



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

“Análisis de la velocidad de desgaste en torres de vacío de dos plantas preparadoras de carga”

Tesis para obtener el título de:

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA

MOREIRA MEYER GUSTAVO ALEJANDRO

Director de tesis:

DR. M. JAVIER CRUZ GÓMEZ



MÉXICO 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.

DEDICATORIAS

Este trabajo va dedicado a mi familia, a mis padres Alejandro E. Moreira Y Ma. Teresa Meyer, por su amor incondicional y apoyo sobre todo cuando tome malas decisiones a lo largo de mi vida, nunca quitaron el dedo del renglón y ese fue mi motor para salir adelante, su esfuerzo se ve reflejado en la conclusión de esta etapa de mi vida, muchas gracias los quiero.

A mis hermanas Alejandra y Bárbara Moreira, a pesar de las discusiones, peleas y desacuerdos siempre creyeron en mí y me daban consejos todo el tiempo sin importar el tamaño del problema que se tuviera enfrente, gracias por todas las enseñanzas, las quiero.

Especial dedicatoria a mi amigo Dorian que se adelantó en el camino.

AGRADECIMIENTOS

A mi alma mater la Universidad Nacional Autónoma de México que desde la preparatoria he formado parte de ella.

A la Fes Zaragoza por darme las bases para ser un buen profesionista y darme herramientas para afrontar la vida diaria.

Al grupo Ceaspa por darme la oportunidad de iniciar mi camino como profesionista, a los ingenieros Erick, Isaac, Moisés y Oscar por enseñarme lo que se, así como, mis amistades que continúe después de la universidad Luis y Jon que he aprendido mucho de ellos, a mi asesor el Dr. Javier Cruz y el Dr. Néstor López por su apoyo para la realización de este trabajo. Y un especial agradecimiento a M. en I. Nohemí Juárez por su ayuda durante todo el proceso de realización de este trabajo así como al Dr. Héctor Cruz.

A mis amigos de la universidad que estuvieron en el inicio Paco, Susana, Genaro, Pilar, Lulú y Victoria, y los que fui conociendo en el camino: Dorian, José, Juan Carlos, Octavio, Beto, Liz, Betty, Hugo, Erick, Fernando, Mariana, Rita, Susan, mi hermanita Irma, Manuel, Checo, Flor, Ruso, Aranza, así como todas las personas con quienes pude compartir risas y experiencias.

Por ultimo a mis sinodales por ser parte de la conclusión de esta etapa, I.Q Dominga Ortiz, Dr. Fausto Calderas y M. en I. Pablo Valero.

ÍNDICE

ÍNDICE.....	1
ÍNDICE DE FIGURAS	3
ÍNDICE DE TABLAS	4
RESUMEN	5
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	7
1.2 OBJETIVOS PARTICULARES	7
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 SEGURIDAD INDUSTRIAL	8
2.2 INTEGRIDAD MECÁNICA.....	9
2.3 SELECCIÓN DEL MATERIAL	10
2.3.1 SA 515 Gr. 70.....	11
2.3.2 SA 285 Gr. C.....	12
2.4 PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS	12
2.4.1 Inspección visual	13
2.4.2 Líquidos penetrantes.....	13
2.4.3 Partículas magnéticas.....	14
2.4.4 Radiografía	14
2.4.5 Pruebas de ultrasonido	15
2.5 NORMATIVIDAD APLICABLE	16
2.5.1 DG-SASIPA-IT-0204. Guía para el registro, análisis y programación de la medición preventiva de espesores	16
2.6 SISTEMA DE MEDICIÓN Y CONTROL DE ESPESORES EN LÍNEAS Y EQUIPOS (SIMECELE) ..	20
2.7 PROCESO DE DESTILACIÓN AL VACÍO.....	24
CAPÍTULO III. DESARROLLO DEL TRABAJO Y RESULTADOS	26
3.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	26
3.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	26
3.3 UNIDADES DE CONTROL.....	29
3.3.1 Delimitación de las unidades de control para una torre de vacío	29

3.4 DIAGRAMAS DE INSPECCIÓN TÉCNICA	31
3.4.1 Torre de vacío DX-10000	31
3.4.2 Torre de vacío DZ-15000	37
3.5 INSPECCIONES TÉCNICAS	43
3.6 ANÁLISIS DE MEDICIÓN DE ESPESORES DE LA TORRE DE VACÍO DX-10000	44
3.6.1 Domo	44
3.6.2 Sección cónica superior	48
3.6.3 Sección cónica inferior	51
3.6.4 Fondo	54
3.7 ANÁLISIS DE MEDICIÓN DE ESPESORES DE LA TORRE DE VACÍO DZ-15000	57
3.7.1 Domo	57
3.7.2 Sección cónica superior	61
3.7.3 Sección cónica inferior	64
3.7.4 Fondo	68
3.8 COMPARACIÓN DE LA VELOCIDAD DE DESGASTE ENTRE LAS TORRES DE VACÍO	71
3.8.1 Comparación del domo	71
3.8.2 Comparación de la sección cónica superior	71
3.8.2 Comparación de la sección cónica inferior	72
3.8.1 Comparación del fondo	73
CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS	75
ANEXO A. Análisis estadístico formal	76
ANEXO B. Inspecciones técnicas de la torre DX-10000	78
ANEXO C. Inspecciones técnicas de la torre DZ-15000	80
BIBLIOGRAFÍA	83

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de seguridad industrial	9
Figura 2. Recipiente. Fuente [DG-SASIPA-IT-0204].	18
Figura 3. Intercambiador de calor. Fuente [DG-SASIPA-IT-0204].	18
Figura 4. Torre de destilación. Fuente [DG-SASIPA-IT-0204].	19
Figura 5. Tanque atmosférico. Fuente [DG-SASIPA-IT-0204].	19
Figura 6. Menú principal.	20
Figura 7. Árbol de tareas.	22
Figura 8. Medición de espesores.....	22
Figura 9. Análisis de la medición de espesores.	23
Figura 10. Gráfica de la medición de espesores.....	23
Figura 11. Destilación al vacío.	24
Figura 12. Diagrama simplificado de una planta preparadora de carga.	28
Figura 13. Unidades de control de torres de vacío.	30
Figura 14. Diagrama para inspección técnica del domo DX-10000.....	33
Figura 15. Diagrama para inspección técnica de la sección cónica superior DX-10000	34
Figura 16. Diagrama para inspección técnica de la sección cónica inferior DX-10000	35
Figura 17. Diagrama para inspección técnica del fondo DX-10000	36
Figura 18. Diagrama para inspección técnica del domo DZ-15000.....	39
Figura 19. Diagrama para inspección técnica de la sección cónica superior DZ-15000.....	40
Figura 20. Diagrama para inspección técnica de la sección cónica inferior DZ-15000	41
Figura 21. Diagrama para inspección técnica del fondo DZ-15000.....	42
Figura 22. Gráfica de la velocidad de desgaste en el domo.	46
Figura 23. Gráfica de la velocidad de desgaste en la sección cónica superior.....	49
Figura 24. Gráfica de la velocidad de desgaste en la sección cónica inferior	52
Figura 25. Gráfica de la velocidad de desgaste en el fondo.....	55
Figura 26. Gráfica de la velocidad de desgaste en el domo.	59
Figura 27. Gráfica de la velocidad de desgaste en la sección cónica.	62
Figura 28. Gráfica de la velocidad de desgaste en la sección cónica inferior.	66
Figura 29. Gráfica de la velocidad de desgaste en el fondo.....	69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Efectos principales de los aleantes para acero.....	10
Tabla 2. Especificación del domo y fondo.....	31
Tabla 3. Especificación de las secciones cónicas inferior y superior.....	32
Tabla 4. Especificación del domo y fondo.....	37
Tabla 5. Especificación de las secciones cónicas inferior y superior.....	38
Tabla 6. Ejemplo de un expediente de inspección técnica.....	43
Tabla 7. Velocidad de desgaste en el domo de la torre DX-10000.....	44
Tabla 8. Análisis de la medición de espesores del domo.....	47
Tabla 9. Velocidad de desgaste en la sección cónica superior.....	48
Tabla 10. Análisis de la medición de espesores de la sección cónica superior.....	50
Tabla 11. Velocidad de desgaste en la sección cónica inferior.....	51
Tabla 12. Análisis de la medición de espesores de la sección cónica inferior.....	53
Tabla 13. Velocidad de desgaste en el fondo.....	54
Tabla 14. Análisis de la medición de espesores del fondo.....	56
Tabla 15. Velocidad de desgaste en el domo.....	57
Tabla 16. Análisis de la medición de espesores del domo.....	60
Tabla 17. Velocidad de desgaste en la sección cónica superior.....	61
Tabla 18. Análisis de la medición de espesores de la sección cónica superior.....	63
Tabla 19. Velocidad de desgaste en la sección cónica inferior.....	64
Tabla 20. Análisis de la medición de espesores de la sección cónica inferior.....	67
Tabla 21. Velocidad de desgaste en el fondo.....	68
Tabla 22. Análisis de la medición de espesores del fondo.....	70
Tabla 23. Velocidad de desgaste promedio en el domo.....	71
Tabla 24. Velocidad de desgaste promedio de la sección cónica superior.....	72
Tabla 25. Velocidad de desgaste promedio de la sección cónica inferior.....	72
Tabla 26. Velocidad de desgaste promedio del fondo.....	73
Tabla 27. Expediente de inspecciones técnicas del domo.....	78
Tabla 28. Expediente de inspecciones técnicas de la sección cónica superior.....	78
Tabla 29. Expediente de inspecciones técnicas de la sección cónica inferior.....	79
Tabla 30. Expediente de inspecciones técnicas del fondo.....	79
Tabla 31. Expediente de inspecciones técnicas del domo.....	80
Tabla 32. Expediente de inspecciones técnicas de la sección cónica superior.....	80
Tabla 33. Expediente de inspecciones técnicas de la sección cónica inferior.....	81
Tabla 34. Expediente de inspecciones técnicas del fondo.....	82

RESUMEN

En esta tesis se comparó la velocidad de desgaste entre dos torres de vacío de diferentes plantas preparadoras de carga, éstas plantas se encuentran delimitadas geográficamente por una zona, trabajan con el mismo fluido y condiciones de operación y cada una de ellas está construida de diferente material, por lo cual el objetivo fue determinar que material presenta mayor resistencia al desgaste.

Las dos torres de vacío se dividieron en secciones iguales, llamadas unidades de control. Las unidades de control cuentan con su respectivo diagrama de inspección técnica, el cual indica los niveles y posición donde se debe realizar la medición de espesores. Los valores resultantes de estas mediciones proveen información acerca de la integridad mecánica de estos equipos.

Para este trabajo la información de la medición de espesores correspondientes a cada año de inspección están cargados una software especializado para la administración de información de integridad mecánica, llamado SIMECELE (Sistema de Medición y Control de Espesores en Líneas y Equipos), el cual con base en un análisis estadístico arroja resultados como velocidad de desgaste, velocidad de desgaste promedio, graficas de velocidad de desgaste, fecha de próxima medición de espesores, fecha de retiro probable y vida útil estimada.

La información generada por este software, fue utilizada para estudiar la tendencia que tiene la velocidad de desgaste en cada unidad de control de las torres de vacío, para posteriormente hacer un comparativo de la velocidad de desgaste promedio de las unidades de control y así determinar que material presenta mayor resistencia al desgaste.

Al término del comparativo de las unidades de control se obtiene como resultado que el material SA 285 Gr. C presentó mayor resistencia al desgaste, debido a que sus velocidades de desgaste promedio son bajas.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Las actividades que se realizan en la industria en todo momento han estado acompañadas de diferentes tipos de riesgos, es por ello que la seguridad industrial es un área multidisciplinaria encargada de minimizar los riesgos. Se habla de minimizar debido a que toda actividad en la industria conlleva un riesgo latente.

Existe una variedad de procedimientos, normas y estrategias destinados a la seguridad industrial, por lo cual, su papel es el de prevenir daños al personal, a las instalaciones, al medio ambiente, a las personas que vivan en zonas cercanas a la planta, así como paros de planta no programados.

Uno de los procedimientos en el que recae el mayor peso de la seguridad de la planta es la integridad mecánica de los equipos, que abarca desde el diseño de los equipos y tuberías hasta su desmantelamiento cuando cumplen su ciclo de vida. En el diseño de los equipos existen varios factores a considerar, uno de ellos es la elección del material de construcción, este debe tolerar las condiciones de operación para el cual es diseñado el equipo, considerar el fluido que se manejará para que el desgaste no sea factor en la vida útil, ya que las alteraciones químicas y físicas limitan la vida de un material.

Para conocer el estado de un material de algún equipo se pueden realizar pruebas destructivas y pruebas no destructivas. Las pruebas destructivas son realizadas en los materiales para poder determinar sus propiedades como tensión, compresión, torsión, etc. Las pruebas no destructivas son las realizadas en los equipos como inspección visual, líquidos penetrantes, pruebas magnéticas y pruebas de ultrasonido, ésta última es la que se realiza para medir espesores.

