



---

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**TÍTULO DE TESIS:**

**IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE MEDICIÓN Y  
CONTROL DE ESPESORES DE LÍNEAS (SIMECELE) DE  
UNA PLANTA PROPANO-PROPILENO**

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

**PRESENTA:**

**BERENICE ZAGADA SOTO**

**MÉXICO, D.F.**

**2014**





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: PROF. ISAÍAS ALEJANDRO ANAYA Y DURAND**

**VOCAL: PROF. JOSÉ ANTONIO ORTIZ RAMÍREZ**

**SECRETARIO: PROF. MODESTO JAVIER CRUZ GÓMEZ**

**1ER. SUPLENTE: PROF. JOAQUÍN RODRIGUEZ TORREBLANCA**

**2DO. SUPLENTE: PROF. EZEQUIEL MILLÁN VELASCO**

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

**NIVEL 4, ALA NORTE**

**TORRE DE INGENIERÍA, UNAM**

**ASESOR DEL TEMA:**

**SUPERVISOR TÉCNICO:**

\_\_\_\_\_  
**DR. M JAVIER CRUZ GÓMEZ**

\_\_\_\_\_  
**DULCE R. SOLANO GUIZADO**

**SUSTENTANTE:**

\_\_\_\_\_  
**BERENICE ZAGADA SOTO**

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	i
ÍNDICE DE TABLAS	iv
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
1.1    Objetivo general	2
1.2    Objetivos particulares	2
1.3    Justificación	3
<b>CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO</b>	<b>5</b>
2.1    Seguridad Industrial <sup>(4)</sup>	5
2.2    Sistema de Administración de la Seguridad de los Procesos <sup>(2)</sup>	6
2.3    Integridad Mecánica <sup>(5)</sup>	7
2.4    Desgaste de tuberías y equipos de proceso <sup>(6)</sup>	8
2.5    Corrosión <sup>(7)</sup>	8
2.6    Tipos de corrosión	9
2.6.1    Corrosión generalizada o corrosión uniforme	9
2.6.1.1    Corrosión atmosférica	9
2.6.1.2    Corrosión por oxidación directa	9
2.6.2.1    Corrosión por picado	10
2.6.2.2    Corrosión por grietas	10
2.6.2.3    Corrosión por ácidos	10
2.6.2.4    Corrosión erosiva	11
2.6.2.5    Corrosión por cavitación	11
2.7    Inspección técnica de líneas y equipos de proceso <sup>(8)</sup>	11
2.7.1    Requisitos del personal	12
2.8    Tipos de inspección	12
2.8.1    Inspección externa	12
2.8.2    Inspección interna	12
2.9    Sistema de inspección y medición de espesores en líneas y equipos	13
2.10    Programación de la medición preventiva de espesores en líneas y equipos	15
2.10.1.1    División de circuitos y unidades de control	15
2.10.1.2    Actualización de diagramas	16
2.10.1.3    Inspección preliminar en campo	16
2.10.1.4    Medición de espesores <sup>(9)</sup>	16
2.10.1.5    Análisis preliminar de espesores	23
2.10.1.6    Análisis estadístico formal	23
2.10.1.7    Uso de resultados de la medición de espesores en líneas y equipos	27
2.10.2    Sistema de Medición y Control de Espesores en Líneas y Equipos (SIMECELE) <sup>(3)</sup>	28
2.10.2.1    ¿Qué es el SIMECELE?	28
2.10.2.2    ¿Para qué sirve el SIMECELE?	29
2.10.2.3    Módulos del SIMECELE	29
2.11    Metodología para la implementación del SIMECELE en una planta de proceso <sup>(3)</sup>	31
2.11.1    Recopilación de Información de la planta de proceso	32
2.11.2    Identificación y censo de Circuitos (CC) de acuerdo a Diagrama de Flujo de Proceso (DFP)	34
2.11.3    Identificación y censo de Unidades de Control en el Diagrama de Tubería e Instrumentación	36
2.11.4    Actualización en campo de Diagramas para Inspección Técnica de Espesores (DITE)	39
2.11.5    Digitalización en AutoCAD® de los DITE actualizados en el formato del SIMECELE <sup>(12)</sup>	41
2.11.6    Correlación de niveles en los diagramas actualizados con el isométrico del expedientes (Empate)	42
2.11.7    Captura de especificación de materiales de la planta de proceso	43

2.11.8	Captura de la estructura de la ubicación de la planta en el SIMECELE _____	45
2.11.9	Captura de inspección de la Unidad de Control (historial de inspección o nueva inspección) _____	50
2.11.10	Elaboración del reporte de la inspección _____	51
<b>CAPÍTULO 3. IMPLEMENTACION DEL SIMECELE EN UNA PLANTA DE PROPANO-PROPILENO _____</b>		<b>52</b>
3.1	Recopilación de información de la planta propano-propileno _____	52
3.2	Identificación y Censo de Circuitos en el Diagrama de Flujo de Proceso _____	56
3.3	Identificación y Censo de Unidades de Control en el Diagrama de Tubería e Instrumentación (DTI) _____	59
3.4	Actualización en campo de Diagramas para Inspección Técnica de Espesores de la planta propano-propileno _____	64
3.5	Digitalización en AutoCAD® de isométricos en el formato homologado del SIMECELE de la planta propano-propileno _____	64
3.6	Correlación de niveles en los Diagrama de Inspección Técnica de Espesores _____	65
3.7	Captura de especificación de materiales de la planta propano-propileno _____	68
3.8	Captura de la estructura de la ubicación de la planta en el SIMECELE _____	70
3.9	Captura de inspecciones en la unidad de control de la planta _____	73
	propano-propileno _____	73
<b>CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS _____</b>		<b>76</b>
4.1	Análisis de corrosión en una planta propano-propileno en base a los resultados que se obtienen del SIMECELE _____	76
4.1.1	Análisis de corrosión en líneas de proceso _____	77
4.1.2	Análisis preliminar de espesores _____	80
4.1.3	Análisis estadístico formal _____	81
4.1.4	Análisis de inspección visual de tubería _____	84
4.1.5	Análisis de inspección visual y de calibraciones de niplería _____	85
4.1.6	Análisis de inspección visual de tornillería _____	89
4.2	Análisis de corrosión en equipos de proceso _____	90
4.2.1	Análisis de inspección visual y de calibraciones de niplería _____	95
4.2.2	Análisis de inspección visual de tornillería _____	97
<b>CONCLUSIONES _____</b>		<b>98</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA _____</b>		<b>100</b>
<b>APÉNDICE _____</b>		<b>101</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Uso de equipo de protección personal para la prevención de riesgos industriales.

Figura 2.2 Muestra que la identificación, evaluación y gestión de los riesgos industriales es un factor clave para el incremento de la seguridad en las instalaciones de proceso.

Figura 2.3 Elementos de un Sistema de Administración de la Seguridad de los Procesos.

Figura 2.4 Puntos de medición en tubería.

Figura 2.5 Puntos de medición en codos.

Figura 2.6 Puntos de medición en Tee's.

Figura 2.7 Localización de los puntos de calibración en los arreglos básicos de niplería.

Figura 2.8 Captura de especificaciones de la planta.

Figura 2.9 Ubicación de la unidad de control.

Figura 2.10 Captura de la especificación de material.

Figura 2.11 Captura del rango de operación y servicio.

Figura 2.12 Lista de diámetros.

Figura 2.13 Niveles de tubería.

Figura 2.14 Niveles de niplería.

Figura 2.15 Niveles de tornillería.

Figura 2.16 Captura de inspecciones.

Figura 3.1 Diagrama de flujo de proceso señalando los circuitos identificados en la planta propano-propileno.

Figura 3.2 Diagrama de tubería e instrumentación señalando las unidades de control identificadas en la planta propano-propileno.

Figura 3.3 Ejemplo de levantamiento en campo de la UC-PP-002.

Figura 3.4 Ejemplo de isométrico de línea de la UC-PP-002 digitalizado y actualizado en AutoCAD®.

Figura 3.5 Diagrama de medición de espesores del centro de trabajo como referencia de la UC-PP-004.

Figura 3.6 Diagrama de inspección técnica de espesores de línea de la UC-PP-004 (1/2).

Figura 3.7 Diagrama de inspección técnica de espesores de línea de la UC-PP-004 (2/2).

Figura 3.8 Empate en formato SIMECELE de la UC-PP-004.

Figura 3.9 Captura del licenciador de la planta propano-propileno en el SIMECELE.

Figura 3.10 Captura de especificación de materiales de la planta propano-propileno en el SIMECELE.

Figura 3.11 Ubicación de la planta propano-propileno en el SIMECELE.

Figura 3.12 Ubicación de los circuitos de líneas y equipos de la planta propano-propileno en el SIMECELE.

Figura 3.13 Resumen de información capturada para la unidad de control de líneas de la planta propano-propileno en el SIMECELE.

Figura 3.14 Resumen de información capturada para la unidad de control de equipos de la planta propano-propileno en el SIMECELE.

Figura 3.15 Medición de espesores de tubería de la UC-PP-001 en el SIMECELE.

Figura 3.16 Revisión visual de niplería de la UC-PP-001 en el SIMECELE.

Figura 4.1 Isométrico de línea de la UC-PP-001 en el SIMECELE.

Figura 4.2 Medición de espesores de tubería de la UC-PP-001 en el SIMECELE.

Figura 4.3 Gráfica de velocidad de desgaste de tubería de la UC-PP-001.

Figura 4.4 Análisis general de VUE, FPME y FRP de la UC-PP-001 en el SIMECELE.

Figura 4.5 Gráfica de medición de espesores de tubería de la UC-PP-001 en el SIMECELE.

Figura 4.6 Formato de emplazamiento DG-SASIPA-IT-0204-5 de la UC-PP-001 en el SIMECELE.

Figura 4.7 Medición de espesores de niplería de la UC-PP-001 en el SIMECELE.

Figura 4. 8 Gráfico de espesores de niplería de la UC-PP-001 en el SIMECELE.

Figura 4.9 Inspección de tornillería de la UC-PP-006 en el SIMECELE.

Figura 4.10 Isométrico de equipo de la unidad de control EA-901 D en el SIMECELE.

Figura 4.11 Medición de espesores lado cuerpo de la unidad de control EA-901 D en el SIMECELE.

Figura 4.12 Análisis de la velocidad de desgaste de la unidad de control EA-901 D en el SIMECELE.

Figura 4.13 Gráfica de medición de espesores del cuerpo de la unidad de control EA-901 D en el SIMECELE.

Figura 4.14 Gráfica de medición de espesores de boquillas de la unidad de control EA-901 D en el SIMECELE.

Figura 4.15 Inspección visual de niplería del cuerpo de la unidad de control EA-901 D en el SIMECELE.

Figura 4.16 Medición de espesores de niplería del cuerpo de la unidad de control EA-901 D en el SIMECELE.

Figura 4.17 Gráfica de medición de espesores de niplería de la unidad de control EA-901 D en el SIMECELE.

Figura 4.18 Inspección de tornillería de la unidad de control EA-901 D en el SIMECELE.



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Número de posiciones de acuerdo al perímetro.

Tabla 2.2 Criterios generales del grado de corrosión.

Tabla 2.3 Valores de t de Student para una cola.

Tabla 2.4 Valores de referencia para el cálculo de espesores en tuberías de proceso.

Tabla 3.1 Diagrama de Flujo de Proceso.

Tabla 3.2 Diagrama de Tubería e Instrumentación.

Tabla 3.3 Materiales del licenciador de la planta propano-propileno.

Tabla 3.4 Censo de circuitos de líneas.

Tabla 3.5 Censo de circuitos de equipos.

Tabla 3.6 Censo de unidades de control de líneas.

Tabla 3.7 Censo de unidades de control de equipos.

Tabla 4.1 Cálculo de velocidad de desgaste puntual del nivel uno y dos de la UC-PP-001.

Tabla 4. 2 Análisis de inspección visual de tubería de la UC-PP-001.

Tabla 4. 3 Inspección visual de niplería.

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

La Secretaría de Trabajo y Previsión Social (STPS) <sup>(1)</sup> establece en la Ley Federal del Trabajo que tanto la Secretaría como el Sindicato deben atender el mejoramiento de la organización, de los sistemas y procedimientos del desarrollo del personal y de las condiciones de seguridad y salud en que se desarrolla el trabajador. En la industria, la Secretaría expide las medidas para prevenir los riesgos de trabajo y proteger la salud de los trabajadores, con base al Reglamento de Seguridad e Higiene en el Trabajo, las cuales deben difundirse a todos los trabajadores.

La mayoría de los accidentes en los procesos industriales son el resultado de errores o condiciones relacionadas con una inadecuada Administración de la Seguridad; por la carencia de procedimientos de operación y mantenimiento incompletos, obsoletos y sin seguimiento; modificaciones a los procesos o equipos que no operan de acuerdo a las bases de diseño; programas de inspección y mantenimiento no homologados; falta de conocimiento del personal, supervisión deficiente y fallas en la comunicación de información acerca del proceso.

Cualquier Sistema de Administración de la Seguridad de los Procesos (SASP) <sup>(2)</sup>, tiene como objetivo prevenir incidentes, para evitar daños a los trabajadores, al medio ambiente y a las instalaciones.

La aplicación de dicho sistema incluye el uso de procedimientos, evaluaciones y auditorías con el fin de prevenir, controlar o mitigar riesgos.

Los SASP cuentan con un recurso: Las instalaciones; el cual incluye la Integridad Mecánica.

El presente trabajo, se enfoca en el punto de Integridad Mecánica; ya que hace mención al aseguramiento de equipos y líneas de proceso, los cuales deben ser inspeccionados durante su vida útil con el fin de garantizar la seguridad del trabajador y de las propias instalaciones.

Todos los centros de trabajo deben contar con procedimientos de mantenimiento preventivo o predictivo, de inspección y pruebas a equipos. Los resultados de estas inspecciones y pruebas comúnmente eran registrados en papel, lo que dificultaba a la larga el manejo de la información.

Viendo la necesidad de llevar un mejor control de los datos obtenidos de las inspecciones técnicas en la industria de refinación del petróleo, se desarrolló en Facultad de Química de la UNAM el software SIMECELE (Sistema de Medición y Control de Espesores en Líneas y Equipos de Proceso).<sup>(3)</sup>

En este trabajo se utiliza el software SIMECELE como herramienta para el análisis de la integridad mecánica de las líneas y equipos de una planta propano-propileno; al mismo tiempo se ejemplifica la metodología desarrollada para el uso del sistema e interpretación de los resultados obtenidos; todo esto con la finalidad de contribuir en la mejora de la seguridad de la planta, al llevar a cabo la toma correcta de decisiones en cuanto a la programación de los mantenimientos en la instalación.

## **1.1 Objetivo general**

- a) Implementar el SIMECELE en una planta propano-propileno con el fin de contribuir en la mejora de la Administración de la Seguridad del Proceso.

## **1.2 Objetivos particulares**

- a) Destacar la importancia del uso del software, como lo es el SIMECELE, para la administración de la medición de espesores en una planta de propano-propileno.
- b) Describir la metodología desarrollada (9 etapas a seguir) para el registro correcto de las mediciones de espesores de líneas y equipos en una planta de propano-propileno.

- c) Utilizar el software para realizar un análisis de la corrosión general en una planta de propano-propileno, incluyendo la interpretación de los resultados que arroja el sistema para la toma de decisiones en cuanto al mantenimiento de la instalación.

### **1.3 Justificación**

La razón básica para inspeccionar y llevar un control adecuado de las mediciones de espesores en una industria de proceso, es para determinar la condición física de sus recipientes o líneas de proceso, y establecer el tipo, el índice y causas de su deterioro. Obteniendo los datos de la inspección se podrá garantizar la seguridad en la instalación, así como extender el periodo de operación sin paros, reducir el índice de deterioro, y estimar las futuras reparaciones y reemplazos.

Este trabajo muestra las ventajas de llevar un adecuado control de las inspecciones, haciendo uso de herramientas actuales, como lo es el software especializado. Llevar un control preciso de las inspecciones (mediciones de espesores y demás datos que se obtienen de revisiones visuales u otras pruebas), se justifica por:

*Seguridad.* Las inspecciones periódicas programadas podrán revelar condiciones que podrían resultar en un paro de emergencia o no programado, una fuga o hasta una falla del recipiente o línea.

*Continuidad.* Los índices de corrosión y las tolerancias de corrosión remanente determinadas por inspección son la base para predecir necesidades de reparaciones o reemplazos. Estas predicciones conducen a tener un mantenimiento planeado y a la continuidad en la operación y ayudan a que la planta sea más segura.

*Confiabilidad.* La realización de inspecciones externas mientras que el equipo está en operación (usando instrumentación sónica, ultrasónica, radiográfica u otras técnicas no destructivas), podrá revelar información importante, sin el requerimiento de ingresar a la parte interna del equipo. Defectos tales como

fugas, fracturas, instalaciones de partes inapropiadas, líneas tapadas, vibraciones excesivas, ruidos anormales, y otras evidencias de mal funcionamiento podrán ser localizados. Si estos síntomas son apropiadamente analizados y se toman acciones correctivas, se podrá garantizar la completa confiabilidad en la operación del equipo.

## CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Seguridad Industrial <sup>(4)</sup>

La Seguridad Industrial es el conjunto de actividades que forman parte de la administración, con el fin de proteger la integridad física, mental y social del trabajador y mantenerlo como elemento activo dentro de un medio sin riesgos; así como proteger el medio ambiente y las instalaciones de la empresa.

La administración de la seguridad debe enfocarse en la prevención de riesgos para el trabajador, el medio ambiente y las instalaciones. Identificando actos y condiciones inseguras para establecer acciones y control del medio y así disminuir el riesgo de accidentes en el centro de trabajo.

Los objetivos básicos de la Seguridad son:

- a) Evitar la lesión y muerte por accidente. Cuando ocurren accidentes, hay una pérdida de potencial humano y por consiguiente una disminución de la productividad.
- b) Detectar y combatir todo agente agresivo a la salud de los trabajadores dentro de su lugar de trabajo, ya sea químico, físico, mecánico, biológico o psicosocial de reconocida o presunta nocividad.
- c) Mejorar la imagen de la empresa y por ende, la seguridad del trabajador.
- d) Contar con un sistema estadístico que permita la disminución de los accidentes y las causas de los mismos.
- e) Reducción de los costos operativos de producción. De esta manera, se incide en la minimización de costos y la maximización de beneficios.

***La idea es lograr cero accidentes.***

La Administración de la Seguridad se aplica en todas las instalaciones y procesos industriales; en el presente trabajo se abordará principalmente el tema de Seguridad de los Procesos.



**Figura 2.1 Uso de equipo de protección personal para la prevención de riesgos industriales.**

## **2.2 Sistema de Administración de la Seguridad de los Procesos <sup>(2)</sup>**

El Sistema de Administración de la Seguridad de los Procesos (SASP), es de suma importancia, tiene como objetivo prevenir incidentes como fugas o derrames de materiales tóxicos, explosiones o incendios, que sean condición de riesgo a los trabajadores, causen daños al medio ambiente; afectando las instalaciones de la planta.

La aplicación del sistema incluye el uso de procedimientos, evaluaciones y auditorias con el fin de prevenir y controlar riesgos de falla en las instalaciones, mitigar los riesgos involucrados en la operación de la planta, identificando oportunamente equipos críticos y evaluando los resultados obtenidos que aporten información confiable.

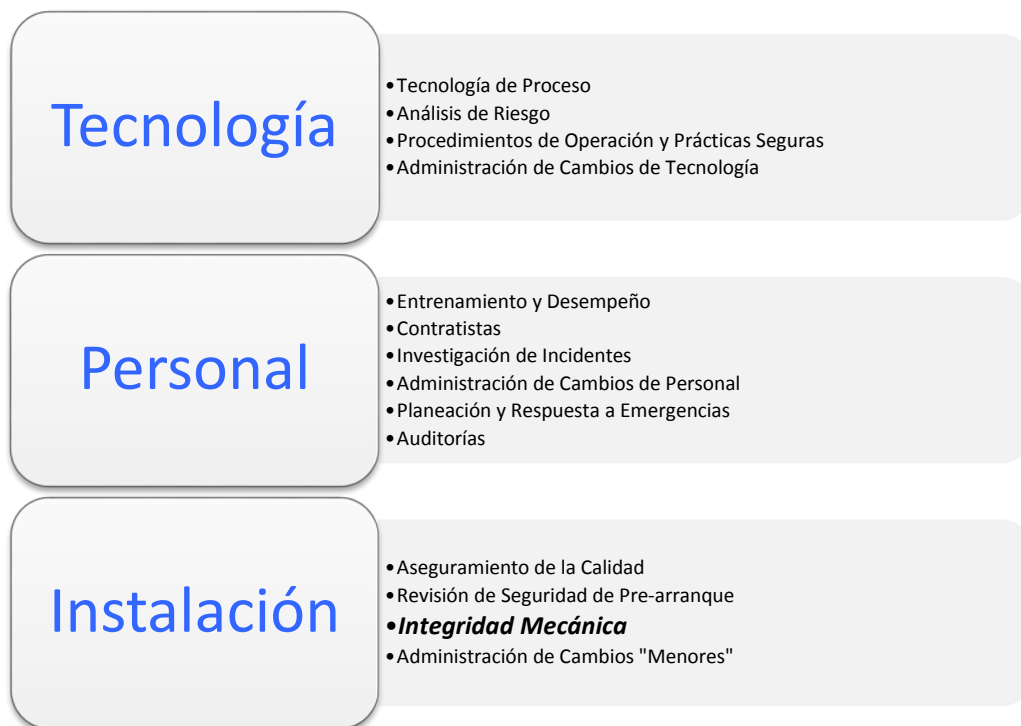


**Figura 2.2 Muestra que la identificación, evaluación y gestión de los riesgos industriales es un factor clave para el incremento de la seguridad en las instalaciones de proceso.**

El SASP está constituido por 14 elementos enfocados hacia 3 recursos:

- a) Tecnología.
- b) Personal.
- c) Instalaciones.

Y un elemento que evalúa el grado de compromiso y liderazgo de la Gerencia de cada centro de trabajo.



**Figura 2.3 Elementos de un Sistema de Administración de la Seguridad de los Procesos.**

El presente trabajo, se enfoca en el punto de "Integridad Mecánica".

### **2.3 Integridad Mecánica <sup>(5)</sup>**

Es una Filosofía de trabajo, este punto señala que cada centro de trabajo debe contar con procedimientos que estén enfocados al aseguramiento de la integridad de los sistemas que contengan fluidos peligrosos, deberán estar bajo inspección técnica desde la instalación, la fase de diseño, la fabricación, la construcción, durante la operación, el mantenimiento hasta su



desmantelamiento con el fin de garantizar la protección al personal, el medio ambiente y las instalaciones; con esto se mantiene en óptimas condiciones las líneas y equipos de proceso; y permite conocer cuándo se debe reemplazar oportunamente.

Todos los centros de trabajo deben contar con procedimientos de mantenimiento preventivo y/o correctivo, de inspección y pruebas a equipos y refacciones para garantizar la operación de la planta; estas pruebas deben ser realizadas por personal calificado.

#### **2.4 Desgaste de tuberías y equipos de proceso <sup>(6)</sup>**

El desgaste de la tubería y equipo de proceso, implica una disminución de su vida útil de operación, por lo que se debe contar con medidas preventivas y evitar medidas correctivas, las cuales son más costosas ya que representa paro de la planta para su reparación, reemplazo de la línea o equipo de ser necesario y producción baja o nula.

La disminución de espesor de pared en las tuberías se debe principalmente a dos factores, el primero es la corrosión por causas ambientales y por el fluido que transporta o almacena, y el segundo es por la abrasión, es el desgaste que sufre el material ocasionado por la fricción al transportar el fluido; estos problemas son mayores al considerar la temperatura y la presión de operación de las líneas y equipos.

El desgaste por abrasión en tuberías es proporcional a la velocidad y la cantidad de flujo, esto se puede observar en campo ya que los mayores desgastes se encuentran en codos, tee's e injertos y en general en cualquier cambio de dirección del fluido.

#### **2.5 Corrosión <sup>(7)</sup>**

##### **Definición de corrosión**

La corrosión es un fenómeno que deteriora el material al estar en interacción con el medio que lo rodea, produciéndose cambios en sus propiedades tanto físicas como químicas.

## **2.6 Tipos de corrosión**

Generalmente, la corrosión se divide en dos tipos básicos:

### **2.6.1 Corrosión generalizada o corrosión uniforme**

Este tipo de corrosión afecta de forma homogénea a todos los puntos de la pieza. Se caracteriza por una reacción química que actúa sobre toda la superficie del metal. Toda el área superficial se corroe a la misma velocidad y se puede predecir la pérdida de material en un cierto periodo de tiempo; este tipo de corrosión permite un mayor seguimiento y previsión.

En este tipo de corrosión se encuentra los siguientes:

#### **2.6.1.1 Corrosión atmosférica**

Este tipo de corrosión, es la que produce mayor cantidad de daños en el material y en mayor proporción. La severidad de esta clase de corrosión se incrementa cuando la sal, los compuestos de sulfuro y otros contaminantes atmosféricos están presentes. En la industria, existe un ambiente que contiene compuestos sulfurosos, nitrosos y otros agentes ácidos que pueden promover la corrosión de los metales.

#### **2.6.1.2 Corrosión por oxidación directa**

La corrosión de este tipo, no necesita la presencia de un electrolito. El metal se combina con el medio por acción directa, los átomos metálicos reaccionan químicamente con la sustancia agresiva; este fenómeno se presenta en metales expuestos a gases y vapores calientes.

### **2.6.2 Corrosión localizada**

En general, este tipo de corrosión supone pérdidas pequeñas de material, pero sus consecuencias son peores ya que es menos previsible y su evolución es irregular.

### **2.6.2.1 Corrosión por picado**

Este tipo de corrosión es de ataque localizado y se caracteriza por tener hoyos a través de la pieza metálica, ésta es una de las más destructivas formas de corrosión que puede hacer fallar a las instalaciones con un mínimo de pérdida de peso de la estructura total.

Es difícil detectar hoyos debido a su tamaño, además de que están cubiertos por productos de corrosión; aunado a esto es difícil comparar el grado de picado debido a la gran variedad de profundidades y número de hoyos que pueden presentarse en condiciones idénticas.

### **2.6.2.2 Corrosión por grietas**

Es una forma de corrosión electroquímicamente localizada que puede presentarse en hendiduras y bajo superficies protegidas, donde pueden existir soluciones estancadas.

Este tipo de corrosión tiene una reconocida importancia en ingeniería, su presencia es frecuente bajo juntas, remaches, pernos y tornillos, entre válvulas y sus asientos, bajo depósitos porosos, etc. Este tipo de corrosión, se produce en muchos sistemas de aleaciones como el acero inoxidable y aleaciones de titanio, aluminio y cobre.

### **2.6.2.3 Corrosión por ácidos**

Este tipo de corrosión, tiene lugar cuando hay contacto de un metal y un medio ácido originando reacciones entre los iones metálicos y los del ácido.

La velocidad con que el material se corroe depende de la concentración del ácido. Por ejemplo, la reacción de iones hidrógenos con los carbonos del acero para reformar el metano, da como resultado una descarbonización, esto provoca la formación de huecos y burbujas sobre la superficie del metal afectado.

#### **2.6.2.4 Corrosión erosiva**

La corrosión erosiva puede ser definida como la aceleración en la velocidad de ataque corrosivo al metal debida al movimiento relativo de un fluido corrosivo y una superficie metálica. Cuando el movimiento relativo del fluido corrosivo es rápido, los efectos del desgaste mecánico y abrasión pueden ser severos. Este tipo de corrosión está caracterizada por la aparición en la superficie del metal de surcos, valles, hoyos, agujeros redondeados y otras configuraciones dañinas de la superficie del metal, las cuales generalmente se presentan en la dirección de avance del fluido corrosivo.

