



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**DESARROLLO DE UN SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN
DE REGISTROS DE ESPESORES DE LÍNEAS Y EQUIPOS**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO METALÚRGICO

P R E S E N T A

DANIEL MORENO MARTÍNEZ



MÉXICO, D.F.

2009



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: **PROFESOR: DOMINGO ALARCON ORTIZ**
VOCAL: **PROFESOR: DAVID GUTIERREZ GARAVITO**
SECRETARIO: **PROFESOR: MODESTO JAVIER CRUZ GOMEZ**
1ER. SUPLENTE: **PROFESOR: GUILLERMO ANTONIO SEGURA ESPINOSA**
2° SUPLENTE: **PROFESOR: JOSE SABINO SAMANO CASTILLO**

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

FACULTAD DE QUÍMICA, CONJUNTO E, LABORATORIO 212

ASESOR DEL TEMA: DR. MODESTO JAVIER CRUZ GOMEZ _____

SUPERVISOR TÉCNICO: M. EN I. LUIS FERNANDO PEREZ LARA _____

SUSTENTANTE: DANIEL MORENO MARTÍNEZ _____

Índice

1	INTRODUCCIÓN	7
1.1	Justificación	7
1.2	Objetivos	10
2	MARCO TEORICO	11
2.1	Refinación del petróleo	11
2.2	Corrosión	14
2.3	Estudio y análisis del trabajo de inspección de espesores	15
2.3.1	Métodos especiales para detectar defectos mecánicos	22
2.3.2	Cambios metalúrgicos y análisis in-situ de los metales	24
2.3.3	Inspección visual externa	25
2.3.4	Prueba del martillo	26
2.3.5	Inspección visual interna	27
2.3.6	Medición de espesores	27
2.3.7	Localización de los puntos de medición de espesores	28
2.4	Análisis estadístico posterior	30
2.5	Programación orientada a objetos	33
2.5.1	Objetos	34
2.5.2	Clases	35
2.5.3	Herencia	36
2.5.4	Visibilidad de los miembros de una clase	36

2.5.5	Campos	37
2.5.6	Métodos	37
2.5.7	Constructores	38
2.5.8	Destruyores	39
2.5.9	Receptores de mensajes	41
2.5.10	Propiedades	41
2.5.11	Acceso a las propiedades	42
2.5.12	Referencia a las clases	43
2.5.13	Excepciones	43
2.5.14	Interfaces	44
2.5.15	Tipos de interfaz	44
2.5.16	Herencia	45
2.5.17	Propiedades de la interfaz	46
2.5.18	Implementación de interfaces	46
2.5.19	Referencias a una interfaz	47
2.5.20	Compatibilidad en la asignación de la interfaz	48
2.6	Framework o infraestructura	48
2.6.1	La infraestructura .NET	49
2.7	Modelos de dominio	49
3	DESARROLLO DEL SISTEMA	52
3.1	Intención del sistema	52
3.1.1	Entradas al sistema	52

3.1.2	Salidas del sistema	52
3.1.3	Elementos adicionales	53
3.2	Descripción del dominio	53
3.2.1	Clases que determinan las ubicaciones	53
3.2.1.1	Refinería	53
3.2.1.2	Sector	54
3.2.1.3	Planta	55
3.2.1.4	Circuito	55
3.2.2	Corazón del dominio	56
3.2.2.1	Unidad de control	56
3.2.2.2	Unidad de control de tubería	57
3.2.2.3	Unidad de control de sección de equipo	58
3.2.2.4	Inspección	59
3.2.2.5	Parte de espesor medible	60
3.2.2.6	Punto de medición	61
3.2.2.7	Medición de espesor	62
3.2.3	Clases responsables del desarrollo de la aplicación	63
3.2.3.1	Análisis de espesores	63
3.2.3.2	Análisis por punto	63
3.2.3.3	Clasificador de niveles	64
3.2.3.4	Análisis por grupo de diámetros	64
3.3	Implementación del sistema	65

3.3.1	Sistema	65
3.3.2	Ejemplos de uso	65
3.3.2.1	Captura de calibraciones	66
3.3.2.2	Realizar el análisis de la calibración	70
3.3.2.3	Consulta de calibraciones	71
3.3.2.4	Elaborar el reporte de calibración	71
3.3.2.5	Registro de personal y equipo para inspecciones	72
3.3.3	Revisión	72
4	CONCLUSIONES	77
5	BIBLIOGRAFIA	79

Índice de abreviaturas y términos técnicos

mpa milésimas de pulgada por año

milis milésimas de pulgada

Circuito: Es el conjunto de líneas y equipos que manejan un fluido de la misma composición, pudiendo variar en sus diferentes partes las condiciones de operación.

Equipos: Son todos aquellos dispositivos (recipientes, cambiadores, bombas, tanques de almacenamiento, etc.), que conjuntamente con las líneas integran los circuitos. Cabe hacer notar que éstos por lo general, se encuentran sujetos a corrosión variable, por lo que las unidades de control en este caso pueden ser equipos enteros o partes de los mismos que presenten similares condiciones de corrosión.

Línea: Es el 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.

Unidad de control: Se define como secciones de circuitos que tienen una velocidad de corrosión más o menos homogénea. En el caso de tuberías, la unidad de control será la línea.

1 Introducción

1.1 Justificación

En una refinería de petróleo todos los días se manejan distintos productos y sustancias químicas, las cuales son contenidas en tanques de diversos tamaños, son procesadas en distintos tipos de reactores y son transportadas por medio de una compleja red de tuberías. Todos estos contenedores, equipos y tuberías fabricados de diversos metales se ven sometidos diariamente a efectos corrosivos, desgaste mecánico y corrosión atmosférica que ponen en riesgo su integridad mecánica. Con el paso del tiempo el desgaste de las piezas avanza a tal grado que los requerimientos mínimos de seguridad ya no son satisfechos, produciendo grietas y adelgazamiento de paredes que finalmente pueden ocasionar fugas y/o explosiones que terminan en desastres.

Entre las posibles consecuencias de estos sucesos se encuentran:

- Contaminación del medio ambiente y daño al ecosistema.
- Daños a la salud e integridad física de los trabajadores de la refinería, afectando económicamente a sus familias.
- Daños al ambiente que afectan a quienes habitan alrededor de la refinería.
- Altos costos de reparación y reemplazo no previsto de piezas.
- Daño a la imagen pública de la refinería.

Para evitar este tipo de situaciones es imperativo conocer a detalle el estado de los equipos que contienen dichas sustancias así como el de las líneas que las transportan, para poder definir un programa efectivo de mantenimiento preventivo y así tomar decisiones sobre las fechas de reparación y remplazo de las piezas involucradas.

El estado de las piezas, propiamente el espesor de las paredes de tuberías y equipos, se evalúa tomando mediciones ultrasónicas en puntos específicos a lo largo de las líneas y en ciertos lugares de los equipos. Estas mediciones o registros son capturadas y posteriormente se comparan con registros de los mismos puntos en fechas anteriores y se efectúa un análisis estadístico. A través de éste análisis es posible predecir la vida útil de las piezas y por lo tanto programar futuras mediciones y la fecha de remplazo de cada pieza.

La cantidad de información obtenida y los cálculos estadísticos que se deben realizar representan mucho trabajo para ser efectuados utilizando tan solo una calculadora, lápiz y papel. Y aun más importante, la posibilidad de cometer errores aumenta al realizar un trabajo largo y tedioso.

Una de las dificultades encontradas durante este proceso es que una vez que se han hecho las inspecciones y se ha efectuado el análisis estadístico, toda esa información es almacenada en papel, en expedientes y no se tiene acceso ágil cuando se necesita, además de la dificultad inherente para administrar, mantener y programar adecuadamente los trabajos. Esto provoca que aunque la información se tenga, ésta sea inutilizable y de alguna manera el trabajo realizado pierde su valor.

Es por lo anteriormente expuesto que se propone el desarrollo de un sistema informático que de una manera automática se encargue de la administración de toda la información generada durante las calibraciones de espesores, así como de realizar el análisis estadístico y los cálculos de fechas de inspección y de remplazo; que sea capaz de mostrar la información de manera condensada y también de forma gráfica para facilitar y agilizar su consulta, y sobre todo, que tenga acceso a la información en el momento en que ésta se requiere. De esta manera los trabajos de inspección serán más eficientes, los programas de mantenimiento preventivo tendrán una valiosa herramienta para mantener en estado óptimo las instalaciones y por ende nuestras refinerías serán más seguras.

1.2 Objetivos:

- Planificar y desarrollar un sistema informático enfocado a la captura y administración de registros de mediciones de espesores de líneas y equipos de una refinería de PEMEX.
- Programar la aplicación para que muestre la información de manera tanto condensada como en gráficas.
- Configurar la aplicación para que el manejo de ésta sea fácil, rápido y amigable para el personal de PEMEX.
- Aplicar tecnología de vanguardia para evitar el construir toda la infraestructura y aprovechar esa energía directamente en el negocio.
- Adaptar la aplicación a la normatividad de PEMEX y del API.

2 Marco teórico

2.1 Refinación del petróleo

El petróleo, resultado de cambios físicos y químicos en la materia orgánica que se ha acumulado durante miles de años bajo la superficie terrestre, fue descubierto y utilizado de diversas maneras desde la antigüedad y ahora se ha convertido en uno de los bienes más preciados de los países modernizados.

La refinación de petróleo, comparada con otros procesos químicos es relativamente de bajo costo. Básicamente existen dos ramas principales que son los procesos de separación y los procesos de conversión.

Los procesos de separación fueron los primeros en desarrollarse. Las primeras refinerías por medio de diversas técnicas de destilación sólo separaban los componentes del petróleo en sus distintas fracciones. Posteriormente se aplicaba algún tipo de tratamiento químico o térmico para mejorar la calidad del producto. Aunque las operaciones unitarias que se emplean en la refinación pueden ser muy simples y comunes, las conexiones e interacciones entre ellas actualmente pueden ser muy complejas. Una fraccionadora de crudo consta de intercambiadores de calor, un horno, una torre de destilación fraccionada, columnas para arrastre con vapor, condensadores, enfriadores y elementos auxiliares. Por lo general hay tanques para almacenamiento temporal en la unidad, con frecuencia hay grandes tanques de tratamiento, utilizados para eliminar componentes indeseables, sobre todo el azufre, tanques para combinar y mezclar, tanques para recibir y almacenar petróleo crudo, un sistema de recuperación de vapor, sistemas para control de incendios y derrames, y otros sistemas auxiliares. Además una sala de calderas y un sistema de generación de energía eléctrica y un cuarto de control.

Dentro de los procesos de conversión existe una gran diversidad de procesos actualmente en uso, la mayoría de ellos son procesos patentados. Como el craqueo o desintegración, que al aplicar calor y presión a las fracciones más pesadas del petróleo se convertían en otras

más pequeñas, dentro de los límites de los puntos de ebullición de la gasolina, aunque se obtiene una gasolina de mejor calidad, ya que contiene más olefinas e hidrocarburos de cadena ramificada que en la gasolina de la primera corrida de destilación. Otros procesos de conversión química son la alquilación, la isomerización, la hidrogenación, la polimerización, el reformado y la deshidrogenación.

2.2 Corrosión

La corrosión es un fenómeno que invariablemente se presentará siempre que tengamos piezas metálicas. Ya sea por los productos que se manejan, por el contacto con otros metales o con el aire mismo, la corrosión siempre estará presente dañando y debilitando las estructuras, contenedores, tuberías y demás piezas metálicas. Aunque la corrosión no puede detenerse, sí puede atenuarse, disminuyendo sus efectos por medio de distintos métodos y técnicas que han ido desarrollándose desde la antigüedad.

