”, se usa el de “Solicitud de fabricación” DG-GPASI-IT-00204-5 (Apéndice).



- 6 Para el caso de tuberías que operan a bajas temperaturas y en las cuales no es conveniente remover el aislamiento externo, se recomienda efectuar la medición de espesores por el método radiográfico, el cual es confiable hasta diámetros de 8 pulgadas. Sin embargo se pueden presentar varias situaciones:
- 6.1 Tuberías con más de dos años en operación sin datos de valores de espesor; se radiografiará 10% de sus niveles de medición, si los valores encontrados no acusan desgaste apreciable en comparación con los valores de diseño, se programará otra determinación a los 5 años.
- 6.2 Tuberías con más de dos años de operación con una medición de espesores inicial; se procede en forma similar al punto 6.1, y con estos 2 resultados se hace el análisis para determinar la fecha de próxima medición.
- 6.3 Tuberías con diámetros mayores a 8 pulgadas sin ningún dato de medición, se debe hacer una determinación ultrasónica al 10% lo antes posible retirando el aislamiento en un paro. Dependiendo de los espesores encontrados y comparando con los datos de diseño y el tiempo de operación, se estima una fecha de próxima medición.
- Desde luego, si los espesores obtenidos acusan desgastes importantes o si han existido fallas en operación, se amplía el porcentaje de niveles a medir.
- 7 Equipos operando a bajas temperatura.- Se miden los espesores ultrasónicamente en los paros de la planta ya sea interiormente o por el exterior retirando el aislamiento. La intensidad de medición base, será del 10% de los puntos o más si se detectan espesores bajos.
- 8 Es conveniente se elimine pintura de tuberías y equipos en los puntos donde se va a medir el espesor, dejándolos cubiertos de grasa para evitar la oxidación, con el propósito de identificar el punto de control con fines estadísticos. Esta práctica de eliminar la pintura puede evitarse en los casos en que el Centro de Trabajo realice mediciones de espesor con

aparatos con capacidad de discriminar el espesor correspondiente a la pintura y que la superficie metálica sea suficientemente uniforme y no requiera de pulirse.

- 9 Las líneas construidas con materiales especiales y que de diseño en algunos casos no se consideró el margen de corrosión correspondiente, como por ejemplo titanio, acero inoxidable, aluminio, etc., se miden a un 25% de sus niveles de medición en dos fechas espaciadas más de un año, para comprobar que el material se comporte como se planeó y por lo tanto que no hay desgaste, así como para tener datos estadísticos de referencia. Si esto se comprueba, se programa a 5 años la fecha de próxima medición, midiendo con una intensidad de 10%. Si es al contrario, se hará el análisis respectivo según el procedimiento.
- 10 En las tuberías y equipos con recubrimientos metálicos integrales internos (clad, overlay), se procede como se mencionó en el punto 10.9.
- 11 Es conveniente que cuando se esté midiendo una tubería o un equipo, también se midan los espesores de los arreglos de niplería usando el transductor adecuado, para posteriormente registrar estos valores en los formatos correspondientes del procedimiento de revisión de niplería.
- 12 En las líneas en donde existan variaciones en las condiciones de operación, como por ejemplo las que tienen instaladas válvulas reductoras de presión en las cuales una de las condiciones de operación como es la presión, sufre una variación, se considera como 2 unidades de control, una antes y otra después de la válvula.

## CONCLUSIONES

Después del trabajo realizado se pueden establecer las conclusiones siguientes:

1. Primero, se da por hecho que es sumamente importante el control y monitoreo de espesores realizados a tuberías de proceso, tanto dentro de las instalaciones de PEMEX, como dentro de cualquier industria (que para la elaboración de sus productos utilice hidrocarburos y sustancias altamente corrosivas), ya que esta de por medio la integridad física de las instalaciones, y mucho más importante la integridad de las personas que en ella laboren, ya que este trabajo de tesis es un medio de prevención y corrección.