El metal es removido de la superficie como iones disueltos o como productos sólidos de corrosión. La corrosión erosiva, es la combinación de la acción mecánica y una reacción química o electroquímica. Todos los equipos expuestos a fluidos en movimiento están sujetos a este tipo de corrosión, por ejemplo: Tuberías, bombas, válvulas, etc.

#### **2.6.2.5 Corrosión por cavitación**

Este tipo de corrosión, es una forma especial de corrosión por erosión y es llevada a cabo por la deformación y colapso de burbujas de vapor en un líquido cercano a la superficie del metal. Este tipo de daño ocurre en turbinas hidráulicas, impulsores de bombas y otras superficies donde existan cambios de presión y un líquido fluyendo a alta velocidad; la severidad del daño es mayor si el fluido es corrosivo.

Para fines del presente trabajo únicamente se hablará de la corrosión uniforme, la cual es posible prevenir con un adecuado sistema de inspecciones y medición de espesores en líneas y equipos de proceso.

### **2.7 Inspección técnica de líneas y equipos de proceso <sup>(8)</sup>**

La inspección mediante la medición del espesor de pared se realiza para determinar la condición interna y el espesor remanente de los componentes de

la tubería. Las mediciones de espesores pueden ser obtenidas cuando el sistema de tubería esta en operación o no.

### **2.7.1 Requisitos del personal**

La inspección técnica de líneas y equipos debe ser realizada por personal autorizado de acuerdo a la Norma Mexicana NMX-B-482-1991 de capacitación, calificación y certificación de personal de ensayos no destructivos.

## **2.8 Tipos de inspección**

Se pueden tener dos tipos de inspección:

### **2.8.1 Inspección externa**

Es una revisión visual que se realiza para determinar la condición externa de tubería, equipos, tornillería y niplería; de soportes, del aislamiento, de la pintura y del recubrimiento para detectar cualquier signo de desalineamiento, vibración y fugas. Las inspecciones externas se pueden hacer, cuando la tubería o equipo está en servicio.

### **2.8.2 Inspección interna**

Esta revisión normalmente no se realiza en tuberías, con excepción de líneas de transferencia de diámetro considerable, ductos, líneas de plantas catalíticas u otros sistemas de tuberías de tamaño similar. Cuando se inspecciona una tubería demasiado pequeña para entrar, las técnicas de inspección visual a control remoto pueden ser útiles. Este tipo de inspección consiste en una revisión general del equipo usando:

- ❖ Inspección visual preliminar.
- ❖ Pruebas no destructivas.
- ❖ Pruebas destructivas.
- ❖ Otras pruebas.

## 2.9 Sistema de inspección y medición de espesores en líneas y equipos

Cada empresa, tiene normas para la inspección técnica preventiva de espesores, en el caso de los centros de trabajo de PEMEX algunas de estas normas son:

- DG-SASIPA-IT-0204\_Rev-7 Guía para el registro, análisis y programación de la medición preventiva de espesores.
- GPEIT-IT-0201 Procedimiento de revisión de niplería de plantas en operación.
- GPASI-IT-0209 Procedimiento para efectuar la inspección de tuberías de proceso y servicios auxiliares en operación de las instalaciones de PEMEX-Refinación.
- DG-GPASI-IT-0903 Procedimiento para efectuar la revisión de la tornillería de tuberías y equipos en las instalaciones en operación de PEMEX-Refinación.
- GPI-IT-4200 Procedimiento para el control de desgaste de niplería.

Estos procedimientos son la base del software SIMECELE, el cual se describirá más adelante.

PEMEX cuenta con la guía para el registro, análisis y programación de la medición preventiva de espesores, la cual representa un proceso cíclico. A continuación se explica la secuencia del trabajo que se debe seguir y sus anexos:

- En el formato DG-SASIPA-IT-0204-1 “Programa de medición de espesores” se debe realizar mensualmente una revisión de las unidades de control de la planta con el fin de programar su próxima calibración.
- En el formato DG-SASIPA-IT-0204-2 “Registro de medición de espesores”. Los datos obtenidos en la medición, se anexan a las mediciones anteriores.
- En el formato DG-SASIPA-IT-0204-3 “Registro del análisis de la medición de espesores”. Con el registro de medición de espesores se realiza un análisis de los datos, obteniéndose la velocidad de desgaste,

vida útil estimada, fecha próxima de medición y fecha de retiro probable; con la cual se estima cuándo deben reemplazarse las piezas de acuerdo a su vida útil.

- En el formato DG-SASIPA-IT-0204-4 “Programa de medición de espesores” Con la información obtenida del análisis, se programa la fecha de la siguiente medición de espesores en líneas y equipos.
- En el formato DG-SASIPA-IT-0204-5 “Emplazamiento”. Este se utiliza cuando la vida útil es menor a 1.5 años, entonces se procede a emplazar la pieza, línea o equipo. El emplazamiento debe cumplirse en máximo 1.5 años. Y no se deben aceptar prórrogas más allá de la fecha de retiro.

Esta guía se aplica de forma obligatoria en:

- Líneas y equipos que manejen o transporten hidrocarburos, productos químicos o petroquímicos y sustancias tóxicas o agresivas.
- Tanques y recipientes que almacenen hidrocarburos, productos químicos o petroquímicos y sustancias tóxicas o agresivas.

Este procedimiento se aplica a tuberías y equipo en general sujetos a corrosión de tipo generalizada; no es aplicable a equipos y tuberías con desgaste por erosión, corrosión intergranular, transgranular, fallas metalúrgicas.

Para comprender mejor la guía es conveniente tener presente los siguientes conceptos: <sup>(9)</sup>

- Velocidad de desgaste (Velocidad de corrosión): Es la rapidez con la cual disminuye el espesor de pared de un equipo o tubería. Se calcula comparando los espesores obtenidos en mediciones efectuadas en dos fechas consecutivas con mínimo de un año de diferencia.
- Vida útil estimada (VUE): Es el tiempo estimado que debe transcurrir antes de que la unidad de control llegue a su límite de retiro.
- Límite de retiro: Es el espesor con el cual deben retirarse los tramos de tubería y equipos de acuerdo a las condiciones de diseño.

- Fecha de próxima medición de espesor (FPME): Es la fecha en la cual debe efectuarse la siguiente inspección a la unidad de control de acuerdo al análisis de la estadística.
- Fecha de retiro probable (FRP): Es la fecha en la cual se estima que debe retirarse la unidad de control, por haber llegado al término de su vida útil estimada.

## **2.10 Programación de la medición preventiva de espesores en líneas y equipos**

### **2.10.1.1 División de circuitos y unidades de control**

De acuerdo a la guía mencionada en la sección anterior, los centros de trabajo deben contar con un censo de circuitos que se encuentra dividido a su vez en unidades de control; esto de acuerdo a la descripción del proceso.

Para tener más claro estos conceptos se define a continuación línea, equipo, unidad de control y circuito. <sup>(9)</sup>

- Línea: Es el conjunto de tramos de tubería y accesorios (tee, codo, reducción, válvula, etc.) que manejan el mismo fluido a las mismas condiciones de operación.
- Equipos: Son todos aquellos dispositivos (recipientes, cambiadores, tanques de almacenamiento, bombas, etc.) que conjuntamente con las líneas integran los circuitos.
- Circuito: Conjunto de líneas y equipos que manejan un fluido de la misma composición, pudiendo variar en sus diferentes partes las condiciones de operación.
- Unidad de control: Son secciones de circuito que tiene una velocidad de corrosión más o menos homogénea de 0 a 8 mpa, de 8 a 15 mpa y mayores a 15 mpa. En campo, se debe contemplar los disparos hasta llegar a la válvula de bloqueo, y se delimita cuando hay cambio de material.



### **2.10.1.2 Actualización de diagramas**

Una vez que se tienen identificadas las unidades de control de la planta; tanto en DTI como en el isométrico (anexo en el expediente) se debe revisar que coincida con lo que está en campo; de no ser así debe actualizarse; ya que pudo haber reparaciones y por lo tanto modificaciones que no se encuentren en el mismo. En caso de que no exista isométrico se debe realizar el levantamiento y debe ser revisado por un Ingeniero de Seguridad para comprobar si hay errores y evitar retraso en la medición.

### **2.10.1.3 Inspección preliminar en campo**

Una vez revisado el isométrico en campo, se procede a la inspección de la misma de acuerdo al “Programa de medición de espesores”. Los periodos de calibración de la tubería, niplería y tornillería deben realizarse al mismo tiempo. A excepción de aquellos arreglos donde exista mayor desgaste a la registrada en líneas o equipos donde vayan armados; los periodos de calibración de la niplería serán dictados de acuerdo a su propio desgaste; y de acuerdo a su tipo de arreglos básicos: roscados o soldados.

### **2.10.1.4 Medición de espesores <sup>(9)</sup>**

En el isométrico, una vez identificada la línea principal y en dirección del flujo se identifican los niveles de medición para tubería, niplería y tornillería que se han de inspeccionar.

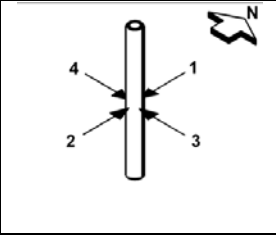
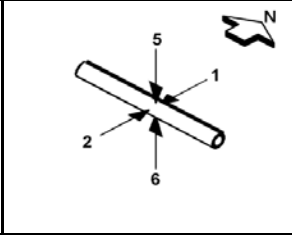
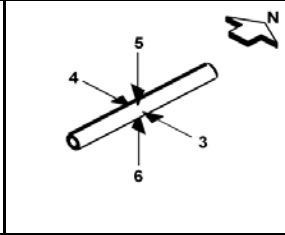
#### Niveles para tubería:

- Después de cada soldadura.
- En el codo.
- En reducciones (cuerpo).
- En las “T”.
- Antes y después de las bridas de un filtro.
- Después de la brida de un medidor de flujo.
- Después de cualquier brida.

La posición o punto de medición, es el lugar donde se mide el espesor de pared. El conjunto de estos constituye el nivel de medición.

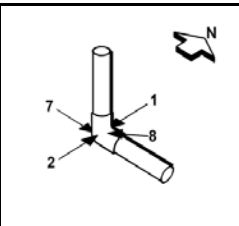
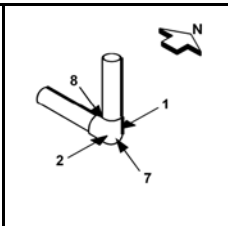
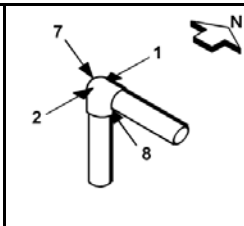
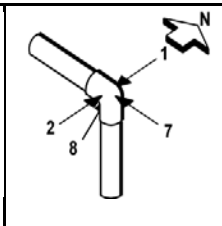
A continuación se presentan ejemplos de posiciones de nivel para:

➤ Tubería

Dibujo			
Notación con letras	N,S,O,P	N,S,A,B	O,P,A,B
Notación con números	1,2,3,4	1,2,5,6	3,4,5,6

**Figura 2.4 Puntos de medición en tubería.**

➤ Codos

Dibujo				
Notación con letras	N,S,C,G	N,S,C,G	N,S,C,G	N,S,C,G
Notación con números	1,2,7,8	1,2,7,8	1,2,7,8	1,2,7,8

**Figura 2.5 Puntos de medición en codos.**

➤ Tee's

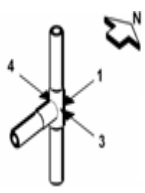
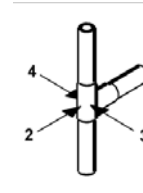
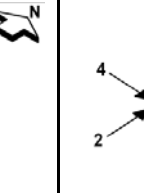
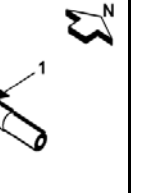
Dibujo				
Notación con letras	N,X,O,P	X,S,O,P	N,S,X,P	N,S,O,X
Notación con números	1,0,3,4	0,2,3,4	1,2,0,4	1,2,3,0

Figura 2.6 Puntos de medición en Tee's.

Niveles para equipos:

Para los equipos, la orientación del equipo o boquilla dictará las posiciones de los puntos, mientras que el número de posiciones estará fijado por el perímetro del cuerpo o boquilla del equipo de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 2. 1 Número de posiciones de acuerdo al perímetro. <sup>(9)</sup>

Perímetro				Puntos
Desde		Hasta		por nivel
cm	plg	cm	plg	
<b>Menor</b>	Menor	300	118	4
<b>301</b>	118.5	400	157	6
<b>401</b>	158	600	236	8
<b>601</b>	237	800	315	12
<b>801</b>	315.5	1200	472	16
<b>1201</b>	473	Mayor	Mayor	24

### Niveles para niplería:

- Drenes.
- Purga.
- Tomas de instrumentos (indicador de presión, indicador de temperatura, etc.).
- Tomas de muestra.
- Termopozo.
- Medidores de flujo.

Adicionalmente, los arreglos cople-niple-válvula deberán cumplir con las siguientes especificaciones:

Para el tapón:

- Debe ser de cabeza redonda o hexagonal.
- Debe ser sólido, forjado y de material similar a la línea o equipo en donde se coloque.

Para la válvula:

- Debe ser de compuerta.
- De cuerpo forjado y especificación similar a la línea o equipo donde se coloque.

Para el niple:

- Debe ser de tubería sin costura.
- De cédula 160.
- Del mismo material a la línea donde se coloque.
- De longitud entre 3" y 6".
- Si se instalan directamente a válvulas o bridas de orificios para tomas de presión y flujo pueden ser de ½" de diámetro y de cédula 80.
- No se debe usar niple de cuenta corrida.

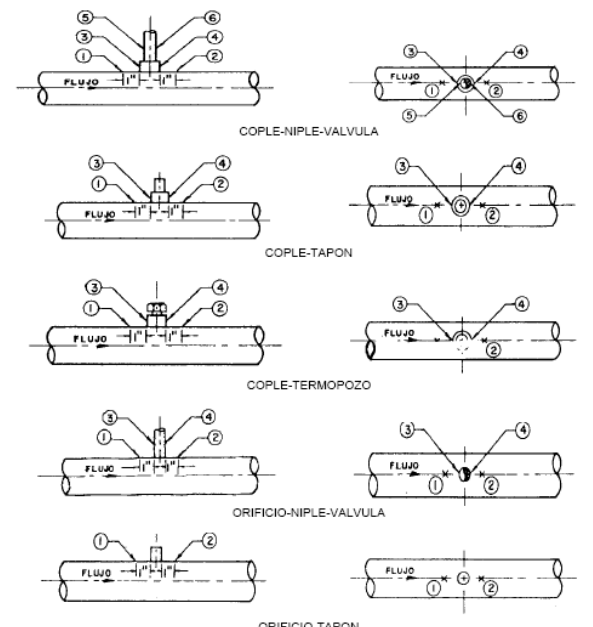
Para el cople:

- Debe ser de la misma especificación del material de la línea o equipo donde se instalen.
- El diámetro no debe ser menor a  $\frac{3}{4}$ ".
- El libraje debe ser de 3000#, para la línea de cédula 40 o menor y equipo con bridas de 150# y menores.
- El libraje debe ser de 6000#, para líneas con cédula mayor a 40 y equipo con bridas mayores a 150#.

Para arreglos tipo cople-niple-válvula se admiten los siguientes arreglos:

- Cople termopozo.
- Brida de orificio-niple-válvula.
- Brida de orificio-tapón.
- Cople tapón.
- Brida de orificio-codo de cola-niple- válvula.

A continuación, se muestra en la figura 2.7 las posiciones de medición de espesores.



**Figura 2.7 Localización de los puntos de calibración en los arreglos básicos de niplería.**

Las características de construcción que se necesitan comprobar en campo son:

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

De acuerdo a la norma GPEIT-IT-0201 “Procedimiento de revisión de niplería de plantas en operación”; la cual abarca tanto arreglos básicos roscados y arreglos básicos soldados; los segundos serán radiografiados mientras que para los primeros para la inspección deben ser desarmados. Para esto la planta debe estar fuera de operación, el periodo de revisión de niplería en equipos críticos debe realizarse cada 1.5 años, y para los no críticos deberán revisarse cada 5 años.

#### Niveles para tornillería:

- Se tomará en las válvulas que se encuentren bridadas, considerando la tornillería en las bridas que estén conectadas a la línea de proceso.
- Para las válvulas bridadas que se encuentren al final de la línea se tomarán dos niveles de inspección. En caso de que la línea finalice en una brida con tapa ciega se tomará un nivel de inspección.
- En medidores de flujo solo habrá un nivel de inspección.
- En bridas en general.
- Cuando dos unidades de control compartan una válvula bridada se le tomará un nivel de inspección de tornillería en cada unidad de control.

La evaluación del estado físico de la tornillería de líneas y equipos se realiza bajo el DG-GPASI-IT-0903 “Procedimiento para efectuar la revisión de la tornillería de tuberías y equipos en las instalaciones en operación de PEMEX-Refinación”; con el fin de detectar oportunamente daños o fallas, e implementar las acciones preventivas para garantizar la hermeticidad de las uniones bridadas.

La inspección de tornillería varía y depende de la agresividad del medio ambiente; ya que en algunas plantas hay mayor corrosión exterior. Por lo tanto se debe jerarquizar los equipos y tuberías a inspeccionar, de acuerdo a su criticidad (presión, temperatura, toxicidad, velocidad de desgaste).

Para fijar los criterios generales las revisiones deben hacerse de acuerdo con lo establecido en la tabla 2.2.

**Tabla 2.2 Criterios generales del grado de corrosión. <sup>(10)</sup>**

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

En caso de que los espárragos tengan adheridos productos de la corrosión deben ser limpiados para observar el estado de la cuerda. Se debe revisar si faltan o no tornillos o tuercas, si son de las medidas de diseño, etc.

Con el resultado obtenido de la inspección, debe solicitar el cambio de los tornillos y tuercas que se hayan encontrado con corrosión severa y alta; los espárragos que se van a reemplazar es conveniente que estén protegidos contra la corrosión.

### 2.10.1.5 Análisis preliminar de espesores

Este análisis debe efectuarse inmediatamente después de la medición de espesores con el fin de verificar los valores obtenidos; los resultados de las mediciones realizadas, las cuales resulten por debajo de límite de retiro establecido, deberán de ser verificadas antes de la toma de decisiones.

### 2.10.1.6 Análisis estadístico formal

Este se lleva a cabo matemáticamente, para obtener el desgaste máximo ajustado, vida útil estimada (VUE), fecha de próxima medición de espesores (FPME) y fecha de retiro probable (FRP) de la unidad de control.

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

Sin embargo, en caso de contar con una menor cantidad de datos se tomará el valor correspondiente para el número de muestras con un 90% de confiabilidad en el cálculo de acuerdo a la tabla 2.3 que establece los valores para la t de Student para una cola.

**Tabla 2.3 Valores de t de Student para una cola. <sup>(9)</sup>**

%	ÁREA DE UNA COLA ( $\alpha$ )	
	90	95
n/ $\alpha$	0.1	0.05
2	3.08	6.31
3	1.89	2.92
4	1.64	2.35
5	1.53	2.13
10	1.4	1.86
20	1.38	1.83
30	1.32	1.72
40	1.31	1.7
50	1.3	1.68
100	1.29	1.66
200	1.29	1.65
$\infty$	1.28	1.64



Es necesario, discriminar aquellos valores de espesores no significativos, es decir, aquellos que excedan más del 5% de la anterior calibración. En tanto que, para los valores que presenten un incremento de espesor del 0 al 5% tendrán una velocidad de corrosión de 0 milésima de pulgada por año (mpa).

Para que sea aceptable el cálculo, debe haber transcurrido cuando menos un año entre una pareja de fechas de medición.

La velocidad de desgaste o velocidad de corrosión es la velocidad con la cual disminuye el espesor de pared y se considera crítica si su valor puntual o promedio excede las 15 mpa.

La velocidad de desgaste puntual debe calcularse con la siguiente ecuación:

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

#### **Ecuación 2.1**

*Dónde:*

*d = velocidad de desgaste puntual [mpa].*

*ff = fecha de medición más reciente [años].*

*fi = fecha de medición anterior [años].*

*ei = espesor obtenido en la fecha fi [mils].*

La velocidad de desgaste promedio se calcula con la siguiente ecuación:

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

#### **Ecuación 2.2**

*Dónde:*

*n = es el número de valores de velocidad de desgaste.*

*D<sub>prom</sub> = promedio de las velocidades de desgaste [mpa].*

*d1, d2 = velocidades de desgaste puntuales.*

Si durante el cálculo se detectan varios puntos críticos o atípicos se deberán analizar por separado para programar su fecha próxima de inspección aparte. Para el cálculo de la velocidad de desgaste máxima ajustada se utilizan las siguientes ecuaciones:

Para puntos normales:

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

### **Ecuación 2.3**

Donde  $D_{MAX}$  = velocidad de desgaste máxima ajustada [mpa].

Para puntos atípicos:

$$D_{MAX} = D_{prom} + t_{\alpha} \frac{S}{\sqrt{n}}$$

### **Ecuación 2.4**

Dónde:

$S$  = desviación estándar de la muestra.

$t_{\alpha}$  = valor de la  $t$  de student para una cola.

Para el cálculo de la desviación estándar de los puntos medidos:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (d_i - D_{prom})^2}{n - 1}}$$

### **Ecuación 2.5**

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

### **Ecuación 2.6**

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

### **Ecuación 2.7**

$$FRP = fk + VUE$$

### **Ecuación 2.8**

Para el cálculo de VUE, FPME, y FRP es necesario 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. Las variables son:

*fk = fecha de última medición [años].*

*ek = espesor más bajo encontrado en las última medición [mils].*

*Lr = límite de retiro [mils].*

Para el caso de tuberías con extremos roscados, al espesor de retiro se le agrega el valor R, que es un espesor adicional debido a la profundidad de la cuerda en pulgadas.

$$T_{rr} = T_r + R$$

### **Ecuación 2.9**

*R = 0.060" para ¾".*

*R = 0.060" para 1" a 2".*

*R = 0.060" para 2½" a 24".*

*Dónde:*

*T<sub>RR</sub> = espesor de retiro para tubería con extremos roscados en pulgadas.*

De acuerdo a estas ecuaciones, los espesores de retiro no debe ser menores a 0.090" para tuberías con extremos planos, ni menores a 0.110" para tuberías con extremos roscados.

**Tabla 2.4 Valores de referencia para el cálculo de espesores en tuberías de proceso. <sup>(11)</sup>**

DIAMETRO NOMINAL	TUBERIA CON EXTREMOS PLANOS	TUBERIA ROSCADA	CONEXIONES CON BRIDA Y VALVULA 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

**Notas:**

- 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 temperatura de diseño superiores a los 800 F, se debe consultar lo correspondiente en el Código ANSI B 16.5

**2.10.1.7 Uso de resultados de la medición de espesores en líneas y equipos**

Para el análisis de los resultados de las mediciones de espesores se verán tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

La medición de todas las unidades de control, críticas o no, deben efectuarse 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.

- Si análisis realizados con anterioridad indican variación en la velocidad de desgaste, se considera el siguiente criterio:

- ❖ Cuando el cambio sea en el sentido de aumentar la velocidad de desgaste, se toma en cuenta el valor obtenido en el análisis actual.
  - ❖ Cuando el cambio sea en el sentido de disminuir, 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; cabe señalar 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 actual.
- Si la vida útil que se obtenga es menor o igual a 1.5 años, procede a emplazar la pieza, línea o equipo. No se debe aceptar prórrogas más allá de la fecha de retiro para cumplir con los emplazamientos.

## **2.10.2 Sistema de Medición y Control de Espesores en Líneas y Equipos (SIMECELE) <sup>(3)</sup>**

### **2.10.2.1 ¿Qué es el SIMECELE?**

El SIMECELE, es un desarrollo tecnológico que tiene por objeto la mejora continua de la Administración y Control de la información, así como las actividades relacionadas con la integridad mecánica de líneas y equipos, en las instalaciones de proceso de PEMEX-Refinación. Fue desarrollado por el grupo CEASPA<sup>4A</sup>, Centro de Estudios para la Administración de la Seguridad de los Procesos Petroquímicos, Poliméricos y la Protección Ambiental, de la Facultad de Química; dirigido por el Dr. M. Javier Cruz Gómez.

El SIMECELE, cuenta con una serie de módulos de software para la generación y consulta de la información relacionada con la inspección técnica; así como para la administración y control del trabajo de inspección; los cuales están en mejora continua, para aplicar la experiencia y el buen criterio del personal del centro de trabajo facilitando el trabajo común y como una herramienta para identificar los errores posibles.

El software incluye una aplicación capaz de capturar datos directamente en campo desde algún instrumento ultrasónico de espesores, identificar claramente los puntos que se están midiendo y analizar los datos en la misma toma, respecto al historial. Con esta aplicación es posible:

- Identificar anomalías en el momento de la medición.
- Disminuir el error humano en la toma de las mediciones por recaptura.
- Eliminar el dictado de valores o una incorrecta identificación del punto medido.

### **2.10.2.2 ¿Para qué sirve el SIMECELE?**

La implementación del SIMECELE en los centros de trabajo, impacta en la mejora de las prácticas de la administración de la integridad mecánica en las instalaciones, como son:

- Disponibilidad de la información de tecnología del proceso en la intranet.
- Información actualizada y disponible de los expedientes de inspección técnica de líneas y equipos de proceso.
- Actualización rápida y sencilla de los diagramas isométricos de inspección.
- Control y administración del trabajo de inspección, que mejorará la eficacia en el trabajo cotidiano de medición de espesores en líneas y equipos.

### **2.10.2.3 Módulos del SIMECELE**

La ventana principal cuenta con un árbol con todos los elementos de un centro de trabajo, plantas o instalaciones y sectores, circuitos y unidades de control.

El SIMECELE cuenta con los siguientes módulos:

- Captura y edición de la información:

Permite ingresar nuevos datos al sistema así como, editar la información contenida en el mismo. Al dar clic en esta opción se abrirá el “Menú de

capturas del SIMECELE” desde el cual se puede acceder a la captura y edición de nuevas unidades de control ya sea de líneas o equipos, inspecciones, equipos de medición, personal, etc.

➤ Consulta de información:

Este módulo, permite acceder, de manera rápida a la información que desee consultar acerca de la administración de la medición de espesores. Al dar clic en esta opción se puede consultar información de próximas fechas de inspección, características de la unidad de control, así como el resumen de información de alguna planta en el centro de trabajo, etc. Este módulo no permite modificar información contenida en el sistema.

➤ Ver isométricos en la intranet:

Con esta opción se crea un enlace a través de la intranet de PEMEX-Refinación, con el sistema de información para diagramas técnicos inteligentes en el cual se consultan los isométricos, los diagramas de tubería e instrumentación (DTI) y los diagramas de flujo de proceso (DFP) de las instalaciones del centro de trabajo.

➤ Creación y consulta de reportes:

Este módulo, permite crear y consultar los reportes para cada inspección de las unidades de control que se requieran. Los reportes se generan de acuerdo a la norma DG-GPASI-IT-00204 y pueden ser impresos desde el SIMECELE. De ser necesario genera órdenes de emplazamiento o mantenimiento de las piezas.

➤ Creación de consulta de especificación de materiales de cada planta:

Este módulo, permite administrar la información de los materiales y las especificaciones con las que fue diseñada la planta, según el libro de ingeniería del licenciador de la misma. Contiene datos de materiales, cédula y detalles de tubería, niplería, bridas y válvulas con las que fue diseñado una sección específica de la planta; así como los servicios que puede manejar y las condiciones máximas de operación (presión y temperatura).