Existe un gran esfuerzo de la industria para disminuir los efectos de la corrosión, tanto por cuestiones económicas, de seguridad, estéticas y funcionales. Los métodos más comúnmente utilizados son variados, y van desde recubrimientos metálicos, recubrimientos con pinturas, protección catódica, ánodos de sacrificio, entre otros. La selección del

método a utilizar depende de las condiciones específicas del proceso y de la región donde se pretende adaptar el sistema, además de los recursos económicos que se piensan invertir.

Dentro de la refinería, debido a que los reactores, equipos y tuberías son metálicos, son vulnerables a los efectos corrosivos que pueden ser causados por reacciones químicas con alguna de las sustancias que contienen y transportan, o causadas por corrosión ambiental, ya que todo se encuentra expuesto a la intemperie. Independientemente de los esfuerzos que se han hecho para mantener la corrosión en un nivel bajo y aceptable es imposible detenerla, por lo que es necesario un plan de inspección y remplazo de piezas de tubería y equipos.

2.3 Estudio y análisis del trabajo de inspección de espesores

El trabajo de inspección que se realiza en la refinería debe ser programado previamente y debe ser autorizado por el ingeniero de seguridad del área. Una vez que se ha autorizado, el inspector y su ayudante salen al área equipados con el diagrama isométrico en papel de la unidad de control que van a revisar y el equipo ultrasónico correspondiente. Por medio del diagrama isométrico identifican la línea

que deben inspeccionar y después de haber calibrado el equipo proceden a realizar las mediciones; mientras el inspector realiza las mediciones el ayudante anota en el formato DG-GPASI-IT-00204-1 los valores que el inspector le va dictando.

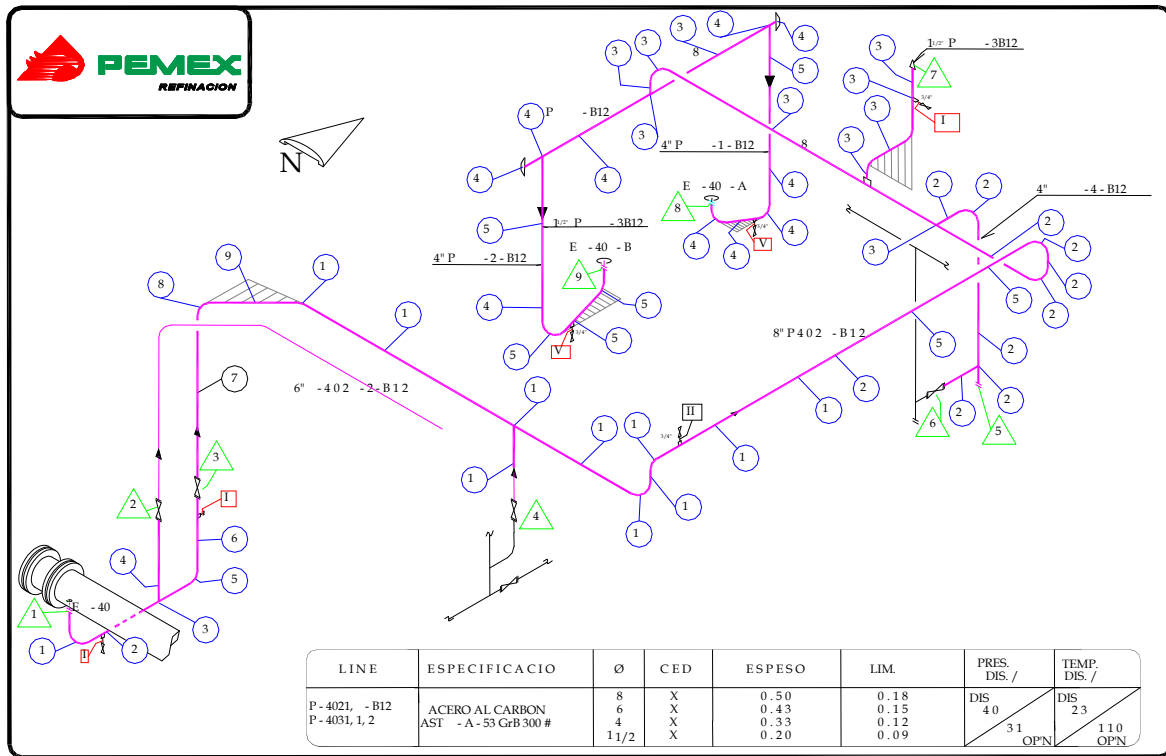


Figura 2. Diagrama isométrico

Debido a la naturaleza de los productos transportados en los sistemas de tuberías todas las precauciones y medidas de seguridad deberán ser tomadas en cuenta cuando los sistemas son inspeccionados. Los procedimientos para medir espesores deben ser una parte integral de las prácticas de seguridad. Todas las precauciones de seguridad deberán ser tomadas antes de que cualquier tipo de inspección sea llevado a cabo.

Antes de comenzar la inspección, todo el personal involucrado en ésta debe obtener el permiso correspondiente del responsable de área para trabajar en el área de proceso. El equipo de seguridad, requerido para cada área, debe ser utilizado.

En general los inspectores deben estar familiarizados con los resultados de inspecciones anteriores y reparaciones en el sistema de tuberías en el que se encuentran trabajando.

Existen ciertos casos que requieren de atención especial, como son los **puntos de dosificación o alimentación**, que en algunas ocasiones sufren de corrosión acelerada o localizada. Estos puntos pueden ser tratados como unidades de control separadas, teniendo su propio calendario y monitoreo de corrosión.

La velocidad de corrosión en las **purgas** puede variar mucho con respecto a la de la línea viva de la que salen. El inspector debe monitorear el espesor de las paredes en purgas seleccionadas, incluyendo tanto la terminal estancada como la conexión a la línea activa. Debe considerarse remover todas las purgas que ya no son útiles para el proceso.

La inspección externa de los sistemas de tubería aislados debe incluir una revisión de la integridad del sistema de aislamiento para condiciones que podrían ocasionar **corrosión bajo aislamiento**. Las fuentes más comunes de corrosión bajo aislamiento son lluvia, goteras, condensación y sistemas de aspersión de agua. La forma más común de este tipo de corrosión es corrosión localizada de acero al carbono.

La extensión de un programa de inspección de corrosión bajo aislamiento puede variar dependiendo del clima local, así localidades con un clima marítimo cálido requerirán de un programa muy activo, mientras que localidades con ambientes templados y secos no requerirán de un programa tan dinámico.

Ciertas áreas y tipos de sistemas de tuberías son potencialmente más susceptibles a este tipo de corrosión, como las áreas expuestas al rocío de las torres enfriadoras o a corrientes de vapor o de aspersión de agua. También aquellas regiones cuya temperatura varía intermitentemente provocando ciclos de vaporización y condensación de agua u otros elementos. Purgas que sobresalen del aislamiento y operan a una temperatura distinta al de la línea. Sistemas de tubería que se ven

afectados por algún tipo de vibración, el cual daña el aislamiento creando grietas por donde se filtra el agua hasta llegar a la tubería.

Estas áreas pueden tener localizaciones específicas las cuales son más susceptibles a la corrosión bajo aislamiento, como pueden ser todas las ramificaciones y hendiduras del aislamiento ya sea en las purgas, soportes, válvulas y niplerías y todas las superficies de aislamiento irregular. La zona donde termina el aislamiento o donde éste está dañado o hace falta una parte, las costuras del aislamiento, salientes, entre otras.

En las áreas de flujo con cambios de dirección en un sistema de tubería usualmente ocurre erosión. La **erosión** se puede definir como la remoción de material superficial por la acción de numerosos impactos individuales de partículas de sólido o líquido. Puede estar caracterizada por surcos, agujeros redondos, ondas y valles en un patrón direccional. El daño por erosión usualmente se ve incrementado en flujos con grandes cantidades de partículas sólidas o líquidas fluyendo a altas velocidades. Una combinación de corrosión y erosión genera un daño mucho mayor al metal del que se podría esperar de cualquiera de los dos fenómenos por separado.

Si los distintos recubrimientos, tanto refractarios como resistentes a la corrosión se encuentran en buenas condiciones y no hay razón para sospechar de algún deterioro debajo de éstos usualmente no es necesario removerlos para una inspección de tubería. La efectividad de los forros resistentes a la corrosión se reduce en gran medida debido a las fracturas y discontinuidades del forro. El forro debe ser inspeccionado para verificar la existencia de separaciones, rupturas, hoyos y ampollas. Si se observa cualquiera de estas situaciones podría ser necesario remover porciones del recubrimiento interno para investigar la efectividad de éste y las condiciones de la tubería bajo el recubrimiento.

La **fractura por fatiga** de los sistemas de tubería suele darse por esfuerzos cíclicos excesivos que típicamente están por debajo del esfuerzo de fluencia del material. Los esfuerzos cíclicos pueden ser resultado de la presión, medios mecánicos o térmicos y pueden dar como resultado la fatiga del material.

Las fracturas por fatiga típicamente pueden ser detectadas en puntos donde se intensifican los esfuerzos, como ramificaciones de la línea. Aquellos lugares en donde ciertos metales que tienen diferentes coeficientes de expansión térmica se han unido por soldadura pueden

ser susceptibles a fatiga térmica. Algunos de los métodos recomendados para detectar fracturas por fatiga son la prueba de líquidos penetrantes o la prueba de partículas magnéticas.

Es importante que el inspector entienda que las fracturas por fatiga pueden causar fallas en la tubería antes de que sea detectada con cualquier método no destructivo. Del total del número de ciclos de fatiga requeridos para producir una falla, la gran mayoría son requeridos para iniciar una fractura y relativamente pocos ciclos son requeridos para propagar la fractura hasta la falla del material. Es por esa razón que el diseño e instalación apropiados son importantes para prevenir la iniciación de fracturas por fatiga.

A temperaturas bajo cero, el agua y otras soluciones acuosas en los sistemas de tuberías pueden congelarse y ocasionar fallas debido a la expansión de estos materiales. Si llegara a ocurrir una situación en la que la temperatura ambiente se encuentre a niveles tan bajos, es importante revisar los daños por el congelamiento a los componentes de las tuberías expuestas antes de que se descongelen. Si ha ocurrido alguna ruptura, las fugas pueden detenerse momentáneamente por el fluido congelado. Todos aquellos lugares que contengan agua se deben revisar cuidadosamente.

En algunas ocasiones el trabajo de inspección se torna más difícil, siendo a veces necesaria la utilización de una grúa para acceder a la línea o ésta se encuentra forrada para evitar pérdidas de calor, previamente debe realizarse un trámite en el que se pide el equipo especial que se utilizará.

Existen muchos métodos y herramientas especialmente diseñadas para la medición de espesores, la selección de estas herramientas depende de diversos factores:

- a. La accesibilidad a ambos lados del área que será medida.
- b. La necesidad de pruebas no destructivas.
- c. El tiempo disponible.
- d. La precisión deseada.
- e. El factor económico.