2. El uso de la tecnología es indispensable para el desarrollo de esta actividad, ya que ahorra tiempo y dinero, al emplear menos personal en el desarrollo de la misma, y nos da la certeza de que nuestros resultados son confiables. Es por eso que la planeación para el desarrollo de esta actividad, tiene que basarse en un análisis costo beneficio, en donde se consideren las condiciones de trabajo y condiciones de los trabajadores, así como las instalaciones en donde se desarrolle.

3. Para el desarrollo de las actividades mostradas en esta tesis es indispensable que en la práctica se haga una medición del trabajo, para establecer estándares que nos permitan determinar la cantidad promedio de niveles medidos por empleado, ya que existe demasiado tiempo ocioso, generado por el paternalismo, proteccionismo e interés de grupos de personas que no buscan más que el beneficio personal. Y como ya se mencionó es necesario mantener monitoreado el 100 % de las líneas, para no poner en riesgo la integridad física de las instalaciones y de las personas.

4. Gracias al desarrollo de esta tesis nos damos cuenta de la importancia de los conocimientos adquiridos durante la estancia en la mayor casa de estudios de nuestro país, la Universidad Nacional Autónoma de México, que no solo nos aportó conocimientos técnicos, sino la experiencia de personas que han dado su vida por la docencia, personas que cargan en su espalda la responsabilidad de estar en esta institución, y que saben lo difícil que es competir hoy en día con personas que vienen de instituciones privadas. Pero gracias a esto nos dimos cuenta que el éxito está en nuestras manos y que es responsabilidad de nosotros el poner a la Universidad Nacional Autónoma de México en el lugar que se merece.

## BIBLIOGRAFÍA

1. “*Procedimiento para el registro, análisis y programación de la medición preventiva de espesores*”, DG-GPASI-IT-00204, Dirección General – Gerencia de Protección al Ambiente y Seguridad Industrial, Petróleos Mexicanos. Abril 1998.
2. “*Espesores de retiro para tuberías, válvulas y conexiones metálicas, empleadas en el transporte de fluidos*”. DG-ASIPA-IT00008 (NORMA AVIII-4), Dirección General – Auditoría de Seguridad Industrial y Protección Ambiental, Petróleos Mexicanos. Revisión 1991.
3. “*Process piping*”, ASME B31.3 2002.
4. “*Welded and Seamless Wrought Steel Pipe*”, ASME/ANSI B 36.10.
5. “*Corrosión Industrial*”,  
José Antonio Ortega Márquez  
ED. MARCOMBO BOIXXAREU, España, 1999.
6. “*Desgaste de Materiales*”,  
A.P. Sarkavz,  
Ed. NORIEGA-LIMUSA, México, 1990.
7. “*Ciencia e Ingeniería de Materiales*”,  
Donald R. Askeland,  
Ed. THOMSON, México, 1998.
8. “*Manual del Montador y Soldador de Tuberías*”,  
T.W. Frankland,  
Ed. AGT EDITOR SA, México, 2000.
9. “*Biblioteca de Consulta Microsoft ® Encarta ® 2005*”. © 1993-2004 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.
10. [http://www.panametrics-ndt.com/ndt/ndt\\_technology/ultrasonic\\_thickness.html](http://www.panametrics-ndt.com/ndt/ndt_technology/ultrasonic_thickness.html)

# APENDICES



**REGISTRO DE MEDICION DE ESPESORES**

<b>PEMEX - REFINACION</b> GERENCIA DE PROTECCION AMBIENTAL Y SEGURIDAD INDUSTRIAL	CENTRO DE TRABAJO:
	SECTOR O AREA:
	PLANTA O INSTALACION:

CIRCUITO:	
UNIDAD DE CONTROL:	