- Creación o edición de nuevos isométricos:

Este módulo, abre una ventana en la que estarán disponibles, los espacios de edición y creación de isométricos utilizando la barra de herramientas del SIMECELE, para facilitar el trabajo con isométricos requeridos para la administración de espesores.

## **2.11 Metodología para la implementación del SIMECELE en una planta de proceso <sup>(3)</sup>**

El proceso de implementación del SIMECELE en centros de trabajo donde se cuenta con un departamento de Inspección Técnica se ve beneficiado en la mejora de las prácticas de la administración de la Integridad Mecánica y la Inspección Preventiva de Espesores, tales como:

- Disponibilidad de la información del proceso a través de las tecnologías de la información, tales como la intranet.
- Información actualizada y disponible de los expedientes de inspección técnica de líneas y equipos.
- Actualización rápida y sencilla de los Diagramas para Inspección Técnica de Espesores; mismos que son digitalizados en AutoCAD® con la ayuda de la herramienta QITDraw.
- Control y administración del trabajo de inspección, lo cual mejorará la eficacia en el trabajo cotidiano de medición de espesores en líneas y equipos.

Uno de los objetivos del presente trabajo es explicar el proceso de la implementación del SIMECELE; el cual consta de 9 etapas que se explican en las siguientes secciones.



### 2.11.1 Recopilación de Información de la planta de proceso

La información necesaria para la implementación del SIMECELE es el estudio de la planta que involucra conocer la descripción del proceso, con el fin de conocer las condiciones de operación, los fluidos implicados y los demás factores determinantes en la acotación de los circuitos y unidades de control.

A continuación se enlistan algunos de los documentos que sirven para conocer la planta:

- Descripción del Proceso. Explica la secuencia del proceso de manera general, el cual incluye las condiciones de operación e información de los equipos para la producción de un producto.
- Diagrama de Flujo de Proceso. Es una representación de manera gráfica de la secuencia del proceso incluye la tubería y el equipo principal así como su identificación; muestra la presión y la temperatura y las corrientes involucradas.
- Diagramas de Tubería e Instrumentación. Representa de forma detallada los flujos que se manejan en cada tubería, las condiciones de operación, tipo de material de la tubería, instrumentos de medición y control, como controladores de presión o de temperatura; válvulas de seguridad y discos de ruptura; accesorios como trampas, juntas de expansión y el sistema de desfogue.
- Catálogo de Líneas. Compila todas las líneas separadas de acuerdo al servicio que maneja, ya sea proceso, desfogue o servicio auxiliar; indica la clase del material, condiciones de diseño de la tubería, ruta, flujo, aislamiento.
- Catálogo de Especificaciones de Tuberías. Agrupa las clases de materiales que se pueden encontrar en la planta e indica las especificaciones de acuerdo al diámetro para cada una de las clases, para tuberías, válvulas, bridas, conexiones, juntas, tornillería y uniones; así como el material base y corrosión permitida. Es importante utilizar las especificaciones de acuerdo al licenciador de cada planta.
- Listado de Equipos. Enumera todos los equipos que componen la planta e indica su tag de línea.

- Índice de Servicios. Clasifica los servicios de la planta, tanto de proceso como auxiliares indicando la clave con que se representan en los diagramas así como la clase de material que corresponde a cada servicio.
- Normas, Guías y /o Procedimientos de Inspección Técnica. Establecen los criterios base para la implementación del SIMECELE. Es importante verificar la última revisión existente de las mismas.
- Dibujos para Inspección Técnica. Son los isométricos de líneas y dibujos de equipos que utilizan como representaciones gráficas del proceso, donde se identifican los niveles a inspeccionar. Es importante recopilar todos los diagramas de los equipos y líneas que integren los Censos de Unidades de Control de Líneas y Equipos.
- Expedientes de Unidades de Control. Estos documentos contienen datos de las calibraciones de los diagramas de inspección técnica.
- Hojas de Datos y Diseño Mecánico de Equipos. Contiene datos de equipos tales como, dimensiones, datos de diseño y fabricación, materiales de partes del equipo como cuerpo, tapas, placas, bridas, boquillas, etc.
- Censo de niplería. Es un documento que contiene el censo de niplería por unidad de control. Este censo debe contar con un registro de todos los cambios y modificaciones realizados a los arreglos de niplería.
- Censo de Válvulas de Seguridad/ Hoja de datos de válvulas de seguridad. Es un documento que contiene los datos en los que opera la válvula de seguridad.

Esta etapa es muy importante ya que es la base para las etapas posteriores de la implementación.

### **2.11.2 Identificación y censo de Circuitos (CC) de acuerdo a Diagrama de Flujo de Proceso (DFP)**

Esta etapa es subsecuente al estudio de la descripción del proceso, para esto se deben de localizar las corrientes principales de proceso que entran a la planta en el Diagrama de Flujo de Proceso, así como las corrientes principales de proceso que son producto de la transformación que se lleva a cabo en la misma.

En caso de que no existan DFP's, se procederá a realizar un diagrama de bloques en el cual, se deben colocar los equipos y las corrientes primarias que representen los circuitos localizados en este diagrama y se le pondrá por nombre "Diagrama de Identificación de Circuitos".

Para tener una mejor comprensión del proceso conviene aprender la simbología y nomenclatura correcta de los DFP's, tomando en cuenta los siguientes elementos:

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

Los circuitos se deben dividir en líneas y equipos. Los circuitos de líneas se identifican tomando como base el criterio de la guía DG-SASIPA-IT-0204 Rev. 7; es decir, un circuito es aquel que: "maneja un fluido con la misma composición, pudiendo variar en sus diferentes partes las condiciones de operación".

Antes de comenzar a marcar los circuitos es conveniente mencionar que existen equipos que:

- Solo cambian las condiciones de operación (bombas, intercambiadores, soloaires, etc.).
- Aquellos equipos que cambian la composición (Torres, reactores, tanques, desaladores, tanques separadores de fases, etc.) por lo que es de suma importancia identificar los diferentes equipos para facilitar la identificación de los cambios de composición en las líneas.

Para la identificación de cada uno de los circuitos se utilizan diferentes colores, con el fin de diferenciar cada servicio presente en la planta con cada color. Se elabora una lista que incluya el nombre y número de circuito; así como el servicio que maneje y se puede anexar una breve descripción.

Cabe mencionar que el nombre de cada circuito debe hacer referencia al servicio que maneja; en tanto que los circuitos de alimentación y carga se denomina como tal por ser parte del proceso a la que corresponden.

Además de que el número asignado a cada circuito debe ser de acuerdo al orden del proceso; por lo tanto la alimentación será el circuito 1; y así sucesivamente y por último el circuito de desfogue.

Para el caso de equipos, debe realizarse una lista de los equipos que estén en operación, cada equipo representa un circuito.

Con estos censos se hace un barrido completo de la planta, de tal manera que si falta alguna sección o tramos de tubería de interconexión o equipos, será relativamente fácil su identificación; a esta actividad se le llama también validación. Con esto se verán las secciones de proceso a las cuales no se les ha realizado inspección. De esta forma se garantiza que todas las líneas y equipos contarán con un expediente de inspección técnica.

Se deja a criterio del Ing. de Seguridad del Sector el anexar o no al censo de circuitos de líneas los servicios auxiliares (gas combustible, flushing, agua de enfriamiento, vapor de media, vapor de baja, etc.). En caso de que se decidiera anexarlos, estos se colocarán después del último circuito de líneas (geralmente después del desfogue).

### **2.11.3 Identificación y censo de Unidades de Control en el Diagrama de Tubería e Instrumentación**

Una unidad de control está definida en la guía DG-SASIPA-IT-0204 Rev. 7 como: sección de circuito que tiene una velocidad de desgaste más o menos homogénea, en intervalos de 0-8 mpa, de 8-15 mpa y mayor a 15 mpa.”

La división de unidades de control de líneas y equipos se realiza con el fin de gestionar las inspecciones necesarias, los cálculos y el mantenimiento de las mismas.

Las unidades de control se enlistan de acuerdo al proceso y del circuito al que pertenezcan y se identifican con nombre y color.

Además de que los cabezales de desfogue serán considerados como una sola unidad de control y cada uno de sus disparos como unidad de control independiente.

En un DTI se puede identificar la línea que comunica a dos o más equipos, conocida como “línea principal”, y las líneas secundarias comúnmente llamadas “disparos”, que por cuestiones de operación de la planta tiene a lo largo de su trayecto.

Es conveniente contemplar los disparos hasta llegar a la primera válvula de bloqueo (válvula de corte); debido a que la válvula es mejor referencia en campo que un accesorio seleccionado de forma arbitraria; y en las válvulas que generan una caída de presión considerable.

Una vez identificada la unidad de control, se elabora una lista que contenga:

- Nombre de la unidad de control.
- Unidad de control anterior, en caso de que haya pertenecido a otra; y se debe indicar si es una nueva unidad de control.
- Diagrama de ubicación.
- Circuito al que pertenece.
- Descripción de la unidad de control.

Es importante recalcar que para realizar la identificación de las unidades de control hay que tomar en cuenta tres criterios básicos:

- Una unidad de control debe mantener las mismas condiciones de operación (temperatura y presión).
- Generalmente, una unidad de control va de equipo a equipo.
- Existe cambio de la unidad de control cuando hay cambio de material de la línea (especificación de material de tubería registrada en el DTI); ya que esta no puede contener dos o más clases de material, debido a que el comportamiento de la velocidad de desgaste es distinto para cada clase.

La identificación de las unidades de control marcadas debe cumplir con los siguientes requisitos:

- El código debe iniciar con las letras UC (Unidad de Control).
- Continuar con las siglas de la planta o con su código de identificación, por ejemplo: FCC-1 (Planta desintegradora Catalítica No. 1).
- Número de la UC constituido por tres dígitos.
- Cada sección debe estar separada por un guión y se anexará su código de identificación anterior.

Para el caso de equipos; se elabora con base al censo de circuitos de equipos, utilizando las hojas de diseño, los diagramas de tubería e instrumentación y sus expedientes.

Cada equipo es un circuito, por lo que la unidad de control es una sección del mismo, cada equipo se seccionará de acuerdo a sus datos de diseño por lo que es diferente el criterio que se utiliza para seccionarlos.

A continuación se menciona la división de unidades de control de acuerdo al circuito; es decir para cada equipo.

➤ Torres:

Para seccionar las torres de destilación se analizan sus velocidades de desgaste. Se puede seccionar en domo, fondo y cuerpo de la torre; en caso de contar con extracciones.

➤ Acumuladores:

Cada acumulador representa una unidad de control siempre y cuando sus velocidades de desgaste se puedan considerar homogéneas.

En caso de tener acumuladores de bota, es conveniente dividir la zona líquida de la de vapor para evitar errores de velocidad de desgaste diferente.

➤ Intercambiador de calor:

Estos equipos se dividen en dos unidades de control; el carrete y otra en el cuerpo. Si se cuenta con cabezal flotante se incluye como unidad de control el cuerpo; mientras que para un intercambiador de cabezal fijo se incluye en la unidad de control el carrete por manejar el mismo fluido. Para intercambiadores de horquilla o doble tubo se consideran dos unidades de control, una para la parte del fluido frío y otra para la parte del fluido caliente.

En el caso de los intercambiadores tipo Reboiler, debido a las fases que presenta el fluido se tendrían que dividir en tres unidades de control: una para el carrete, otra para la fase líquida en el cuerpo y una última fase vapor en el cuerpo; es necesario revisar el expediente de este equipo para verificar si existe o no una variación significativa en las mediciones de la sección del cuerpo que involucra ambas fases, lo que implica una velocidad de desgaste homogénea; por lo que se puede considerar como dos unidades de control, una para el cuerpo (independiente de la fase) y una para el carrete.

Los intercambiadores de Kettle tipo Reboiler cuentan con un nivel de operación, y debido a las dos fases presentes en el cuerpo tienen como instrumentación un indicador de nivel (LG), el cual se considera como unidad de control independiente al equipo.

Para el caso de los rehervidores se considera únicamente una unidad de control correspondiente al cuerpo, puesto que en su totalidad estos equipos operan con vapor como servicio auxiliar.

➤ Bombas:

Cada bomba representará una unidad de control.

#### **2.11.4 Actualización en campo de Diagramas para Inspección Técnica de Espesores (DITE)**

Un isométrico es la representación gráfica de una unidad de control en donde se identifica fácilmente los sitios en donde debe existir un nivel de medición. En ocasiones el centro de trabajo cuenta con isométricos en papel; el cual debe actualizarse en campo y posteriormente se digitaliza en AutoCAD®; en caso de que no se cuente con el isométrico en papel, se debe realizar el levantamiento del mismo siguiendo líneas e identificando componentes en campo (niplerías, tornillerías, etc.).

Todos los levantamientos de líneas y equipos en campo serán útiles para el proceso de digitalización, por lo que debe contener información clara. También debe contener el nombre de quién lo levantó, fecha en que se realizó, nombre del equipo, unidad de control y circuito al que pertenece el levantamiento.

En la hoja del levantamiento en la parte superior derecha se indica el norte, con base a este se asignarán las direcciones de las líneas en el isométrico; se ubica el equipo en el plano general de localización de la planta y se identifica de donde proviene la línea y/o líneas que se van a levantar, teniendo presente el norte de construcción de la planta para facilitar su localización.

Antes de salir al área, es conveniente estudiar el nivel de riesgo donde se va a trabajar; área de gases, zona eléctrica etc. Una vez en campo se debe observar a su alrededor con el fin de identificar equipos, líneas, accesorios y conexiones que puedan representar algún riesgo. Se debe evitar parar en rejillas de drenaje y recargarse en los equipos cercanos.



Al realizar un levantamiento se debe comenzar por el equipo o injerto tratando de continuar en la dirección del flujo. Se debe seguir la línea principal, dibujar los disparos y ramificaciones que vayan apareciendo y agregar como referencia las válvulas o equipos a las que estén conectados. Todo tramo de línea debe indicar claramente de donde proviene y a donde va, y se debe recordar que la unidad de control se corta en válvulas; esto facilitará la integración de todas las unidades de control.

Un levantamiento de isométricos debe contar con los siguientes puntos:

- Diámetros de las tuberías, válvulas, accesorios (tipo de reducción concéntrica o excéntrica y niplerías). Normalmente es posible ver en las válvulas el diámetro nominal y con este establecer el diámetro de la línea que se está levantando.
- Levantar a detalle las piezas de los arreglos de niplería.
- Identificar claramente los tramos de tubería y accesorios que son reforzados (roscados y soldados) y dibujos en el levantamiento.
- Revisar la unión entre soldaduras, coples y tuercas unión, entre tramos de tubería y representarlas claramente en el isométrico.
- Agregar los soportes de la línea evitando confundir los soportes de líneas más pequeñas que se apoyan sobre la tubería del levantamiento.
- En las válvulas debe indicarse claramente si son bridadas o soldadas así como indicar si están normalmente abiertas o cerradas.
- Especificar si la línea esta forrada o no, en caso de contar con aislamiento térmico se debe indicar las ventanas para la medición de espesores. Ya que en la mayoría de los casos las tuberías aisladas no tienen ventanas y si las tienen no corresponden a los niveles después de una soldadura. Por lo que se recomienda tomar los niveles del expediente y tener en cuenta que en tramos de tubería largos, cada 6 m debe haber una unión soldada. Para tener una referencia inmediata de 6 metros tomar en cuenta la distancia entre dos soportes de concreto.
- Con el fin de facilitar la integración entre unidades de control se debe procurar levantar en el isométrico una sección más de la línea, es decir hasta el próximo bloqueo o válvula. De tal manera que al final sea

sencillo unir todos los isométricos de manera secuencial e identificar las unidades de control nuevas.

- Asegurarse que las líneas estén orientadas en la dirección correcta.
- Finalmente hacer en el levantamiento las anotaciones correspondientes, si la línea está enterrada, si hubo limitantes de altura, si la tubería está demasiado oxidada o cualquier indicación que se observe en campo.

### **2.11.5 Digitalización en AutoCAD® de los DITE actualizados en el formato del SIMECELE <sup>(12)</sup>**

Consiste en generar una copia electrónica de las unidades de control que conforman la planta, para lo cual se necesitan los levantamientos.

Para esto se requiere tener conocimiento previo de AutoCAD®. El SIMECELE cuenta con un módulo de dibujo que incluye barras de herramientas que facilitan la elaboración de estos diagramas; a través de un menú contextual se puede escoger la barra de herramientas que se desee activar o desactivar.

Los isométricos se dibujan en AutoCAD®; bajo ciertas características estandarizadas para que estos puedan ser cargados en el Sistema de Diagramas Técnicos Inteligentes, SIDTI. Este sistema permite la visualización, organización y utilización de varios tipos de diagramas técnicos (DFP, DTI, isométricos, etc.), con acceso dinámico a información asociada sobre cada elemento (accesorio, equipo, línea o instrumento) y vínculos que permiten la localización rápida de dichos elementos, así como su enlace con otros diagramas referenciados.

Otras características del SIDTI es la definición de capas que pueden ser encendidas o apagadas de acuerdo a la información que se desee revisar, por ejemplo en el caso de los DTI, hay capas de equipos, de instrumentación, de los diferentes servicios, etc.; para los isométricos, las capas son para identificar los niveles de niplería, tornillería, tubería, etc. Se cuenta además con bloques de dibujo predefinidos para los elementos que componen los diagramas. Cabe señalar que el SIMECELE puede enlazarse con el sistema SIDTI vía intranet.

Para el dibujo de diagramas técnicos se cuentan con los procedimientos correspondientes, que incluyen diversos criterios como espaciamiento, orientación, etc. En el caso de los isométricos para inspección técnica será necesario establecer las bases para la numeración de los niveles de medición, que son los puntos en donde se tomarán las mediciones del espesor de pared y los criterios para identificación de niveles de tubería y equipo de proceso, los cuales ya se describieron con anterioridad.

#### **2.11.6 Correlación de niveles en los diagramas actualizados con el isométrico del expedientes (Empate)**

Un empate de niveles de inspección en una unidad de control, es la relación de niveles de un isométrico de referencia (del expediente) con uno actualizado (el que se digitalizó a partir de los levantamientos). En el proceso de actualización de un isométrico, tiene la correspondencia entre los niveles anteriores y los actuales, además se pueden tener niveles nuevos y niveles que se haya eliminado.

Como parte de esta actividad se elabora un documento para registrar la reenumeración de los niveles de medición, en donde queda asentado el número del nivel anterior y el nuevo número de nivel que le asigna el sistema, así como los niveles que se pierden y su justificación.

Los empates son esenciales para cargar unidades de control al SIMECELE, es decir que, para cargar una inspección es necesario tener el empate que asocie cada uno de los niveles y permita asignar correctamente las mediciones de espesor a un nivel marcado en el isométrico.

El primer paso de un empate es llenar los siguientes datos para el control en el formato de empate:

- Nombre de la planta.
- Unidad de control final en SIMECELE.
- Unidad de control anterior (o de referencia, este puede variar dependiendo como sean identificadas las unidades de control en el centro de trabajo).

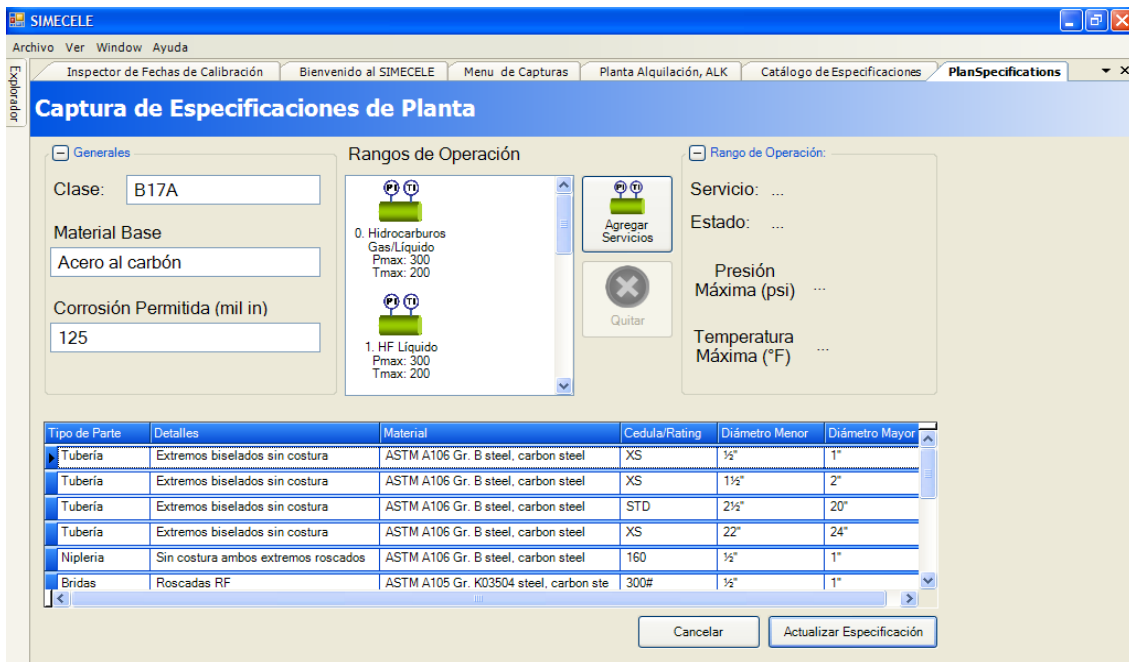
- Iniciales del nombre completo de la persona que realiza el empate.
- Iniciales del nombre completo de la persona que realiza la captura en SIMECELE.
- Fecha de elaboración del empate (día/mes/año).
- Observaciones (solo si es necesario).

Y por último, comparar el isométrico actualizado con el isométrico de referencia en cuanto a los niveles de inspección.

### **2.11.7 Captura de especificación de materiales de la planta de proceso**

El SIMECELE cuenta con un módulo de captura y edición de especificación de materiales que permite administrar la información de los materiales y las especificaciones con las que fue construida cada instalación, según el libro de ingeniería del licenciador. La especificación de materiales se muestra representada por la misma nomenclatura contenida en el libro de ingeniería y DTI de la instalación (en general, son tres o cuatro caracteres, ejemplo: A2A o J112). Cada especificación contiene los datos de materiales, cédulas y detalles de tuberías, niplería, bridas y válvulas, con los que fue diseñada, una sección específica de la instalación; así como, los servicios que puede manejar y las condiciones máximas de operación (presión y temperatura).

Después de introducir al sistema la clase de material (Ej.: A2A), se escribe el material base (Ej.: Acero al carbón) y por último la corrosión permitida en milésimas de pulgadas (Ej.: 50). Como se muestra en la Figura 2.8.



**Figura 2.8 Captura de especificaciones de la planta.**

Para poner el rango de operación se llenan los campos “Servicio” (Ej.: Vapor de baja) y “Estado” (Ej.: Vapor); y se escribe la presión y temperatura máxima del servicio en las unidades en que se solicitan. Después se debe agregar las características de la tubería, nipliería, bridas y válvulas, correspondientes a la especificación de material.

En esta sección se debe seleccionar:

- El tipo de parte a capturar (tubería, nipliería, bridas o válvulas).
- Escribir una descripción de la pieza (Ej.: extremos planos, sin costura, cuello soldable, cara realzada (R.F); válvula bridada de globo).
- Seleccionar del banco de datos el material con el que está construido: País (Ej.: USA); Sociedad emisora (Ej.: ASTM); Estándar de material (Ej.: A53). Grado del material (Ej.: B).
- Seleccionar la Cédula/Rating adecuado para el accesorio. En caso de nipliería y tubería, se requiere un dato de cédula; si se trata de una brida o válvula se debe especificar el libraje.
- El rango de diámetros, en los cuales se ocupará esta pieza, de acuerdo a: diámetro menor y diámetro mayor.

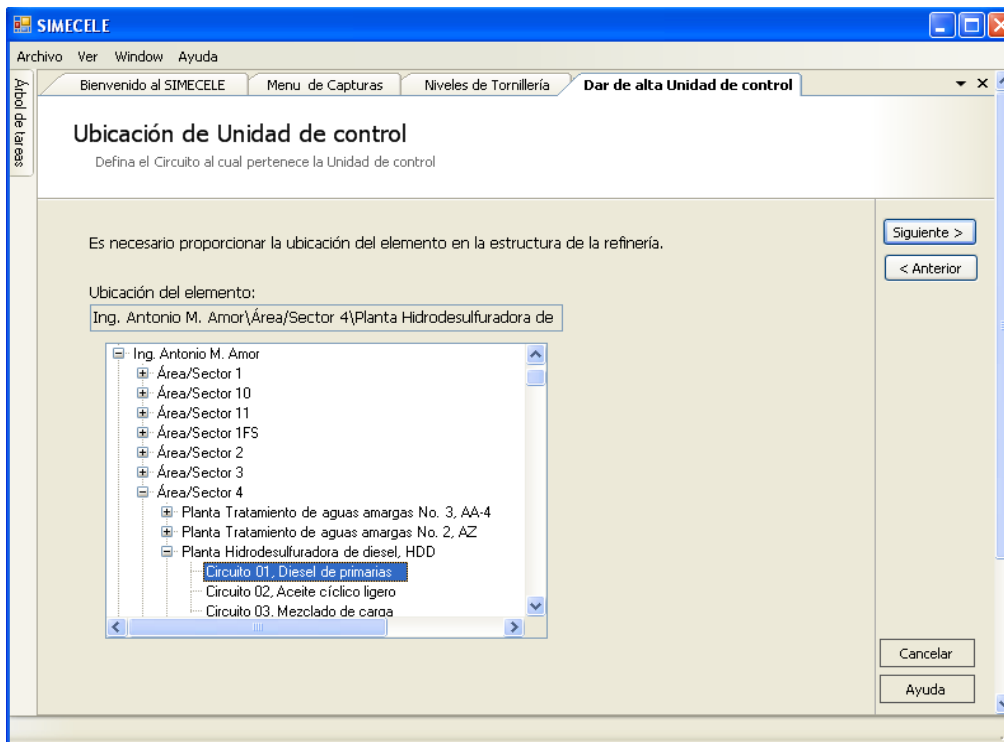
### **2.11.8 Captura de la estructura de la ubicación de la planta en el SIMECELE**

Para esta captura primero se da de alta las áreas y sectores del centro de trabajo, se selecciona el centro de trabajo y en seguida, se da un número (01,02,...) y nombre al sector (Sector 1, Área 1).