La medición de espesores tiene como finalidad tener un control sobre la integridad mecánica de sus tuberías y equipos en las plantas, generando expedientes con los cuales se realiza un análisis estadístico.

Este análisis estadístico sirve para determinar parámetros que sirven de guía en este trabajo, tales como, vida útil estimada, fecha de próxima medición de espesores y fecha de retiro probable. A partir de la necesidad de administrar y tener un control de ésta información es cuando surge SIMECELE, siendo un sistema de administración y control de información, desarrollado con base en las distintas normas de inspección técnica de espesores.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar que material presenta menor disminución del espesor de pared en los equipos, con base en el análisis de las velocidades de desgaste que muestran los materiales con los cuales están construidas las torres de vacío de dos plantas preparadoras de carga.

1.2 OBJETIVOS PARTICULARES

- Recopilar información de los expedientes de inspección técnica de SIMECELE acerca de la velocidad de desgaste en dos torres de vacío correspondientes a plantas preparadoras de carga.
- Analizar el comportamiento de las gráficas de velocidad de desgaste que presentan los materiales de construcción en las torres de vacío, y el comportamiento del tiempo de vida útil de los equipos.
- Determinar cualitativamente qué material presenta menor disminución del espesor de pared en los equipos.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 SEGURIDAD INDUSTRIAL

El avance tecnológico en la industria es muy grande, da cierta tranquilidad en cuestión de seguridad, fiabilidad y calidad, pero en seguridad industrial no existe la seguridad absoluta, ya que hay factores que pueden generar riesgos de un momento a otro, así como un descuido humano, algún fenómeno climatológico, mal funcionamiento de algún equipo, por defectos de diseño, etc.

Una de las cuestiones más particulares y llamativas de la seguridad industrial es la aparente desproporción entre la causa y el efecto, esto se refiere a que cuando existe un accidente de gran magnitud, por lo general es provocado por un incidente menor. Por ejemplo, cuando hay una gran explosión de algún tanque, por lo regular es generada por una pequeña chispa.

El objetivo de la seguridad industrial es velar que las actividades realizadas en la industria se realicen sin secuelas de daños inaceptables para los trabajadores, las instalaciones, personas externas a los centros de trabajo y el medio ambiente. Como consecuencia de la preocupación por el riesgo y para una mayor eficiencia en cuestión de seguridad, se han ido cristalizando una serie de normas, decretos y reglamentos para plasmar las exigencias que demanda dicho terreno como es la seguridad ^[1].

Una vez diseñada la planta y puesta en operación se aborda la seguridad mediante el uso de normas internas que describan las operaciones correctas, procedimientos de emergencia y precauciones que se deben tener en todo momento, además de recibir entrenamiento y crear conciencia en los trabajadores con la relación que existe entre el riesgo y la seguridad ^[2].

La seguridad industrial en plantas químicas se analizan mediante dos áreas que son de importancia: la seguridad ocupacional y la seguridad de proceso. La seguridad ocupacional es un conjunto de medidas que se encargan de prevenir accidentes a los que están expuestos los trabajadores, algunas de estas medidas son el equipo de protección personal (casco, lentes de seguridad, tapones auditivos, etc.). La seguridad de proceso es la aplicación de la administración de principios y sistemas para la identificación, entendimiento y control de riesgos en los procesos para prevenir accidentes, esto aplicable a las plantas de la industria química.

Existen varios elementos técnicos para modelar programas en cuestión de la seguridad de procesos, tales como la administración al cambio, investigación de incidentes, integridad mecánica, análisis de riesgo, etc. Como se muestra en la figura 1.

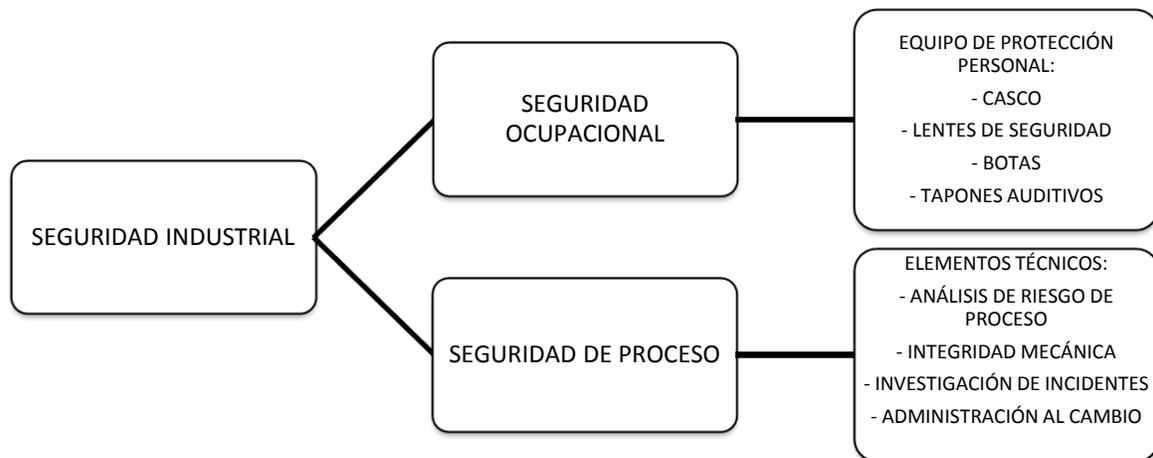


Figura 1. Diagrama de seguridad industrial

La integridad mecánica es el elemento técnico principal en la seguridad de proceso, debido a que ayuda a mantener y a mejorarla integridad de un sistema y a controlar los peligros a través de la vida de servicio de una planta^[3].

2.2 INTEGRIDAD MECÁNICA

La integridad mecánica se puede definir como un conjunto de actividades que se enfocan en asegurar la confiabilidad de una planta (tuberías y equipos), que cubre desde la fase de diseño, fabricación, instalación, mantenimiento, construcción, operación y desmantelamiento; para garantizar que cumplan las condiciones de funcionamiento requeridas, con el propósito de proteger a los trabajadores, instalaciones y el medio ambiente^[4].

La confiabilidad en la fase de diseño de proyectos debe tener un balance entre productividad, seguridad y riesgo. Este balance debe tomar en cuenta los lineamientos de diseño y estrategias de mantenimiento; sin un adecuado balance se puede comprometer la integridad mecánica de la instalación a la hora de tomar decisiones operacionales^[5].

Para poder asegurar la confiabilidad de algún equipo se tiene que realizar un análisis sobre su estado. Algunas de las preocupaciones que requieren atención especial son las condiciones peligrosas en las que opera un equipo, por ejemplo, cualquier error o falla en lo referente al material de construcción predispone al accidente debido al mal estado de este.

Aunque las estadísticas relativas a la proporción de accidentes debidos a la maquinaria, es relativamente baja, también es cierto que su gravedad es muy importante. Ante la posibilidad de algún accidente, el primer paso es la selección óptima y correcta del equipo desde el punto de vista seguridad, rentabilidad y eficiencia. De ahí que uno de los principales elementos a la hora de diseñar un equipo es la selección del material adecuado para que no sea causa de algún accidente al personal o su deterioro sea rápido ^[6].

Para tener un análisis de las condiciones físicas de los materiales se realizan varias pruebas, las de interés son las pruebas no destructivas, esto con el fin de conocer sí puede seguir en operación el equipo.

2.3 SELECCIÓN DEL MATERIAL

La selección del material de construcción de un equipo presenta un problema ya que existe una gran variedad de materiales disponibles. Para la decisión final existen varios criterios en la selección del material como lo son, las condiciones a las que se someterá, la degradación que experimentará y el aspecto económico ^[7].

Todo acero es en realidad una aleación, los aceros más simples son hierro (Fe) (alrededor de 99 %) aleado con carbono (C) (alrededor de 0.1-1 %), sin embargo existe una diversidad de elementos químicos con los cuales se puede combinar para mejorar sus propiedades mecánicas. Los aceros se dividen en dos grupos aceros de baja aleación y aceros de alta aleación, el autor sitúa la barrera de esta división en 8.0 %.

Los aceros de baja aleación se emplean para alcanzar una templabilidad mayor, además de aumentar la resistencia a la corrosión en ciertas condiciones ambientales. Los aceros con contenidos medios o altos de carbono son difíciles de soldar. Bajar el contenido de carbono hasta un 0.1 % o 0.3 %, acompañada de una reducción en elementos aleantes incrementa la soldabilidad y formabilidad del acero, manteniendo su resistencia. En la tabla 1 se muestran algunos de los elementos aleantes ^[8].

Tabla 1. Efectos principales de los aleantes para acero.

Elemento	Porcentaje	Función primaria
Aluminio	0.95-1.30	Elemento aleante para la nitruración de acero.
Cromo	0.5-2	Incrementa la dureza.
	4-18	Incrementa la resistencia a la corrosión.
Cobre	0.1-0.4	Resistencia a la corrosión.
Manganeso	0.25-0.40	Combinado con azufre y fósforo reduce la fragilidad. También ayuda a remover el exceso de oxígeno en el acero fundido
	>1	Aumenta la templabilidad al disminuir los puntos de transformación
Molibdeno	0.2-5	Evita formación de cristales a altas temperaturas. Aumenta la tenacidad de acero, haciendo así una aleación de metal de molibdeno muy valioso para fabricar las partes de herramientas de máquinas y también los álabes o aspas de una turbina. También se utiliza en motores de propulsión.

Níquel	2-5	Aumenta la resistencia y dureza (se utiliza en conjunto con el molibdeno para lograr mejores resultados).
Silicio	0.2-0.7	Incrementa la fuerza.
	2.0	Aceros elásticos.
	En altos porcentajes	Mejora las propiedades magnéticas.
Azufre	0.08-0.15	Mejora las propiedades del mecanizado (forjado, troquelado, etc.).
Titanio	-	Reduce la dureza martensíticas (en aceros es la no difusión del carbono cuando se forma o calienta el metal, el temple dificulta la difusión del carbono). Los aceros con microestructura martensítica son los más duros y mecánicamente resistentes, pero también los más frágiles y menos dúctiles, la dureza de estos aceros depende del contenido en carbono.
Vanadio	0.15	Carburos estables; aumenta la resistencia/fuerza sin perder ductilidad, promueve estructura de grano fino. Aumenta la resistencia a altas temperaturas.
Cobalto	-	Aumenta la dureza del acero en caliente, su resistencia a la corrosión, oxidación y al desgaste.

Los materiales se utilizan fundamentalmente por sus características mecánicas: dureza, resistencia, tenacidad, resistencia al desgaste o a la corrosión, etc. Hace medio siglo, la solución para el diseño y selección de materiales pasaba por el procedimiento de establecer una velocidad de desgaste o corrosión en el material y, con base en ella, se determinaba un sobreespesor que se agregaba al material, esto implicaba un incremento en el precio.

En la actualidad, gran parte de las propiedades de los materiales depende de su superficie. Una opción para las mejoras en diseño y selección de materiales es la modificación superficial, con un proceso que mejora las características superficiales contra el desgaste o la corrosión, garantizando su vida útil en servicio ^[9].

Los materiales con los cuales fueron diseñadas las torres de vacío, que fueron analizados en este trabajo son:

- Torre de vacío DX-10000: SA 515 Gr. 70
- Torre de vacío DZ-15000: SA 285 Gr. C

2.3.1 SA 515 Gr. 70

Ésta especificación es para las placas de acero al carbón-silicio, primordialmente su servicio es para intervalos de temperatura intermedio y superior, también se usa en calderas con costura y otros recipientes a presión ^[10].

Su composición (% peso) es:

- Carbono (C): 0.33
- Manganeso (Mn): 1.20
- Fósforo (P): 0.035

- Azufre (S): 0.035
- Silicio (Si): 0.15 – 0.40

2.3.2 SA 285 Gr. C

Ésta especificación es para las placas de acero al carbón, con baja e intermedia esfuerzo a la tensión para recipientes a presión, son destinadas normalmente para recipientes soldados por fusión. Sin embargo, en algunos casos el grado C se utiliza como acero estructural ^[10].

Su composición (% peso) es:

- Carbono (C): 0.28
- Manganeso (Mn): 0.90
- Fósforo (P): 0.035
- Azufre (S): 0.035

2.4 PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

Una definición general de las pruebas no destructivas es un examen, prueba o evaluación realizada en tuberías o equipos sin necesidad de cambiar o modificar sus propiedades tanto físicas como químicas, con el fin de determinar la presencia de discontinuidades que pueden tener un efecto sobre la utilidad, capacidad de servicio.