DESCRIPCIÓN					FECHA DE MEDICIÓN							
NIVEL DE MEDICION	PIEZA	PUNTO DE MEDICION	DIAM. NOM. ESP. ORIG.	LIMITE DE RETIRO	ESPE	VELOCIDAD DE	ESPE	VELOCIDAD DE	ESPE	VELOCIDAD DE	ESPE	VELOCIDAD DE
					SOR	DESGASTE	SOR	DESGASTE	SOR	DESGASTE	SOR	DESGASTE
1												
2												
3												
4												
5												
6												
7												
8												
9												
10												

OBSERVACIONES \_\_\_\_\_

ELABORÓ \_\_\_\_\_

NOMBRE Y FIRMA

EQUIPO UTILIZADO: \_\_\_\_\_

DG-GPASI-HT-00204-2





<b>PEMEX REFINACIÓN</b> Gerencia de Protección Ambiental y Seguridad Industrial	<b>EMPLAZAMIENTO</b>
	CENTRO DE TRABAJO:
	SECTOR O ÁREA:
SUBDIRECCIÓN:	PLANTA O INSTALACIÓN:

Emplazamiento número:	Fecha:
-----------------------	--------

Sr. Ing. \_\_\_\_\_  
Responsable de Mantenimiento.  
Presente.

En la medición de espesores efectuada el día \_\_\_\_\_ a la  
unidad de control \_\_\_\_\_ localizada en el circuito de  
\_\_\_\_\_ se encontró una velocidad de desgaste de \_\_\_\_\_ mpa., con un  
espesor mínimo de \_\_\_\_\_ pulgadas, siendo su vida útil estimada de acuerdo al  
procedimiento vigente de \_\_\_\_\_ años, lo cual nos obliga a retirar la mencionada unidad de  
control en la fecha \_\_\_\_\_.

El desgaste observado corresponde a un mecanismo de corrosión:

<input type="checkbox"/> Sulfídrica a alta temperatura.	<input type="checkbox"/> En medio ácido húmedo.
<input type="checkbox"/> Por ácidos nafténicos.	<input type="checkbox"/> En medio alcalino húmedo.
<input type="checkbox"/> Galvánica.	<input type="checkbox"/> En ZAC por esfuerzos residuales.
<input type="checkbox"/> Por exfoliación selectiva.	<input type="checkbox"/> Erosión , flujo en dos fases.
<input type="checkbox"/> Bajo depósito (celda de concentración).	<input type="checkbox"/> CO2 - H2O.
	<input type="checkbox"/> Otros.

Solicito a usted ordenar su fabricación de acuerdo con el dibujo anexo, en donde se señalan las partes a prefabricar, así como las especificaciones correspondientes.

Observaciones:

A t e n t a m e n t e

\_\_\_\_\_  
Responsable de Inspección y Seguridad

cc.- Gerencia Unidad de Producción, Distribución o Comercial.  
Gerencia de Protección Ambiental y Seguridad Industrial.  
Subdirección Operativa.  
Superintendencia Local de Mantenimiento.  
Ingeniero de Inspección y Seguridad.

GPASI-IT-00204-4

<b>PEMEX REFINACIÓN</b> Gerencia de Protección Ambiental y Seguridad Industrial	<b>SOLICITUD DE FABRICACIÓN</b>
	CENTRO DE TRABAJO:
	SECTOR O ÁREA:
SUBDIRECCIÓN:	PLANTA O INSTALACIÓN:

Sr. Ing. \_\_\_\_\_  
Responsable de Mantenimiento.  
Presente.