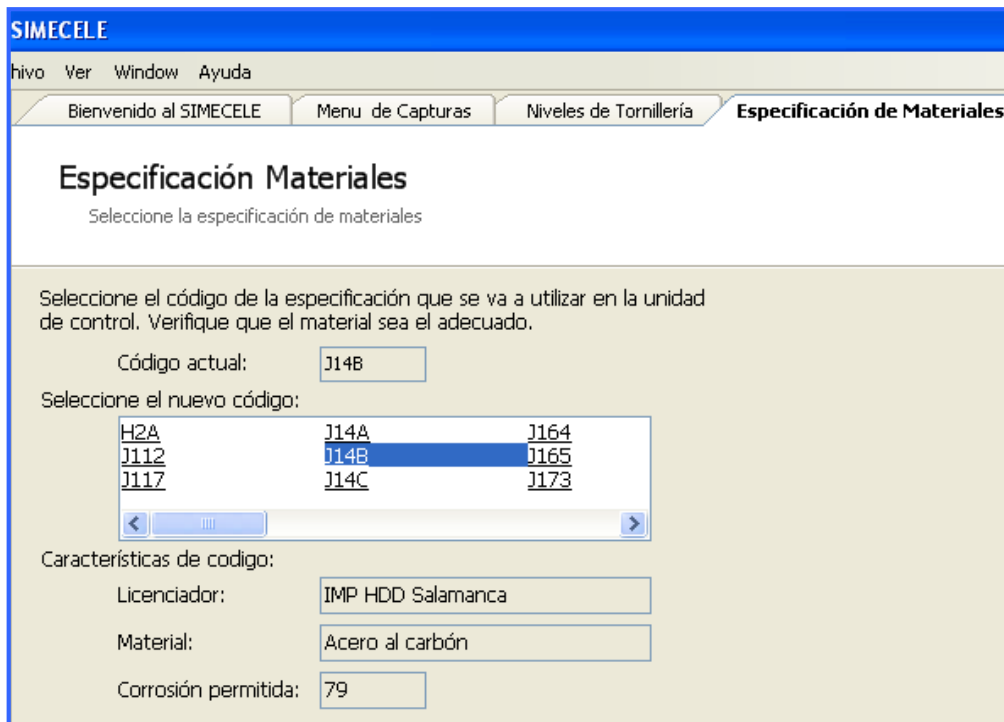
Posteriormente se da de alta la planta, ubicando primero el centro de trabajo (gerencia y sector) y después se escribe un código de identificación para la planta formado de 3 a 5 caracteres (Ej.: Planta hidrodesulfuradora de diesel: **HDD** o válvula de seccionamiento Km 100+2: **VS100**); finalmente se selecciona el licenciador y el servicio que se maneja (Ej.: Vapor de alta), así como el estado del fluido (Ej.: Líquido, Vapor o Mezcla líquido-vapor).

Una vez que los datos han sido dados de alta, es posible capturar una nueva unidad de control, para esto se requiere:

- Seleccionar la ubicación de la unidad de control, por centro de trabajo, sector o área, planta y circuito.
- Introducir un código de identificación de la unidad de control de 3 números. (Ver figura 2.9).
- Seleccionar la clave de la especificación de material correspondiente a la unidad de control. (Ver figura 2.10).
- Seleccionar el servicio que provee la unidad de control.
- Escribir la presión y temperatura de operación en las unidades en que se solicitan. (Ver figura 2.11).
- Seleccionar de la lista de “diámetros disponibles” los diámetros que se tienen en la unidad de control, para tubería y niplería. (Ver figura 2.12).



**Figura 2.9 Ubicación de la unidad de control.**



**Figura 2.10 Captura de la especificación de material.**

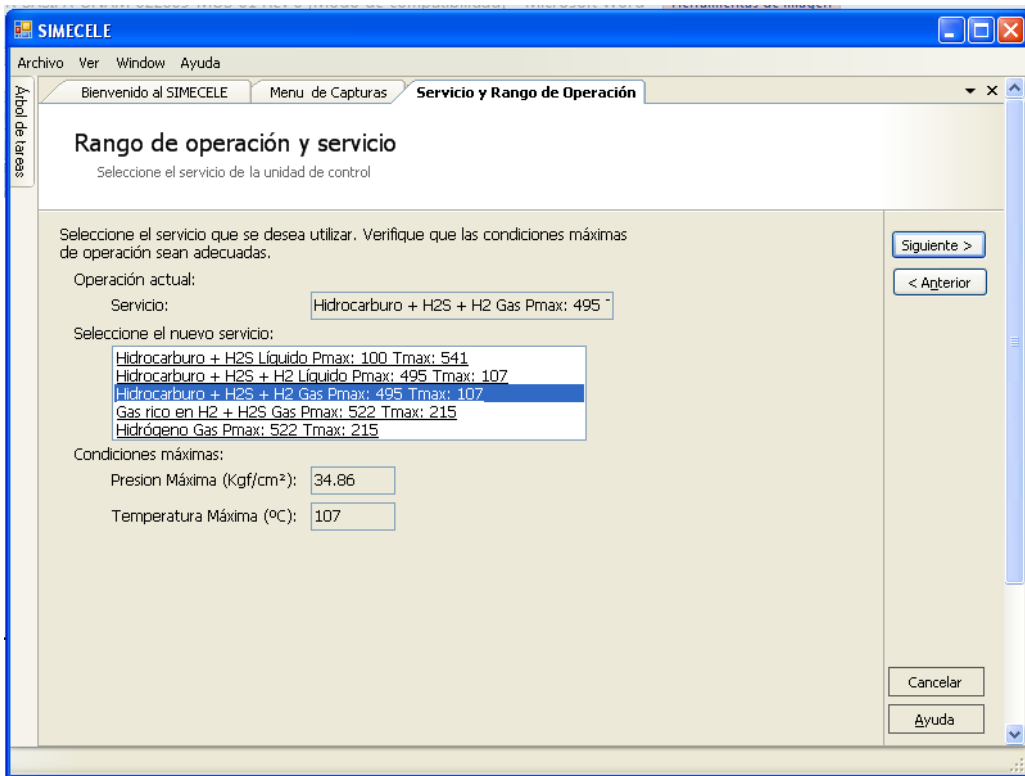


Figura 2.11 Captura del rango de operación y servicio.

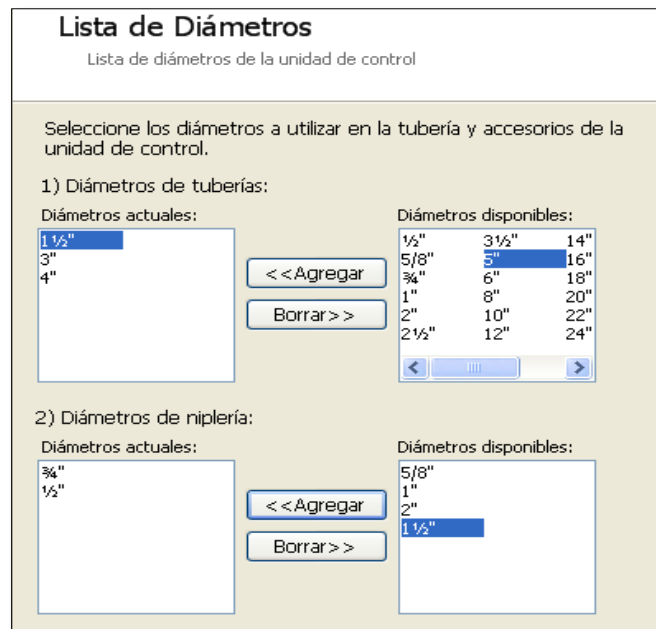
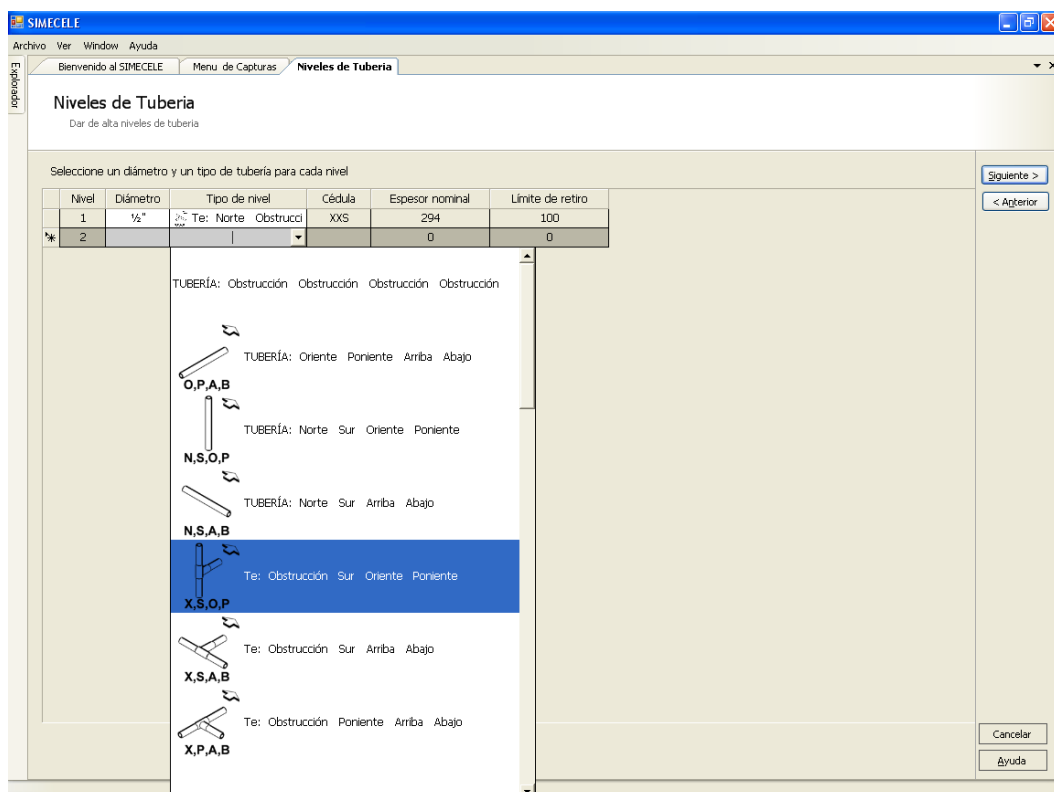


Figura 2.12 Lista de diámetros.



- Introducir los niveles de tubería, niplería y tornillería (figuras 2.13, 2.14, 2.15).
  - ❖ Se selecciona la primera celda de la columna “Nivel”.
  - ❖ Seleccionar un diámetro de la lista.
  - ❖ Para reducciones, se debe seleccionar el diámetro mayor, es decir si se tiene una reducción de 4”X3”, al darlo de alta como nivel de tubería, se debe especificar 4”, en la columna “Diámetro”.
  - ❖ Seleccionar el “Tipo de nivel” del mismo renglón y seleccione un tipo de arreglo de la lista.
  - ❖ Los demás datos de la tabla serán llenados automáticamente al determinar los datos anteriores.
  - ❖ Para el caso de niplería se debe especificar si el arreglo es soldado o roscado.
  - ❖ Para la tornillería se debe especificar el número de espárragos, el libraje será llenado automáticamente al llenar el diámetro.



**Figura 2.13 Niveles de tubería.**

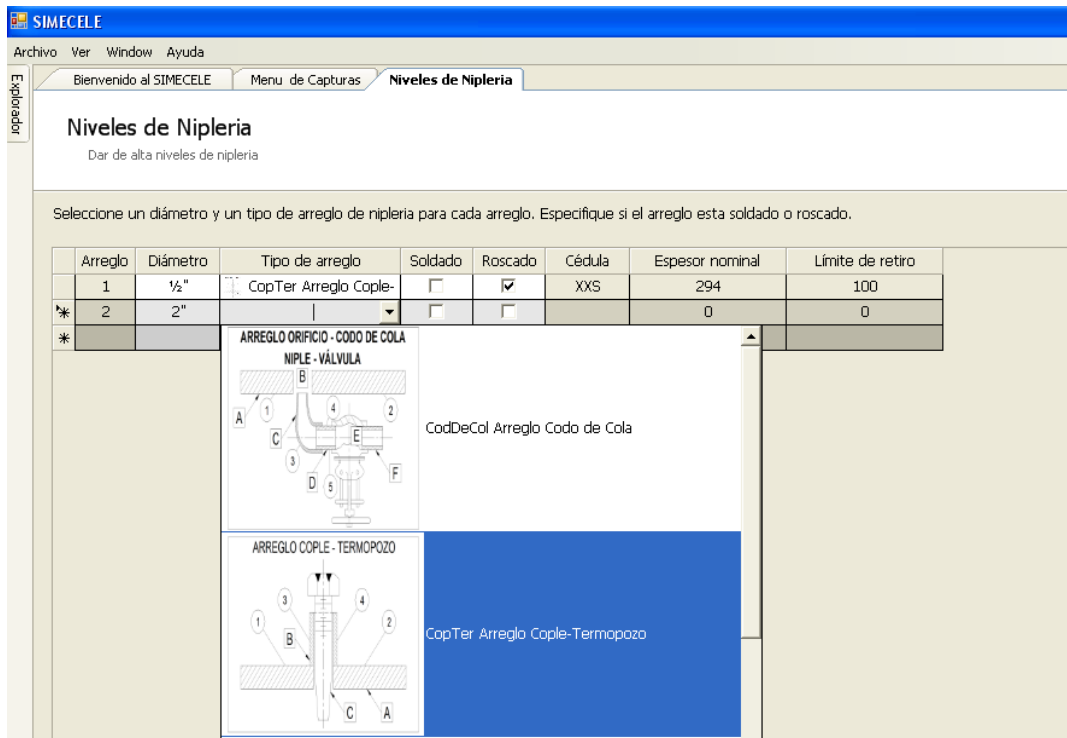


Figura 2.14 Niveles de niplería.

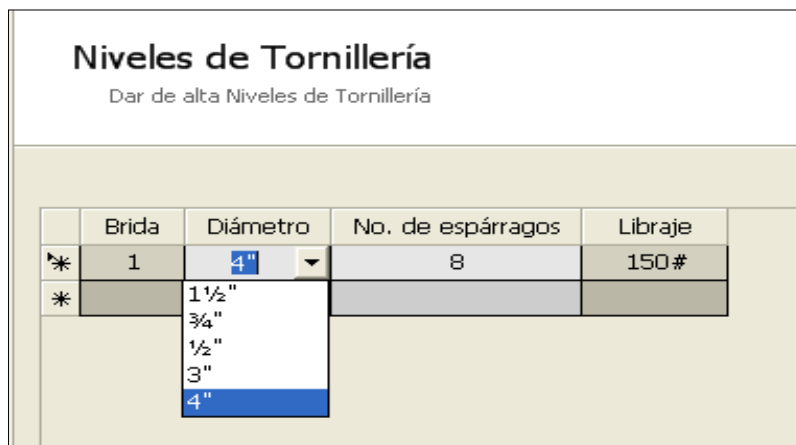


Figura 2.15 Niveles de tornillería.

### **2.11.9 Captura de inspección de la Unidad de Control (historial de inspección o nueva inspección)**

Para la captura de inspecciones previamente se deberá dar de alta el equipo de calibración registrando marca, modelo, número de serie e inventario, clase y descripción; así también se deberá dar de alta el personal para la calibración registrando su nombre, centro de trabajo y ficha, al cual se le asignará un usuario y contraseña. Enseguida se dará de alta la inspección anotando la fecha de la inspección y seleccionando alguna de las siguientes opciones de inspección:

- Calibración de tubería o equipo.
- Inspección visual de tubería.
- Revisión y calibración de niplería.
- Revisión de tornillería.

La captura puede hacerse de manera manual o con el equipo de medición ultrasónica.

En la siguiente figura se puede observar que se tiene una tabla con diversos datos como: “Número de nivel”, “Datos de nivel”, “Posición”, “Lectura anterior”, que no se pueden modificar. En la columna “Lectura actual”, es donde se escriben los datos de la inspección que se está capturando; de manera inmediata el programa calcula la velocidad de desgaste (mpa). En la columna “Detalles”, se muestran comentarios que genera el programa, ya sea respecto a la medición o con base en la velocidad de desgaste.

Se asigna un color amarillo a los datos con velocidad de desgaste de entre 8 a 15 mpa considerándolos como puntos normales, y más de 20 mpa de color rojo y se consideran que esta a un año o menos de su límite de retiro.

Los valores de desgaste puntual (d), desgaste promedio (Dprom) y desgaste promedio máximo ajustado (Dmax), se calculan para toda la unidad de control, mientras que la vida útil estimada (VUE), fecha de próxima medición (FPME) y fecha de retiro probable (FRP) se calculan para cada grupo de diámetro de la unidad de control.

**Calibración de tubería de marzo de 2007**  
 Inspector: El inspector no fue capturado.

Ver isométrico de la unidad de control    Exportar a Excel    Enviar datos a DMS2    Descargar datos de DMS2

Número de Nivel	Datos del Nivel	Posición	Lectura Anterior	Lectura Actual	Velocidad de Desgaste	Detalles
5	Esp. Nom.: 300 Esp. Min.: 100 Esp. Max.: 338  Diámetro: 3"	Norte	205 (may-2002)	200	0.64	Punto normal
		Sur	205 (may-2002)	20	37.94	A 1 año o menos del límite de reti
		Oriente	213 (may-1999)	100	10.47	A 1 año o menos del límite de reti
		Poniente	214 (may-1999)	300	0	Engrosamiento respecto al punto
6	Esp. Nom.: 300 Esp. Min.: 100 Esp. Max.: 338  Diámetro: 3"	Oriente	215 (may-1999)			Sin medición
		Poniente	200 (may-2002)			Sin medición
		Dentro (Garganta)	230 (may-1999)			Sin medición
		Fuera (Codo)	193 (may-1999)			Sin medición
7	Esp. Nom.: 300 Esp. Min.: 100 Esp. Max.: 338  Diámetro: 3"	Oriente	215 (may-2002)			Sin medición
		Poniente	214 (jun-2000)			Sin medición
		Arriba	222 (jun-2000)			Sin medición
		Abajo	200 (may-2002)			Sin medición
8	Esp. Nom.: 300 Esp. Min.: 100 Esp. Max.: 338  Diámetro: 3"	Arriba	215 (may-2002)			Sin medición
		Abajo	206 (jun-2000)			Sin medición
		Dentro (Garganta)	235 (jun-2000)			Sin medición
		Fuera (Codo)	200 (may-2002)			Sin medición
9	Esp. Nom.: 300 Esp. Min.: 100 Esp. Max.: 338  Diámetro: 3"	Norte	205 (may-2002)			Sin medición
		Sur	200 (may-2002)			Sin medición
		Arriba	210 (may-2002)			Sin medición
		Abajo	209 (may-1999)			Sin medición
10	Esp. Nom.: 337 Esp. Min.: 110 Esp. Max.: 379	Norte	238 (jun-2000)			Sin medición
		Sur	239 (jun-2000)			Sin medición
		Arriba	236 (jun-2000)			Sin medición

Validar    Guardar    Salir

**Figura 2.16 Captura de inspecciones.**

### 2.11.10 Elaboración del reporte de la inspección

Un expediente de inspección debe incluir el isométrico de la unidad de control, el registro de las mediciones de espesores (vaciado de calibración) y el análisis de la medición de espesores. Adicionalmente se incluye la inspección visual y calibraciones de niplería con su control de desgaste en caso de que se tengan arreglos de este tipo, y por último la inspección de tornillería de tubería y equipo. Todos estos datos los proporciona de manera automática el SIMECELE. Adicionalmente proporciona gráficas de los puntos de calibración obtenidos y las tendencias de velocidades de manera inmediata, de acuerdo a los datos proporcionados.

## **CAPÍTULO 3. IMPLEMENTACION DEL SIMECELE EN UNA PLANTA DE PROPANO-PROPILENO**

En este capítulo, se explica cómo se implementó el SIMECELE por etapa, para el análisis de la corrosión en una planta de propano-propileno; de acuerdo a la metodología planteada en el capítulo 2.

### **3.1 Recopilación de información de la planta propano-propileno**

La descripción del proceso, es clave para iniciar con el proceso de la implementación, la cual se menciona a continuación:

La corriente de propano-propileno entra a la torre fraccionadora; la función de esta es separar el propano y el propileno; para esto cuenta con 123 platos y dos rehervidores que calientan el fondo de la fraccionadora con vapor de baja presión, para poder llevar a cabo la separación. Los vapores de propileno salen por el domo de la fraccionadora, los cuales son condensados y se reciben en un tanque. Una parte del propileno acumulado en el tanque es enviado como reflujo y la otra parte a almacenamiento.

El propano que se extrae por el fondo de la fraccionadora es enfriado previamente y enviado a almacenamiento.

La planta cuenta únicamente con un DFP y un DTI, como se muestra en las tablas 3.1 y 3.2 respectivamente.

**Tabla 3.1 Diagrama de Flujo de Proceso.**

<b>No.</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>No. DE DIAGRAMA</b>
1	DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO SECCIÓN DE PROPILENO	FCC-021

**Tabla 3.2 Diagrama de Tubería e Instrumentación.**

No.	NOMBRE	No. DE DIAGRAMA
1	DIAGRAMA DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN SECCIÓN RECUPERACIÓN DE PROPILENO	FCC-014

Durante la recopilación de información de la planta se tuvo acceso a:

- Censo de unidades de control elaborado por el centro de trabajo.
- Expedientes de unidades de control de líneas y equipos; así como el isométrico, el registro de medición de espesores, el control de desgaste de niplería, inspección visual y calibraciones de niplería, inspección de tornillería de tubería y equipos.
- Catálogo de tuberías. Incluye un índice de líneas de proceso y servicios auxiliares de la planta y un catálogo de tuberías con la especificación de material, condiciones de diseño y una breve descripción de las mismas.
- Catálogo de especificación de tuberías. Para el caso de esta planta se cuenta con dos clases de material como se muestra en la tabla 3.3.

La planta consta de un total de 25 unidades de control previa a la implementación del SIMECELE, de las cuales 12 son unidades de control de líneas y 13 unidades de control de equipos.

**Tabla 3.3 Materiales del licenciador de la planta propano-propileno.**

TIPO DE SERVICIO	CLASE DE MATERIAL	MATERIAL BASE
DESFOGUE GAS	A2A	ACERO AL CARBON
GAS COMBUSTIBLE GAS	A2A	ACERO AL CARBON
PROPANO-PROPILENO LIQUIDO/GAS	B2A	ACERO AL CARBON
PROPILENO GAS	B2A	ACERO AL CARBON
PROPILENO LÍQUIDO	B2A	ACERO AL CARBON
PROPANO LÍQUIDO	B2A	ACERO AL CARBON
DESFOGUE GAS	B2A	ACERO AL CARBON

- Los materiales y sus condiciones máximas de operación se dieron de alta en el SIMECELE, así como los servicios que maneja por material.
- Las hojas de datos de los equipos están agrupados por torres, recipientes, bombas, rehervidores, cambiadores de calor. Adicional a la información están los principales datos de cada equipo como condiciones máximas y de operación, el servicio que maneja, materiales de las principales partes del equipo y datos de diseño.

La información con la que cuenta cada equipo es:

- Procedimiento de fabricación.
- Inspección, prueba y reparación por soldadura.
- Almacenamiento y protección del material.
- Lista de cordones de soldadura y homologación de soldadores.
- Procedimientos de soldadura.
- Especificación técnica de compra o requisición.
- Lista de identificación de materiales.

- Certificación de material base.
- Inspecciones con ensayos no destructivos como reportes radiográficos, de líquidos penetrantes, o partículas magnéticas.
- Plano de construcción (As Built).
- Limpieza y pintura.
- Documento que asegure la integridad mecánica del equipo para una operación segura.



### 3.2 Identificación y Censo de Circuitos en el Diagrama de Flujo de Proceso

En el siguiente diagrama de flujo de proceso de la planta propano-propileno se muestra los circuitos en que se dividió la planta. Así como el listado del censo de los circuitos.

STREAM	COMPONENT	01	02	03	04	05
01	PROPANO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
02	PROPANO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
03	PROPANO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
04	PROPANO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
05	PROPANO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
06	PROPANO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
07	PROPANO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
08	PROPANO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
09	PROPANO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	PROPANO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
11	PROPANO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
12	PROPANO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
13	PROPANO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
14	PROPANO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
15	PROPANO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
16	PROPANO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
17	PROPANO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
18	PROPANO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
19	PROPANO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
20	PROPANO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

- CIRCUITOS IDENTIFICADOS
- 01 CARGA
  - 02 PROPILENO
  - 03 PROPANO
  - 04 DESFOGUE
  - 05 GAS COMBUSTIBLE

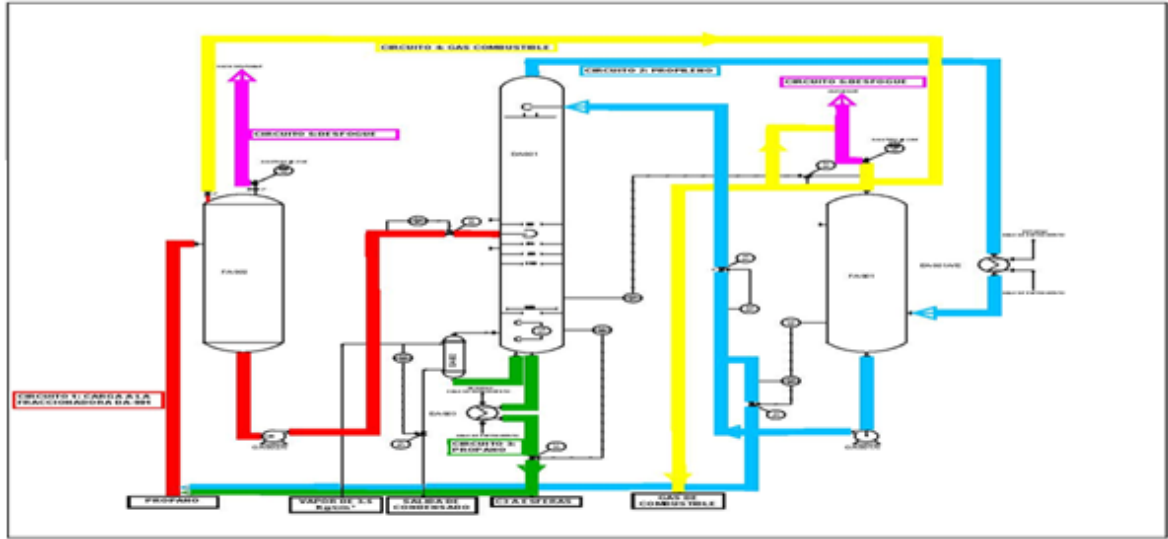


Figura 3.1 Diagrama de flujo de proceso señalando los circuitos identificados en la planta propano-propileno.

Los circuitos de la planta propano-propileno, definidos de acuerdo con la Guía DG-SASIPA-IT-0204 se muestran en la tabla 3.4 para líneas y la tabla 3.5 para equipos.