2.3.1 Métodos especiales para detectar defectos mecánicos

Para detectar defectos mecánicos dentro de estructuras metálicas existen diversos métodos, como el examen visual que es rápido y no se necesita de equipo sofisticado, más que de algunas lentes de aumento pero requiere de un inspector experimentado; el método de partículas magnéticas, ya sea en vía seca o húmeda suele ser muy útil para

encontrar defectos muy pequeños o bajo la superficie del metal; el método de líquidos penetrantes también es muy utilizado. Existen algunos otros métodos de inspección que requieren de equipo más sofisticado como las radiografías para encontrar defectos internos, ultrasonido convencional, ultrasonido con palpador angular para detectar defectos lineales perpendiculares a la superficie, ataque químico para revelar la estructura metálica, y remoción de muestras para analizarlas en laboratorio. Cada uno de estos ensayos se efectuará cuando las condiciones tanto económicas como de viabilidad de ejecución lo permitan.

También los métodos de corrientes de Eddy, corriente alterna y métodos ultrasónicos pueden utilizarse para la detección de defectos superficiales. Estas nuevas técnicas tienen la ventaja de una velocidad de inspección incrementada.

Las radiografías y ultrasonidos con palpador angular se utilizan para analizar defectos, típicamente en costuras de soldaduras que no son visibles sobre la superficie del metal.

El ataque químico de pequeñas áreas puede ser útil a veces para encontrar pequeñas fracturas superficiales. Primero la superficie debe

ser pulida con abrasivos. Entonces la solución química, normalmente un ácido, es utilizada para atacar, por medio de lavados, el área sospechosa. Debido a la naturaleza de la reacción resultante cualquier fractura se contrastará sobre el área circundante.

La remoción de muestras puede ser usada para revisar puntos de soldadura e investigar fracturas, laminaciones y otros defectos. Pequeñas muestras de metal se remueven del área afectada, la muestra es analizada bajo un microscopio o una lente de aumento ordinaria. Si pueden limpiarse adecuadamente las limaduras obtenidas durante la operación de corte pueden ser utilizadas para realizar un análisis químico del metal. La cavidad dejada en la pared del contenedor debe ser cuidadosamente reparada y la reparación debe ser minuciosamente inspeccionada. La decisión de remover muestras debe ser hecha por alguien que conoce como analizar los problemas relacionados a la reparación que se hace posteriormente.

2.3.2 Cambios metalúrgicos y análisis in-situ de los metales

Los métodos utilizados para detectar cambios mecánicos pueden ser utilizados también para detectar cambios metalúrgicos. Los ensayos metalográficos en sitio pueden ser utilizados para detectar estos cambios con equipo portátil de pulido y utilizando técnicas de

transferencia de réplicas. Los equipos de medición de dureza portátiles pueden utilizarse para detectar fallas e imperfecciones en tratamientos térmicos, carburizaciones, nitruraciones, descarburizaciones y otros procesos que causan cambios en la dureza del material.

Se pueden llevar a cabo ensayos químicos locales para detectar la contaminación por materiales ajenos a la composición química especificada. Algunos químicos como el ácido nítrico se utilizan en distintas concentraciones. Se limpia un punto sobre la superficie metálica y una gota del químico es colocada sobre la superficie. Un observador experimentado puede observar la reacción del ácido con la superficie metálica e identificar las impurezas presentes. Las corrientes de Eddy, rayos X fluorescentes y radiación entre otros instrumentos también son utilizados para la identificación de materiales.

Debido a que el acero no magnético usualmente se vuelve magnético cuando se carburiza, la carburización de acero inoxidable austenítico se puede detectar algunas veces por medio de un magneto.

2.3.3 Inspección visual externa

Una inspección visual externa se lleva a cabo para determinar la condición del exterior de la tubería, sistema de aislamiento, pintura y

recubrimiento, además del soporte físico asociado, para buscar señales de desalineamiento, vibración, fugas. La acumulación de los productos de corrosión es notoria en las áreas de contacto con el soporte de la tubería, puede ser necesario separar dichos soportes para hacer una revisión, extremando precauciones si la línea está en servicio.

2.3.4 Prueba del martillo

En este tipo de ensayo un martillo de inspección se utiliza para complementar la inspección visual. El martillo es utilizado para llevar a cabo las siguientes tareas:

- a. Localizar secciones delgadas en las paredes de recipientes.
- b. Revisar la tensión que hay en remaches, tornillos y similares.
- c. Buscar fracturas en forros metálicos.
- d. Examinar si existe falta de adherencia en concreto o recubrimientos refractarios.
- e. Remover acumulaciones de sarro para otras inspecciones.

En estos trabajos el martillo es utilizado golpeando suavemente el objeto que está siendo inspeccionado y captando el sonido, el eco y la hendidura resultante del golpe. La fuerza apropiada necesaria para los distintos tipos de ensayos puede ser aprendida solo a través de la experiencia. Las distintas pruebas de martillo son mucho menos

utilizadas ahora que en la antigüedad. No es recomendable realizar este tipo de pruebas a objetos que se encuentran bajo presión.

2.3.5 Inspección visual interna

Este tipo de inspección no se lleva a cabo usualmente. Cuando es posible y práctico la inspección visual interna puede ser programada para sistemas como líneas, ductos, líneas de catalizador y otros sistemas de tubería de gran diámetro. Dichas inspecciones son similares en naturaleza a las inspecciones de recipientes a presión. Las técnicas de inspección visual remota pueden ser útiles cuando se inspeccionan tuberías demasiado pequeñas para entrar.

2.3.6 Medición de espesores

La inspección de medición de espesores se lleva a cabo para determinar la condición interna y espesor remanente de los componentes de tubería. La medición de espesores puede ser obtenida cuando el sistema de tuberías está en operación o fuera de ésta. Los instrumentos de medición son ahora el medio primario de obtención de mediciones de espesores. Las radiografías y radiografías en tiempo real también pueden ser utilizadas aunque de una manera limitada para determinar

espesores de partes de recipientes como boquillas y conectores de tubería.

2.3.7 Localización de los puntos de medición de espesores

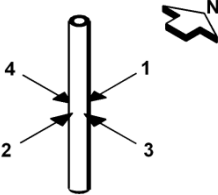
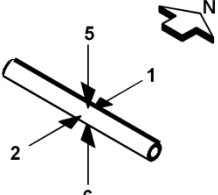
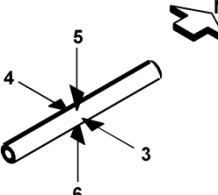
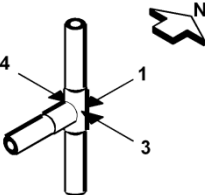
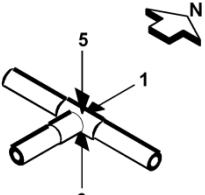
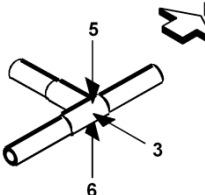
La localización de las mediciones de espesores (niveles) son áreas específicas a lo largo del circuito de tubería donde las inspecciones serán realizadas. La naturaleza de los niveles de medición varía de acuerdo a su localización en el sistema de tubería.

Cada sistema de tuberías debe ser monitoreado tomando mediciones de espesores en sus niveles. Estos niveles de medición deben ser distribuidos apropiadamente a lo largo de cada circuito de tubería.

PEMEX Refinación, conforme a su experiencia establece en su normatividad que cada pieza de tubería que se inspecciona debe medirse en cada uno de sus cuatro cuadrantes prestando especial atención a los radios internos y externos de los codos y las tes, donde la erosión puede incrementar significativamente la velocidad de desgaste, una unidad de control tiene en promedio 70 piezas de tubería y cada planta de la refinería tiene en promedio 180 unidades de control. Los niveles de medición deben ser identificados en el diagrama isométrico de la unidad de control para permitir que la próxima ocasión se hagan

mediciones en esos mismos puntos. Este tipo de registro de mediciones provee información más precisa para la determinación de la velocidad de corrosión. El Instituto Americano de Petróleo, dentro de sus recomendaciones API 570 establece que en teoría un circuito sujeto a una corrosión perfectamente uniforme podría ser monitoreado adecuadamente con una sola medición, sin embargo en la práctica se ha demostrado que la corrosión nunca es realmente uniforme, por lo que se necesitan niveles de medición adicionales.

Los cuatro puntos de medición de una pieza de tubería se localizan de acuerdo a la posición que ésta tiene con respecto al norte como se muestra en la Tabla 1.

Dibujo			
Notación con letras	N,S,O,P	N,S,A,B	O,P,A,B
Dibujo			
Notación con letras	N,X,O,P	N,X,A,B	O,X,A,B

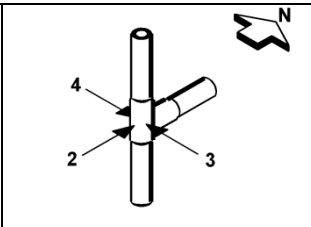
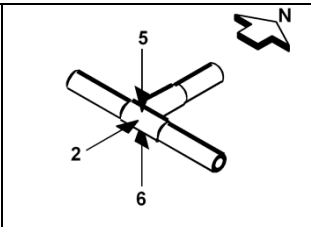
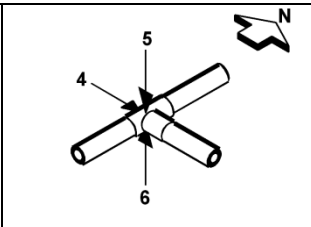
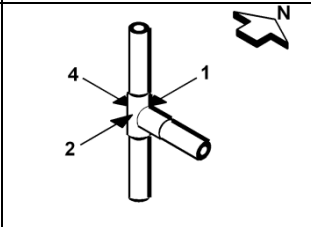
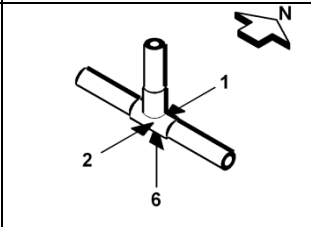
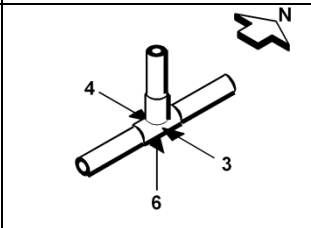
Dibujo			
Notación con letras	X,S,O,P	X,S,A,B	X,P,A,B
Dibujo			
Notación con letras	N,S,X,P	N,S,X,B	O,P,X,B

Tabla 1. Localización de los puntos de medición en piezas de tubería.

2.4 Análisis estadístico posterior

Una vez que se han medido los espesores de la unidad de control y anotado los valores en el formato se realiza un análisis de acuerdo a la Norma DG-GPASI-IT-00204 de PEMEX Refinación.

La velocidad de desgaste por punto es la rapidez con la que la pared de la tubería o equipo se desgasta debido a efectos corrosivos, desgaste mecánico y efectos atmosféricos, se mide en milésimas de pulgada por año y debe calcularse de acuerdo a la siguiente fórmula:

$$d = \frac{e_i - e_f}{f_f - f_i}$$

Donde:

d velocidad de desgaste en el punto [mpa]

e_i espesor obtenido en la fecha f_i [milis]

e_f espesor obtenido en la fecha f_f [milis]

f_f fecha de la medición que se está analizando [años]

f_i fecha de medición anterior [años]

La velocidad de desgaste promedio es la media aritmética de las velocidades de desgaste de la unidad de control, ésta y la velocidad máxima ajustada se calculan de la siguiente manera:

$$d_{prom} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{n}$$

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

donde:

d_i velocidad de desgaste correspondiente al punto i de la línea o equipo considerado

n número de valores de velocidades de desgaste que intervienen en el cálculo

d_{prom} promedio aritmético de las velocidades de desgaste [mpa]

d_{max} velocidad de desgaste promedio máxima ajustada estadísticamente [mpa]

La vida útil estimada es el tiempo supuesto que debe transcurrir antes de que la unidad de control llegue a su límite de retiro. La fecha de próxima medición de espesores es la fecha en la cual debe efectuarse la siguiente medición de la unidad de control, de acuerdo al análisis de la estadística. La fecha de retiro probable es la fecha en la cual se estima que debe retirarse la unidad de control, por haber llegado al término de su vida útil.