La unidad de control \_\_\_\_\_ localizada en el circuito de  
está fuera de especificación por:

---

El problema observado tipifica como:

<input type="checkbox"/> SCC por ácidos poliónicos.	<input type="checkbox"/> Corrosión intersticial (hendidura).
<input type="checkbox"/> HIC o ampollamiento.	<input type="checkbox"/> Corrosión exterior-ambiente agresivo.
<input type="checkbox"/> Sensitización por precipitación de carburos (en aceros inoxidable).	<input type="checkbox"/> Fragilización descarburización por Ataque de Hidrógeno a alta temperatura.
<input type="checkbox"/> SCC por halógenos.	<input type="checkbox"/> 2a( ) 3a( ) etapa de Creep.
<input type="checkbox"/> SSCC por Azufre.	<input type="checkbox"/> Carburización - fragilización.
<input type="checkbox"/> Fragilización por revenido.	<input type="checkbox"/> Fragilización cáustica.
<input type="checkbox"/> Fatiga térmica / mecánica.	<input type="checkbox"/> Defectos inaceptables de soldadura.
<input type="checkbox"/> Corrosión por humedad bajo aislamiento.	<input type="checkbox"/> Unión de materiales heterogéneos (coeficiente de dilatación).
<input type="checkbox"/> Material inapropiado.	<input type="checkbox"/> Otros.

Solicito a usted ordenar su fabricación de acuerdo con el dibujo anexo, en donde se señalan las partes a fabricar, así como las especificaciones correspondientes, debiendo programarse su cambio a más tardar el \_\_\_\_\_.

Observaciones:

A t e n t a m e n t e

\_\_\_\_\_  
Responsable de Inspección y Seguridad

cc.- Gerencia Unidad de Producción, Distribución o Comercial.  
Gerencia de Protección Ambiental y Seguridad Industrial.  
Subdirección Operativa.  
Superintendencia Local de Mantenimiento.  
Ingeniero de Inspección y Seguridad.

GPASI-IT-00204-5

<b>PEMEX REFINACIÓN</b> Gerencia de Protección Ambiental y Seguridad Industrial	<b>NOTIFICACION DE EJECUCIÓN</b>
	CENTRO DE TRABAJO: _____
SUBDIRECCIÓN: _____	SECTOR O ÁREA: _____
	PLANTA O INSTALACIÓN: _____

Sr. Ing. \_\_\_\_\_  
Responsable de Inspección y Seguridad.  
Presente.

**Asunto: Notificación de ejecución de cambio total de piezas o equipo afectado**  
( ) emplazamiento ( ) solicitud de fabricación, número: \_\_\_\_\_

Con fecha \_\_\_\_\_ qued( ) instalad( ) la(s) el (los) equipo(s)  
\_\_\_\_\_ que fue(ron) solicitado(s) para cambio, de acuerdo  
( ) emplazamiento ( ) solicitud de fabricación número:  
de fecha: \_\_\_\_\_. Al estudiarla(s) pieza(s) el (los) equipo(s)  
retirado(s) del servicio, se determinó que el ( ) adelgazamiento ( ) deterioro fué debido a:  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Observaciones:

Grupo técnico número \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Responsable del Área Operativa.

\_\_\_\_\_  
Responsable del Área de Seguridad Industrial.

\_\_\_\_\_  
Responsable del Área de Mantenimiento.

- cc.- Gerencia del Centro de Trabajo.  
Gerencia Unidad de Producción, Distribución o Comercial.  
Gerencia de Protección Ambiental y Seguridad Industrial.  
Subdirección Operativa.  
Superintendencia Local de Mantenimiento.  
Ingeniero de Inspección y Seguridad.