**Tabla 3.4 Censo de circuitos de líneas.**

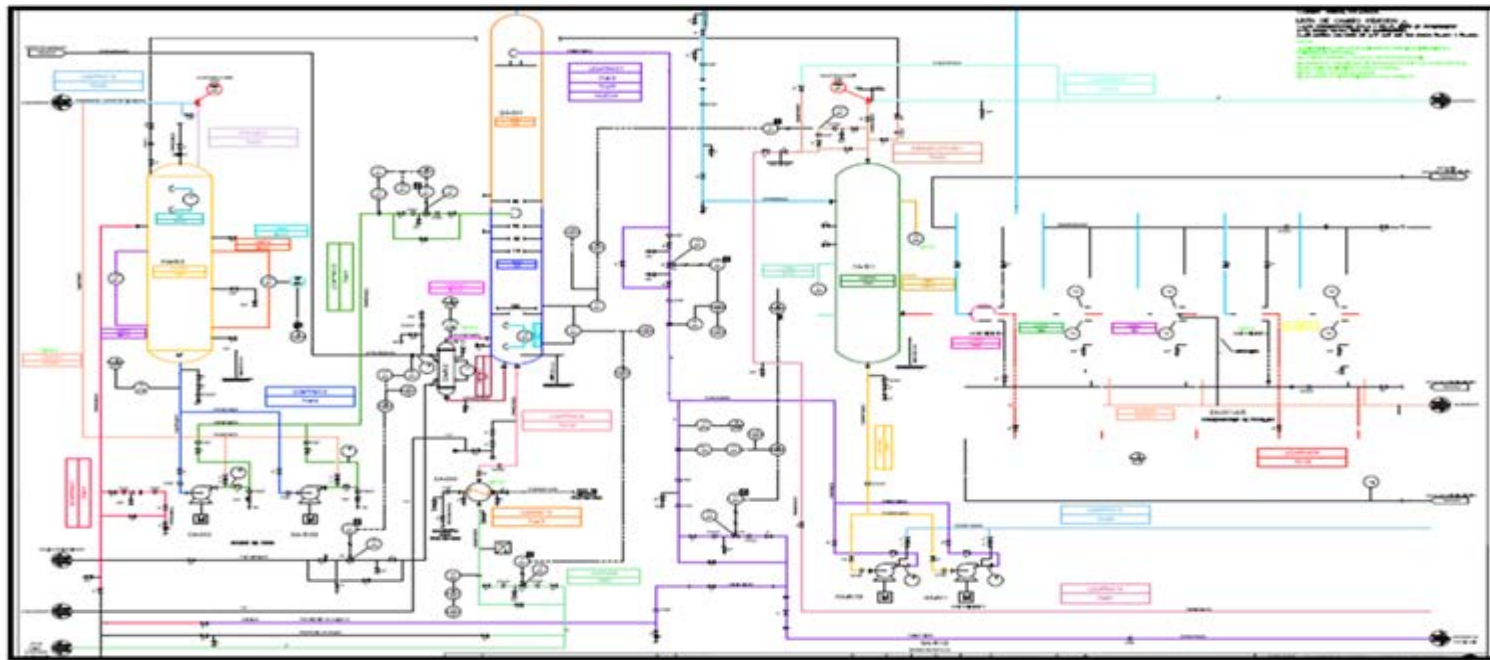
<b>NO.</b>	<b>CIRCUITO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>SERVICIO</b>	<b>DFP</b>
01	CARGA	De L.B. a FA-902	Propano-propileno	FCC-021
02	PROPILENO	De domo de DA-901 a TE-401/402 y recirculación	Propileno	FCC-021
03	PROPANO	De fondo de DA-901 a TE-405/410 y EA-902A/B	Propano	FCC-021
04	DESFOGUE	De GA-901/S, GA-902/S, PSV-901 y PSV-902 a cabezal de desfogue	Desfogue	FCC-021
05	GAS COMBUSTIBLE	De PSV-901 a cabezal de gas combustible	Gas combustible	FCC-021

**Tabla 3.5 Censo de circuitos de equipos**

<b>NO.</b>	<b>CIRCUITO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>SERVICIO</b>	<b>DFP</b>
E6	DA-901	Fraccionadora de propano-propileno, DA-901	Propano-propileno	FCC-021
E7	EA-901A	Condensador de propileno, EA-901 A	Propileno	FCC-021
E8	EA-901B	Condensador de propileno, EA-901 B	Propileno	FCC-021
E9	EA-901C	Condensador de propileno, EA-901 C	Propileno	FCC-021
E10	EA-901D	Condensador de propileno, EA-901 D	Propileno	FCC-021
E11	EA-902A	Rehervidor de la torre fraccionadora, EA-902 A	Propano	FCC-021
E12	EA-902B	Rehervidor de la torre fraccionadora, EA-902 B	Propano	FCC-021
E13	EA-903	Enfriador de propano, EA-903	Propano	FCC-021
E14	FA-901	Acumulador de propileno, FA-901	Propileno	FCC-021
E15	FA-902	Acumulador de carga, FA-902	Propano	FCC-021

### 3.3 Identificación y Censo de Unidades de Control en el Diagrama de Tubería e Instrumentación (DTI)

En el siguiente diagrama de tubería e instrumentación se muestran las unidades de control en que se dividió la planta propano-propileno.



**Figura 3.2 Diagrama de tubería e instrumentación señalando las unidades de control identificadas en la planta propano-propileno.**

Las Unidades de Control de la planta propano-propileno definidas de acuerdo con la Guía DG-SASIPA-IT-0204, se muestran en la tabla 3.6 para líneas y la tabla 3.7 para equipos.

**Tabla 3.6 Censo de unidades de control de líneas.**

<b>CIRCUITO SIMECELE</b>	<b>UC EN SIMECELE</b>	<b>UNIDAD DE CONTROL ANTERIOR</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>DIAGRAMA DE REFERENCIA</b>
01. CARGA	1	70-01	De L.B. a FA-902	FCC-014
01. CARGA	2	70-04	De FA-902 a GA-902/S	FCC-014
01. CARGA	3	70-05	De GA-902/S a DA-901	FCC-014
02. PROPILENO	4	70-07, 70-23	De DA-901 a FA-901 y EA-901 A/B	FCC-014
02. PROPILENO	5	70-13	De EA-901A/E a FA-901	FCC-014
02. PROPILENO	6	70-15	De FA-901 a GA-901 A/S	FCC-014
02. PROPILENO	7	70-16, 70-29 , NUEVA	De GA-901/S a domo de DA-901 y almacenamiento	FCC-014
03. PROPANO	8	70-18	De fondo de DA-901 a EA-903	FCC-014
03. PROPANO	9	70-20	De EA-903 a manifold de distribución a TE-405/410	FCC-014
03. PROPANO	10	70-17	De fondo de DA-901 a EA-902A/B	FCC-014
03. PROPANO	11	NUEVA	De carrete de EA-902A a fondo de DA-901	FCC-014
03. PROPANO	12	NUEVA	De carrete de EA-902B a fondo de DA-901	FCC-014

**Tabla 3.6 Censo de unidades de control de líneas (Continuación).**

<b>CIRCUITO SIMECELE</b>	<b>UC EN SIMECELE</b>	<b>UNIDAD DE CONTROL ANTERIOR</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>DIAGRAMA DE REFERENCIA</b>
04. DESFOGUE	13	NUEVA	De GA-902/S y EA-901A/E a Desfogue	FCC-014
04. DESFOGUE	14	70-22	De GA-901/S, PSV-901 y PSV-902 a cabezal de desfogue	FCC-014
05. GAS COMBUSTIBLE	15	70-21	De PSV-901 a cabezal de gas combustible	FCC-014

**Tabla 3.7 Censo de unidades de control de equipos.**

<b>CIRCUITO SIMECELE</b>	<b>UC EN SIMECELE</b>	<b>UC ANTERIOR</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>DIAGRAMA DE REFERENCIA</b>
E6. DA-901	DOMO	70-06	Fraccionadora de propano-propileno, DA-901	FCC-014
E6. DA-901	FONDO	70-06	Fraccionadora de propano-propileno, DA-901	FCC-014
E6. DA-901	LG-902	NUEVA	Indicador de nivel de DA-901, LG-902	FCC-014
E7. EA-901A	CUERPO	70-08	Condensador de propileno, EA-901 A	FCC-014
E8. EA-901B	CUERPO	70-09	Condensador de propileno, EA-901 B	FCC-014

**Tabla 3.7 Censo de unidades de control de equipos (Continuación).**

<b>CIRCUITO SIMECELE</b>	<b>UC EN SIMECELE</b>	<b>UC ANTERIOR</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>DIAGRAMA DE REFERENCIA</b>
E9. EA-901C	CUERPO	70-10	Condensador de propileno, EA-901 C	FCC-014
E10.EA-901D	CUERPO	70-11	Condensador de propileno, EA-901 D	FCC-014
E11. EA-902A	CUERPO	70-27	Rehervidor de la torre fraccionadora, EA-902 A	FCC-014
E12. EA-902B	CUERPO	70-26	Rehervidor de la torre fraccionadora, EA-902 B	FCC-014
E13. EA-903	CARRETE	70-19	Enfriador de propano, EA-903	FCC-014
E14. FA-901	CUERPO	70-14	Acumulador de propileno, FA-901	FCC-014
E14. FA-901	LG-903A	NUEVA	Indicador de nivel de FA-901, LG-903A	FCC-014
E14. FA-901	LG-903B	NUEVA	Indicador de nivel de FA-901, LG-903B	FCC-014
E14. FA-901	LG-903C	NUEVA	Indicador de nivel de FA-901, LG-903C	FCC-014
E14. FA-901	LG-903D	NUEVA	Indicador de nivel de FA-901, LG-903D	FCC-014
E14. FA-901	LT-903	NUEVA	Transmisor de nivel de FA-901, LT-903	FCC-014
E14. FA-901	PSV-901/PV-901	70-22	Válvula de alivio de presión de FA-901, PSV-901	FCC-014
E15. FA-902	CUERPO	70-03	Acumulador de carga, FA-902	FCC-014

**Tabla 3.7 Censo de unidades de control de equipos (Continuación).**

<b>CIRCUITO SIMECELE</b>	<b>UC EN SIMECELE</b>	<b>UC ANTERIOR</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>DIAGRAMA REFERENCIA</b>
E15. FA-902	CUERPO	70-03	Acumulador de carga, FA-902	FCC-014
E15. FA-902	LG-901-A	NUEVA	Indicador de nivel de FA-902, LG-901A	FCC-014
E15. FA-902	LG-901-B	NUEVA	Indicador de nivel de FA-902, LG-901B	FCC-014
E15. FA-902	LG-1	NUEVA	Indicador de nivel de FA-902, LG-1	FCC-014
E15. FA-902	LT-901	NUEVA	Transmisor de nivel de FA-902, LT-901	FCC-014
E15. FA-902	PSV-902	70-22	Válvula de alivio de presión de FA-902, PSV-902	FCC-014

Como se puede observar en la tabla 3.7; la válvula de seguridad (PSV) y los medidores de nivel se consideran unidades de control independientes.

La torre se dividió en dos unidades de control: el domo y el fondo.

En los intercambiadores de calor que operan proceso-servicio auxiliar, se considera como una unidad de control, la sección del intercambiador en contacto con el fluido de proceso. Por ejemplo: para el EA-901 A se considera como una unidad de control el cuerpo; el cual funciona como condensador de propileno. Para el EA-903 se considera como una unidad de control el carrete; este funciona como enfriador.

Los acumuladores se consideran como una sola unidad de control.



### 3.4 Actualización en campo de Diagramas para Inspección Técnica de Espesores de la planta propano-propileno

En la figura 3.3 se muestra como ejemplo un levantamiento en campo que muestra la situación actual de la UC-PP-002. Manteniendo los requisitos básicos; el dibujo debe estar en vista isométrica y el norte debe estar apuntado en la parte superior derecha del dibujo. Se realizaron 14 levantamientos en campo debido a que son unidades de control nuevas y no estaban contempladas dentro del censo que se tenía en el centro de trabajo.

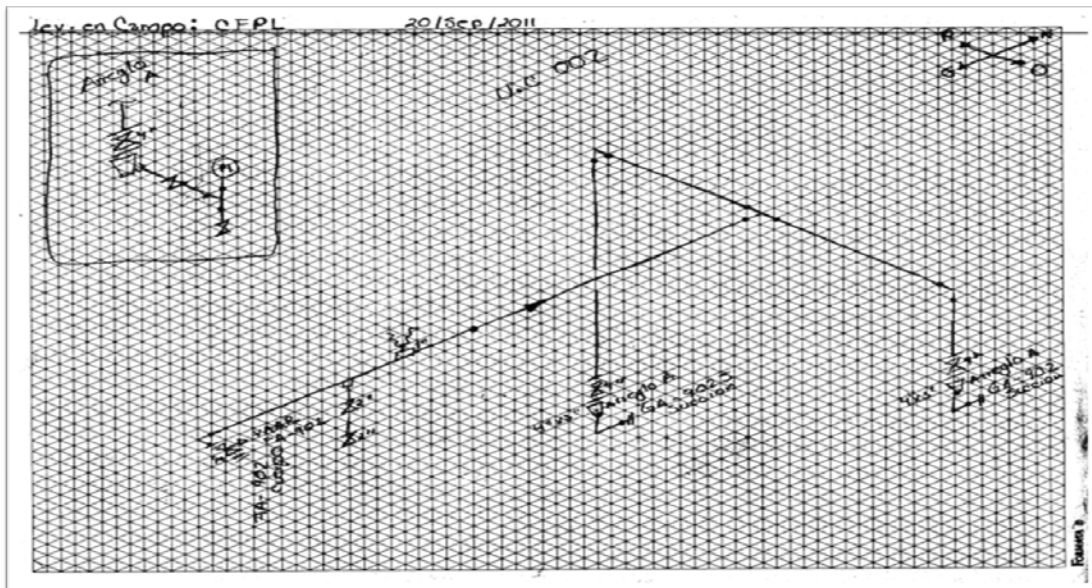
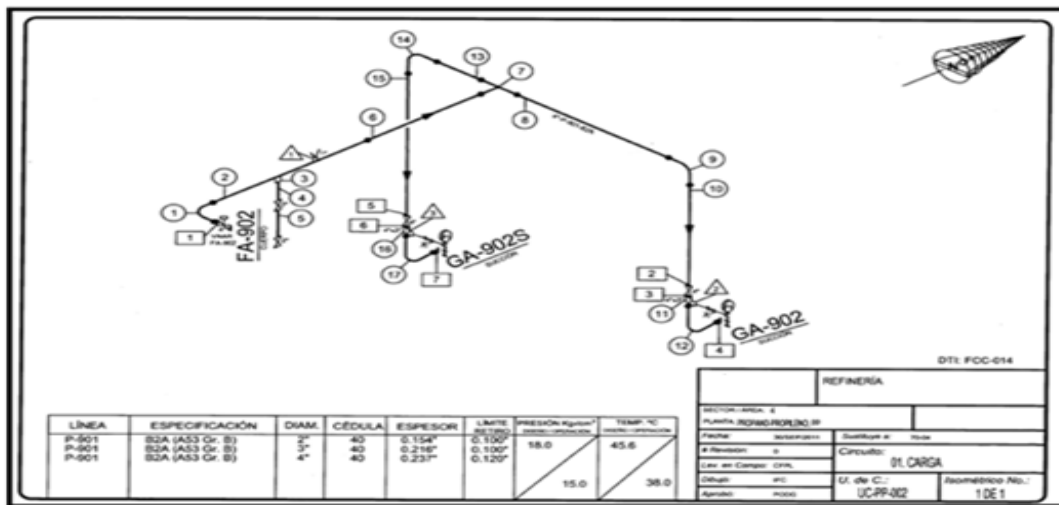


Figura 3.3 Ejemplo de levantamiento en campo de la UC-PP-002.

### 3.5 Digitalización en AutoCAD® de isométricos en el formato homologado del SIMECELE de la planta propano-propileno

Se digitalizaron 39 unidades de control; 15 de líneas y 24 isométricos de equipos; con ayuda de las herramientas QITDraw y las plantillas en AutoCAD® así como la Guía de dibujo de Diagramas de Inspección Técnica de Espesores. Para todos los dibujos se revisó la especificación de materiales de acuerdo al licenciador, se corroboró el tag de línea, diámetros de válvulas, de reducciones y de arreglos básicos.

En la figura 3.4 se muestra el isométrico del levantamiento de la UC-PP-002; actualizado y digitalizado en AutoCAD®, para su carga en el SIMECELE.

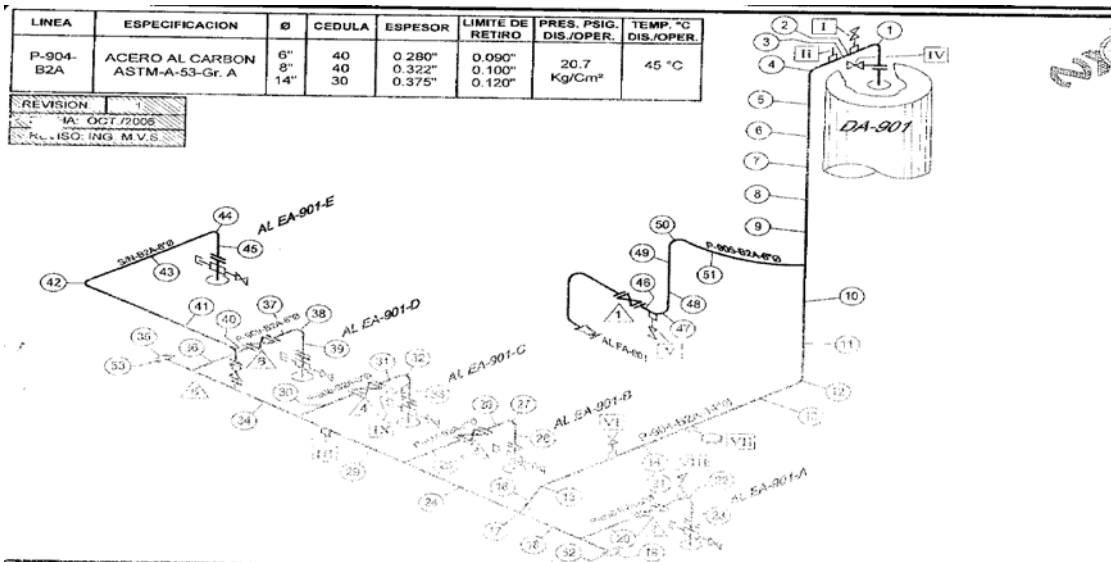


**Figura 3.4 Ejemplo de isométrico de línea de la UC-PP-002 digitalizado y actualizado en AutoCAD®.**

### 3.6 Correlación de niveles en los Diagrama de Inspección Técnica de Espesores

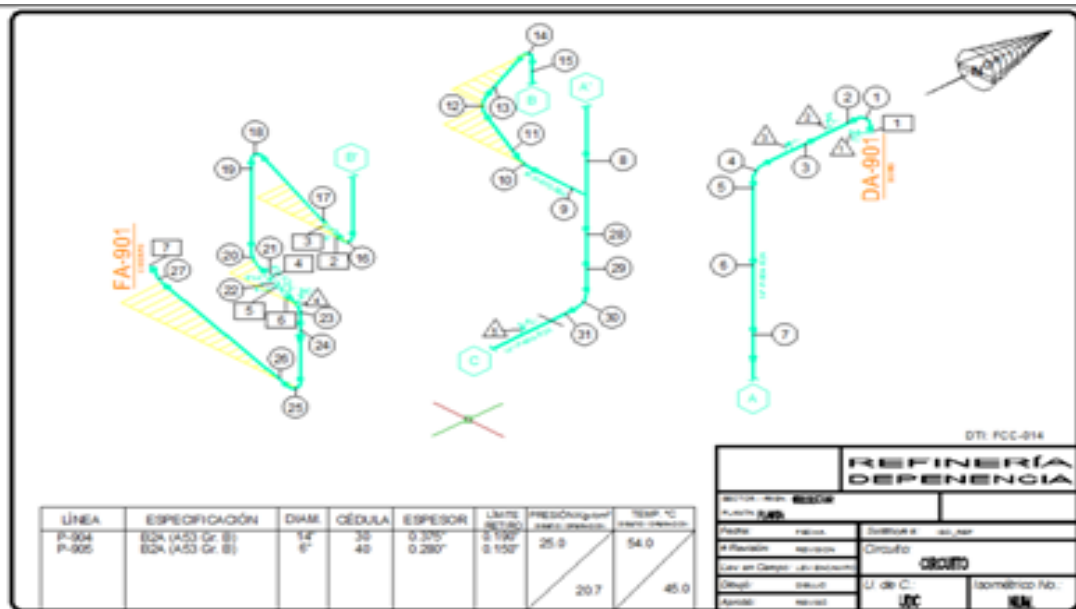
El objetivo de esta etapa es realizar el empate en el formato SIMECELE; es decir asociar los niveles de medición de tubería, de niplería y tornillería de los diagramas de referencia de líneas y equipos que proporcionó el centro de trabajo con el Diagrama para Inspección Técnica de Espesores digitalizados y actualizados en AutoCAD® y previamente verificados en campo.

A continuación se muestra un ejemplo de los resultados que se obtienen en este punto para la UC-PP-004 de la planta de propano-propileno.



**Figura 3.5 Diagrama de medición de espesores del centro de trabajo como referencia de la UC-PP-004.**

El isométrico de la figura 3.5 es la base para verificar en campo la unidad de control. Posteriormente se digitalizó y actualizó en AutoCAD® como se muestra en la figura 3.6 y figura 3.7 para la UC-PP-004.



**Figura 3.6 Diagrama de Inspección Técnica de Espesores de línea de la UC-PP-004 (1/2).**

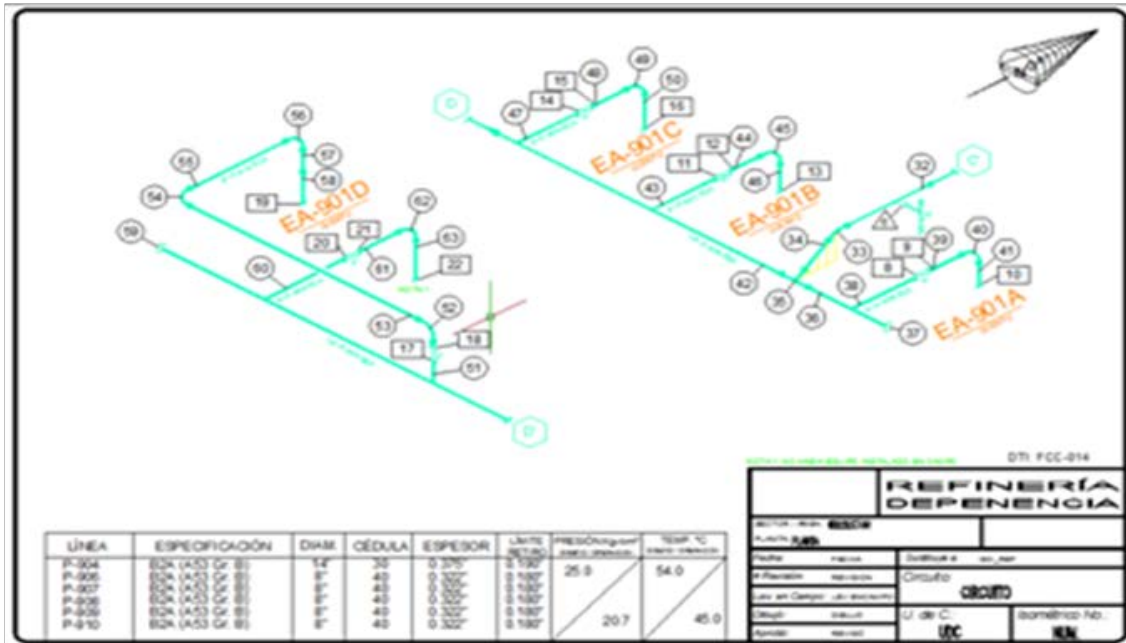


Figura 3.7 Diagrama de Inspección Técnica de Espesores de línea de la UC-PP-004 (2/2).

Una vez que se tiene el diagrama de referencia para la UC-PP-004 que proporcionó el centro de trabajo y el Diagrama para Inspección Técnica de Espesores digitalizado y actualizado en AutoCAD®; se procede a realizar el empate en el formato SIMECELE; para esta unidad de control el empate se muestra en la figura 3.8.

FORMATO PARA EMPATES PARA LA CAPTURA										UC ANTERIOR				
PLANTA	Propano-Propileno, PP									CIRCUITO 02. Propileno				
EMPATE	BZS			CAPTURA			BZS			FECHA 26/07/2011				
OBSERVACIONES: La UC-PP-004 está compuesta por dos unidades de control anteriores que son la 70-07 y 70-23 ya que se unieron debido a que no existe cambio de material. Se empató de acuerdo a norma y dirección de flujo.														
DN: Diámetro nominal (in)			Esp: Especial			P: Posición								
NIVELES DE TUBERÍA						NIVELES DE NIPLERÍA						NIVELES DE TORNILLERÍA		
DN	ACTUAL	ANTERIOR	DN	ACTUAL	ANTERIOR	TIPO	DN	ACTUAL	ANTERIOR	DN	ACTUAL	ANTERIOR		
14"	1	1 (70-07)	14"	36	18 (70-07)	C-N-V	½"	1	IV (70-07)	14"	1	Nuevo (70-07)		
14"	2	2 (70-07)	14"	37	19 (70-07)	C-N-V	½"	2	I (70-07)	6"	2	1 (70-07)		
14"	3	3 (70-07)	8"	38	20 (70-07)	C-Tap	½"	3	II (70-07)	6"	3	1 (70-07)		
14"	4	4 (70-07)	8"	39	21 (70-07)	C-Tap	½"	4	I (70-23)	4"	4	3 (70-23)		
14"	5	5 (70-07)	8"	40	22 (70-07)	C-termopozo	½"	5	VII (70-07)	6"	5	2 (70-23)		
14"	6	6 (70-07)	8"	41	23 (70-07)	12 posiciones	½"	6	VI (70-07)	6"	6	2 (70-23)		
14"	7	7 (70-07)	14"	42	24 (70-07)					6"	7	Nuevo (70-23)		
14"	8	8 (70-07)	8"	43	25 (70-07)					8"	8	2 (70-07)		
6"	9	51 (70-07)	8"	44	26 (70-07)					8"	9	2 (70-07)		
6"	10	Nuevo (70-07)	8"	45	27 (70-07)					8"	10	Nuevo (70-07)		
6"	11	Nuevo (70-07)	8"	46	28 (70-07)					8"	11	3 (70-07)		
6"	12	Nuevo (70-07)	8"	47	30 (70-07)					8"	12	3 (70-07)		
6"	13	Nuevo (70-07)	8"	48	31 (70-07)					8"	13	Nuevo (70-07)		
6"	14	50 (70-07)	8"	49	32 (70-07)					8"	14	4 (70-07)		
6"	15	49 (70-07)	8"	50	33 (70-07)					8"	15	4 (70-07)		
6"	16	47 (70-07)	8"	51	Nuevo (70-07)					8"	16	Nuevo (70-07)		
6"	17	12(70-23)	8"	52	40 (70-07)					8"	17	Nuevo (70-07)		

Figura 3.8. Empate en formato SIMECELE de la UC-PP-004.

Como se observa en la figura 3.8, una de las ventajas de realizar el empate es observar de forma clara los niveles de tubería y tornillería que no se habían considerado como tal en el censo del centro de trabajo; para esta unidad de control se puede ver que existen varios niveles nuevos debido a que estos puntos estaban incluidos en otra unidad de control (70-07); de esta manera con la implementación del SIMECELE es posible identificar estas inconsistencias para su calibración correcta y así poder garantizar su integridad mecánica.

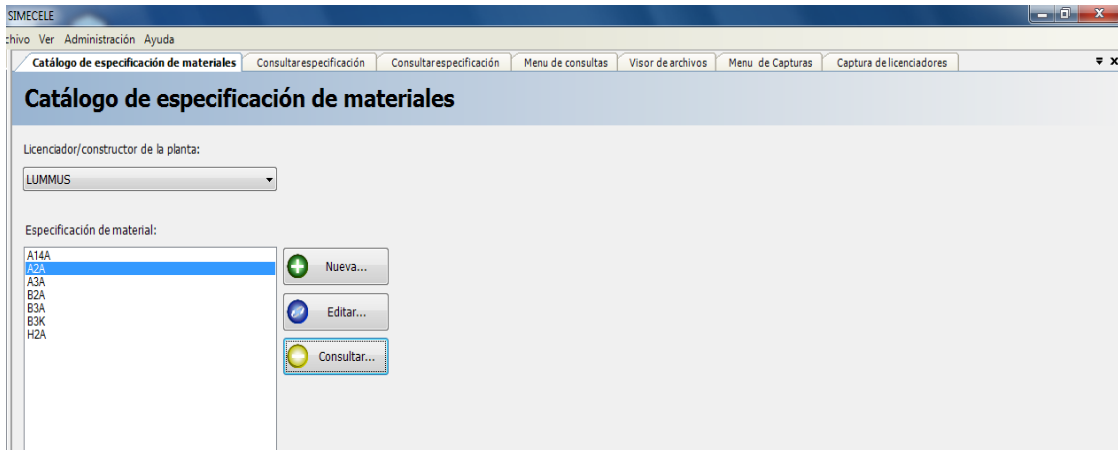
### **3.7 Captura de especificación de materiales de la planta propano-propileno**

Una vez que se han completado de forma correcta las etapas anteriores, se procede a la primera actividad en el software SIMECELE; es decir la captura de:

- 1.- Licenciador.
- 2.- Especificación de materiales.