Se calculan de la siguiente manera:

$$VUE = \frac{e_k - L_r}{D_{max}}$$

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

$$FRP = f_k + VUE$$

donde:

L_r límite de retiro

e_k espesor más bajo encontrado en la última medición

f_k fecha de última medición

Toda esta información debe ser tratada estadísticamente y posteriormente se debe organizar y almacenar en grandes bases de datos para que después de cierto tiempo, durante la próxima inspección de espesores, pueda ser consultada de nuevo ya que debe ser incluida

en los cálculos de las nuevas fechas tanto de próxima medición como de retiro de la pieza. Esto significa que la información no se utiliza una sola vez sino que es consultada periódicamente durante todas las inspecciones que se le hacen a la pieza y hasta que ésta se cambia. Cabe mencionar el hecho de que el tipo de información con el que se está trabajando es verdaderamente importante, porque se trata de una cuestión de seguridad industrial que finalmente tiene fuertes consecuencias económicas tanto para bien como para mal, por lo que es de suma importancia mantener la integridad de los datos que se están manipulando. Debido a la gran cantidad de información con la que es necesario trabajar y a la gran importancia que tiene esta información, es necesario asegurar que es posible trabajar con tal volumen de datos y que éstos no se perderán ni sufrirán cambios. Es por estas razones que se ha decidido hacer una aplicación de esta magnitud, para que lleve a cabo tareas con las capacidades requeridas.

2.5 Programación orientada a objetos

La programación orientada a objetos es un modelo de programación basado en unidades de software llamadas **objetos**, en donde cada objeto tiene un **estado** y un **comportamiento**. La programación orientada a objetos se enfoca principalmente en las interacciones que tienen los objetos y en la manera en que éstos se enlazan para construir

programas completos y útiles, como las piezas de un rompecabezas para formar una imagen compleja.

Una clase define una estructura que contiene **campos, métodos** y **propiedades**, es el modelo o prototipo desde el cual los objetos son creados. Los campos, métodos y propiedades de una clase son sus **miembros o componentes**.

2.5.1 Objetos

Un objeto almacena su propio estado a través de campos (*variables* en algunos lenguajes de programación) y expresa su comportamiento por medio de métodos (*funciones* en algunos lenguajes de programación).

A los campos de un objeto sólo tiene acceso el mismo objeto, evitando que se haga mal uso de la información que el objeto contiene o que se intente guardar información distinta a la que el objeto puede almacenar.

Los métodos son procedimientos o funciones asociados a la clase, operan sobre el estado interno de cada objeto y sirven como mecanismo primario de comunicación entre objetos.

Una propiedad es una interface a la información asociada con un objeto (frecuentemente la que se encuentra almacenada en un campo). La única manera en que se puede modificar la información contenida en un objeto es a través de sus propiedades, los cuales tienen especificadores de acceso, los cuales determinan la manera en que la información es leída y almacenada, de esta manera cada objeto puede controlar su estado interno por medio de sus propiedades.

Los objetos son bloques de memoria creados dinámicamente cuya estructura está determinada por su clase. Cada objeto tiene una copia única de cada uno de los campos definidos en la clase, pero todos los casos de una clase comparten los mismos métodos. Los objetos son creados y destruidos por métodos especiales llamados constructores y destructores.

2.5.2 Clases

Una clase debe declararse antes de poder crear objetos a partir de ella. Las clases se declaran en el cuerpo principal del programa, no dentro de la declaración de procedimientos o funciones. Una clase, para poder declararse, necesita de un nombre, que es un identificador válido, la clase de quien hereda, si se necesita, y una lista de miembros, esto es, los campos métodos y propiedades de la clase.

2.5.3 Herencia

Cuando se declara una clase se puede especificar un ancestro inmediato. Cada clase hereda automáticamente todos los miembros de su clase ancestro. Cada clase puede declarar nuevos miembros y puede redefinir los que han heredado, pero no puede remover los miembros definidos en el ancestro.

2.5.4 Visibilidad de los miembros de una clase

Cada miembro de una clase tiene un atributo de visibilidad, el cual determina dónde y cómo se puede tener acceso a la propiedad.

Un miembro **privado** es invisible fuera de la unidad o programa donde su clase es declarada. En otras palabras, un método privado no puede ser llamado desde otro módulo, y un campo o propiedad privada no puede ser leída o escrita desde otro módulo.

Un miembro **protegido** es visible desde cualquier parte en el módulo donde su clase es declarada y desde cualquier clase derivada, sin importar el módulo donde la clase derivada aparece. En otras palabras, un método protegido puede ser llamado, y un campo o propiedad

protegida puede ser leída o escrita desde la definición de cualquier método perteneciente a una clase que descende de una donde el miembro es declarado.

Un miembro **público** es visible desde donde sea que la clase puede ser referenciada.

2.5.5 Campos

Un campo es como una variable que pertenece a un objeto. Los campos pueden ser de cualquier tipo, incluyendo el tipo clase, esto es, un campo que puede contener una referencia a otro objeto. Los campos usualmente son privados.

Para definir el miembro campo de una clase, simplemente se declara el campo como se declararía una variable. Todos los campos deben declararse antes de las propiedades y los métodos.

2.5.6 Métodos

Un método es un procedimiento o función asociado a una clase. Una llamada a un método especifica el objeto sobre el cual el método debe

de operar. Dentro de la declaración de la clase, los métodos aparecen como procedimientos y funciones.

Los métodos de las clases descendientes pueden sobrescribirse, esto es, se define una nueva funcionalidad para el método. Cuando se llama a un método sobrescrito en una clase descendiente, se ejecuta el método sobrescrito y no el de la clase que hereda.

Un método abstracto es un método que no tiene implementación en la clase donde es declarado. Su implementación se difiere para las clases descendientes. Sólo se puede llamar a un método abstracto desde una clase en la cual el método ha sido sobrescrito.

2.5.7 Constructores

Un constructor es un método especial que crea e inicializa objetos. Una clase puede tener más de un constructor, aunque la mayoría tiene sólo uno.

Para crear un objeto se llama al método constructor en la clase. Esto reserva un espacio para el nuevo objeto, inicializa todos los valores de los campos. Otras acciones especificadas en la implementación del constructor son efectuadas posteriormente; típicamente, los objetos son

inicializados basados en valores que son pasados al constructor como parámetros. Finalmente, el constructor regresa una referencia al recién localizado e inicializado objeto. El tipo de valor regresado es el mismo de la clase especificada en la llamada del constructor.

Si se lanza una excepción durante la ejecución del constructor que fue invocado en la referencia de la clase, el destructor es llamado automáticamente para destruir el objeto incompleto.

La primera acción de un constructor es usualmente llamar a un constructor heredado para inicializar los campos heredados del objeto. Entonces el constructor inicializa los campos introducidos en la clase descendiente. Debido a que un constructor siempre limpia el lugar donde se almacena el nuevo objeto, todos los campos inician con el valor de cero (los tipos ordinales), valor nulo (a las referencias y clases), valor vacío (los tipos cadena), o sin asignar (variantes). De ahí no hay necesidad de inicializar los campos en la implementación del constructor excepto a valores distintos de cero o vacío.

2.5.8 destructores

Un destructor es un método especial que destruye el objeto desde donde es llamado y libera la memoria. Aunque una clase puede tener

más de un destructor, es recomendable que cada clase sobrescriba el método destructor heredado y no declare otros destructores.

Para llamar a un destructor se debe hacer la referencia al objeto. Cuando se llama a un destructor, las acciones específicas en la implementación del destructor son llevadas a cabo primero. Típicamente, consisten en destruir todo objeto incorporado y liberar los recursos que fueron apartados para el objeto. Entonces el espacio que era ocupado por el objeto es liberado.

La última acción en la implementación del destructor es típicamente llamar al destructor heredado para destruir los campos heredados del objeto.

Cuando se lanza una excepción durante la creación de un objeto, se llama automáticamente al destructor para disponer del objeto incompleto. Esto significa que el destructor debe estar preparado para disponer de objetos parcialmente contruidos.

2.5.9 Receptores de mensajes

Los receptores de mensajes son métodos que implementan respuestas a mensajes despachados dinámicamente. Se utilizan para responder a los mensajes de Windows.

2.5.10 Propiedades

Una propiedad, como un campo, define un atributo a un objeto. Pero mientras un campo es meramente un lugar de almacenamiento cuyo contenido puede ser examinado y cambiado, una propiedad asocia acciones específicas con la lectura o modificación de su información. Las propiedades proveen control sobre el acceso a los atributos de un objeto y permiten que los atributos sean calculados.

La declaración de una propiedad debe especificar un nombre y un tipo, y especificar al menos un tipo de acceso. Las propiedades son definidas por especificadores de acceso. Una propiedad no necesariamente existe en memoria, podría ser un método de lectura que regresa un valor de una base de datos o generar un valor aleatorio.

2.5.11 Acceso a las propiedades

Cada propiedad tiene un especificador de lectura, de escritura o ambas. Estos son llamados especificadores de acceso.

Si la propiedad hace referencia a un campo, debe ser del mismo tipo. En un especificador de lectura, la propiedad es un método, debe ser una función sin parámetros cuyo tipo de resultado es el mismo que el tipo de la propiedad.

En un especificador de escritura, la propiedad es un método, debe ser un procedimiento que toma un único valor o parámetro constante del mismo tipo que la propiedad.

Cuando se hace referencia a una propiedad en una expresión, su valor es leído usando el campo o método listado en el especificador de lectura. Cuando una propiedad es referenciada en una asignación, su valor es escrito utilizando el campo o método listado en el especificador de escritura.

Una propiedad cuya declaración incluye sólo un especificador de lectura es una propiedad de sólo lectura, y una cuya declaración incluye sólo un especificador de escritura es una propiedad de sólo escritura. Es un

error asignar un valor a una propiedad de sólo lectura o utilizar una propiedad de sólo escritura en una expresión.

2.5.12 Referencias a clases

Algunas veces las operaciones son realizadas sobre las clases mismas, en lugar de las instancias de la clase, o sea los objetos. Esto ocurre, por ejemplo, cuando se llama al método constructor utilizando una referencia a la clase. Siempre se puede hacer referencia a una clase específica por medio de su nombre, pero a veces es necesario declarar variables o parámetros que toman clases como valores, en esas situaciones se necesita un tipo de referencia a una clase.

2.5.13 Excepciones

Una excepción se lanza cuando un error u otro evento interrumpe la ejecución normal de un programa. La excepción transfiere el control a un manejador de excepciones, el cual permite separar la lógica normal del programa del manejo de errores. Ya que los errores son objetos, pueden ser agrupados en jerarquías utilizando la herencia, y las nuevas excepciones pueden ser agregadas sin afectar el código existente. Una excepción puede llevar información, como un mensaje de error desde el punto donde fue lanzado hasta donde es manipulado.

Los errores que de otra forma podrían terminar con la aplicación, como memoria insuficiente, división entre cero y fallas de protección general, pueden ser atrapados y manejados.

2.5.14 Interfaces

Una interfaz de objeto, o simplemente una interfaz, define métodos que pueden ser implementados por una clase. Las interfaces se declaran como las clases, pero no pueden ser directamente instanciadas y no tienen sus propias definiciones de métodos. En vez de eso, es responsabilidad de cualquier clase que soporte una interfaz, proveer la implementación de los métodos de la interfaz. Una variable de un tipo interfaz puede hacer referencia a un objeto cuya clase implementa dicha interfaz; sin embargo, sólo los métodos declarados en la interfaz pueden ser llamados utilizando dicha variable.