La utilidad de las pruebas no destructivas en la industria puede ir más allá de lo antes mencionado. Puede usarse eficazmente para:

- a. Examinar las materias primas antes de su procesamiento.
- b. Examinar los materiales durante su procesamiento como un control de proceso.
- c. Examinar los productos finales.
- d. Evaluación de los productos y de las estructuras una vez que se ha puesto en marcha la planta.

De hecho, las pruebas no destructivas se consideran como una extensión de los sentidos humanos, sin embargo, si se da un mal uso, la prueba no se realiza correctamente o los resultados se mal interpretan, puede causar resultados desastrosos incluso acabar en accidente ^[11].

Aunque existen muchos métodos diferentes de pruebas no destructivas se describirán brevemente los utilizados para la evaluación de materiales ^[12]. Los más comunes son:

- 1) Inspección visual.

- 2) Líquidos penetrantes.
- 3) Partículas magnéticas.
- 4) Radiografía.
- 5) Pruebas de ultrasonido.

2.4.1 Inspección visual

La inspección visual se basa en la detección de imperfecciones sobre la superficie usando solamente la vista, normalmente se aplica sin uso de algún otro equipo, pero se puede usar algún tipo de lente con aumento para mejorar su alcance y eficacia ^[12].

Algunas de las ventajas de este método son:

- El método más económico.
- Es el más sencillo.
- Puede ser utilizado en todas las etapas de construcción, operación y mantenimiento.

Por otro lado tiene sus limitaciones, tales como:

- Restringido a sólo inspección superficial.
- Se requiere de buena vista así como de buena iluminación.
- La persona encargada de realizar este método debe tener cierta experiencia, para ser capaz de reconocer los problemas.

2.4.2 Líquidos penetrantes

La inspección por líquidos penetrantes se hace mediante la aplicación de un líquido coloreado o fluorescente en el área a analizar previamente limpia, una vez aplicado el líquido se deja permanecer durante un tiempo prescrito (tiempo de espera), éste líquido penetrará en cualquier discontinuidad que exista por el fenómeno de capilaridad.

Una vez concluido el tiempo de espera se elimina el exceso del líquido y se aplica un revelador, el cual absorbe el líquido que penetró en las discontinuidades, invierte el efecto de la capilaridad y dibuja el líquido en contorno de la falla.

Los tipos de líquidos que se utilizan en estas pruebas pueden ser:

- Lavables (color/agua, fluorescente/agua).
- Removibles (color/solvente, fluorescente/solvente).
- Postemulsificables (color/emulsificador, fluorescente/emulsificador).

Es importante que cada paso sea realizado con precaución y de manera secuencial correcta, de otro modo, los resultados no serán confiables.

Además de que entre sus ventajas es económico, ayuda a la inspección visual y se usa en una amplia variedad de materiales, las limitantes que presenta este método reducen el campo de aplicación, debido a que se requiere acceso al área que se va a analizar para prepararla y poder limpiarla. Son irrelevantes los resultados si el área es irregular, ya que sólo detecta errores en la superficie. Además de que el área donde está ubicada la falla se tiene que limpiar al finalizar ^[12].

2.4.3 Partículas magnéticas

Este método se utiliza para localizar en la superficie o debajo de esta, ligeras discontinuidades o defectos en los materiales, los cuales tienen que ser ferromagnéticos. Consiste en crear un campo magnético en el área donde se hará la inspección, se colocan polvos magnéticos, estos polvos serán atraídos por las discontinuidades donde se generan polos y por acumulación indicarán visualmente el lugar donde se encuentra la discontinuidad.

El principio de este método es generar un campo magnético donde hay líneas de flujo que viajan de un extremo a otro (polo a otro), estos polos son generalmente designados como norte y sur. Estos flujos viajan de forma paralela de tal manera que si existe una discontinuidad en paralelo a estos flujos no se podrá detectar ^[12].

Algunas de las limitaciones que se encuentran entre este método son:

- Los materiales tienen que ser ferromagnéticos.
- Puede que el material necesite ser desmagnetizado.
- El equipo necesario es voluminoso y pesado.
- El revestimiento puede ocultar los resultados.

2.4.4 Radiografía

La inspección por radiografía es una prueba no destructiva donde se usa una longitud de onda corta de radiación electromagnética que pasa a través del material. Los materiales con menor espesor de pared o menor densidad permiten mayor paso de la radiación, por lo tanto, absorben menos radiación. Una vez que la radiación atravesó el material y llegó a la película esta forma una radiografía.

En las áreas de baja absorción (porosidad) aparecen como áreas oscuras en la radiografía, mientras que en las áreas de alta absorción (zonas densas) aparecen como zonas de luz.

Los rayos gamma son el resultado de la desintegración de isotopos radiactivos, debido a que la fuente de los rayos gamma produce radiación constantemente se debe mantener en un contenedor blindado mientras no esté en uso. Una fuente radiactiva común es iridio 92.

Los rayos X, por otro lado, se producen cuando los electrones que circulaban a gran velocidad chocan con el material a analizar. La conversión de la energía eléctrica a los rayos X se consigue en un tubo al vacío.

Ya sea utilizando las dos fuentes, rayos gamma o rayos X, el material después de ser analizado no es radiactivo ^[12].

2.4.5 Pruebas de ultrasonido

Este método utiliza ondas sonoras de alta frecuencia (ultrasonido), que están por encima del intervalo de frecuencias perceptibles por el oído humano, para medir las propiedades físicas así como dimensiones de los materiales. Las ondas sonoras viajan en diferentes materiales a diferentes velocidades, sin embargo, la velocidad de propagación del sonido en un material dado es constante.

El principio que utiliza este método es que la energía eléctrica se convierta en energía mecánica, en forma de ondas de sonido por un transductor. El transductor lleva a cabo esta conversión de energía eléctrica a mecánica debido a un fenómeno conocido como el efecto piezoeléctrico (este efecto se genera cuando se aplican esfuerzos mecánicos a través de una estructura cristalina y genera oscilaciones eléctricas y viceversa) ^[13].

Para realizar las pruebas de ultrasonido, el transductor está conectado a un dispositivo de ultrasonido, el cual genera pulsos eléctricos que se transmiten a través de un cable coaxial para que el transductor, siguiendo el procedimiento de calibración, se convierta en un dispositivo de medición.

Cuando la onda de sonido sale del transductor, viaja a través del material a una velocidad dada y no vuelve al transductor a menos que llegue a un reflector (un límite entre dos materiales diferentes o un defecto). Si este reflector está orientado favorablemente, reflejará el sonido de vuelta al transductor a la misma velocidad. Una vez que la onda de sonido regresa y es convertido en un pulso eléctrico, este es amplificado en el dispositivo ultrasónico y muestra el resultado, el cual tendrá que ser interpretado por el operador ^[12].

Las ventajas que presenta esta prueba son:

- No sólo determina la longitud y localización de la falla, sino también el tipo.
- Sólo se necesita acceso a un lado del material.

- Es el mejor detectando rupturas.
- Inspección de diferentes tipos de espesores.
- No es dañino para el operador.

Aunque existen varias ventajas, también tiene limitaciones tales como:

- Se necesita de un gel para poder acoplar el dispositivo con el material.
- El equipo es costoso.
- Los resultados necesitan ser interpretados por alguien de experiencia.

2.5 NORMATIVIDAD APLICABLE

Las normas resultan de un consenso entre las partes implicadas en la elaboración de un producto, construcción, materiales, etc. Las partes implicadas son representadas por los fabricantes del producto o material en cuestión, los consumidores, que son las industrias o servicios que lo utilizan, las asociaciones de consumidores y las administraciones.

Las normas están en evolución debido al constante cambio que hay a nuestro alrededor. Varios son los factores que provocan tal evolución, como es la creación de nuevos productos debido a las necesidades del consumidor, nuevas tecnologías, y sobre todo, corresponde a la fiscalidad, a la preservación del medio ambiente y la lucha contra la toxicidad ^[14].

En el caso de realizar pruebas a algún equipo, como pruebas no destructivas, existen normas que sirven de guía para realizar este tipo de actividades. Se pueden encontrar diferentes normas sobre el tema, como la Guía para el registro, análisis y programación de la medición preventiva de espesores (DG-SASIPA-IT-0204) que es aplicable en este caso.

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

El objetivo de esta norma es tener un control en la disminución de espesores por debajo de los límites permisibles, para que no sea afectada la integridad mecánica de las tuberías y equipos en general, todo esto a fin de prevenir fallas.

El procedimiento en esta norma es de aplicación obligatoria a las tuberías y equipos (tanques y recipientes) que manejan o transportan hidrocarburos, productos químicos y sustancias tóxicas o agresivas. Las excepciones a este procedimiento son aquellas tuberías y equipos que por sus características se tengan que esperar a que sean fechas de reparación, como por ejemplo: tuberías de calentadores, intercambiadores de calor,

accesorios internos de los recipientes, ductos enterrados, tuberías con envolvente así como tuberías de vidrio o PVC ^[15].

Con el fin de normalizar el lenguaje se hacen las siguientes definiciones que servirán de apoyo más adelante:

- **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 un circuito que tiene una velocidad de corrosión más o menos homogénea tal como de 0 a 8 mpa, de 8 a 15 mpa, de 15>mpa (mpa = milésima de pulgada por año) y no varían las condiciones de operación.
- **Velocidad de desgaste:** Es la rapidez con la cual disminuye el espesor de pared.
- **Velocidad de desgaste crítica:** Es la velocidad de desgaste que excede 15 milésimas de pulgada por año (15mpa).
- **Límite de retiro:** Es el espesor con el cual deben retirarse los tramos de tubería y los equipos de acuerdo con sus condiciones de diseño.
- **Nivel de medición:** Es el conjunto de posiciones de medición de espesores que se deben efectuar en un mismo sitio de una tubería o equipo.
- **Vida útil estimada (VUE):** Tiempo estimado que debe transcurrir antes de que la unidad de control llegue a su límite de retiro.
- **Fecha de retiro probable (FRP):** Fecha en la cual se estima se debe retirar la unidad de control.
- **Fecha de próxima medición de espesores (FPME):** Fecha en la cual se tiene que realizar la siguiente medición de la unidad de control.

Para llevar un control en la estadística de las mediciones de espesores primero se tienen que realizar los censos de circuitos de líneas y equipos para cada planta. Una vez que se tienen los circuitos se divide cada uno de estos en unidades de control.

En el caso de los equipos, algunos se dividen según el siguiente criterio:

- En el caso de que un recipiente pueda presentar velocidades de desgaste homogéneo se debe considerar como una sola unidad de control todo el recipiente, tal como se muestra la figura 2.

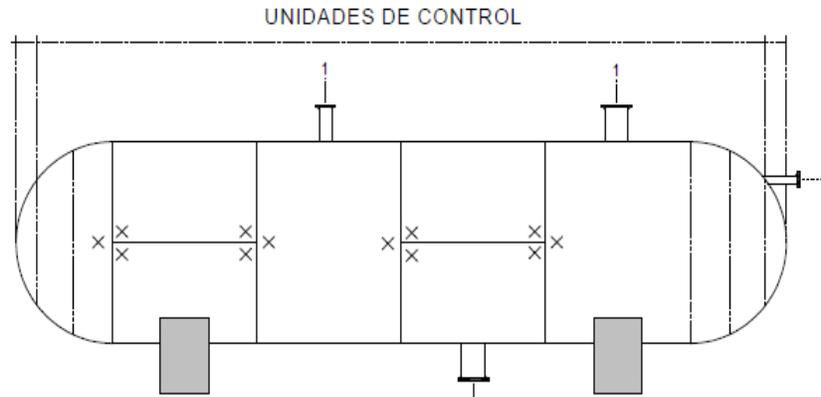
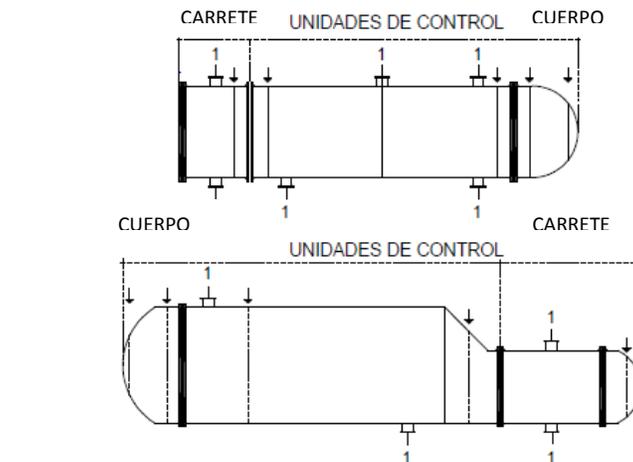


Figura 2. Recipiente de almacenamiento. Fuente [Norma DG-SASIPA-IT-0204].

- Para los intercambiadores de calor se consideran como cuerpo y carrete, o como se muestra en la figura 3.