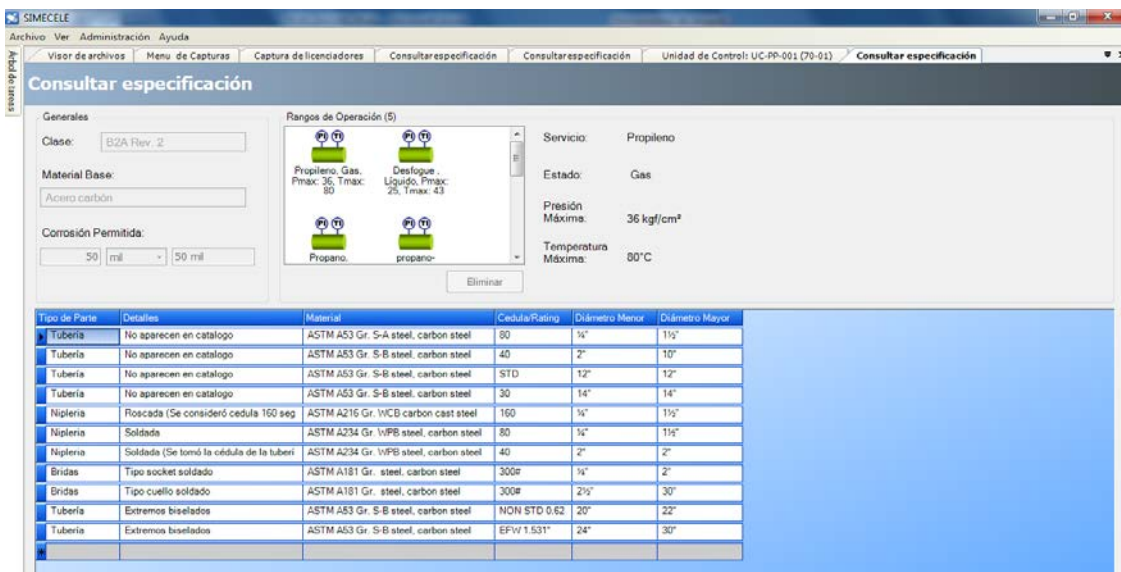
Lo anterior, con el fin de administrar la información de los materiales y las especificaciones con las que fue construida la planta de propano-propileno, según el libro de ingeniería del licenciador y de acuerdo al servicio. Esta etapa debe realizarse con sumo cuidado ya que a partir de esta información capturada, el SIMECELE brinda información sobre: el límite de retiro, el espesor nominal y el espesor máximo permitido; información que se muestra en cada nivel cuando se capturan inspecciones técnicas de las unidades de control; y es uno de los factores de los que depende el correcto análisis de espesores en líneas y equipos que realiza el SIMECELE.

Para la planta de propano-propileno el licenciador es: Lummus, en la figura 3.9 se muestra el licenciador cargado en el software SIMECELE; sin embargo existen muchas compañías que se encargan de la construcción de una planta.



**Figura 3.9** Captura del licenciador de la planta propano-propileno en el SIMECELE.

En la figura 3.10 se muestra la especificación de materiales, la cual es diferente para cada servicio que maneja la planta y que para fines prácticos solo se muestra un ejemplo.

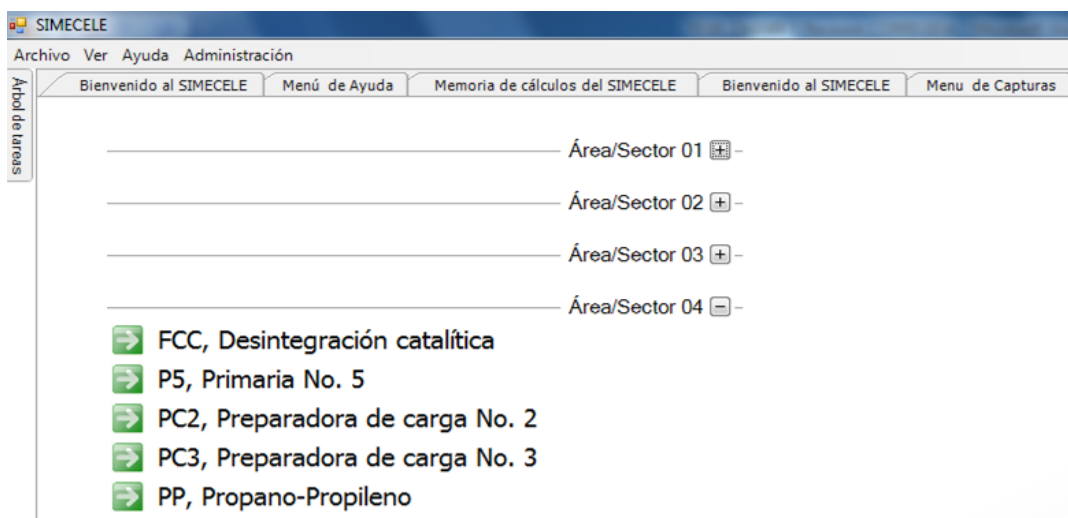


**Figura 3.10** Captura del especificación de materiales de la planta propano-propileno en el SIMECELE.

### 3.8 Captura de la estructura de la ubicación de la planta en el SIMECELE

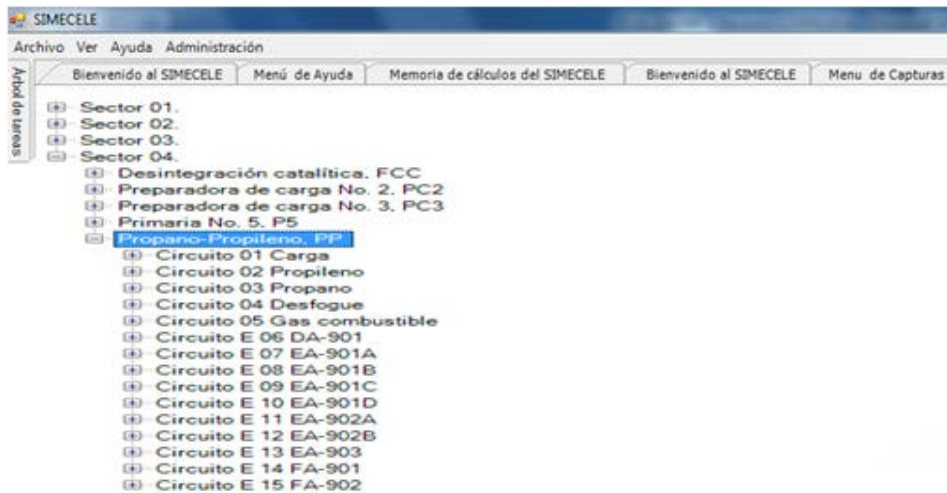
El siguiente paso es la captura de los sectores y las plantas las cuales deben capturarse en el SIMECELE para poder cargar todas las unidades de control que forman parte del centro de trabajo y por último capturar la inspección técnica de las unidades de control tanto de líneas como de equipos.

Por lo tanto, se sabe que la planta propano-propileno se encuentra en el sector 4 del centro de trabajo; tal y como se muestra en la figura 3.11.



**Figura 3.11 Ubicación de la planta propano-propileno en el SIMECELE.**

En esta ventana, se da clic en la planta propano-propileno para observar los circuitos de líneas y equipos en los que se ha dividido la planta y que se han cargado en el SIMECELE. A continuación se muestra en la figura 3.12.



**Figura 3.12 Ubicación de los circuitos de líneas y equipos de la planta propano-propileno en el SIMECELE.**

Y por último se procede a capturar la estructura de la unidad de control, para lo cual se requiere de los Diagramas de Inspección Técnica de Espesores por unidad de control, el control de cambios que sufrieron estas y el nuevo código con que será identificada en el SIMECELE.

Para dar de alta una unidad de control se debe seleccionar si es de líneas o equipos, el circuito al que pertenece, el centro de trabajo, el sector o planta. Así también la especificación de material, el servicio y las condiciones de operación; los diámetros de líneas, de los tipos arreglos de niplería y de la tornillería. Es en esta etapa donde se anexa si la línea es forrada y una breve descripción de la unidad de control. Además se sugiere seleccionar en caso de conocer si los trabajos de inspección se realizaron en área confinada, en andamio o en altura.

A continuación se muestra en la figura 3.13 y 3.14 un resumen de información de líneas y equipos; respectivamente para ejemplificar como se observa en el SIMECELE.



**Características de la unidad de control UC-PP-004 (70-07, 70-23)**  
Características generales de la unidad de control.

Descripción de la Unidad de Control: De DA-901 a FA-901 y EA-901 A/B

Ubicación: Sector 04. / Propano-Propileno, PP / Circuito 02, Propileno

Tipo de Unidad: Unidad de Control de Línea

No. de niveles de tubería: 63

No. de niveles de nipletería: 7

No. de niveles de tornillería: 22

Presión de Operación (kgf/cm<sup>2</sup>): 21      Presión de Diseño (kgf/cm<sup>2</sup>): 36

Temperatura de Operación (°C): 45      Temperatura de Diseño (°C): 80

Índice de Riesgo: N.D.      Clase de Tubería (GPAST-209): No asignado

Línea Forrada: No

Toma de mediciones: En operación\*.

Diámetro	Espesor estructural requerido (mils)	Espesor requerido por presión (mils)
8"	180	109
6"	150	84
14"	190	177

[Ver cálculos de límite de retro.](#)

**Figura 3.13 Resumen de información capturada para la unidad de control de líneas de la planta propano-propileno en el SIMECELE.**

**Características de la unidad de control E 07-EA-901A-CUERPO (70-08)**  
Características generales de la unidad de control.

Descripción de la Unidad de Control: Condensador de propano, EA-901 A

Ubicación: Sector 04. / Propano-Propileno, PP / Circuito E 07, EA-901A

Tipo de Unidad: Unidad de control del equipo CUERPO (70-08)

No. de niveles del equipo: 8

No. de niveles de nipletería: 8

No. de niveles de tornillería: 3

Presión de Operación (kgf/cm<sup>2</sup>): 21      Presión de Diseño (kgf/cm<sup>2</sup>): 23.9

Temperatura de Operación (°C): 36      Temperatura de Diseño (°C): 57.2

Índice de Riesgo:

**Figura 3.14 Resumen de información capturada para la unidad de control de equipos de la planta propano-propileno en el SIMECELE.**

### **3.9 Captura de inspecciones en la unidad de control de la planta propano-propileno**

Una vez que se capturó la estructura de la unidad de control se procede a la captura de inspecciones; por lo que es necesario tener la siguiente información:

- Expediente de la unidad de control.
- Empate.

Se debe seleccionar la unidad de control y se abre la ventana “datos de la inspección” donde se proporciona la información en el siguiente orden:

- En el calendario se debe seleccionar el día, mes y año.
- Seleccionar el Ingeniero de Seguridad y el Inspector, para poder continuar.
- Seleccionar el tipo de inspección a capturar (tubería, equipo, arreglo de niplería y tornillería).
- La selección del instrumento con el cual se realizó la calibración.

Las calibraciones se pueden realizar de forma manual o con un equipo de medición ultrasónica, el cual al conectarlo en un equipo de cómputo se debe verificar la conexión y dar clic en “descargar del medidor” y así la información del equipo se descargará al software SIMECELE; se debe revisar que la información este en milésimas de pulgada y sea correcta; y por último se da la instrucción de “guardar”.

Es así como se capturó el historial de inspección (medición de espesores) al 100% de la planta propano-propileno; esto es 25 unidades de control, 12 de líneas y 13 de equipos. Primero se capturaron las unidades de control que formaban parte del Programa Anual de Calibración de la planta, en segundo lugar se cargaron las unidades de control de líneas y por último los equipos.

Para unidades de control nuevas, un total de 14, se cargó primero la estructura para que a la brevedad se realizara las correspondientes calibraciones.

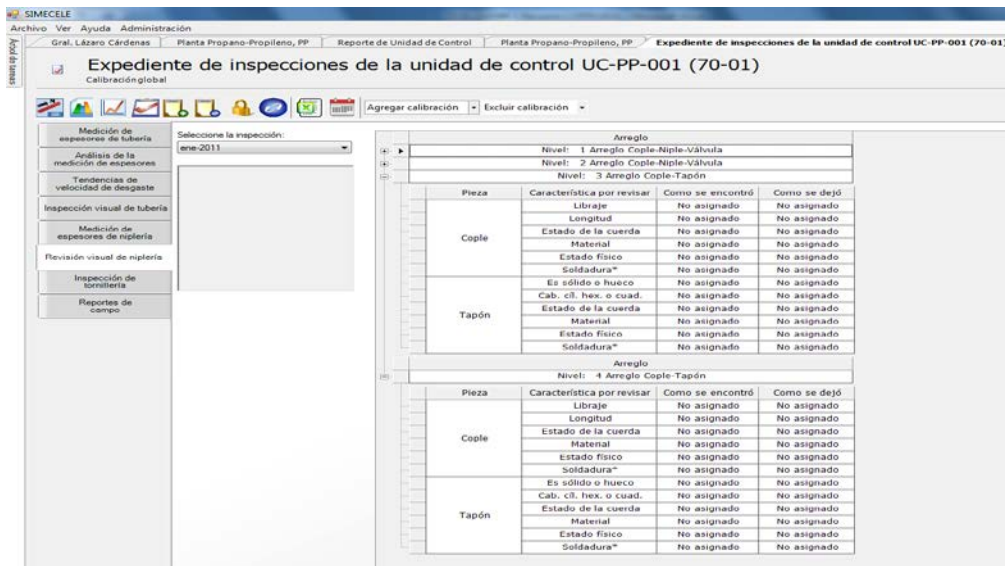
Para ejemplificar los datos que se pueden obtener del SIMECELE, se tomará como ejemplo una unidad de control 001 del circuito 01 de la planta propano-propileno.

Esta unidad de control está constituida por la corriente de carga propano-propileno que proviene del acumulador GV-9 de la planta catalítica “FCC” y llega al acumulador de carga FA-902 de la planta propano-propileno.

Una vez capturada la medición de espesores de tubería, el SIMECELE calcula la velocidad de desgaste como se muestra en la figura 3.15.

Medición de espesores de tubería	Nivel	Descripción	Posición	ene-2011		ene-2012	
				Inspección 2 (12)	Inspección 0	Inspección 2 (12)	Inspección 0
Análisis de la medición de espesores	1	Diámetro: 3" Espesor nominal: 216 Límite de retiro: 100	Oriente	249	-	216	32.49
			Poniente	227	-	203	23.63
Tendencias de velocidad de desgaste	1	Nivel 1	Arriba	214	-	202	11.81
			Abajo	214	-	199	14.77
Medición de espesores de rigiería	2	Diámetro: 3" Espesor nominal: 216 Límite de retiro: 100	Oriente	247	-	251	0
			Poniente	236	-	239	0
Revisión visual de rigiería	2	Nivel 2	Fuera (Cod)	204	-	200	3.94
			Dentro (Gar)	251	-	221	29.94
Inspección de forsteria	3	Diámetro: 3" Espesor nominal: 216 Límite de retiro: 100	Norte	252	-	229	22.64
			Sur	260	-	233	26.68
Reportes de campo	3	Nivel 3	Fuera (Cod)	218	-	180	37.41
			Dentro (Gar)	269	-	252	16.74
Medición de espesores de tubería	4	Diámetro: 3" Espesor nominal: 216 Límite de retiro: 100	Norte	210	-	204	5.91
			Sur	206	-	189	16.74
Tendencias de velocidad de desgaste	4	Nivel 4	Arriba	207	-	187	19.69
			Abajo	207	-	-	-
Medición de espesores de tubería	5	Diámetro: 3" Espesor nominal: 216 Límite de retiro: 100	Norte	269	-	231	37.41
			Sur	273	-	257	15.75
Revisión visual de rigiería	5	Nivel 5	Fuera (Cod)	187	-	228	-
			Dentro (Gar)	256	-	235	20.67
Inspección de forsteria	6	Diámetro: 3" Espesor nominal: 216 Límite de retiro: 100	Oriente	257	-	246	10.83
			Poniente	262	-	239	22.64
Reportes de campo	6	Nivel 6	Fuera (Cod)	219	-	191	27.67
			Dentro (Gar)	252	-	219	32.49
Medición de espesores de tubería	7	Diámetro: 3" Espesor nominal: 216 Límite de retiro: 100	Oriente	219	-	178	40.36
			Poniente	200	-	195	4.92
Revisión visual de rigiería	7	Nivel 7	Arriba	203	-	186	16.74
			Abajo	205	-	194	10.83

**Figura 3.15 Medición de espesores de tubería de la UC-PP-001 en el SIMECELE.**



**Figura 3.16 Revisión visual de niplería de la UC-PP-001 en el SIMECELE.**

La figura 3.16 muestra la niplería con la que cuenta esta unidad de control, sin embargo la inspección no se ha realizado, por lo que se deja tal cual está en el expediente.

Esta unidad de control no cuenta con:

- Inspección de tornillería.
- Inspección visual de tubería.

En el capítulo 4, se realizará un análisis más detallado de una unidad de control de líneas y otra de equipos.

## CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1 Análisis de corrosión en una planta propano-propileno en base a los resultados que se obtienen del SIMECELE

En la implementación del SIMECELE en la planta propano-propileno, etapa 1 a la 5, se obtuvieron los siguientes resultados:

- 5 circuitos de líneas:
  - Con 15 unidades de control digitalizadas en AutoCAD®.
    - ✓ Solo 3 unidades de control son nuevas.
- 10 circuitos de equipos:
  - Con 24 unidades de control digitalizadas en AutoCAD®.
    - ✓ De las cuales 11 unidades de control son nuevas.

En total se digitalizaron 57 diagramas para inspección técnica de espesores.

En el proceso de Implementación se obtuvo:

Para la etapa 6: Se realizaron 25 empates en el formato correspondiente y de acuerdo al llenado antes mencionado, con la finalidad de hacer coincidir los niveles de los expedientes con el isométrico digitalizado. Donde fue posible resaltar que algunos niveles de tubería no se encontraban en campo así como niveles nuevos que no se encontraban en el DTI; lo cual es ocasionado por la falta de verificación en campo de la línea.

A partir de la etapa 7 hasta la 10 se comienza a trabajar en el software SIMECELE.

En la etapa 7, en la cual se debe capturar la unidad de control, se editó una breve descripción, la ubicación de circuitos de la planta, las condiciones de operación y la especificación de materiales.

Mientras que para la etapa 8, fue necesario haber comprendido la descripción de proceso de la planta para identificar los circuitos que la conforman; las cuales son parte de la etapa 1 a la 5, así como la captura de especificación de los materiales en el software SIMECELE.

Una vez identificadas las unidades de control que conforman la planta ya que se han verificado en campo, se procede a capturar la unidad de control en el

SIMECELE, seleccionando la ubicación de la unidad de control en la planta e identificándola de acuerdo a su código, así como seleccionando el servicio de la línea y los datos de presión y temperatura de operación; por último se anexan los diámetros de línea que hay en cada unidad de control tanto de niveles de tubería como niveles de niplería.

En la etapa 9, al tener capturada la estructura de la unidad de control de líneas y equipos en el SIMECELE se procede a la captura de las inspecciones, las cuales se realizaron manualmente con el empate correspondiente; así como la captura de la inspección visual, la revisión y calibración de niplería y revisión de tornillería. Lo anterior está contenido en el expediente de cada unidad de control.

Con todas las etapas realizadas es posible obtener un análisis con su correspondiente reporte.

#### **4.1.1 Análisis de corrosión en líneas de proceso**

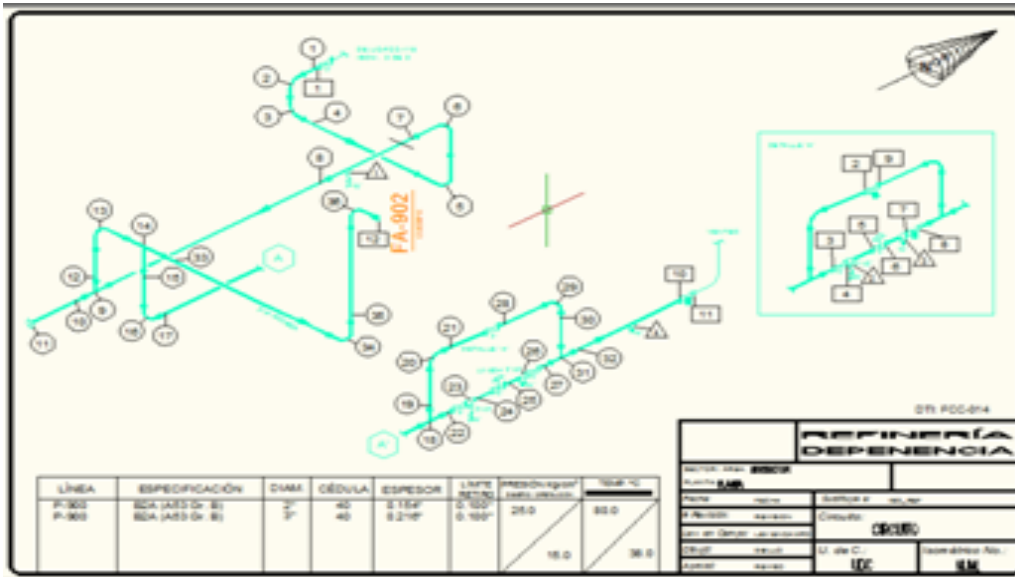
Para realizar el análisis de corrosión en líneas de proceso se consideró una unidad de control de líneas y otra de equipos de la planta propano-propileno, con el fin de ejemplificar a detalle todo lo que se puede obtener con el SIMECELE para garantizar la integridad mecánica de dichas instalaciones.

A continuación se presenta un análisis de corrosión en líneas de proceso a detalle, para lo cual es conveniente conocer la descripción de la unidad de control:

##### **➤ Unidad de control UC-PP-001:**

Esta unidad de control pertenece al circuito 01 Carga, se constituye por la corriente de carga propano-propileno que proviene del acumulador GV-9 de la planta catalítica “FCC” y llega al acumulador de carga FA-902 de la planta propano-propileno.

En la figura 4.1 se muestra el isométrico cargado en el SIMECELE.



**Figura 4.1 Isométrico de línea de la UC-PP-001 en el SIMECELE.**

El isométrico de la figura 4.1, es el levantamiento previamente corregido y actualizado, la inconsistencia que se encontró en el expediente es que el nivel 32 y 33 no estaban en campo por lo que disminuyó el número de niveles de tubería en el isométrico que se cargó en el SIMECELE.

El dibujo fue numerado de acuerdo a los criterios de numeración de la normatividad DG-SASIPA-IT-0204 Rev.7. Se cargaron 36 niveles de tubería, 4 niveles de niplería: 2 son cople-niple-válvula de  $\frac{3}{4}$ " y 2 arreglos de cople-tapón de  $\frac{3}{4}$ ". En el isométrico se muestra 12 tornillerías, sin embargo en el expediente se tenían 4 registradas.

Estos datos y los datos de calibración de tubería y niplería representan la información que requiere el SIMECELE para cargar las unidades de control a la base de datos de la planta y para arrojar gráficos en los cuales se observe el desgaste que ha tenido la línea de proceso entre un año y otro.

El isométrico de línea se cargó al SIMECELE, junto con los datos de calibración de tubería; como se muestra en la figura 4.2.

SIMECELE  
 Archivo Ver Administración Ayuda  
 Expediente de inspecciones de la unidad de control UC-PP-001 (70-01) Expediente de inspecciones de la unidad de control UC-PP-001 (70-01) Reporte de Unidad de Control

REGISTRO DE TODOS LOS NIVELES  
 CIRCUITO: CIRCUITO 01, CARGA  
 UNIDAD DE CONTROL: UC-PP-001 (70-01)

NIVEL DE MEDICIÓN	DIA.M. NOM. ESP. (mm)	LIMITE DE RETEN. (mm)	DESCRIPCIÓN POSICIÓN	ENE-2011		FECHA ENE-2012		ESPE.SOR (mm)	VELOCIDAD DE DESGASTE (mpa)
				ESPE.SOR (mm)	VELOCIDAD DE DESGASTE (mpa)	ESPE.SOR (mm)	VELOCIDAD DE DESGASTE (mpa)		
1	3"	100	ORIENTE	249	-	216	32.5		
			NOVENTE	227	-	203	23.6		
			AVARSA	214	-	202	11.9		
2	216	100	AVARSA	214	-	199	14.9		
			ORIENTE	247	-	251	0.0		
			NOVENTE	236	-	239	0.0		
3	216	100	PUNTA (CODO)	204	-	200	3.9		
			DENTRO (GARGANTA)	251	-	221	29.6		
			NORTE	252	-	229	22.6		
4	3"	100	AVARSA	209	-	233	26.6		
			PUNTA (CODO)	218	-	180	37.4		
			DENTRO (GARGANTA)	269	-	252	16.7		
5	216	100	NORTE	210	-	204	6.9		
			AVARSA	206	-	189	16.7		
			AVARSA	207	-	187	19.7		
6	3"	100	AVARSA	207	-	195	11.9		
			NORTE	269	-	231	37.4		
			AVARSA	273	-	257	15.8		
7	216	100	PUNTA (CODO)	187	-	229	-		
			DENTRO (GARGANTA)	256	-	236	20.7		
			ORIENTE	257	-	246	11.9		
8	216	100	NOVENTE	262	-	239	22.6		
			PUNTA (CODO)	219	-	191	27.6		
			DENTRO (GARGANTA)	252	-	219	32.5		
9	3"	100	ORIENTE	219	-	178	40.4		
			NOVENTE	209	-	195	4.9		
			AVARSA	203	-	185	16.7		
10	216	100	AVARSA	206	-	194	10.9		
			ORIENTE	196	-	176	18.7		
			NOVENTE	217	-	195	23.7		
11	3"	100	AVARSA	207	-	216	0.0		
			AVARSA	209	-	175	33.5		
			ORIENTE	334	-	317	16.7		
12	216	100	NOVENTE	331	-	337	0.0		
			DISTRIBUCIÓN	202	-	205	6.9		
			AVARSA	210	-	197	12.9		
13	3"	100	NOVENTE	206	-	187	18.7		
			AVARSA	208	-	190	17.7		
			AVARSA	210	-	199	23.6		

**Figura 4.2 Medición de espesores de tubería de la UC-PP-001 en el SIMECELE.**

Los datos de la figura 4.2 son parte del expediente de la unidad de control, a partir de estos es posible calcular la velocidad de desgaste por punto y es en donde se puede observar los datos atípicos; los cuales no participan en el cálculo para obtener: VUE, FRP y FPME.

A continuación se realiza el cálculo de la velocidad de desgaste por punto de los primeros 2 niveles de medición de tubería de la unidad de control; con el fin de ejemplificar cómo determina el SIMECELE que un dato sea significativo o no, ya que en estos se observan los 3 códigos de colores que identifican a los datos, es decir; el blanco (indica que la velocidad de desgaste es  $0 \text{ mpa} \leq 8 \text{ mpa}$ ), el amarillo (indica que la velocidad de desgaste es  $8 \text{ mpa} \leq 15 \text{ mpa}$ ) y el color rojo para datos críticos (indica que la velocidad de desgaste es mayor a  $15 \text{ mpa}$ ).