2.5.15 Tipos de interfaz

Las interfaces, como las clases pueden ser declaradas únicamente en la parte más externa de un programa o unidad, no en la declaración de un procedimiento o función.

En general, la declaración de una interfaz se parece a la declaración de una clase, pero se aplican las siguientes restricciones:

- La lista de miembros sólo puede incluir métodos y propiedades. No se permiten campos en las interfaces.
- Ya que una interfaz no tiene campos, los especificadores de lectura y escritura de las propiedades deben ser métodos.
- Todos los miembros de una interfaz son públicos. Los especificadores de visibilidad y de almacenamiento no están permitidos.
- Las interfaces no tienen constructores ni destructores. No pueden ser instanciadas, excepto a través de clases que implementen sus métodos.
- Los métodos no pueden ser declarados como virtuales, dinámicos, abstractos o de sobrescritura. Ya que las interfaces no implementan sus propios métodos, estas designaciones no tienen sentido.

2.5.16 Herencia

Una interfaz, como una clase, hereda todos los métodos de su antecesor. Pero las interfaces, a diferencia de las clases, no implementan métodos, lo que una interface hereda es la obligación de

implementar métodos, una obligación que recae en cualquier clase que soporte la interfaz.

2.5.17 Propiedades de la interfaz

A las propiedades declaradas en una interfaz sólo se puede acceder a través de expresiones del tipo interfaz; no se puede acceder a ellas a través de variables del tipo clase. Además, las propiedades de una interface son visibles sólo dentro de programas donde la interfaz es compilada.

En una interfaz, los especificadores de lectura y escritura de las propiedades deben ser métodos, ya que los campos no están disponibles.

2.5.18 Implementación de interfaces

Una vez que una interfaz ha sido declarada, debe ser implementada en la clase antes de que pueda ser utilizada.

Cuando una interfaz es implementada, cada uno de sus métodos es mapeado sobre un método, en la clase que implementa, que tiene el mismo tipo de resultado, la misma convención de llamadas, el mismo

número de parámetros y parámetros de tipo idéntico en cada posición. Por defecto, cada método de la interfaz es mapeado a un método del mismo nombre en la clase que implementa.

Las clases descendientes pueden cambiar la manera en que el método de una interfaz es implementado sustituyendo el método de implementación. Esto requiere que el método a implementar sea virtual o dinámico.

2.5.19 Referencias a una interfaz

Si se declara una variable de tipo interfaz, la variable puede hacer referencia a instancias de cualquier clase que implemente la interfaz. Dichas variables permiten llamar métodos de la interfaz sin conocer en el momento de la compilación donde se implementa la interfaz. Pero está sujeta a las siguientes limitaciones.

- Una expresión del tipo interfaz da acceso solamente a los métodos y propiedades declaradas en la interfaz, no a otros miembros de la clase que implementa.
- Una expresión de tipo interfaz no puede hacer referencia a un objeto cuya clase implementa una interfaz descendiente, a menos que la clase (o una de la que herede) explícitamente implemente la interfaz ancestro también.

2.5.20 Compatibilidad en la asignación de la interfaz

Un tipo clase es compatible en la asignación con cualquier tipo de interfaz implementada por la clase. Un tipo interfaz es compatible en la asignación con cualquier tipo de interfaz ancestro. El valor de nulo puede ser asignado a una variable de tipo interfaz.

2.6 Framework o infraestructura

La infraestructura es un conjunto de bloques comunes de software prefabricados que los programadores pueden utilizar, extender o personalizar para crear soluciones computacionales específicas. Con las distintas infraestructuras los desarrolladores no necesitan iniciar desde cero cada vez que escriben una aplicación. Las infraestructuras proveen la estructura fundamental para desarrollar una aplicación, se construyen con colecciones de objetos de manera que el diseño y código de la infraestructura puede ser reutilizada.

La infraestructura captura la habilidad de programación necesaria para resolver una clase particular de problemas. Los programadores reutilizan las infraestructuras para obtener dicha habilidad en la resolución de problemas sin tener que desarrollarla independientemente.

2.6.1 La infraestructura .NET

Es la infraestructura de la plataforma .NET de Microsoft. Incluye CLR (Common Language Runtime) y la librería de clases del .NET Framework. El CLR provee el ambiente para la ejecución de aplicaciones .NET y la librería de clases provee de los servicios fundamentales, incluyendo ASP.NET, ADO.NET, las ventanas de Windows y las clases para acceder a los servicios COM.

2.7 Modelos de dominio

Un modelo de dominio crea una red de objetos interconectados, donde cada objeto representa un miembro significativo, que puede ser tan grande como una corporación o tan pequeño como un comentario. Por medio de un modelo de dominio se construye un diseño del campo de la aplicación, el cual, al menos en una primera aproximación está organizado principalmente sobre los nombres del dominio. La lógica para el manejo de validaciones y cálculos se coloca dentro de este modelo de dominio.

Cada objeto que se encuentra en el modelo de dominio representa un elemento útil, necesario e imprescindible dentro del desarrollo de la

aplicación. Esto significa que cada miembro tiene un papel único que le da importancia dentro de todos los demás objetos. Pero a su vez es la adecuada unión y comunicación entre todos los objetos la que logra el correcto desarrollo de la aplicación, teniendo como meta el objetivo o negocio de ésta.

Es a través del modelo de dominio que se pretende alcanzar el objetivo de la aplicación en sí. En el modelo de dominio cada objeto tiene una tarea que se enfoca, en cooperación con las de los demás objetos, en el fin último de la aplicación.

La virtud de un modelo de dominio se sustenta en el hecho de que una vez que se han implementado los objetos básicos de la aplicación hay muchas técnicas que permiten manejar una lógica cada vez más compleja de una manera organizada.

La desventaja que se tiene al utilizar un modelo de dominio se encuentra en la complejidad inicial al establecer y configurar el modelo que satisfaga las necesidades y requerimientos del negocio de la aplicación.

Se recomienda utilizar un modelo de dominio cuando se tienen sistemas complicados y en constante cambio que involucran validaciones, cálculos y derivaciones. Para construir un buen modelo de dominio se debe tener un entendimiento de pensamiento conceptual sobre los objetos.

3 Desarrollo del sistema

3.1 Intención del sistema

El sistema fue planeado para auxiliar al personal de la refinería en la captura, administración, cálculos estadísticos, planeación y consulta de información generada de acuerdo a las inspecciones de espesores de líneas y equipos en la refinería.

3.1.1 Entradas al sistema

Para que el sistema opere es necesario inicialmente dar de alta las entidades de la refinería en la cual se va a trabajar, incluyendo información de cada planta, circuito y unidad de control.

Ya que el programa reconoce cada entidad de la refinería es necesario ingresar la información sobre las inspecciones de espesores de estas entidades.

3.1.2 Salidas del sistema

El sistema genera un reporte del estado de cada línea y equipo que se ha analizado. El reporte incluye un análisis estadístico de la información

de las inspecciones, predicciones sobre la vida útil remanente de las piezas y calcula la fecha de la próxima medición de espesores.

3.1.3 Elementos adicionales

De manera adicional, se pueden agregar comentarios a las inspecciones sobre detalles y observaciones que de alguna manera afectan el trabajo de inspección. Por otra parte la información sobre espesores se muestra también de manera gráfica, por lo que se puede ver globalmente el comportamiento general de la unidad de control.

3.2 Descripción del dominio

3.2.1 Clases que determinan las ubicaciones

Son miembros del dominio que representan los distintos órdenes de las instalaciones físicas de la refinería.

3.2.1.1 Refinería

La refinería es el campo de trabajo global, contiene todos los sectores, plantas y circuitos. Está identificada por un nombre. La refinería se divide en sectores, tiene una lista global de empleados y de

instrumentos de calibración, pudiendo agregar y eliminar elementos de estas dos listas.

La clase refinería tiene un identificador, un nombre, una lista de sectores, una lista de empleados y una lista de instrumentos.

Tiene dos métodos constructores. Puede agregar y eliminar empleados e instrumentos en sus listas.

3.2.1.2 Sector

Un sector es una parte de la refinería que es considerada administrativamente como un conjunto. Debe estar identificada con un nombre y tener un identificador serial y debe tener información sobre la refinería a la que pertenece. Cada sector tiene su propio equipo de inspectores.

Cada sector tiene nombre, un identificador, un predecesor.

Tiene dos métodos constructores.

3.2.1.3 Planta

Una planta son las instalaciones de la refinería que están dedicadas a una secuencia determinada del proceso. Cada planta debe tener un identificador. En cuanto al proceso al que están dedicadas, debe contener información sobre el objetivo general de la planta, los productos y capacidad de diseño, los servicios que se requieren y la fecha en que comenzó a operar la planta. Los servicios deben poder agregarse y eliminarse.

Tiene un nombre, capacidad de diseño, un identificador, un licenciador, objetivo, predecesor, productos, servicios, fecha de arranque.

Puede agregar y quitar servicios, crear juego de reglas, tiene dos constructores.

3.2.1.4 Circuito

Es el conjunto de líneas y equipos que manejan un fluido de la misma composición, pudiendo variar en sus diferentes partes las condiciones de operación. Cada circuito debe estar identificado y tener información sobre el fluido que transporta.

Tiene un nombre, un nombre completo, un fluido que transporta, un lugar y un servicio

Puede crear un juego de reglas, tiene dos constructores.

3.2.2 Corazón del dominio

3.2.2.1 Unidad de control

Una unidad de control es la sección de un circuito que transporta un fluido bajo las mismas condiciones de presión y temperatura. Por lo tanto se espera que tenga una velocidad de corrosión homogénea a todo lo largo. Para identificarlo debe tener un nombre, un identificador, sus isométricos y datos de operación. Tiene una lista de inspecciones, identificadas por fecha. Para cada inspección tiene los valores de espesor correspondientes a cada nivel, los cuales pueden ser removidos en caso de que se sustituyan las partes de la unidad de control. Las inspecciones que contiene deben poder ordenarse por fecha.

Tiene nombre completo, un identificador, una lista de inspecciones, una lista de niveles, un número de isométricos, presión y temperatura de operación, determina si está aislada.

Puede agregar y remover arreglos de niplería, juntas bridadas, niveles, inspecciones. Tiene una lista de arreglos de niplería, de puntos de medición. Puede obtener la última inspección de niveles, puede crear una nueva inspección. Puede devolver su última inspección. Y puede reordenar inspecciones.

3.2.2.2 Unidad de control de tubería

Es la unidad de control que consiste de una sección de tubería. Una sección de tubería puede contener diferentes unidades de control, dependiendo de los valores de desgaste.

Tiene niveles de tubería, especificación de tuberías y diámetros nominales.

Puede agregar diámetros nominales, niveles de tubería. Tiene dos constructores. Puede remover un nivel de tubería. Puede establecer la especificación de tubería.

3.2.2.3 Unidad de control de sección de equipo

Es la unidad de control que está conformada por cualquier tipo de dispositivo, ya sean recipientes, cambiadores, bombas, tanques de almacenamiento, entre otros, un equipo generalmente se encuentra sometido a corrosión variable por lo que está constituido por varias unidades de control.

Tiene una lista de niveles, que es una lista de partes con espesor medible.

Puede agregar y remover niveles, tiene dos constructores.