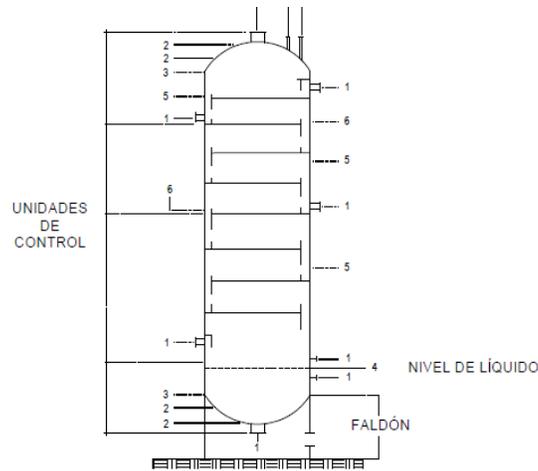
LEYENDA

1.- Boquilla. Un nivel de medición, con cuatro posiciones cada uno.

↓ = Niveles de medición. De 4 a 8 posiciones (según diámetro).

Figura 3. Intercambiador de calor. Fuente [Norma DG-SASIPA-IT-0204].

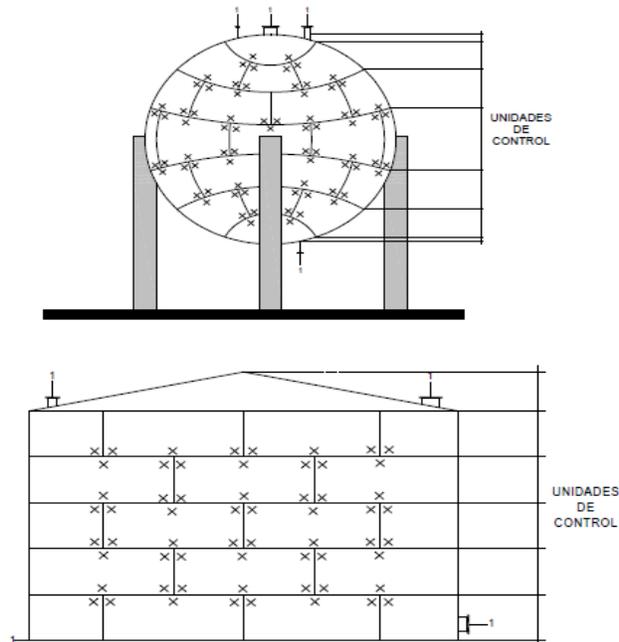
- Las torres de destilación se deben seccionar en tantos tramos como sea necesario para tener unidades de control con velocidad de desgaste homogéneo, como se muestra en la figura 4.



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

Figura 4. Torre de destilación. Fuente [Norma DG-SASIPA-IT-0204].

- En tanques y esferas de almacenamiento atmosférico se considera una unidad de control por anillo, en la figura 5 se muestra a detalle.



NOTA: EL FONDO DEL TANQUE DEBE CONSIDERARSE UNA UNIDAD DE CONTROL

Figura 5. Tanque atmosférico. Fuente [Norma DG-SASIPA-IT-0204].

2.6 SISTEMA DE MEDICIÓN Y CONTROL DE ESPESORES EN LÍNEAS Y EQUIPOS (SIMECELE)

Es un software desarrollado por la Facultad de Química de la UNAM, conformado de una serie de módulos de software para la generación y consulta de la información relacionada a la integridad mecánica de equipos y tuberías, así como para la administración y control de las inspecciones técnicas de los mismos en las instalaciones de la industria química, petroquímica y de refinación del petróleo ^[16].

La implementación en los centros de trabajo de este sistema trae mejoras como:

- Controla y administra el trabajo de inspección de medición de espesores en líneas y equipos.
- Información actualizada y disponible de los expedientes de inspección técnica de líneas y equipos de proceso.
- Disponibilidad de la información a través de la intranet.

Es para todo el personal que está involucrado en las tareas de inspección técnica, evaluación de la integridad mecánica y análisis de la medición de espesores en líneas y equipos, desde el personal que se encarga de realizar la medición de espesores hasta los jefes de seguridad de cada centro de trabajo.

Una vez instalado el software SIMECELE, en el menú principal se muestra un menú de acceso a los 6 módulos del programa y EL de ayuda (Figura 6).

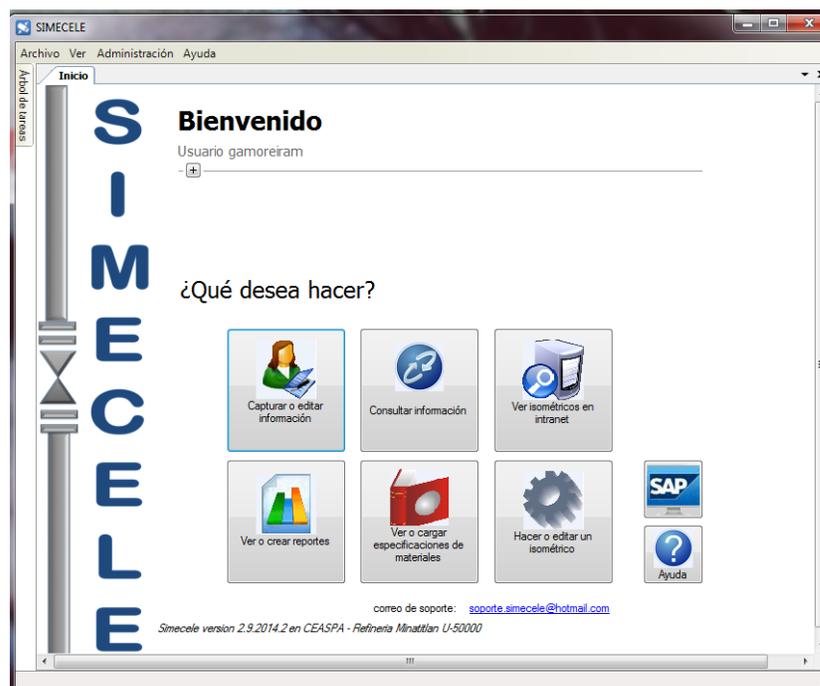


Figura 6. Menú principal del programa SIMECELE.

- **Menú de ayuda:** Aquí se consulta la normatividad aplicable, el manual de usuario del SIMECELE, la guía para dibujar diagramas de inspección, además de un glosario de términos y la memoria de cálculos del programa.
- **Capturar o editar información:** Desde aquí se accede a la captura y edición de nuevas unidades de control (líneas y equipos), inspecciones, equipos de medición, personal, etc. El módulo de captura contiene los elementos necesarios, para simplificar la tarea de carga de datos de medición de espesores que están registrados en papel para que el sistema pueda crear el reporte y el análisis.
- **Consultar información:** En este módulo se revisa la información de próximas fechas de inspección, características sobre las unidades de control, así como el resumen de información de alguna planta en particular. Aquí no se puede modificar la información contenida en el sistema.
- **Ver isométricos en intranet:** Este sistema genera un vínculo con la intranet en el cual se consultan isométricos, los diagramas de tubería e instrumentación (DTI's) y los diagramas de flujo de proceso (DFP's) de las instalaciones.
- **Ver o crear reportes:** Se consultan o crean los reportes para cada inspección, de las unidades de control que se requieran. Los reportes se generan de acuerdo a la norma DG-SASIPA-IT-0204 Rev. 7 ^[11]. De igual forma, la creación de nuevos reportes se realiza con base en las normas vigentes, además, se generan ordenes de emplazamiento o mantenimiento de las piezas de las unidades de control que así lo requieran. Este módulo desarrolla el análisis estadístico de los datos de medición de espesores para las unidades de control, con el cual se obtienen datos como la fecha de próxima medición de espesores, fecha de retiro probable de la unidad de control y la vida útil estimada de la instalación.
- **Ver o cargar especificaciones de materiales:** El módulo permite administrar la información de los materiales y las especificaciones con las que fue construida cada instalación, según el libro de ingeniería del licenciador. Cada especificación contiene los datos del material, cédula, detalles de tubería, niplería, bridas y válvulas con las que fue diseñada una sección específica de la instalación, así como los servicios que puede manejar y condiciones máximas de operación.
- **Hacer o editar isométrico:** Abre una ventana en la que están disponibles, los espacios de edición y creación de diagramas de inspección técnica utilizando la barra de herramientas contenida en el SIMECELE.

En el menú principal, existe un árbol de tareas (figura 7), el cual cuenta con todos los elementos de un centro de trabajo, teniendo un acceso rápido y sencillo al elemento en el cual se desea trabajar, tales como refinerías, sectores o áreas, planta, circuito y unidad de control.

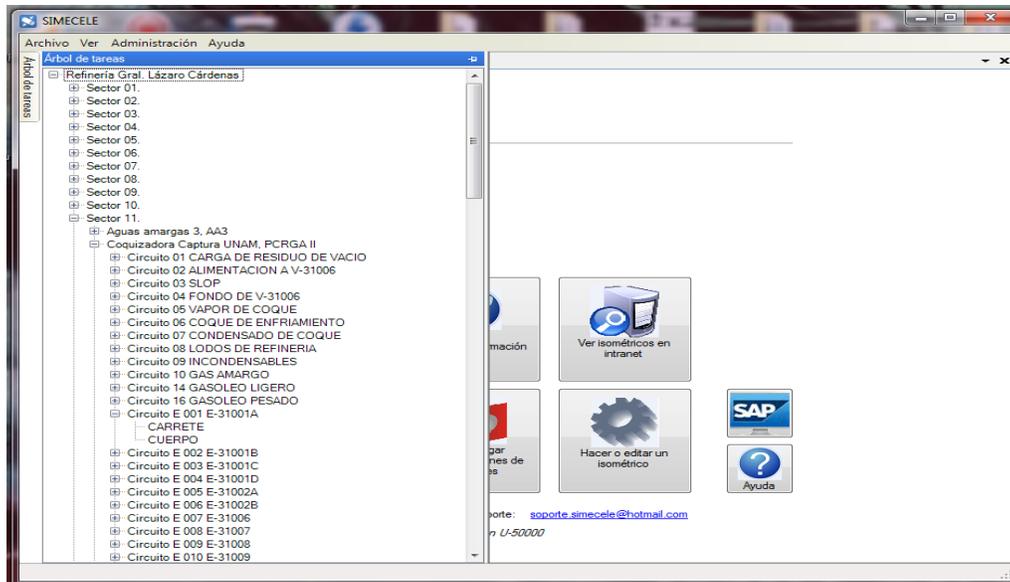


Figura 7. Árbol de tareas.

Para consultar la información de las inspecciones que están cargadas se accede desde el árbol de tareas o por el módulo de consultar información. La información consultada para este trabajo fue:

- Medición de espesores, en la figura 8 se muestran los niveles de posición como fueron cargados a SIMECELE, así como los valores de calibración en cada fecha.

Medición de espesores de partes de equipo		Niveles críticos		Niveles normales		Todos los niveles		Niveles no medidos		(15 Niveles)		Fecha de validación de inspecciones: No definida	
Análisis de la medición de espesores		Descripción		nov-2011 MARIO HERNÁNDEZ PEREZ (MHP)		ene-2014 jorge luis gonzalez dominguez (jlgd)							
Tendencias de velocidad de desgaste		Nivel	Datos	Posición	Espesor [mils]	Velocidad de Desgaste [mpa]	Espesor [mils]	Velocidad de Desgaste [mpa]					
Medición de espesores de niplería	Revisión visual de niplería	1	Espesor nominal: 337 Límite de retiro: 120 Tipo: Boquilla Nivel 1	Norte	284	-	264	8.9					
				Sur	298	-	231	29.81					
				Oriente	286	-	254	14.24					
				Poniente	276	-	240	16.02					
Inspección de tornillería	Reportes de campo	2	Espesor nominal: 200 Límite de retiro: 100 Tipo: Boquilla Nivel 2	Norte	274	-	286	0					
				Sur	232	-	297	-					
				Oriente	247	-	280	-					
				Poniente	258	-	284	-					
		3	Espesor nominal: 437 Límite de retiro: 310 Tipo: Tapa Nivel 3	Norte	468	-	485	0					
				Sur	480	-	471	4					
				Oriente	490	-	495	0					
				Poniente	480	-	467	5.78					
		4	Espesor nominal: 437 Límite de retiro: 310 Tipo: Sección cilíndrica Nivel 4	Norte	543	-	535	3.56					
				Sur	547	-	530	7.56					
				Oriente	590	-	538	23.13					
				Poniente	555	-	536	8.45					
		5	Espesor nominal: 437 Límite de retiro: 310 Tipo: Sección cilíndrica Nivel 5	Norte	380	-	366	6.23					
				Sur	371	-	365	2.67					
				Oriente	381	-	367	6.23					
				Poniente	380	-	358	9.79					

Figura 8. Medición de espesores.

- Análisis de la medición de espesores, en la figura 9 se muestran los datos importantes que arroja, como la vida útil estimada, la fecha próxima de medición de espesores y la fecha de retiro probable.