#### 4.1.2 Análisis preliminar de espesores

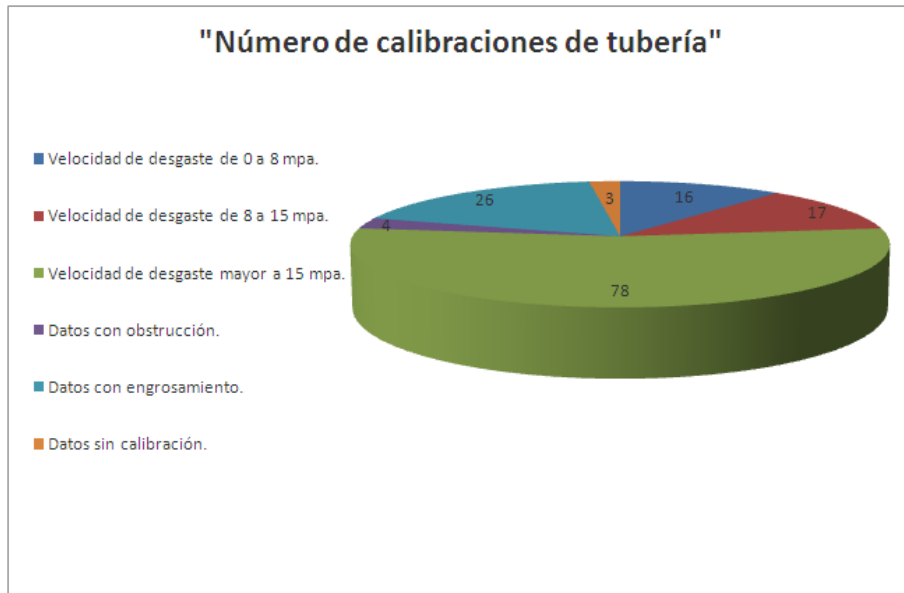
**Tabla 4.1 Cálculo de velocidad de desgaste puntual del nivel uno y dos de la UC-PP-001.**

Nivel de medición	Espesor 1	Fecha de inspección	Espesor 2	Fecha de inspección	Velocidad de desgaste puntual	Límite de retiro
1	249	2011	216	2012	33	100
	227	2011	203	2012	24	100
	214	2011	202	2012	12	100
	214	2011	199	2012	15	100
2	247	2011	251	2012	-4	100
	236	2011	239	2012	-3	100
	204	2011	200	2012	4	100
	251	2011	221	2012	30	100

En la tabla 4.1, se muestra el espesor del nivel 1 y 2 en el año 2011 y el espesor encontrado en el 2012 para esos niveles. Con la fórmula de velocidad de desgaste puntual, se determina qué valores son críticos y cuáles no. Se sabe que un nivel se compone por 4 posiciones; para el nivel 1 observamos que los primeros 2 datos son críticos ya que la velocidad de desgaste es mayor a 15 mpa; mientras que en los otros datos se observa que el SIMECELE los considera normales; primero porque con el software hay mayor exactitud en el cálculo que en una hoja de Excel y segunda porque no excede la velocidad de desgaste considerada como normal. Para el nivel 2, los primeros 2 datos arrojan una velocidad de desgaste negativa cuando se realiza el cálculo en una hoja de Excel; sin embargo al realizarlo en el software da una velocidad de desgaste de “cero” como se observa en la figura 4.2, debido a que no se considera que existe desgaste. El tercer dato del nivel 2 indica que la velocidad de desgaste es normal; mientras que para el cuarto dato la velocidad de desgaste es crítica. Para que un nivel se considere crítico: las 4 posiciones deben ser críticas, es decir que su velocidad de desgaste sea mayor a 15 mpa.

De esta forma es como se procede a realizar el análisis estadístico formal; es decir, el análisis estadístico con los datos de medición de espesor de pared, que participan en el cálculo para determinar las fechas de próxima medición, velocidad de desgaste, vida útil estimada y fecha de retiro probable de tuberías y equipos.

La unidad de control UC-PP-001 está compuesta por 36 niveles de medición con 144 posiciones de medición. Al analizar estos puntos de acuerdo a su velocidad de desgaste se obtienen los datos de la figura 4.3.

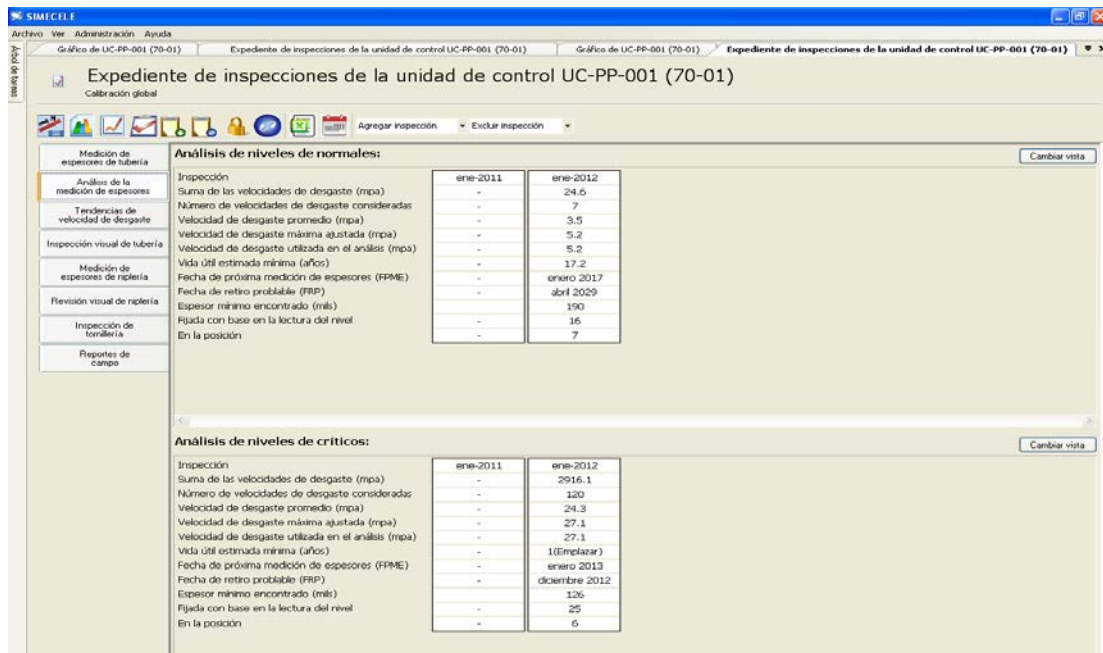


**Figura 4.3 Gráfica de velocidad de desgaste de tubería de la UC-PP-001.**

En la figura 4.3 podemos observar que tenemos 78 posiciones de medición con velocidad de desgaste mayor a 15 mpa lo que representa el 54% de los datos calibrados, tenemos 4 posiciones de medición con obstrucción las cuales no participan en el análisis de la unidad de control y solo 43 posiciones de medición que representan el 29% de los datos con un rango aceptable para garantizar la integridad mecánica.

#### 4.1.3 Análisis estadístico formal

Con este análisis los resultados de la VUE, FPME Y FRP se calculan con base a la velocidad máxima ajustada estadísticamente la cual se presentan a continuación en la figura 4.4, tanto para datos normales como para críticos.



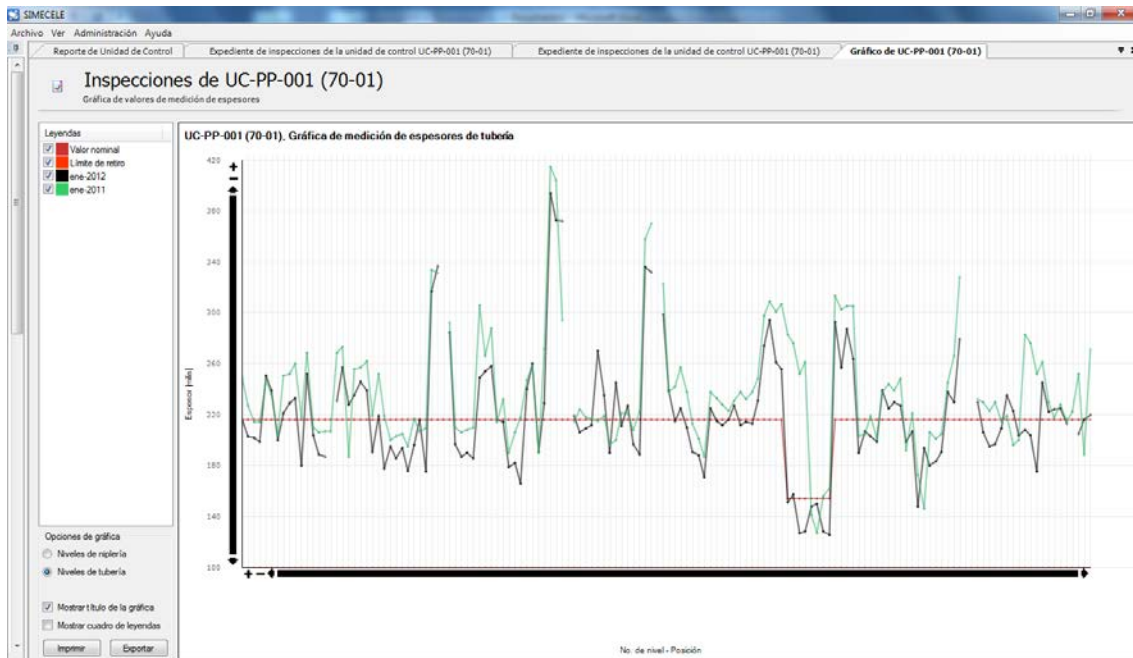
**Figura 4.4 Análisis general de VUE, FPME y FRP de la UC-PP-001 en el SIMECELE.**

En la figura 4.4, se observa que la velocidad de desgaste utilizada es de 5.2 mpa para los puntos normales y para los niveles críticos es de 27.1 mpa; por lo que esta línea se tiene que emplazar e indica que la fecha de retiro probable es de un año.

Con el 100% de medición, es decir con las calibraciones correspondientes a los niveles de tubería de la unidad de control del expediente de la planta es posible que el SIMECELE, realice un gráfico donde el eje de las “X” representa los puntos de medición y en el eje de las “Y” el espesor de esos puntos en milésimas de pulgada. La línea de color vino representa el espesor nominal mientras que la línea naranja, el límite de retiro. La línea azul y verde representa las calibraciones de línea del año 2012 y 2011 respectivamente.

Los puntos que están por debajo del límite de retiro son los que tienen mayor desgaste y son considerados como críticos.

Por lo tanto; al colocar el cursor en algún punto de la gráfica, se muestra el espesor al que se refiere, el nivel graficado, la posición (norte, sur, este, oeste, etc.). Tal y como se muestra en la figura 4.5.



**Figura 4.5 Gráfica de medición de espesores de tubería de la UC-PP-001 en el SIMECELE.**

En la figura 4.5 se observa, el comportamiento de la velocidad de desgaste de tubería entre el año 2011 y 2012; es normal que se muestre un adelgazamiento en los datos del año 2012 debido a la corrosión generalizada de la línea, lo anterior se muestra claramente debido a que la línea azul está más cercana a la línea que representa el límite de retiro, línea de color naranja. La gráfica se realiza con todos los datos de calibraciones de la unidad de control, la cual representa una herramienta útil para visualizar rápidamente la integridad mecánica de la misma.

Una vez observado el desgaste de la línea se puede decir que la integridad mecánica no se puede asegurar, para lo cual el SIMECELE permite obtener un formato con el cual se puede solicitar el emplazamiento de la línea como se muestra en la figura 4.6.

PLANTA O INSTALACIÓN: PROPANO-PROPILENO, PP

Fecha: \_\_\_\_\_ Emplazamiento Número: \_\_\_\_\_

Ing. \_\_\_\_\_  
Responsable de Mantenimiento

**PRESENTE**

En la medición de espesores efectuada en el mes de **enero-2012** a la unidad de control **UC-PP-001 (70-01)** localizada en el **Circuito 01, Carga**, se encontró una velocidad de desgaste de **27.14 mpa** con un espesor mínimo de **126** milésimas de pulgada, siendo su vida útil estimada, de acuerdo al procedimiento vigente, de **1.0 años**, lo cual nos obliga a retirar la mencionada unidad de control en la fecha **diciembre-2012**.

**Se encontró en la posición 5, Bajo, en el nivel 25** El desgaste observado corresponde a un mecanismo de corrosión:

<input type="checkbox"/> Sulfídrico a alta temperatura.	<input type="checkbox"/> En medio ácido húmedo.
<input type="checkbox"/> Por ácidos natúricos.	<input type="checkbox"/> En medio alcalino húmedo.
<input type="checkbox"/> Galvánica.	<input type="checkbox"/> En ZAC por esfuerzos residuales.
<input type="checkbox"/> Por erosión selectiva.	<input type="checkbox"/> Erosión, flujo en dos fases.
<input type="checkbox"/> Bajo depósito (resaca de concentración).	<input type="checkbox"/> CO <sub>2</sub> -H <sub>2</sub> O
	<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 a la clase **B2A Rev. 2** (material: ASTM A23 Gr. S-B steel, carbon steel)

\*Espesores encontrados por debajo del límite de retro en los niveles:

Nivel 12	Nivel 24	Nivel 25	Nivel 34
----------	----------	----------	----------

\*Observar en el REGISTRO DE MEDICIÓN DE ESPESORES\*

Observaciones: ANÁLISIS DE NIVELES CRÍTICOS [Ver todos los Emplazamientos](#)

**Figura 4.6 Formato de emplazamiento DG-SASIPA-IT-0204-5 de la UC-PP-001 en el SIMECELE.**

#### **4.1.4 Análisis de inspección visual de tubería**

Para realizar el análisis de inspección visual se utiliza un formato como el que se muestra en la tabla 4.2, el cual se llena con un **SI** o **NO** en un comparativo de dos fechas. En esta tabla se debe indicar lo siguiente:

**Tabla 4. 2 Análisis de inspección visual de tubería de la UC-PP-01.**

Anomalia	Por evaluar:	Ene-11	Ene-12
Fugas	Proceso	NO	NO
	Indicios de vapores	NO	NO
	Grampas existentes	NO	NO
Desalineamiento	Desalineamiento de tuberías/desplazamiento restringido	NO	NO
	Desalineamiento de juntas de expansión	NO	NO
Vibración	Peso Colgado excesivo	NO	NO
	Soportes inadecuados	NO	NO
	Tuberías de pequeño calibre	NO	NO
	Conexiones roscadas	NO	NO
	Soportes sueltos por deterioro metálico	NO	NO
Soporte	Patines de soportes	NO	NO
	Colgantes deformados o fracturados	NO	NO
	Resortes fuera de apoyo	NO	NO
	Abrazadera deformada o fracturada	NO	NO
	Mensulas sueltas	NO	NO
	Placas/Rodillos deslizantes	NO	NO
	Contrapeso	NO	NO
	Soportes con corrosión	NO	NO
Corrosión	Partes de soportes bajo grampas	NO	NO
	Recubrimiento/Pintura deteriorados	NO	SI
	Interface suelo-aire	NO	NO
	Superficie de contacto del aislamiento	NO	NO
	Productos biológicos	NO	NO
Aislamiento	Daños/perforaciones	NO	NO
	Envoltura/aislamiento extraviado	NO	NO
	Sello deteriorado	NO	NO
	Abultamiento	NO	NO
	Flejes (rotos-extraviados)	NO	NO

En la tabla 4.2 se observa, que no presenta deterioro en la primera fecha de inspección. En la segunda fecha se observa que la pintura está deteriorada.

#### **4.1.5 Análisis de inspección visual y de calibraciones de niplería**

Tal y como se observa en la figura 4.7, la unidad de control cuenta con 4 arreglos de niplería y con la calibración del 2011, por alguna razón no se calibró en el 2012; es por esto que no es posible ejemplificar la velocidad de desgaste que han tenido los arreglos en dos fechas próximas.

Administración Ayuda

Expediente de inspecciones de la unidad de control UC-PP-001 (70-01) Gráfico de UC-PP-001 (70-01) Expediente de inspecciones de la unidad de control UC-PP-001 (70-01)

Expediente de inspecciones de la unidad de control UC-PP-001 (70-01)  
Calibración global

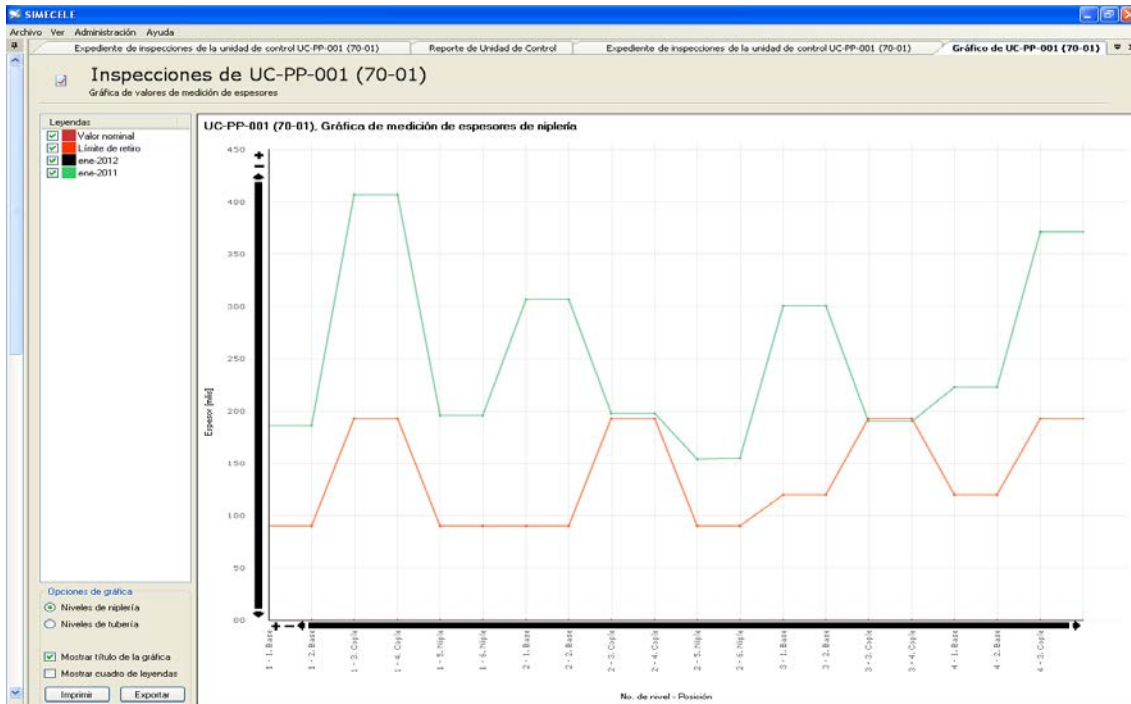
Agregar inspección Excluir inspección

Medición de espesores de tubería	Descripción			ene.2011		ene.2012	
	Nivel	Datos	Pieza	Espesor	Velocidad de De	Espesor	Velocidad de De
Análisis de la medición de espesores	1	Nivel 1 Arreglo Cople-Niple-Válvula Espesor nominal: 219 mils Límite de retiro (base): - mils Límite de retiro (niple): 90 mils Límite de retiro (cople): 193 mils Diámetro: ¾"	Base	186	-	-	-
			Base	186	-	-	-
			Cople	407	-	-	-
			Cople	407	-	-	-
			Niple	196	-	-	-
			Niple	196	-	-	-
Tendencias de velocidad de desgaste	2	Nivel 2 Arreglo Cople-Niple-Válvula Espesor nominal: 219 mils Límite de retiro (base): - mils Límite de retiro (niple): 90 mils Límite de retiro (cople): 193 mils Diámetro: ¾"	Base	307	-	-	-
			Base	307	-	-	-
			Cople	198	-	-	-
			Cople	198	-	-	-
			Niple	154	-	-	-
			Niple	155	-	-	-
Inspección visual de tubería	3	Nivel 3 Arreglo Cople-Tapón Espesor nominal: 219 mils Límite de retiro (base): - mils	Base	301	-	-	-
			Base	301	-	-	-
			Cople	190	-	-	-
			Cople	190	-	-	-
			Cople	190	-	-	-
			Cople	190	-	-	-
Medición de espesores de niplería	4	Nivel 4 Arreglo Cople-Tapón Espesor nominal: 219 mils Límite de retiro (base): - mils	Base	223	-	-	-
			Base	223	-	-	-
			Cople	372	-	-	-
			Cople	372	-	-	-
			Cople	372	-	-	-
			Cople	372	-	-	-
Revisión visual de niplería			Base	301	-	-	-
			Base	301	-	-	-
			Cople	190	-	-	-
			Cople	190	-	-	-
			Cople	190	-	-	-
			Cople	190	-	-	-
Inspección de tornillería			Base	223	-	-	-
			Base	223	-	-	-
			Cople	372	-	-	-
			Cople	372	-	-	-
			Cople	372	-	-	-
			Cople	372	-	-	-
Reportes de campo			Base	301	-	-	-
			Base	301	-	-	-
			Cople	190	-	-	-
			Cople	190	-	-	-
			Cople	190	-	-	-
			Cople	190	-	-	-

**Figura 4.7 Medición de espesores de niplería de la UC-PP-001 en el SIMECELE.**

Sin embargo, podemos obtener una gráfica para conocer cómo se encuentra el desgaste de los arreglos de niplería cabe mencionar que esto no es un análisis que nos permita determinar la integridad de los mismos, pero si una idea general.

En la figura 4.8 están graficadas las calibraciones del año 2011 de color verde mientras que la línea naranja representa el límite de retiro. Tal y como se observa en el cople del arreglo 2 se encuentra cercano al límite de retiro lo cual indica que es necesario calibrar para asegurar la integridad de este arreglo; mientras que el espesor del cople en el arreglo 3 se encuentra por debajo del límite de retiro. Este dato se observa en la figura 4.7 donde se indica que el límite de retiro es de 193 mils y este cuenta con un espesor de 190 mils; este dato se debe de tener en cuenta para la siguiente calibración.



**Figura 4. 8 Gráfico de medición de espesores de niplería de la UC-PP-001 en el SIMECELE.**

En el expediente de la UC-PP-001 no está la inspección visual de niplería, esta debe ser realizada por el centro de trabajo a la cual se le notifica la falta de información; sin embargo a continuación se observa cómo debe quedar el llenado de este formato GPI-IT-4200 Procedimiento para el control de desgaste de niplería para cargar en el SIMECELE.

La unidad de control UC-PP-001, presenta cuatro arreglos de niplería de los cuales dos son de tipo cople-niple-válvula y dos cople-tapón; tal y como se observa en la figura 4.7.

Para el arreglo cople-niple-tapón es necesario revisar las características que se muestran en la tabla 4.3.



**Tabla 4. 3 Inspección visual de niplería.**

Pieza	Característica por revisar	Como se encontró	Como se dejó
<b>Cople</b>	Libraje		
	Longitud		
	Estado de la cuerda		
	Material		
	Estado físico		
	Soldadura		
<b>Niple</b>	Cédula		
	Longitud		
	Estado de la cuerda		
	Material		
	Estado físico		
	Soldadura		
<b>Válvula</b>	Libraje		
	Estado de la cuerda		
	Material		
	Estado físico		
	Soldadura		

Para el tapón:

En caso de que cumpla con los siguientes requisitos se coloca: **CORRECTO** en la columna que indica cómo se encontró.

- Debe ser de cabeza redonda o hexagonal.
- Debe ser sólido, forjado y de material similar a la línea o equipo en donde se coloque.

Para la válvula:

- Libraje: se puede indicar como **CORRECTO, ALTO**; según sea el caso y debe ir de acuerdo a la norma
- Estado de la cuerda: se puede indicar como **BUENO**.
- Material: se indica como **CORRECTO** si el material es del mismo del que está compuesto por la línea donde se coloca, en caso de que indique de acero al carbón se captura como **INCORRECTO**.
- Estado físico de la válvula y de la soldadura se puede indicar **BUENO**, lo que indica que no hay golpes, fisuras o picaduras.

Para el niple:

En caso de que cumpla con la norma se debe capturar como: **CORRECTO**

- Debe ser de tubería sin costura.
- De cédula 160.
- Del mismo material a la línea donde se coloque; en este caso B2A.
- De longitud entre 3" y 6".
- Estado físico y de la soldadura se captura como **BUENO O MALO**; según sea el caso.

Para el cople en caso de que cumpla con los siguientes requisitos se captura como: **CORRECTO**

- Debe ser de la misma especificación del material de la línea o equipo donde se instalen.
- El diámetro no debe ser menor a  $\frac{3}{4}$ ".
- El libraje debe ser de 3000#.
- Estado físico del cople y de la soldadura, se indica como **BUENO O MALO**; según sea el caso.

En el expediente de esta unidad de control no se cuenta con:

- Inspección visual de tornillería.

Por lo cual es necesario utilizar como ejemplo otra unidad de control, como a continuación se muestra.

#### **4.1.6 Análisis de inspección visual de tornillería**

##### **➤ Unidad de control UC-PP-006:**

De esta unidad de control, se realizará el análisis de la inspección de tornillería; para ello es necesario conocer la descripción de la línea de proceso que permitirá comprender los resultados obtenidos en el SIMECELE.

La línea de proceso es de material “B2A” cuenta con 26 niveles de medición de espesor, esta unidad de control pertenece al circuito 2, propileno y cuenta con la siguiente descripción:

Esta corriente corresponde a los vapores de propileno que salen por el domo de la fraccionadora DA-901 y se condensan en los EA-901/B/C/D/E, el condensado se recibe en el tanque FA-901. Una parte del propileno acumulado en el tanque FA-901 es enviado como reflujo a la torre fraccionadora y la otra parte a almacenamiento. El propileno es una de las principales olefinas ligeras; es un gas muy volátil.

La inspección visual de tornillería de esta unidad de control muestra que el grado de corrosión es alto por lo que es necesario cambiar los espárragos en 1.5 años.

The screenshot shows the SIMECELE software interface. The main window title is "Expediente de inspecciones de la unidad de control UC-PP-006 (70-15)". Below the title bar, there is a navigation pane on the left with various icons and a main content area. The main content area displays a table titled "Inspección visual de tornillería" with the following data:

	Número de brida	Cantidad de espárragos	Grado de corrosión	Número de espárragos por cambiar	Observaciones
Inspección visual de tubería	1	16	Alta		
	2	16	Alta		
	3	16	Alta		
	4	12	Alta		
	5	16	Alta		
	6	16	Alta		
	7	12	Alta		

**Figura 4.9 Inspección de tornillería de la UC-PP-006 en el SIMECELE.**

#### **4.2 Análisis de corrosión en equipos de proceso**

Para realizar el análisis de corrosión en equipos de proceso se consideró una unidad de control de la planta propano-propileno.

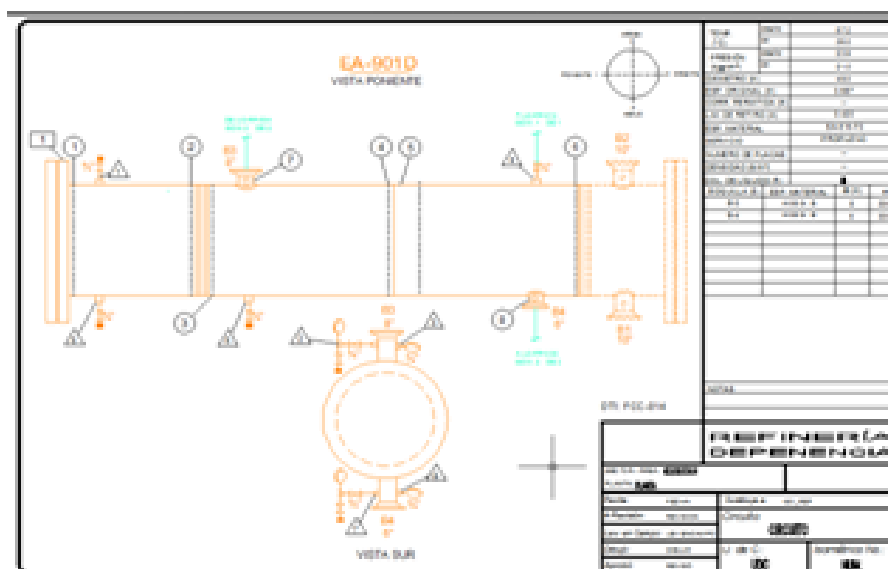
A continuación se presenta el análisis de corrosión a detalle, para lo cual conviene conocer la descripción de la unidad de control:

➤ **Circuito E-10 EA-901 D:**

Para los intercambiadores EA-901A/B/C/D/E (cuerpo) que son los que condensan el propileno que sale por el domo de la fraccionadora; tienen el mismo comportamiento de corrosión. Es decir; cuenta con 8 niveles de medición en el cuerpo del equipo y con 4 niveles de medición en las boquillas; estos intercambiadores operan al mismo tiempo por lo que tienen similar desgaste durante el proceso en la planta propano-propileno.