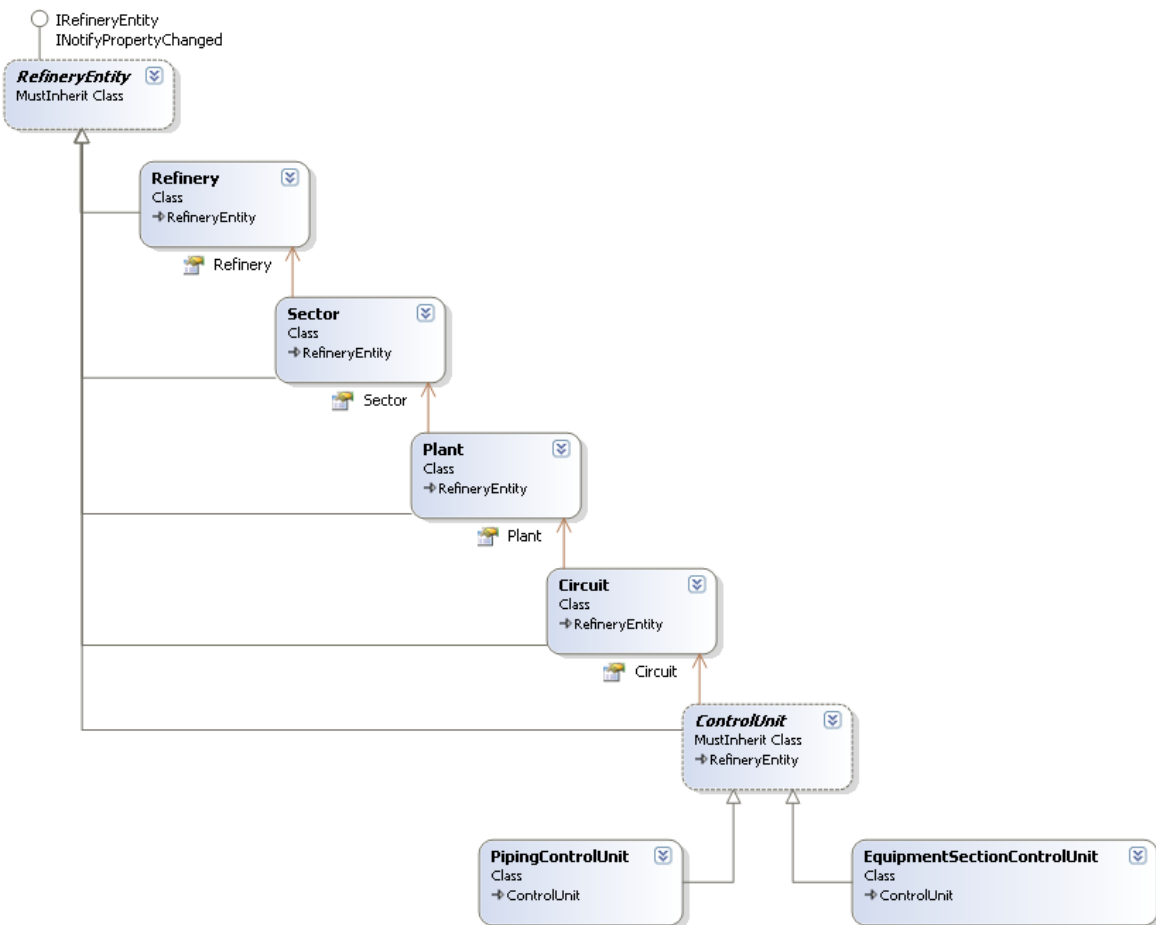


Figura 1. Orden jerárquico de los elementos de la refinería

3.2.2.4 Inspección

La inspección es el trabajo mediante el cual se determina el espesor remanente de las distintas líneas y equipos de la refinería. Tiene por lo tanto una fecha asociada y está referida a una unidad de control en particular. Debe almacenar información en relación a las condiciones en que se hizo la inspección, como el tipo de equipo o tubería, el personal que realizó las mediciones y el equipo que utilizaron. Hace un análisis de la información.

Tiene un identificador único, un índice de inspección, una fecha, valor de temperatura promedio, determina si es una inspección de tubería, niplería, de tornillería, visual o múltiple, también si su análisis está actualizado o no. Tiene un comentario de la inspección. Una lista de análisis de espesores. La unidad de control a la que pertenece, y el personal encargado de la inspección, así como los instrumentos que se utilizaron. Tiene un diccionario de las mediciones de espesores y otro de los análisis de las mediciones. Nombre completo, fecha de inspección.

Tiene tres métodos constructores, determina si tiene lecturas de sus niveles de tubería y niplería y también puede agregarlos y quitarlos. Puede agregar y eliminar análisis. Agregar, actualizar, revisar y remover personal responsable de la calibración e instrumentos de calibración.

3.2.2.5 Parte de espesor medible

Son las piezas físicas que pueden someterse al proceso de medición de espesores, ya sean piezas de tubería o partes de equipos, cada una contiene un conjunto de puntos de medición. Cada parte tiene un conjunto de especificaciones que incluye el espesor nominal y el mínimo espesor antes de ser la pieza reemplazada. De acuerdo al análisis de la inspección cada pieza tiene una fecha probable de retiro.

Una propiedad para el tipo de parte, un conjunto de puntos de medición, diámetro nominal, fecha de renovación, espesor nominal, espesor mínimo o límite de retiro, tipo, que determina el tipo de pieza o parte.

Tiene un método constructor que crea un nuevo conjunto de puntos de medición. Una función que determina el valor máximo de velocidad de corrosión dentro de los puntos de medición de la pieza. Una función determina si hay un historial de valores de inspección. Una función determina si hay lecturas de calibraciones. Puede remover su historial.

3.2.2.6 Punto de medición

Es cada uno de los cuatro puntos medibles dentro de un nivel, excepto por las piezas que tienen alguna obstrucción, todos los niveles tienen cuatro puntos de medición. Un punto de medición se encuentra dentro de una parte de espesor medible, ahí se identifica por medio de su posición.

Tiene un identificador, pertenece a una parte de espesor medible, tiene una posición, una unidad de control.

Tiene un constructor que requiere de una parte de espesor medible y una posición.

3.2.2.7 Medición de espesor

La medición de espesor es la clase que almacena los datos medidos durante la inspección. Cada una de las instancias de la clase está referida a un único punto de medición y se asocia con una inspección en particular. Cada instancia tiene acceso a la medición anterior que se hizo en ese mismo punto y ya que se conocen las fechas de medición, por medio de la fecha de inspección, se puede llevar a cabo un análisis de espesores. Los análisis están referidos a los puntos de medición y la inspección en la que se realizaron. Este análisis se vuelve inválido cuando hay una nueva medición, por lo que debe poder verificarse y actualizarse si es necesario.

Un identificador único, una lectura y una lectura anterior, una fecha de lectura anterior, una inspección, un punto de medición, un análisis de espesores.

Crea, actualiza, agrega o elimina análisis de espesores. Determina si el análisis está actualizado. Obtiene la lectura anterior para su punto de medición.

3.2.3 Clases responsables del desarrollo de la aplicación

3.2.3.1 *Análisis de espesores*

Es el análisis estadístico de los valores obtenidos de los espesores. Una vez que se han medido todos los niveles de la unidad de control se efectúa este análisis para determinar el estado de la unidad de control, vida útil estimada y fecha de próxima medición.

Tiene un identificador, un índice de análisis, número de niveles analizados, la inspección a la que pertenece, número de puntos completos, número de niveles a analizar, velocidad promedio de corrosión, desviación típica, velocidad de corrosión ajustada

Tiene un método constructor que requiere de una inspección.

3.2.3.2 *Análisis por punto*

Esta clase realiza un análisis por cada punto de la unidad de control, verificando que el punto en cuestión haya sido medido y que no se trate de una obstrucción. Verifica también que la medida actual no sea mayor que la medida anterior, y que la medida actual esté en un rango aceptable de valores.

Finalmente determina la rapidez de corrosión, espesor remanente y tiempo de vida restante.

3.2.3.3 Clasificador de niveles

Es la clase que se encarga de clasificar los niveles en normales, no medidos y críticos. Los niveles críticos son los que tienen alta velocidad de corrosión, los no medidos son los que no tienen medición y los normales son todos los demás. Tiene una lista para cada tipo de nivel, hace las comprobaciones correspondientes y va llenando las listas.

3.2.3.4 Análisis por grupo de diámetros

En una misma unidad de control se encuentran tramos de tubería de diferentes diámetros. Ya que tienen diferentes diámetros tienen diferentes espesores y por consiguiente los cálculos de fecha de próxima medición son distintos. Si se tienen diferentes espesores no deberían analizarse todos dentro de un mismo grupo estadístico sino que deben separarse por diámetro para realizar el análisis.

3.3 Implementación del sistema

3.3.1 Sistema

El sistema implementado es capaz de llevar a cabo el registro, la administración, los cálculos, la estadística y consulta de toda la información capturada.

Por medio de una interfaz gráfica el usuario puede seleccionar la tarea que desea realizar y la ubicación en la que está trabajando dentro de la refinería.

3.3.2 Ejemplos de uso

Las funciones más comunes que el usuario realizará en el programa son básicamente:

- Capturar calibraciones
- Generar el análisis estadístico (para control de corrosión)
- Consultar calibraciones
- Generar el reporte de calibración (para el reaseguro)
- Registrar personal y equipo para inspecciones

Al iniciarse el programa verifica que tiene acceso a las bases de datos donde se encuentra la información de la refinería y de todas las calibraciones hasta el momento capturadas. Entonces presenta la pantalla de bienvenida.

3.3.2.1 Captura de calibraciones

Para llevar a cabo la captura de calibraciones el usuario debe tener a la mano información específica además de las calibraciones mismas.

Dentro de esta información se encuentra:

- Unidad de control que se inspeccionó. Incluye el área, la planta y el circuito al que pertenece la unidad de control.
- Personal responsable de la calibración. Calibrador, ayudante de calibración e ingeniero de seguridad del área, nombre completo y número de identificación.
- Tipo de calibración. Puede ser una calibración de tubería, de niplería, visual o mixta.
- Equipo de medición utilizado. Incluye todos los componentes con sus respectivos números de serie. Cada equipo tiene su registro de mantenimiento.
- Diagrama isométrico de la unidad de control. Este diagrama isométrico contiene la numeración de niveles de medición para facilitar al usuario su localización.

En la pantalla de bienvenida el usuario selecciona **Realizar Capturas** y en el menú que aparece a continuación selecciona **Capturar una nueva calibración**. Cada refinería se divide administrativamente en áreas, cada área se divide a su vez en plantas, una planta es una parte de la refinería que se enfoca a una parte en particular del proceso. Estas plantas transportan sus productos a través de tuberías que forman los distintos circuitos. Cada circuito tiene una o más unidades de control. El usuario debe localizar la unidad de control dentro de su circuito, éste a su vez dentro de la planta y área al que pertenece.