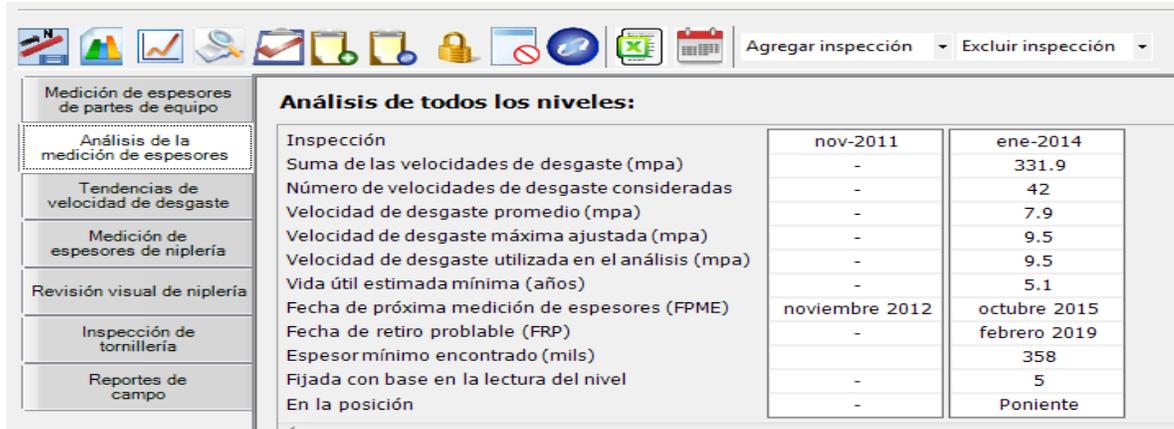


Figura 9. Análisis de la medición de espesores.

- Gráfica de las inspecciones. Después de analizar la información capturada de la unidad de control, se genera una gráfica del espesor contra el nivel-posición y se grafica el espesor original, el límite de retiro y las calibraciones correspondientes a cada año. En la figura 10 se muestra un ejemplo de una gráfica de las inspecciones.

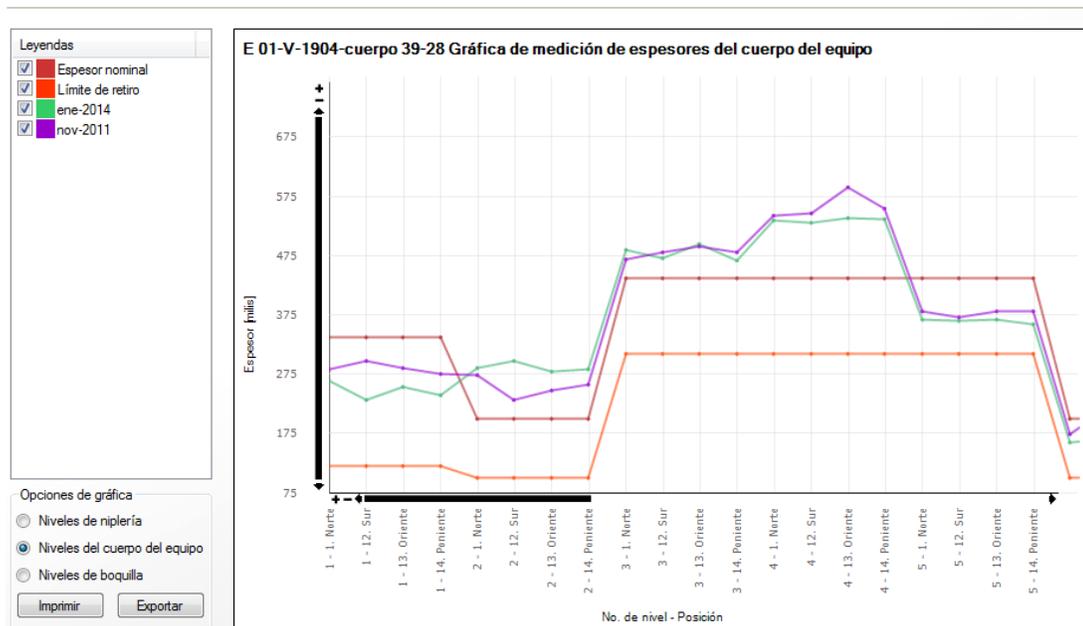


Figura 10. Gráfica de la medición de espesores.

2.7 PROCESO DE DESTILACIÓN AL VACÍO

La destilación al vacío es una operación complementaria, en este proceso se alimenta el crudo reducido de una destilación primaria (en algunas refinerías está localizada en la planta preparadora de carga), su función es separar diferentes componentes del crudo permitiendo extraer destilados pesados, que sufrirán transformaciones posteriores para ser ocupados ^[14].

El crudo reducido (alimentación a la torre de vacío) contiene un gran número de impurezas del crudo, entre las cuales se puede obtener productos como:

- Gasóleo ligero.
- Gasóleo pesado.
- Residuo de vacío.

En la figura 11 se muestra un breve diagrama del proceso de la destilación al vacío.

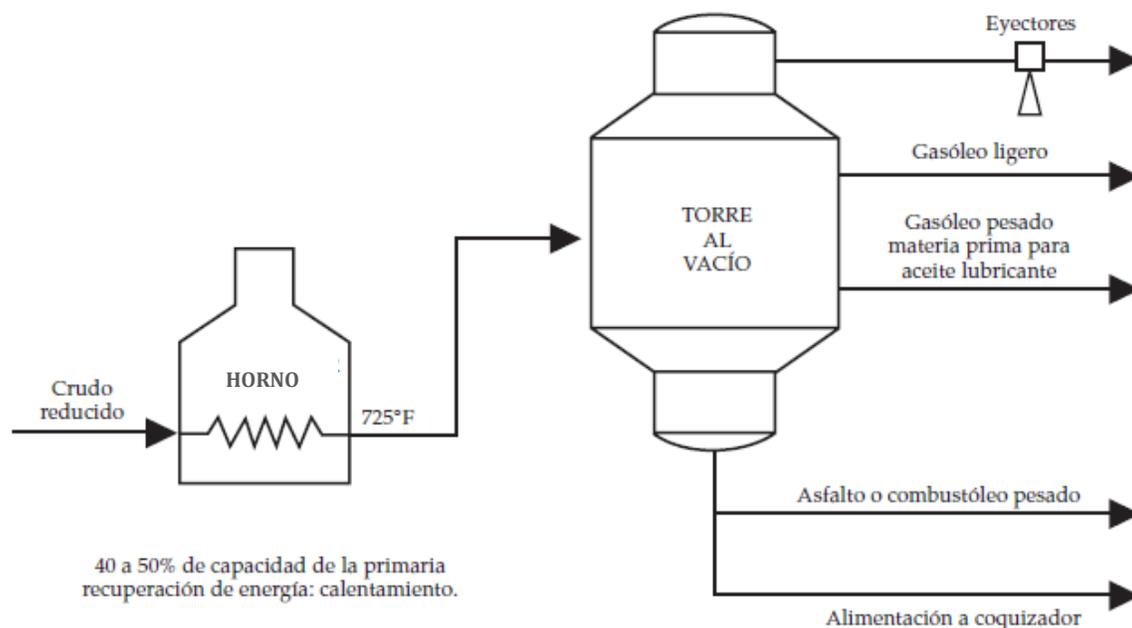


Figura 11. Diagrama de la destilación al vacío.

Imagen tomada de Torres Rafael. Castro Javier (2002). *Análisis y simulación de procesos de refinación del petróleo*. (1ª edición). México. Ed. Alfaomega.

Como se muestra en la figura 11, antes de entrar a la torre de vacío, el crudo reducido pasa por un horno. La temperatura de salida del horno es tan alta que puede dar lugar al craqueo térmico, con la consiguiente pérdida de producto o incrustación en los equipos, por lo tanto, se usa la destilación al vacío. La destilación se lleva a cabo a presiones

absolutas, en la zona de alimentación de la columna la presión es de 25 a 40 mm Hg. Para tener una mejor vaporización, se adiciona vapor a la entrada del horno para incrementar la velocidad en los tubos y minimizar la formación de coque, alcanzando temperaturas en el intervalo de 730° a 850°F.

La presión efectiva es igual a la presión total absoluta menos la presión parcial del vapor, en la zona de alimentación se determina la fracción del alimento vaporizada, a la temperatura de salida del horno. Es esencial para el diseño de la torre de vacío, las líneas superiores y del condensador, minimizar la pérdida de carga, los generadores del vacío y la zona flash.

Entre más baja sea la presión de operación habrá mayores incrementos en el volumen de vapor por barril vaporizado y, por consiguiente, las torres de vacío tendrán un mayor diámetro que las torres de destilación atmosférica. No resulta extraño poseer columnas con un diámetro hasta de 40 pies.

Para mantener la presión de operación deseada se utiliza un paquete de eyectores de vapor. El tamaño y el número de eyectores utilizados se determinan con respecto a las necesidades de vacío y la cantidad de vapor requerido. Para dar un ejemplo, cuando se utiliza una presión de 25 mm Hg en la zona de alimentación se requieren tres etapas de eyectores. La primera etapa condensa el vapor y comprime los gases incondensables, mientras que en la segunda y tercera etapa, se encargan de eliminar estos gases incondensables de los condensadores. El vacío producido se limita a la presión de vapor del agua utilizada en los condensadores ^[17].

CAPÍTULO III. DESARROLLO DEL TRABAJO Y RESULTADOS

3.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

Se recopiló la información que está relacionada con los equipos, en este caso para la comparación entre dos torres de vacío.

- **Descripción de proceso:** Describe el proceso para tener un mejor conocimiento de los fluidos que se manejan, flujo y condiciones de operación.
- **Diagrama de tubería e instrumentación (DTI):** Es un esquema más detallado de cómo está constituido el proceso, para la comparación, se utilizan para identificar las unidades de control en cada torre de vacío que se analizó.
- **Hojas de diseño mecánico:** Este documento fue de suma importancia porque contiene el esquema representativo del equipo, material con el que está hecho, diámetro del recipiente y boquillas, dimensiones, etc.
- **Manual de operación:** Se encuentra información del diseño y funcionamiento de las torres así como condiciones de operación, que fue de utilidad sobre las torres de vacío.
- **Hojas de datos de equipos:** La información que proporciona este documento fue de utilidad para conocer el fluido que maneja y las condiciones de operación.

3.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

La planta recibe crudo reducido del límite de batería proveniente de las plantas primarias, es llevado a un tanque acumulador para después ser bombeado a un tren de intercambiadores de calor para aumentar la temperatura del crudo, el calentamiento se genera aprovechando el calor de los reflujos de la torre de vacío.

Cuando se calienta el crudo reducido, se manda a un horno de calentamiento directo donde se lleva a cabo una vaporización parcial. La mezcla líquido-vapor se lleva a la zona de alimentación de la torre de vacío, la presión se mantiene constante en la torre mediante un sistema de vacío que consta de dos juegos de eyectores organizados en paralelo, cada juego consta de tres eyectores y tres condensadores.

Los gases incondensables que salen del domo de la torre de vacío se extraen por medio del sistema de vacío, para mandarlos a una serie de intercambiadores de calor para condensarlos y mandarlos a almacenamiento.

De la sección superior de la torre de vacío se extrae gasóleo ligero, el cual es bombeado y se divide en dos corrientes, una se manda al tren de intercambiadores de calor para servir como fluido de calentamiento, una vez que intercambió calor se recircula a la torre de vacío, se introduce por la parte superior de la primera cama (compuesta por una parte de

anillos tipo Pall y otras rejillas Glitsch) y la otra corriente se manda a límite de batería ya sea como carga a la planta catalítica o para almacenamiento.

Del plato de extracción de la segunda cama (compuesta por una parte anillos tipo Pall y otras rejillas Glitsch) se obtiene el gasóleo pesado, que al ser bombeado se divide en tres corrientes. La primera, después de pasar del tren de intercambiadores de calor se utiliza como reflujo de la segunda cama en la torre de vacío. La segunda corriente se alimenta inmediatamente abajo de la extracción, como reflujo a la tercera cama (constituido por rejillas Glitsch) se utiliza como lavado y para mantener húmeda la malla interna. La última corriente se manda a límite de batería y se utiliza como carga a la planta catalítica o para almacenamiento.

Por el fondo de la torre se extrae el residuo de vacío, el cual se enfría por medio del tren de intercambiadores de calor, posteriormente se divide en dos corrientes, la primera se recircula en el fondo de la torre y la segunda es enviada a una caja enfriadora para ser mandada a límite de batería para almacenamiento.

En la figura 12 se muestra un diagrama simplificado del proceso.