GPASI-IT-00204-6
------------------

**LIMITES DE RETIRO ABSOLUTOS PARA TUBERIA, VALVULAS Y CONEXIONES DE A**

Ø NOMINAL	Ø EXTERIOR	ESPESOR ORIGINAL TUBERIA											LIMITE DE RETIRO		
		CED. 10	CED. 20	CED. 30	S.T.D.	CED. 40	X.S.	CED. 60	CED. 80	CED. 120	CED. 160	X.X.S.	E.P.	E.R.	V.C.
3/8 "	0.675	-----	-----	-----	0.091	0.091	0.126	-----	0.126	-----	-----	-----	0.080	0.110	0.115
1/2 "	0.840	-----	-----	-----	0.109	0.109	0.147	-----	0.147	-----	0.188	0.294	0.090	0.120	0.125
3/4 "	1.050	-----	-----	-----	0.113	0.113	0.154	-----	0.154	-----	0.219	0.308	0.090	0.120	0.125
1 "	1.315	-----	-----	-----	0.133	0.133	0.179	-----	0.179	-----	0.250	0.358	0.090	0.120	0.125
1 1/2 "	1.900	-----	-----	-----	0.145	0.145	0.200	-----	0.200	-----	0.261	0.400	0.100	0.120	0.138
2 "	2.575	-----	-----	-----	0.154	0.154	0.218	-----	0.218	-----	0.344	0.436	0.100	0.130	0.154
2 1/2 "	2.875	-----	-----	-----	0.205	0.203	0.276	-----	0.276	-----	0.375	0.552	0.100	0.140	0.170
3 "	3.500	-----	-----	-----	0.216	0.216	0.300	-----	0.300	-----	0.438	0.600	0.100	0.150	0.187
4 "	4.500	-----	-----	-----	0.237	0.237	0.337	-----	0.337	0.438	0.531	0.674	0.120	0.170	0.212
6 "	6.625	-----	-----	-----	0.280	0.280	0.432	-----	0.432	0.562	0.719	0.864	0.150	0.190	0.257
8 "	8.625	-----	0.250	0.277	0.322	0.322	0.500	0.406	0.500	0.719	0.906	0.875	0.180	0.200	0.294
10 "	10.750	-----	0.250	0.307	0.365	0.365	0.500	0.500	0.594	0.844	1.125	1.000	0.190	0.230	0.328
12 "	12.750	-----	0.250	0.330	0.375	0.406	0.500	0.562	0.688	1.000	1.312	1.000	0.190	0.240	0.357
14 "	14.000	0.250	0.312	0.375	0.375	0.438	0.500	0.594	0.750	1.094	1.406	-----	0.190	0.250	0.357
16 "	16.000	0.250	0.312	0.375	0.375	0.500	0.500	0.656	0.844	1.219	1.594	-----	0.190	0.250	0.357
18 "	18.000	0.250	0.312	0.438	0.375	0.562	0.500	0.730	0.936	1.375	1.781	-----	0.190	0.250	0.357
20 "	20.000	0.250	0.375	0.500	0.375	0.594	0.500	0.812	1.031	1.500	1.909	-----	0.190	0.250	0.357
22 "	22.000	0.250	0.375	0.500	0.375	-----	0.500	0.875	1.125	1.625	2.125	-----	0.190	0.250	0.357
24 "	24.000	0.250	0.375	0.562	0.375	0.688	0.500	0.969	1.219	1.812	2.344	-----	0.190	0.250	0.357
26 "	26.000	0.312	0.500	-----	0.375	-----	0.500	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
28 "	28.000	0.312	0.500	0.625	0.375	-----	0.500	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
30 "	30.000	0.312	0.500	0.625	0.375	-----	0.500	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
32 "	32.000	0.312	0.500	0.625	0.375	0.688	0.500	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
34 "	34.000	0.312	0.500	0.625	0.375	0.688	0.500	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
36 "	36.000	0.312	0.500	0.625	0.375	0.750	0.500	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

ESPESORES ORIGINALES DE ACUERDO CON ANSI/ASMES B36.10

ESPESORES ABSOLUTOS DE RETIRO DE ACUERDO CON NORMA PEMEX A

S.T.D.: STANDARD

X.X.S.: EXTRA EXTRA RESISTENT

E.P.: TUBERIA CON EXTREMOS PLANOS

X.S.: EXTRA RESISTENTE

E.R.: TUBERIA CON EXTREMOS ROSCADOS

V. y C.: VALVULAS Y CONEXIONES