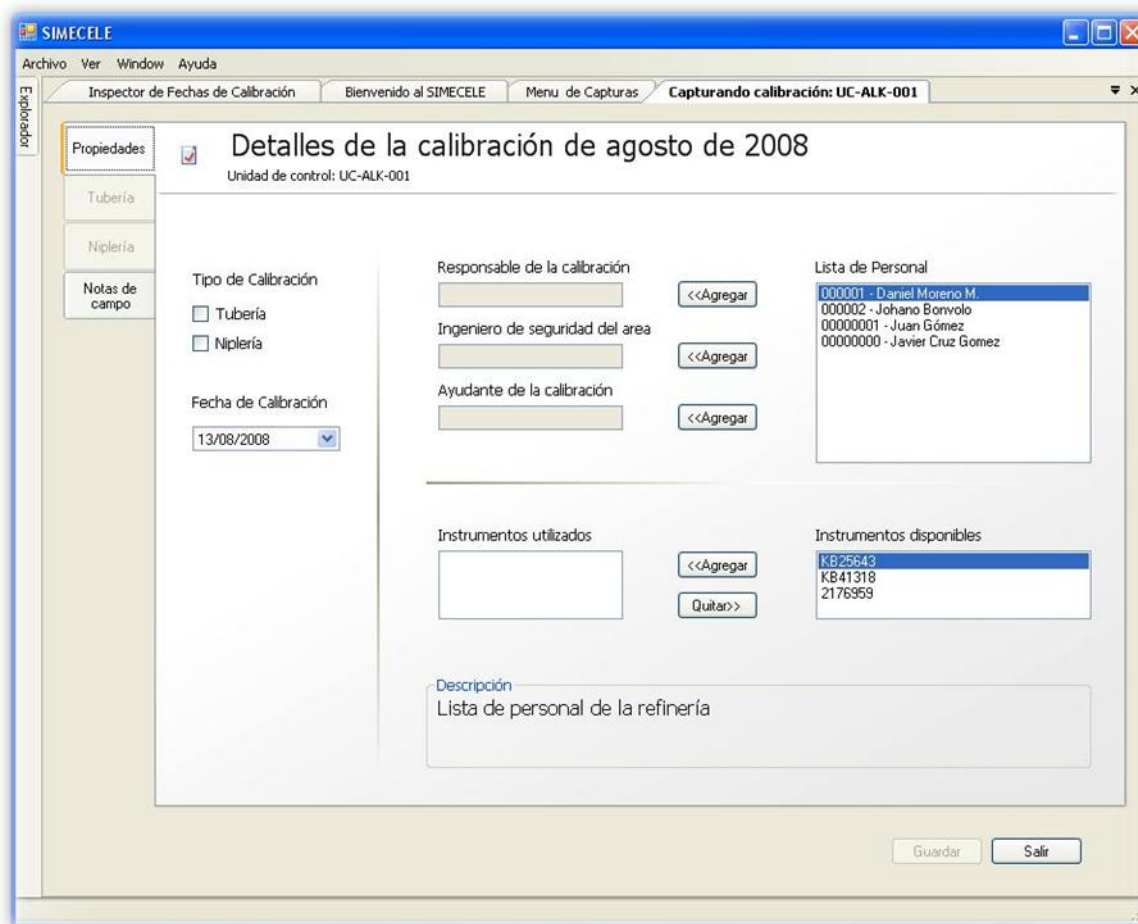


Figura 2. Detalles de calibración

En la pantalla que aparece, el usuario introduce la información sobre el personal responsable de la calibración y el equipo utilizado. Aparecen dos pestañas en las que el usuario introduce calibraciones de tubería y de nielería.

Dentro de los alcances de la norma **DG-GPASI-IT-0204** se establece que han de inspeccionarse los circuitos de tubería en general, equipos cilíndricos horizontales, verticales y esféricos, filtros, reactores, torres,

acumuladores, tanques de almacenamiento, cambiadores de calor, etc. de las instalaciones industriales de Pemex Refinación.

El programa aún está en desarrollo y se espera que en un futuro puedan llevarse a cabo las inspecciones como lo marca la norma de PEMEX, sin embargo por ahora sólo se capturan las líneas de tubería, las niplerías y se lleva a cabo una inspección visual de los arreglos de tornillería, ya que se ha considerado que son las partes más críticas y principalmente las más abundantes dentro de la refinería.

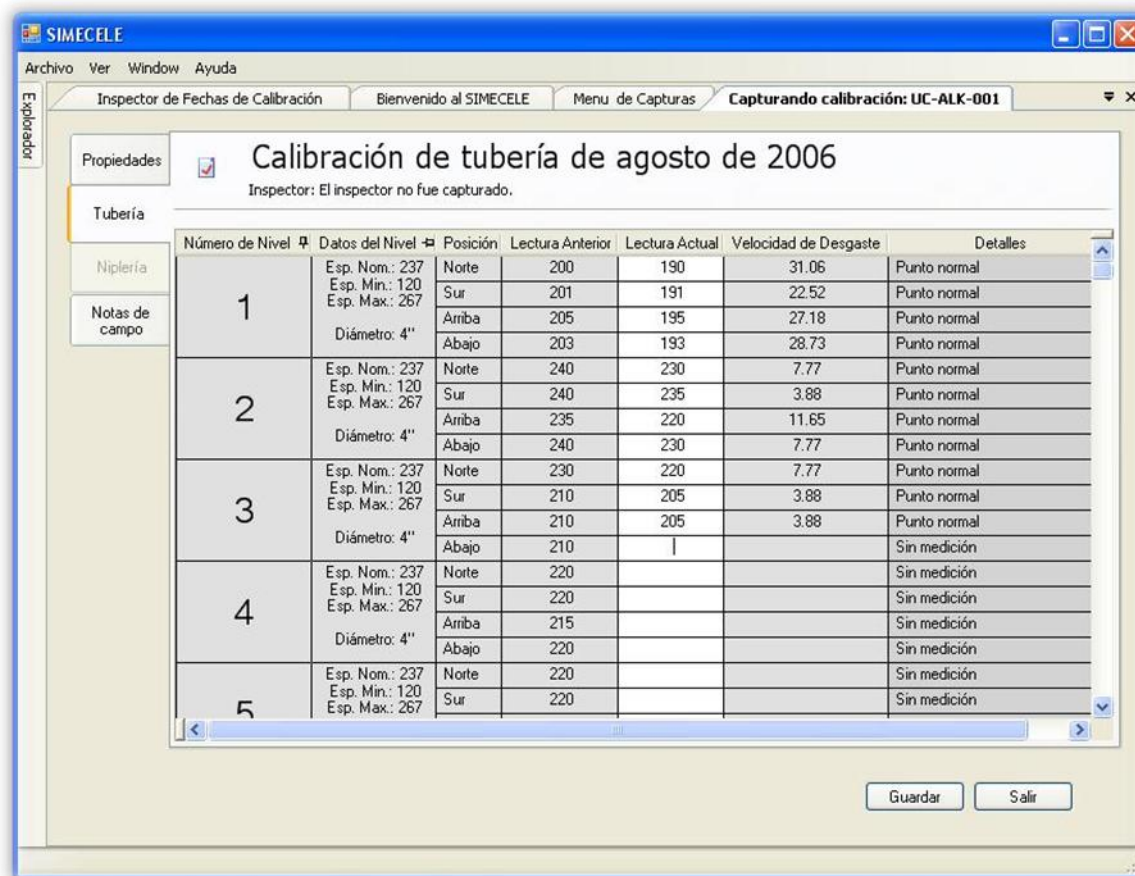


Figura 3. Ingreso de calibraciones en el sistema

Conforme el usuario va introduciendo las nuevas calibraciones, el programa va comparando el valor introducido con la especificación para ese punto en particular para verificar que no sea mayor al espesor nominal, en caso de que así sea, manda un aviso al usuario. Si el valor introducido es mayor al valor anterior también manda un aviso al usuario advirtiéndole que hay un aumento en el espesor. Si el valor es menor al anterior, como se espera, el programa determina que es un punto normal de medición. Al final la inspección se guarda y queda almacenada en la base de datos.

3.3.2.2 Realizar el análisis de la calibración

Una vez que el programa ha obtenido las últimas calibraciones es posible hacer un análisis comparando éstas con el historial de calibraciones para cada punto en particular. Tomando en cuenta la diferencia en fechas de las calibraciones se puede determinar la velocidad de corrosión o desgaste que junto con el espesor mínimo permitido son utilizados para conocer la vida remanente útil de cada pieza. A través de este análisis se vuelven evidentes las velocidades de corrosión que son más altas de lo normal y es posible determinar regiones donde hay problemas severos de corrosión.

3.3.2.3 Consulta de calibraciones

En cualquier momento el usuario puede consultar las calibraciones que se han capturado en el sistema. Para hacer una consulta de calibraciones se debe seleccionar la unidad de control que desea consultarse, la ventana de consultas muestra el historial de calibraciones de la unidad de control en una tabla, en donde, los renglones representan los niveles y puntos de medición y las columnas representan las fechas de calibración y el estado de cada medición. De esta manera el usuario puede de un solo vistazo determinar cuáles son los puntos con mediciones más bajas o revisar alguna particularidad. También es posible ver una gráfica donde se muestran los valores de las distintas calibraciones para facilitar y agilizar su revisión.

3.3.2.4 Elaborar el reporte de calibración

En el reporte de calibración se incluyen los datos más pertinentes y concretos del análisis de calibración, necesarios para el programa de mantenimiento, como la vida remanente útil de las piezas, la fecha de próxima medición y velocidad de corrosión. Por medio de este reporte se obtiene uno de los puntos que se evalúan para calificar la operación de la planta en términos de seguridad, por lo que se requiere para calcular el monto de la prima del reaseguro internacional.

3.3.2.5 Registro de personal y equipo para inspecciones

Se ha incorporado la captura de personal responsable de la calibración y del equipo utilizado durante ésta. Esto ha surgido como una necesidad durante las revisiones posteriores donde es necesario saber si el personal y el equipo eran los adecuados. La información aquí capturada es mostrada durante la consulta de calibraciones.

3.3.3 Revisión

Se ha seleccionado una de las plantas y se ha introducido al sistema una serie de calibraciones similares a las que se esperan en una inspección real y típica. A partir de los datos de cada calibración el programa determina la fecha de la próxima medición de espesores y la fecha de retiro probable. Pueden consultarse los datos de manera numérica, en donde para cada inspección de espesores aparece una columna y para cada punto de medición un renglón, a partir de la segunda calibración se puede calcular velocidad de corrosión para cada punto, comparándola con el valor de la misma posición en la calibración anterior.

Tubería	Descripción	oct-2001 Daniel Moreno M. (DMM)		ago-2004 Daniel Moreno M. (DMM)		sep-2006 Daniel Moreno M. (DMM)			
		Nivel	Datos	Posición	Espesor [mils]	Velocidad de Desgaste [mpa]	Espesor [mils]	Velocidad de Desgaste [mpa]	Espesor [mils]
3	Limite de retiro: 120 Espesor máximo: 267 Diámetro: 4"		Sur	179	5.57	162	6.00	151	5.28
			Fuera (Cod)	179	6.13	163	5.64	152	5.28
			Dentro (Gar)	180	5.57	164	5.64	152	5.76
4	Espesor original: 237 Limite de retiro: 120 Espesor máximo: 267 Diámetro: 4"		Norte	179	5.85	164	5.29	153	5.28
			Sur	178	5.57	163	5.29	152	5.28
			Oriente	179	5.57	162	6.00	153	4.32
			Poniente	178	5.57	162	5.64	153	4.32
5	Espesor original: 237 Limite de retiro: 120 Espesor máximo: 267 Diámetro: 4"		Norte	178	5.57	163	5.29	152	5.28
			Sur	179	6.13	163	5.64	152	5.28
			Fuera (Cod)	177	5.57	162	5.29	151	5.28
			Dentro (Gar)	177	5.85	162	5.29	150	5.76
6	Espesor original: 237 Limite de retiro: 120 Espesor máximo: 267 Diámetro: 4"		Norte	178	5.85	162	5.64	151	5.28
			Sur	178	5.57	163	5.29	152	5.28
			Arriba	180	5.85	164	5.64	152	5.76
			Abajo	179	5.29	164	5.29	151	6.24
7	Espesor original: 237 Limite de retiro: 120 Espesor máximo: 267		Norte	177	5.57	162	5.29	150	5.76
			Sur	179	6.13	163	5.64	151	5.76

Figura 4. Revisión de calibraciones capturadas en el sistema

En la Figura 6 se revisa una unidad de control, la UC-ALK-005. En la parte superior aparece el título identificando la unidad de control. Además de algunos controles aparece una cuadrícula donde vemos todos los valores capturados ordenados según aparecen físicamente sobre la tubería, aunque también se pueden ordenar según el valor medido o el valor de velocidad de corrosión calculado. Esto con el fin de identificar altos valores de corrosión o bajos espesores de una manera rápida. Podemos pedir al programa que muestre sólo cierto tipo de valores, como los niveles que no se han medido o los niveles con una

velocidad de corrosión crítica o sólo los niveles normales. Cada nivel de medición tiene su información al lado, diámetro, espesor original, límite de retiro y espesor máximo considerando tolerancia de fabricación. Vemos también que a lado de cada medición se encuentra el valor de reducción calculado con respecto al valor anterior. De esta manera se consultan las calibraciones de una manera cuantitativa, esto es, los valores medidos comparados con los valores anteriores. Otra de las herramientas presentes aquí es la creación de gráficas, ya sea de todas las calibraciones o de sólo algunas, las últimas por ejemplo.