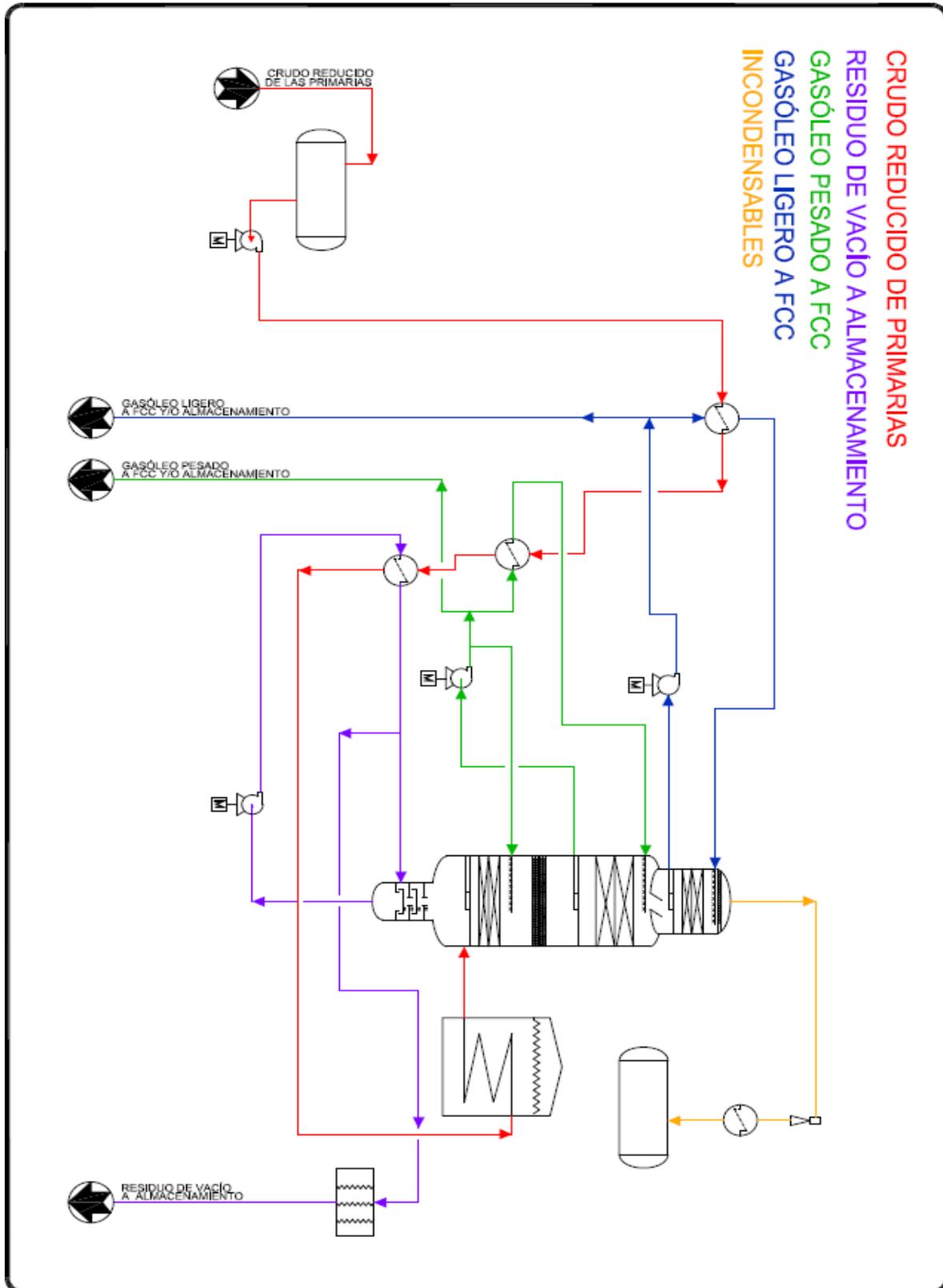


Figura 12. Diagrama simplificado de una planta preparadora de carga.

3.3 UNIDADES DE CONTROL

Con anterioridad se definió una unidad de control, como recordatorio, en un equipo se divide a partir de que tenga una velocidad de desgaste homogénea, esto se refiere a que maneje el mismo fluido, mismas condiciones de operación dentro de una sección.

3.3.1 Delimitación de las unidades de control para una torre de vacío

Para delimitar una unidad de control se debe tener conocimiento de que fluidos maneja y sus condiciones de operación, además su material de construcción, en casos particulares, como en las torres de destilación, el domo puede estar constituido por un material mientras que el fondo por otro tipo de material.

Dentro de los equipos, hay muchas formas de dividir las unidades de control y dependiendo del equipo es como se nombra la unidad de control, por ejemplo, los intercambiadores de calor se divide en cuerpo y carrete, las torres de destilación en domo y fondo.

Para este caso en particular, la forma de dividir las unidades de control en la torre de vacío es distinta, aunque la presión es casi constante, en el cuerpo de la torre se encuentran variaciones en la temperatura y fluidos que maneja.

A continuación se muestra la división de las unidades de control y los fluidos que se manejan en cada zona:

- **Domo:** Es la sección superior de la torre de vacío, los fluidos que predominan y se extraen de esta unidad de control son los gases incondensables y gasóleo ligero.
- **Sección cónica superior:** Ésta unidad de control está conformada de la sección cónica hasta la zona de extracción de la segunda cama, el fluido que predomina y que se extrae es el gasóleo pesado.
- **Sección cónica inferior:** Ésta unidad de control la conforma la zona de alimentación hasta la sección cónica, el fluido que predomina es la alimentación a la torre de vacío, el crudo reducido.
- **Fondo:** Es la sección inferior de la torre de vacío, el fluido que predomina y se extrae de esta unidad de control es el residuo de vacío.

Esta delimitación de las unidades de control se realizó para las dos torres de vacío que se analizaron en este trabajo. En la figura 13 se muestra cada unidad de control de las dos torres de vacío con su respectivo TAG.

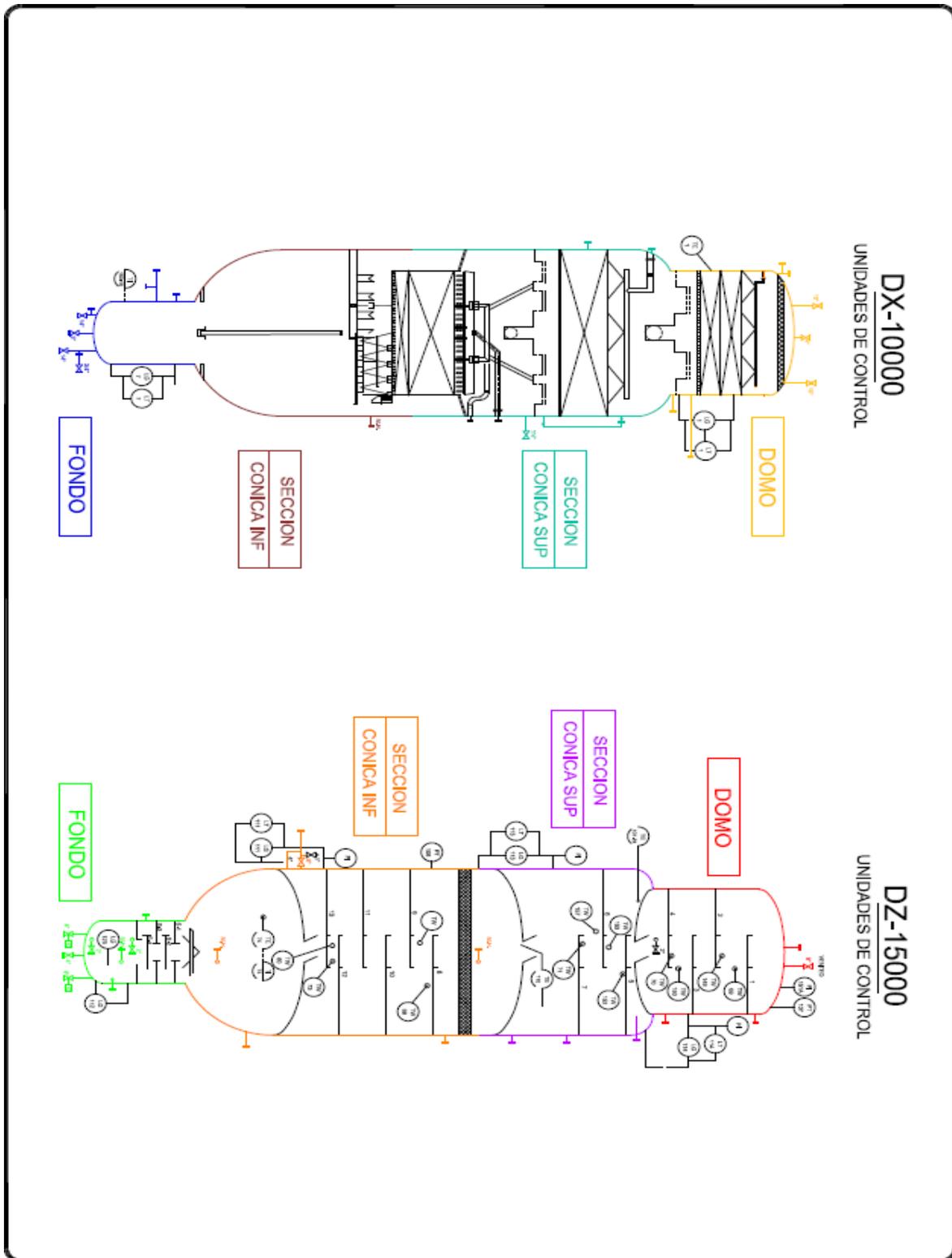


Figura 13. Unidades de control de torres de vacío.

3.4 DIAGRAMAS DE INSPECCIÓN TÉCNICA

Los diagramas para inspección técnica, son esencialmente dibujos representativos del equipo, en el cual se colocan los niveles de medición de espesores donde se necesita realizar la medición. Los niveles se colocan donde se cree hay posibilidad que exista alguna fuga o ruptura y es necesario estar monitoreando, por ejemplo: antes y después de una soldadura en el cuerpo, en las boquillas y en los cabezales de los cuerpos. Esto se realiza para analizar la velocidad de desgaste que tienen los equipos, en este caso, las dos torres de vacío.

3.4.1 Torre de vacío DX-10000

En la tabla 2 se muestra la información básica que fue cargada a SIMECELE, ésta información es relevante sobre la unidad de control del domo y del fondo. En el domo y fondo se presentan las condiciones con las cuales fue diseñada y opera, la temperatura está en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$) y la presión en kilogramo fuerza por centímetro cuadrado (kgf/cm^2), como regla general, las condiciones de diseño tienen que ser mayor que las condiciones de operación. El material de las dos unidades de control es el de SA 515 Gr. 70.

Tabla 2. Especificación del domo y fondo.

Domo			Fondo		
Temp ($^{\circ}\text{C}$)	Diseño	150	Temp ($^{\circ}\text{C}$)	Diseño	420
	Op.	82.2		Op.	360
Presión (kgf/cm^2)	Diseño	1.3	Presión (kgf/cm^2)	Diseño	1.3
	Op.	0.2		Op.	0.4
Diámetro (in)		138	Diámetro (in)		84
Material		SA 515 Gr. 70	Material		SA 515 Gr. 70
Esp. original (in)		0.625	Esp. original (in)		0.375
Límite retiro (in)		0.507	Límite retiro (in)		0.257

El diámetro en el domo es de 138 in, con un espesor original de 0.625 in y un límite de retiro 0.507 in, esto para la sección cilíndrica como para el casquete elipsoidal, es decir, ésta unidad de control puede tener un desgaste de 0.118 in.

En cuanto al fondo el diámetro es de 84 in, es más pequeño que en el domo, su espesor original es de 0.375 in y un límite de retiro de 0.257 in, esto para la sección cilíndrica como para el casquete elipsoidal, el desgaste que puede tener ésta unidad de control es igual al del domo de 0.118 in.

En la tabla 3 se presenta la información básica usada para SIMECELE, la cual es relevante para las unidades de control de la sección cónica superior y la sección cónica inferior. Se presentan las condiciones de diseño y operación, de igual forma que en el fondo y el domo, las condiciones de diseño son mayores a las de operación. El material de estas dos unidades de control es de SA 515 Gr. 70.

Tabla 3. Especificación de las secciones cónicas inferior y superior.