En la figura 4.10 se muestra el isométrico actualizado, digitalizado y cargado en el SIMECELE de la unidad de control EA-901 D.

➤ **Circuito E-10 EA-901 D**



**Figura 4.10 Isométrico de equipo de la unidad de control EA-901 D en el SIMECELE.**

El isométrico de la figura 4.10, se verificó en campo y se observó que fue correctamente numerado por el centro de trabajo; por lo cual esta unidad de control no sufrió cambios durante la implementación del SIMECELE en la planta propano-propileno. El isométrico de equipo, los datos de calibración del equipo y niplería se cargaron en el SIMECELE, tal y como se muestra en la figura 4.11, además se observa que el centro de trabajo no midió un nivel del

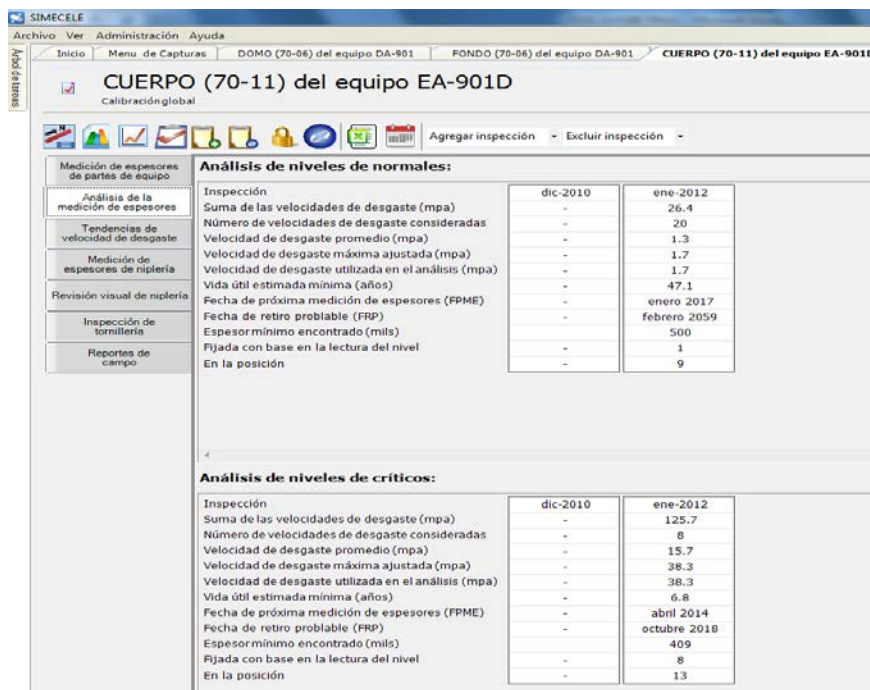
equipo a pesar de esto, los 7 datos de las calibraciones son los que participan en el análisis estadístico.

Medición de espesores de partes de equipo		Niveles críticos	Niveles normales	Todos los niveles	Niveles no medidos	(8 Niveles)	Fecha de validación de inspecciones:	
Análisis de la medición de espesores		Descripción		dic-2010	Inspector 2 (I2)	ene-2012	Roberto Sachifias Crispin (RSC)	
Tendencias de velocidad de desgaste		Nivel	Datos	Posición	Espesor (mil)	Velocidad de Desgaste (mil/a)	Espesor (mil)	Velocidad de Desgaste (mil/a)
Medición de espesores de rigiería	Esesor nominal: 627	1	Oriente	520	-	523	0	
	Límite de retiro: 420		Poniente	510	-	501	8.2	
			Arriba	515	-	500	13.66	
Revisión visual de rigiería		2	Abajo	512	-	512	0	
	Esesor nominal: 627		Oriente	-	-	516	-	
	Límite de retiro: 420		Poniente	-	-	505	-	
Inspección de tornillería		3	Arriba	-	-	507	-	
			Abajo	-	-	510	-	
	Esesor nominal: 627		Oriente	750	-	755	0	
Reportes de campo	Límite de retiro: 420	4	Poniente	749	-	747	1.82	
			Arriba	740	-	739	0	
			Abajo	743	-	770	0	
	Esesor nominal: 627	5	Oriente	754	-	759	0	
	Límite de retiro: 420		Poniente	758	-	758	0	
			Arriba	750	-	760	0	
		6	Abajo	755	-	774	0	
	Esesor nominal: 627		Oriente	746	-	748	0	
	Límite de retiro: 420		Poniente	757	-	754	2.73	
		7	Arriba	745	-	753	0	
			Abajo	742	-	764	0	
	Esesor nominal: 627		Oriente	749	-	750	0	
	Límite de retiro: 420	8	Poniente	741	-	752	0	
			Arriba	750	-	754	0	
			Abajo	750	-	769	0	
	Esesor nominal: 500	7	Norte	505	-	488	15.48	
	Límite de retiro: 150		Sur	488	-	485	2.73	
			Oriente	487	-	510	0	
		8	Poniente	524	-	482	38.26	
	Esesor nominal: 432		Norte	434	-	428	5.47	
	Límite de retiro: 150		Sur	456	-	443	11.84	
	Oriente	437	-	409	25.5			
	Poniente	448	-	419	26.41			

**Figura 4.11 Medición de espesores lado cuerpo de la unidad de control EA-901 D en el SIMECELE.**

Los datos de la figura 4.11 son parte del expediente de la unidad de control del equipo, a partir de estos datos es posible que el SIMECELE realice el análisis estadístico formal; es decir, el análisis estadístico con los datos de medición de espesor de pared, que participan en el cálculo para determinar las fechas de próxima medición, velocidad de desgaste, vida útil estimada y fecha de retiro probable de las unidades de control de equipos.

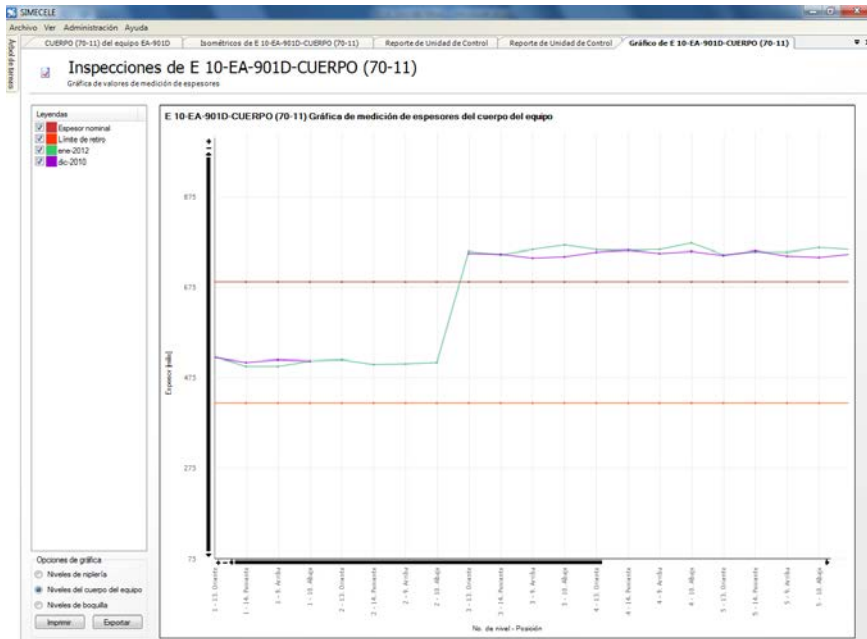
Con estos datos, el SIMECELE realiza el análisis de niveles normales y para niveles críticos que se muestra en la figura 4.12.



**Figura 4.12 Análisis de la velocidad de desgaste de la unidad de control EA-901 D en el SIMECELE.**

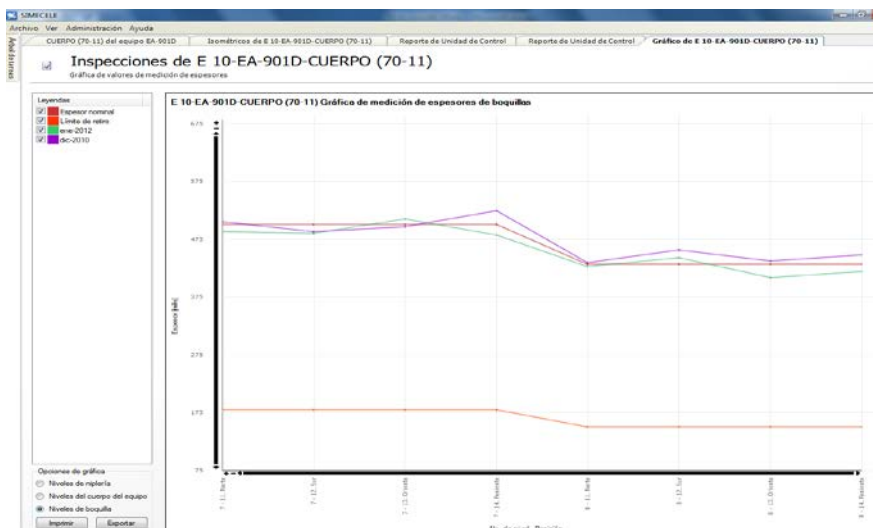
En la figura 4.12, se muestra que la velocidad de desgaste utilizada es de 1.7 mpa para los puntos normales y para los niveles críticos es 38.3 mpa. Para el análisis de velocidad de desgaste contamos con 7 mediciones de nivel, lo cual representa 28 posiciones de medición de estos datos, 20 posiciones de medición son normales lo que representa el 70% de nuestros datos y nos permite garantizar la integridad mecánica del equipo. Además el SIMECELE nos indica que esta unidad de control de equipo aún tiene una vida útil de más de 5 años .

A continuación en la figura 4.13, se observa el comportamiento de la velocidad de desgaste del cuerpo de la unidad de control EA-901 D entre el año 2010 en color morado y el 2012 en color verde; el límite de retiro está representado por la línea de color naranja. Claramente se observa que ninguna de las dos calibraciones se encuentra cerca del límite de retiro; es por ello que se puede asegurar la integridad mecánica del cuerpo del equipo.



**Figura 4.13 Gráfica de medición de espesores del cuerpo de la unidad de control EA-901 D en el SIMECELE.**

En la figura 4.14, se muestra la gráfica correspondiente a las calibraciones de las boquillas de la unidad de control EA-901 D. La planta consideraba 4 boquillas, las cuales fueron correctamente numeradas por el centro de trabajo y considerando el número de niveles de acuerdo al perímetro.



**Figura 4.14 Gráfica de medición de espesores de boquillas de la unidad de control EA-901 D en el SIMECELE.**

## 4.2.1 Análisis de inspección visual y de calibraciones de niplería

Debido a que la implementación del SIMECELE en la planta propano-propileno a partir de los datos que el centro de trabajo nos proporcionó, la inspección visual de niplería del cuerpo de la unidad de control EA-901 D solo se capturó la estructura en el SIMECELE como se muestra en la figura 4.15.

Sin embargo en el llenado, se utiliza el formato que se se mostró en la tabla 4.2 y del presente capítulo.

Pieza	Característica por revisar	Como se encontró	Como se dejó
Cople	Estado de la cuerda	No asignado	No asignado
	Material	No asignado	No asignado
	Estado físico	No asignado	No asignado
	Soldadura*	No asignado	No asignado
Nipla	Cifra	No asignado	No asignado
	Longitud	No asignado	No asignado
	Estado de la cuerda	No asignado	No asignado
	Material	No asignado	No asignado
Valvula	Estado físico	No asignado	No asignado
	Soldadura*	No asignado	No asignado
	Liraje	No asignado	No asignado
	Estado de la cuerda	No asignado	No asignado
Arreglo			
Nivel: 2 Arreglo de niplera especial (12 posiciones)			
Nivel: 3 Arreglo Cople-Termopoz			
Cople	Liraje	No asignado	No asignado
	Longitud	No asignado	No asignado
	Estado de la cuerda	No asignado	No asignado
	Material	No asignado	No asignado
Salva	Estado físico	No asignado	No asignado
	Soldadura*	No asignado	No asignado
	Tipos	No asignado	No asignado
	Estado de la cuerda	No asignado	No asignado
Arreglo	Material	No asignado	No asignado
	Estado físico	No asignado	No asignado
	Estado físico	No asignado	No asignado
Arreglo			
Nivel: 4 Arreglo Cople-Nipla-Valvula			
Nivel: 5 Arreglo Cople-Nipla-Valvula			
Nivel: 6 Arreglo Cople-Nipla-Valvula			
Nivel: 7 Arreglo de niplera especial (12 posiciones)			

**Figura 4.15 Inspección visual de niplería del cuerpo de la unidad de control EA-901 D en el SIMECELE.**

La unidad de control tiene seis arreglos de niplería, las cuales cuentan con las calibraciones del año 2010 y 2012 y con las que el SIMECELE puede calcular la velocidad de desgaste correspondiente a esos años así como una gráfica que permita observar de forma clara el desgaste para estos arreglos.

A continuación en la figura 4.16, se observa las calibraciones de niplería en el cuerpo de la unidad de control EA-901 D.



Medición de espesores de partes de equipo		Descripción		dic-2010		ene-2012						
Análisis de la medición de espesores		Nivel	Datos	Pieza	Espesor	Velocidad de De	Inspeccionador					
Tendencias de velocidad de desgaste	1	Nivel 1 Arreglo Cople-Niple-Válvula	Espesor nominal: 219 mils Límite de retiro (base): - mils Límite de retiro (niple): 90 mils Límite de retiro (cople): 193 mils Diámetro: 3/4"	Base	521	-	506	13.56				
Medición de espesores de niplera				Cople	458	-	372	78.33				
Revisión visual de niplera				Cople	745	-	374	337.92				
Inspección de tornillería				Niple	-	-	162	-				
				Niple	-	-	172	-				
Reportes de campo				2	Nivel 2 Arreglo de niplera especial (12 posiciones)	Espesor nominal: 219 mils Límite de retiro (base): - mils Límite de retiro (niple): 90 mils Diámetro: 3/4"	Pos. Esp. 1	504	-	497	6.38	
							Pos. Esp. 2	504	-	498	5.47	
							Pos. Esp. 3	398	-	478	-	
							Pos. Esp. 4	395	-	453	-	
							Pos. Esp. 5	-	-	198	-	
	Pos. Esp. 6	-	-				190	-				
	Pos. Esp. 7	-	-				-	-				
	Pos. Esp. 8	-	-				-	-				
	Pos. Esp. 9	-	-				-	-				
	Pos. Esp. 10	-	-				-	-				
	3	Nivel 3 Arreglo Cople-Termopozo	Espesor nominal: 219 mils Límite de retiro (base): - mils	Base	505	-	508	0				
				Base	500	-	502	0				
				Cople	460	-	257	184.3				
				Cople	455	-	281	158.43				
					4	Nivel 4 Arreglo Cople-Niple-Válvula	Espesor nominal: 219 mils Límite de retiro (base): - mils Límite de retiro (niple): 90 mils Límite de retiro (cople): 193 mils Diámetro: 3/4"	Base	429	-	754	-
								Base	429	-	752	-
								Cople	337	-	397	-
								Cople	337	-	402	-
								Niple	-	-	173	-
								Niple	-	-	175	-
	5	Nivel 5 Arreglo Cople-Niple-Válvula	Espesor nominal: 219 mils Límite de retiro (base): - mils Límite de retiro (niple): 90 mils Límite de retiro (cople): 193 mils Diámetro: 3/4"					Base	526	-	512	12.75
								Base	526	-	509	15.48
								Cople	403	-	382	19.13
								Cople	403	-	387	14.57
				Niple	-	-	161	-				
				Niple	-	-	179	-				
					6	Nivel 6 Arreglo Cople-Niple-Válvula	Espesor nominal: 219 mils	Base	764	-	766	0
								Base	764	-	764	0
								Cople	474	-	384	72.87

**Figura 4.16 Medición de espesores de niplera del cuerpo de la unidad de control EA-901 D en el SIMECELE.**

En la figura 4.16, es posible observar que los datos de calibración de los arreglos del cuerpo del intercambiador en el año 2012 no se encuentran por encima del límite de retiro, además es posible notar que la medición de las calibraciones para el año 2010 no se realizó correctamente por el centro de trabajo y es conveniente realizar en un año subsecuente la medición de las calibraciones para poder asegurar la integridad mecánica de estos arreglos de niplera.

A partir de los datos de la figura 4.16, podemos obtener en el SIMECELE una gráfica como se observa en la figura 4.17 la cual nos muestra que las calibraciones de niplera en el cuerpo de la unidad de control EA-901 D del año 2012, indicada de color verde aún no están en el límite de retiro que se representa por la línea de color naranja.



**Figura 4.17 Gráfica de medición de espesores de niplería del cuerpo de la unidad de control EA-901 D en el SIMECELE.**

#### 4.2.2 Análisis de inspección visual de tornillería

La información contenida en el expediente se capturó en el SIMECELE como se muestra en la figura 4.18 la cual nos muestra que hay tres niveles de tornillería que tienen corrosión **leve** y por lo tanto no es necesario cambiar ningún esparrago. De acuerdo a la norma DG-GPASI-IT-0903, para este grado de corrosión indica que la próxima revisión se debe efectuar en 5 años.

Formulario de inspección de tornillería en el SIMECELE. Incluye campos para planta, circuito, unidad de control y fecha de inspección, así como una tabla con los resultados de la inspección.

No. BRIDA, TAPA O VÁL VULVA según dibujo anexo	CANTIDAD DE ESPARRAGOS	GRADO DE CORROSIÓN	NÚMERO DE ESPÁRRAGOS POR CAMBIAR	OBSERVACIONES
1	40	LEVE	-	-
2	12	LEVE	-	-
3	12	LEVE	-	-

**Figura 4.18 Inspección de tornillería de la unidad de control EA-901 D en el SIMECELE.**

## CONCLUSIONES

En el presente documento se expuso el trabajo que se ha realizado en los últimos años por el equipo de trabajo del Dr. Javier Cruz en la Facultad de Química de la UNAM, su esfuerzo se ha centrado en la integridad mecánica e inspección técnica de líneas y equipos de proceso; del cual surge el SIMECELE (Sistema de Medición y Control de Espesores en Líneas y Equipos de Proceso).

Se aplicó las 9 fases de la implementación del SIMECELE en una planta propano-propileno, pudiéndose comprobar la importancia de realizar la correcta identificación de circuitos y unidades de control; logrando tipificar y generalizar la división de las mismas para que dicho trabajo pueda servir de base para otras plantas de propano-propileno.

En el SIMECELE se capturaron todas las unidades de control de las cuales está compuesta la planta. Con el uso del SIMECELE se verá beneficiada la administración de la seguridad en los procesos; en general sus beneficios son:

- Información actualizada de la planta y con la facilidad de modificarlos ya que se encuentran en la intranet.
- Isométricos digitalizados y verificados en campo.
- Utilización de las normas aplicables a la empresa.
- Correcto control de la integridad mecánica de las líneas y equipos.
- Seguimiento del desgaste de líneas y equipos para su reemplazo y futuras reparaciones.
- La utilización del software permite tener un análisis de la corrosión para su mantenimiento preventivo y correctivo según sea el caso.

Todos estos beneficios se obtienen con la implementación del software, sin embargo es necesario mantener estas acciones para garantizar el correcto funcionamiento de las líneas y equipos de la planta.

Para lo cual el centro de trabajo debe cooperar para que se continúe con el uso de esta herramienta:

- Se debe de capacitar al personal para que todos puedan realizar las actividades correspondientes que implique corrección de datos, levantamientos, etc.
- Se debe respetar los criterios establecidos de numeración, niplería y tornillería. Para la correcta calibración de los mismos.
- Mantener actualizada la información de la planta (DFP`s, DTI`s y diagramas de inspección técnica).

Con esto se pueden generar reportes confiables que permitan conocer la integridad mecánica de líneas y el equipos; y es posible que la obtenga un ingeniero del área para conocer en qué condiciones se encuentra la planta.

## BIBLIOGRAFÍA

- (1) Artículo 19, Reglamento Interior de la Secretaria de Trabajo y Previsión Social.  
[http://www.stps.gob.mx/bp/secciones/conoce/quienes\\_somos/quienes\\_somos/pdf/stps\\_14nov08\\_REGLAMENTO\\_INTERIOR\\_STPS.pdf](http://www.stps.gob.mx/bp/secciones/conoce/quienes_somos/quienes_somos/pdf/stps_14nov08_REGLAMENTO_INTERIOR_STPS.pdf)
- (2) Sistema de Administración de la Seguridad de los Procesos.  
Manual general SSPA en PDF.
- (3) SIMECELE.  
CEASPA-MUS-003 Manual del usuario del SIMECELE, Revisión 3, Facultad de química, UNAM, Septiembre 2010.
- (4) Seguridad Industrial
- (5) Integridad Mecánica  
<http://www.reliarisk.com>
- (6) Desgaste de tuberías y equipos de proceso. Rojas Balbuena Rodolfo, Desarrollo de una metodología de predicción de tiempos de inspección en la programación del control de medición de espesores en líneas y equipos de proceso, Tesis de Licenciatura, UNAM Facultad de Química.
- (7) Corrosión.  
<http://www.textoscientificos.com/quimica/corrosion/tipos>
- (8) Inspección técnica de líneas y equipos de proceso. DG-SASIPA-IT-00014 Rev. 2009, Guía para la inspección técnica de recipientes a presión en las instalaciones de PEMEX Refinación, PEMEX Refinación, Diciembre 2009.
- (9) Conceptos generales DG-SASIPA-IT-0204 Rev. 7.
- (10) Criterios generales del grado de corrosión. DG-GPASI-IT-0903
- (11) Valores de referencia para el cálculo de espesores en tuberías de proceso. DG-SASIPA-IT-0008
- (12) Digitalización en AutoCAD® de los DITE actualizados en el formato del SIMECELE. CEASPA-GDDITEA-002 Guía para dibujar diagramas para inspección técnica de espesores en AutoCAD® Uso de la herramienta de dibujo del SIMECELE, Revisión 1, Facultad de Química, UNAM, 2010.

## APÉNDICE

### **Ventajas de la implementación del SIMECELE en la planta propano-propileno de acuerdo a los productos que se obtienen en el proceso.**

Es fundamental garantizar la integridad mecánica de la planta de propano-propileno en una refinería; ya que estas sustancias, que se manejan como gases licuados en gran volumen (debido a sus múltiples usos), son inflamables y explosivos. La implementación del SIMECELE es de gran ayuda para mantener bajo control el desgaste en todas las líneas y equipos de ésta planta, y así operarla con seguridad, evitando daños al personal, a las instalaciones y al medio ambiente

En la planta de proceso los vapores de propileno salen por el domo de la fraccionadora, los cuales son condensados y se reciben en un tanque. Una parte del propileno acumulado en el tanque es enviado como reflujo y la otra parte a almacenamiento; mientras que el propano se extrae por el fondo de la fraccionadora es enfriado previamente y enviado a almacenamiento.

El propileno obtenido es materia prima que se utiliza para fabricar:

1. Polipropileno; con el cual se producen:

- Artículos de consumo
- Empaques flexibles y rígidos
- Fibras
- Rafia
- Alfombras para autos
- Etiquetas, entre otros

2. Oxido de propileno; este se usa como:

- Aditivo alimentario (humectante)

El propileno que se produce en la Refinería se vende a otras industrias como:

- \* Propileno grado químico; con un mínimo de pureza de 92% mol
- \* Propileno GP (grado Refinería); menor a 92% mol de pureza

Mientras que el propano, es un producto que se utiliza para la preparación del gas licuado; el cual es una mezcla compuesta principalmente de propano y butano, también conocido como gas LP. Es una de las principales fuentes de energía en el

país; su uso principal es en el sector residencial y aumenta en el sector industrial y de transporte.

Tanto el propileno como el propano tienen un nivel de riesgo alto por ser inflamables, de acuerdo al Rombo de Clasificación de Riesgo: el Código NFPA 4040. Este sistema de identificación de riesgos es utilizado para reconocer el grado de peligrosidad de los materiales ante un incendio o emergencia. Sin embargo, cuando las instalaciones se diseñan, construyen y mantienen con estándares rigurosos es posible garantizar la seguridad del personal, las instalaciones y el medio ambiente; tanto en el proceso, en el almacenamiento y la distribución.

Cuando estos productos se fugan a la atmósfera, vaporizan de inmediato, al mezclarse con el ambiente se forman nubes inflamables y explosivas, que al exponerse a una fuente de ignición (chispas, flama y calor) produce un incendio o explosión.

Por tal motivo, ambos productos se almacenan en esferas las cuales tienen los siguientes sistemas de protección:

a) Sistema hidráulico de alta presión:

Denominado también sistema Vickers. Este sistema permite tener abiertas las válvulas de corte rápido (válvulas de seguridad) están ubicadas en el fondo de la esfera, entrada y salida principal del producto; se debe mantener un rango de presión de (35 a 45 Kg/cm<sup>2</sup>) en el sistema y opera de forma automático y manual de bombeo que succionan de un carter con aceite hidráulico, este circuito alimenta a las esferas de almacenamiento. Y a falla de energía opera con una bomba manual recíproca colocada en el cabezal principal de la descarga de las bombas.

b) Sistema de aspersión automatizado (RACI):

El sistema general de la red de contra incendio (RACI) en el área de esferas, está controlado por válvulas automáticas operadas con un selenoide, que envía la señal desde el tablero de control las cuales se pueden activar a voluntad.

Se activará el sistema RACI, cuando algún sensor de gas o flama se active, por falla de energía, aire, o cuando el sistema hidráulico tenga alguna fuga.

c) Sensores de gas y flama:

Los sensores de gas y flama están colocados en diferentes partes de las esferas, los cuales se controlan desde el tablero, este sistema cuenta con alarma visual (tipo semáforo: rojo-alerta, amarillo-preventivo, verde-normal), así como una alarma audible que suena en el área, avisando que existe alguna anomalía en el área la cual debe ser revisada de inmediato.

d) Sistema de desfogue:

Cada esfera cuenta con un sistema de desfogue donde se encuentran instaladas las válvulas de seguridad de presión, así como un directo colocado en el domo de la esfera, y otro colocado en el sistema de línea igualadora de presión.

e) Sistema de válvulas de seguridad:

Este sistema nos permite dar seguridad a cada esfera de esta área, y cuentan con dos válvulas de seguridad (PSV) cada una de ellas, pueden ser aisladas con válvulas de paso tipo macho selladas con grasa para evitar fugas de gas y están calibradas de acuerdo al servicio que maneja cada esfera, deben tener mantenimiento de acuerdo a su programa elaborado por el Inspector de Seguridad, el cual se debe cumplir al pie de la letra, ya que es una protección de seguridad para estos equipos.

En este anexo, se pretende enfatizar el trabajo del Ingeniero Químico en el área de administración del proceso, para la transformación física y química de materias primas, en la obtención de productos útiles al hombre. Y en el área de seguridad del proceso y del almacenamiento. El cual es complemento a la tesis presentada.