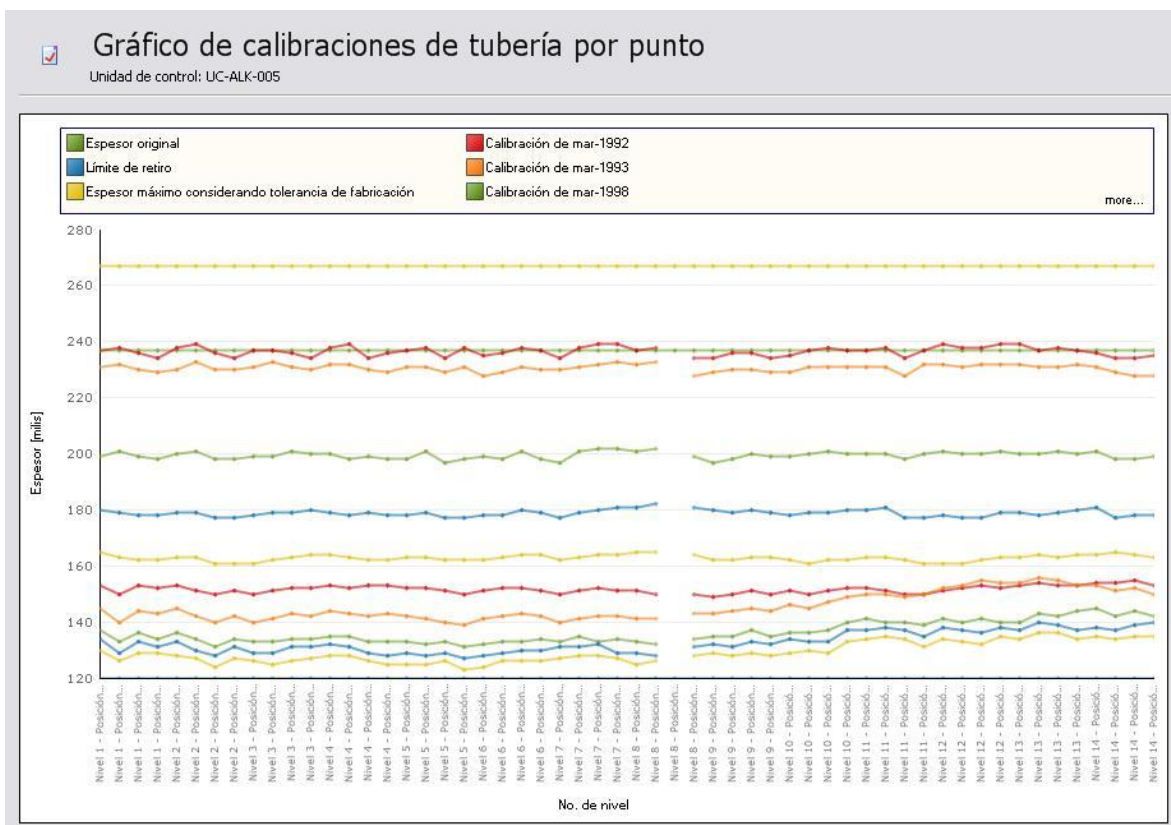


Figura 5. Gráfica de calibraciones

En la Figura 7 por medio de la gráfica es más rápido y fácil detectar anomalías en las mediciones de una manera cualitativa, como engrosamientos, caídas en los valores de espesor.

En la parte superior tenemos el título que identifica a la unidad de control. Aparece en primer plano la serie de gráficas de los valores de la unidad de control, con su respectiva etiqueta. Se agregaron los valores de espesor original de acuerdo a la especificación de material y de límite de retiro, con el propósito de que la persona que está revisando las gráficas tenga como referencia estos valores máximo y mínimo.

Se pueden seleccionar sólo algunas calibraciones y graficarlas o hacer una gráfica que incluya todas las calibraciones existentes para una unidad de control.

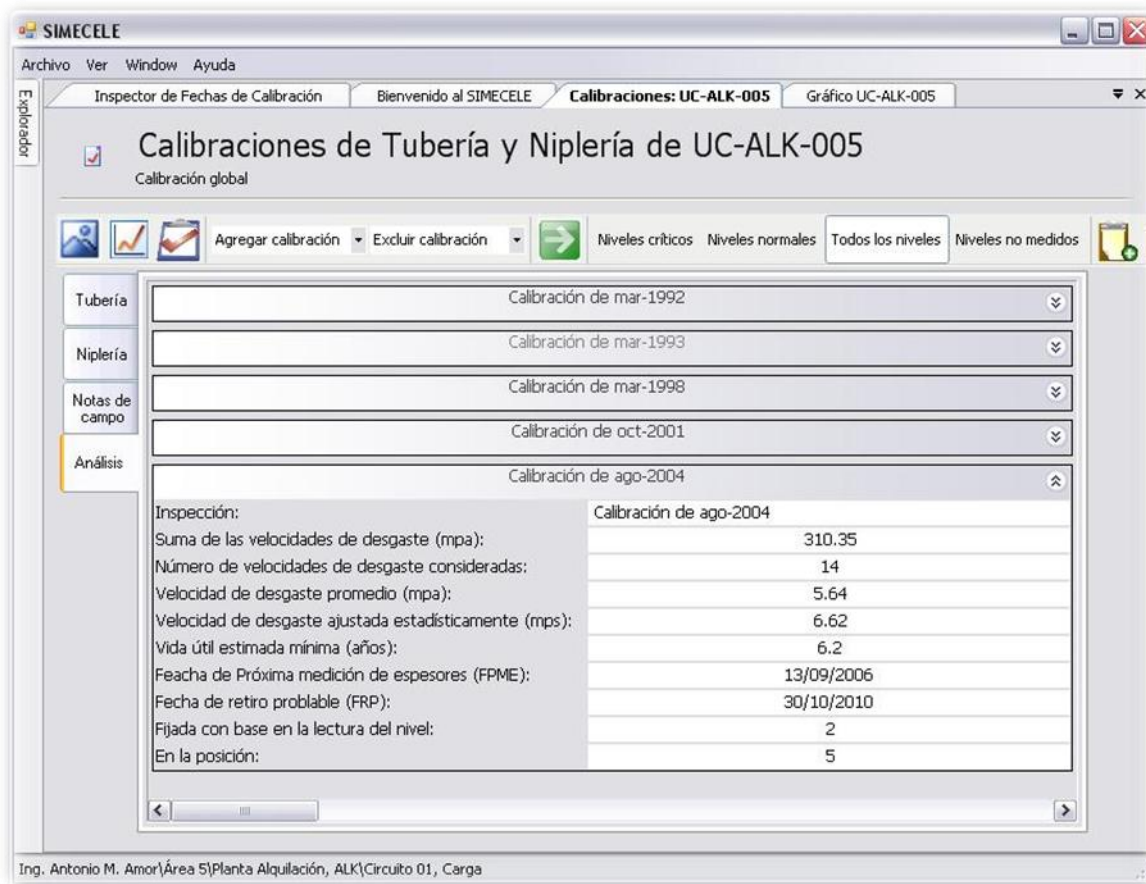


Figura 6. Análisis de calibraciones

Cada calibración tiene su análisis que se realiza comparando sus valores con los de la calibración anterior. Tomando en cuenta los valores de ambas calibraciones y la diferencia en fechas es posible determinar la velocidad de adelgazamiento de las paredes, la fecha de retiro probable y la fecha de próxima medición como se observa en la Figura 8.

4 Conclusiones

Se logró desarrollar un programa capaz de capturar, administrar y almacenar los registros de mediciones de espesores de líneas y equipos, tal como se requiere para los trabajos de prevención y mantenimiento en las refinerías de PEMEX.

La interfaz gráfica del programa fue diseñada teniendo en mente que sea fácil e intuitiva para el usuario, por medio de controles simples, claros y bien organizados, además de la adición de etiquetas, dibujos y viñetas, que siguen de una manera lógica y natural la secuencia de pasos que se siguen rutinariamente en el trabajo de inspección.

Se ha considerado de vital importancia la revisión y comparación automática e instantánea de las calibraciones durante su captura. De este modo durante la misma captura se dan avisos sobre calibraciones que están fuera de lo normal, ya sea por encima del valor anterior o muy por debajo del valor esperado, de acuerdo a una velocidad de desgaste típica. Se espera que de esta manera estos valores que pudieran ser erróneos sean verificados y corregidos tan pronto como sea posible y así evitar que haya registros equivocados en las inspecciones.

Dentro de la aplicación se puede consultar la información tanto de forma numérica como de manera gráfica, por lo que es más fácil revisar y comparar las calibraciones hechas en distintas fechas a una misma unidad de control, esto además permite que puedan reconocerse ciertos patrones y tendencias del desgaste de las líneas y equipos, pudiéndose encontrar comportamientos peculiares y ciertos fenómenos que causan una corrosión exagerada en ciertos puntos.

Toda la aplicación fue desarrollada utilizando tecnología de vanguardia, el lenguaje de programación Visual Basic en conjunto con la plataforma .NET son herramientas que permiten construir aplicaciones de nivel empresarial enfocándose directamente en la propia aplicación, sin tener que desarrollar los elementos básicos como ventanas y botones. De esta manera fue posible enfocarse a las partes que constituyen a la aplicación en sí.

La aplicación, claramente se ha desarrollado teniendo como principal objetivo servir en el programa de mantenimiento de PEMEX Refinación, por lo que se ha observado cumplir en todo momento las normas tanto de PEMEX como de la API.

5 Bibliografía

1. Norma DG-GPASI-IT-00204, PEMEX Refinación, 1982
2. Fowler, Martin "Patterns of enterprise application architecture", Addison Wesley, 2003
3. Taylor, David A. "Object technology"
4. Balena, Francesco "Programming Microsoft Visual Basic .NET version 2003"
5. American Petroleum Institute, Piping Inspection Code, API 570
6. American Petroleum Institute, recommended practice 572, Inspection of Pressure Vessels (Towers, Drums, Reactors, Heat Exchangers, and Condensers)
7. American Petroleum Institute, API recommended practice 574, Inspection Practices for Piping Systems Components