Sección cónica superior			Sección cónica inferior		
Temp (°C)	Diseño	304	Temp (°C)	Diseño	480
	Op.	296		Op.	400
Presión (kgf/cm ²)	Diseño	1.3	Presión (kgf/cm ²)	Diseño	1.3
	Op.	0.3		Op.	0.3
Diámetro (in)		138	Diámetro (in)		234
Material		SA 515 Gr. 70	Material		SA 515 Gr. 70
Esp. original (in)		0.875	Esp. original (in)		0.875
Límite retiro (in)		0.547	Límite retiro (in)		0.547
Diámetro (in)		234	Diámetro (in)		84
Material		SA 515 Gr. 70	Material		SA 515 Gr. 70
Esp. original (in)		0.875	Esp. original (in)		0.875
Límite retiro (in)		0.547	Límite retiro (in)		0.547

La sección cónica superior de la torre de vacío consta de dos partes, la zona que es cónica y la zona de mayor diámetro de la torre. El diámetro en la zona cónica va de menor a mayor, como referencia se coloca el diámetro menor, que es de 138 in (el mismo que en el domo), el diámetro para la segunda zona de ésta unidad de control es de 234 in. El espesor original es el mismo para las dos zonas con un valor de 0.875 in y el límite de retiro de 0.547 in, es decir, el desgaste que puede tener ésta unidad de control es de 0.328 in.

La sección cónica inferior, se compone de la misma forma que la unidad de control anterior, la zona cónica es de 84 in, que corresponde al diámetro del fondo; a la zona de mayor diámetro es de 234 in. El límite de retiro es el mismo en las dos zonas con un valor de 0.875 y límite de retiro de 0.547 in, esto indica que el desgaste que puede tener esta unidad de control es de 0.328 in.

Los diagramas para la inspección técnica para cada unidad de control de la torre de vacío DX-10000 se muestran en las figuras 14, 15, 16 y 17.

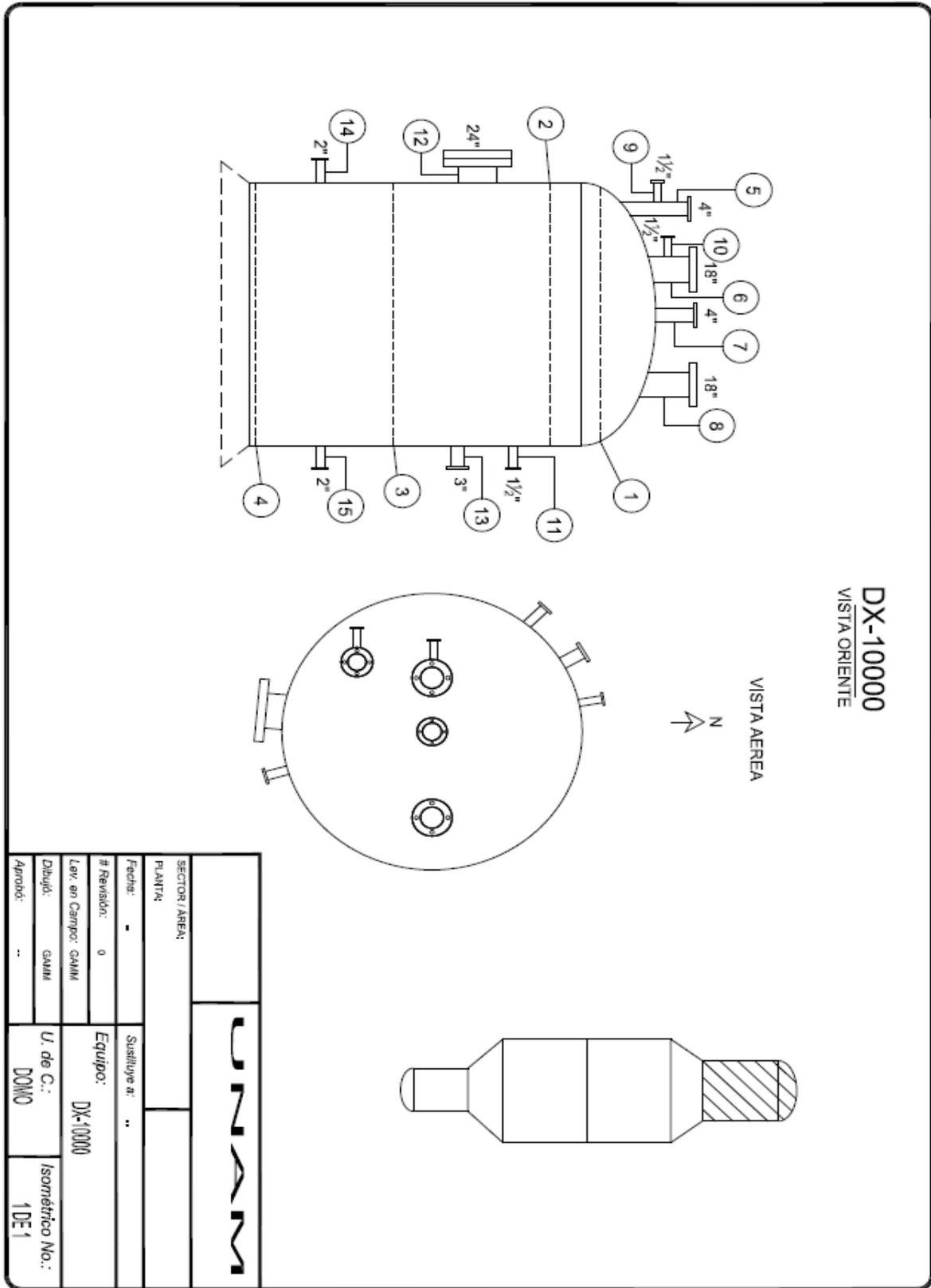


Figura 14. Diagrama de inspección técnica del domo de la torre DX-10000.

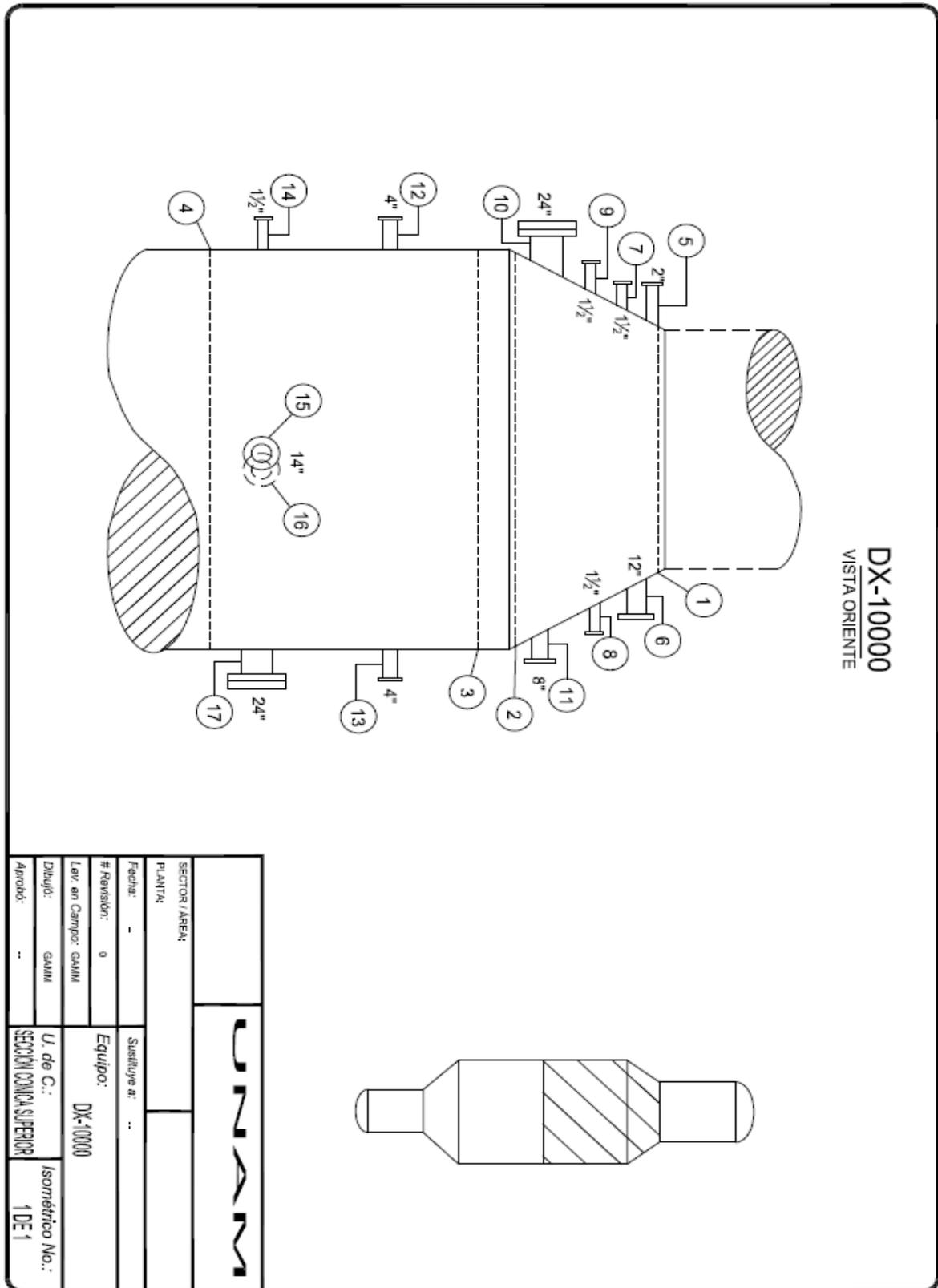


Figura 15. Diagrama de inspección técnica de la sección cónica superior de la torre DX-10000.

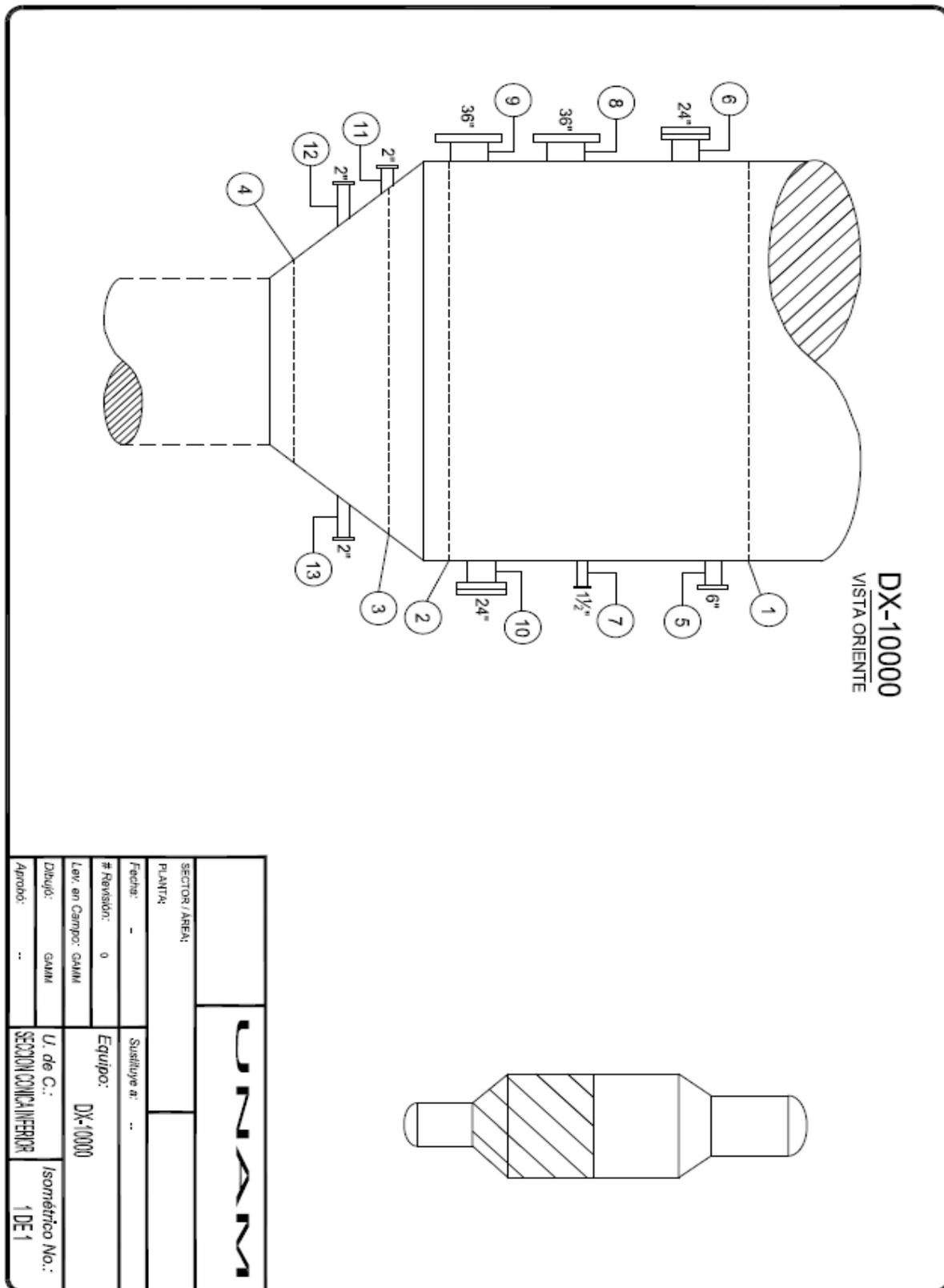


Figura 16. Diagrama de inspección técnica de la sección cónica inferior de la torre DX-10000.

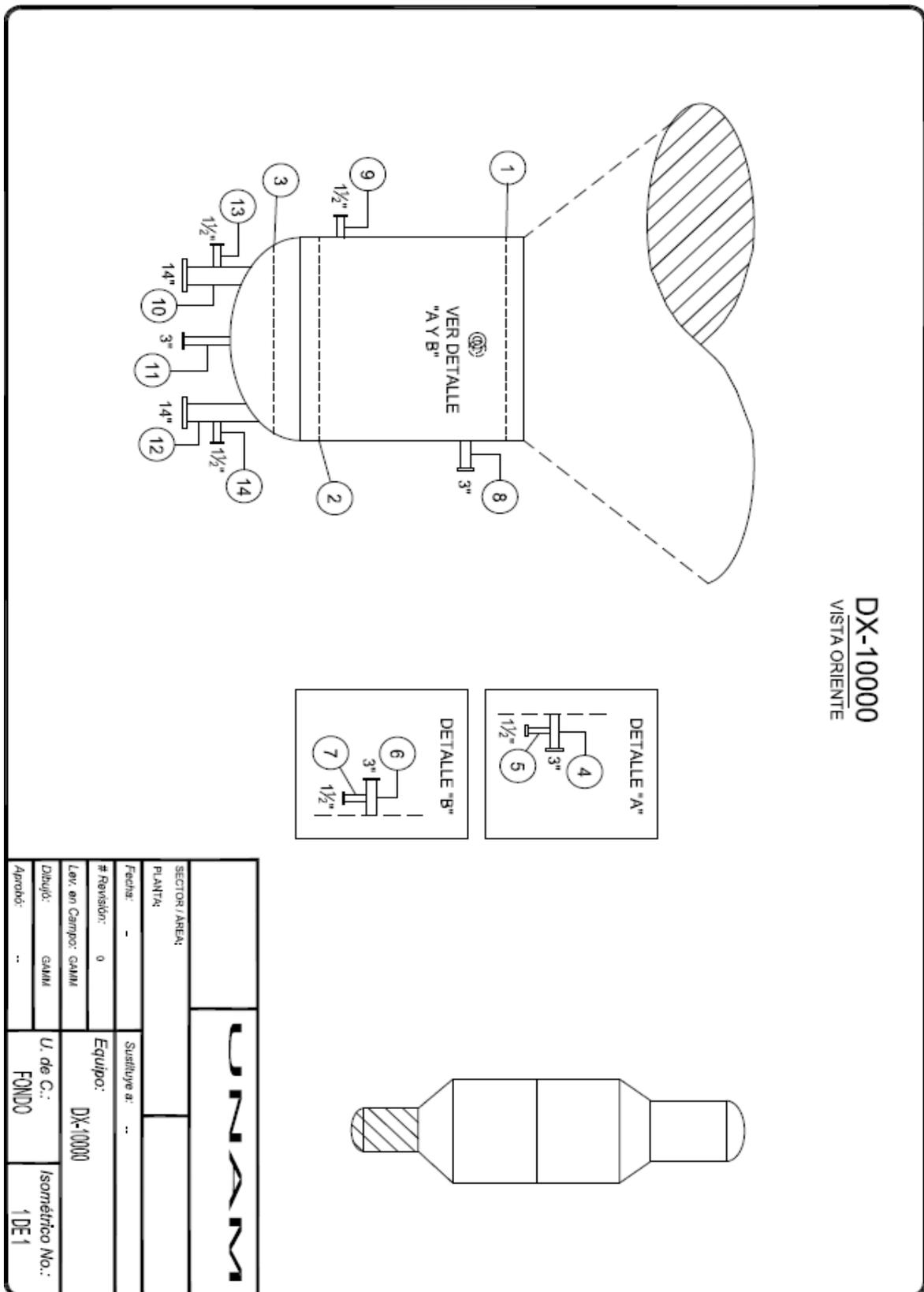


Figura 17. Diagrama de inspección técnica del fondo de la torre DX-10000.

3.4.2 Torre de vacío DZ-15000

Como se mencionó con anterioridad, la torre de vacío DZ-15000 se dividió al igual que la torre de vacío DX-10000 en cuatro unidades de control, domo, fondo, sección cónica superior y sección cónica inferior.

En la tabla 4 se presenta la información relevante de las unidades de control del domo y fondo, que fue la base para cargar estas unidades de control a SIMECELE. Primero se muestra para el domo y fondo las condiciones de diseño y operación, la temperatura se muestra en grados centígrados ($^{\circ}\text{C}$), mientras que la presión en kilogramo fuerza por centímetro cuadrado (kgf/cm^2). El material para estas dos unidades de control es de SA 285 Gr. C.

Tabla 4. Especificación del domo y fondo.

Domo			Fondo		
Temp ($^{\circ}\text{C}$)	Diseño	150	Temp ($^{\circ}\text{C}$)	Diseño	420
	Op.	82.2		Op.	360
Presión (kgf/cm^2)	Diseño	1.3	Presión (kgf/cm^2)	Diseño	1.3
	Op.	0.2		Op.	0.4
Diámetro (in)		125	Diámetro (in)		114
Material		SA 285 Gr. C	Material		SA 285 Gr. C
Esp. original (in)		0.512	Esp. original (in)		0.470
Límite retiro (in)		0.450	Límite retiro (in)		0.420
Casquete		ELIPSOIDAL	Casquete		ELIPSOIDAL
Diámetro (in)		125	Diámetro		114
Material		SA 285 Gr. C	Material		SA 285 Gr. C
Esp. original (in)		0.433	Esp. original (in)		0.470
Límite retiro (in)		0.280	Límite retiro (in)		0.420

En el domo se tiene un diámetro de 125 in, para el casquete elipsoidal el espesor original es de 0.433 in y el límite de retiro de 0.280 in, esto arroja un desgaste que puede tener la unidad de control de 0.153 in, mientras que para la sección cilíndrica del domo el espesor original es de 0.512 in y un límite de retiro de 0.450, esto genera un desgaste probable de 0.062 in.

En el fondo, el diámetro es de 114 in, el espesor original tiene un valor de 0.470 in y un límite de retiro de 0.420 in, esto para el casquete elipsoidal y la sección cilíndrica, esto genera que se pueda desgastar esta unidad de control 0.050 in.

En la tabla 5 se presenta la información relevante de las unidades de control, sección cónica superior y sección cónica inferior, que sirvió como base para cargar estas unidades de control a SIMECELE. Se presentan las condiciones de diseño y operación de estas unidades de control de la misma forma que se presentó en el domo y en el fondo, las condiciones de diseño como se observa siguen siendo mayores a las de operación. El material para estas unidades de control es el de SA 285 Gr. C.

Tabla 5. Especificación de las secciones cónicas inferior y superior.

Sección cónica superior			Sección cónica inferior		
Temp (°C)	Diseño	304	Temp (°C)	Diseño	480
	Op.	296		Op.	400
Presión (kgf/cm ²)	Diseño	1.3	Presión (kgf/cm ²)	Diseño	1.3
	Op.	0.3		Op.	0.3
Diámetro (in)		125	Diámetro (in)		210
Material		SA 285 Gr. C	Material		SA 285 Gr. C
Esp. original (in)		0.512	Esp. original (in)		0.590
Límite retiro (in)		0.420	Límite Retiro (in)		0.395
Diámetro (in)		210	Diámetro (in)		114
Material		SA 285 Gr. C	Material		SA 285 Gr. C
Esp. original (in)		0.590	Esp. original (in)		0.590
Límite retiro (in)		0.395	Límite retiro (in)		0.395

La sección cónica superior de la torre de vacío está compuesta por la zona cónica y la zona de mayor diámetro. Para el diámetro en la zona cónica se coloca el diámetro de referencia menor de esa zona, que es el de 125 in, para esta zona se tiene un espesor original de 0.512 in y límite de retiro de 0.420 in, esto genera que se puede desgastar esta zona unos 0.092 in. Para la zona siguiente se tiene un diámetro de 210 in, su espesor original es de 0.590 in y el límite de retiro es de 0.390 in, el desgaste que se puede tener en esta zona de la unidad de control es de 0.200 in.

Del mismo modo se conforma la sección cónica inferior, dos zonas, una parte de la zona cónica y la otra es la zona de mayor diámetro. El diámetro de referencia para la zona cónica es de 114 in y el diámetro de la zona de mayor diámetro es de 210 in, el espesor original es de 0.590 in, mientras que el límite de retiro de 0.395 in, estos dos valores son los mismo para las dos zonas, se observa que el desgaste en esta unidad de control puede ser de 0.195 in.

Los diagramas de inspección técnica para cada unidad de control de la torre de vacío DZ-15000 se muestran en las figuras 18, 19, 20 y 21.

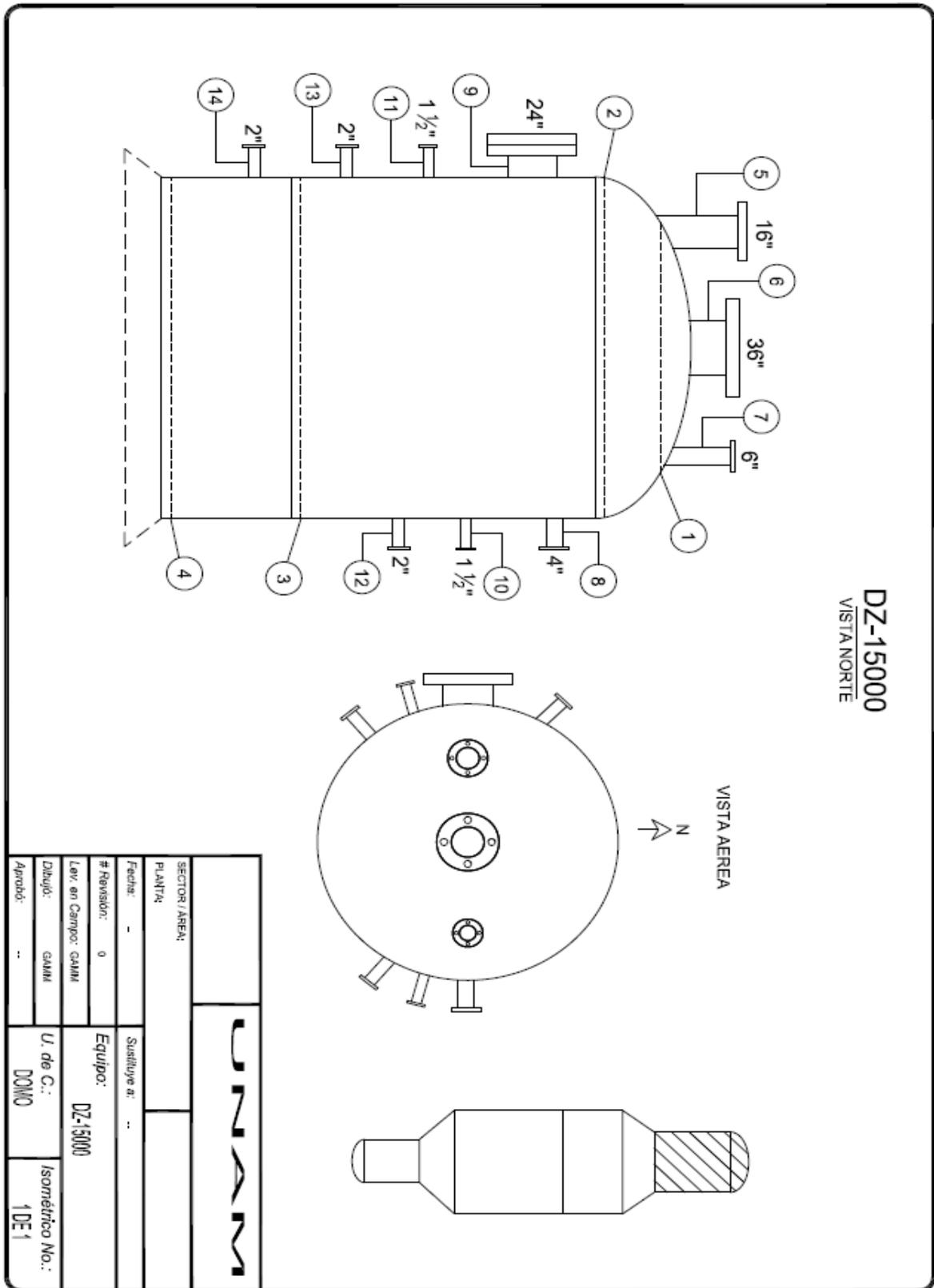


Figura 18. Diagrama de inspección técnica del domo de la torre DZ-15000.

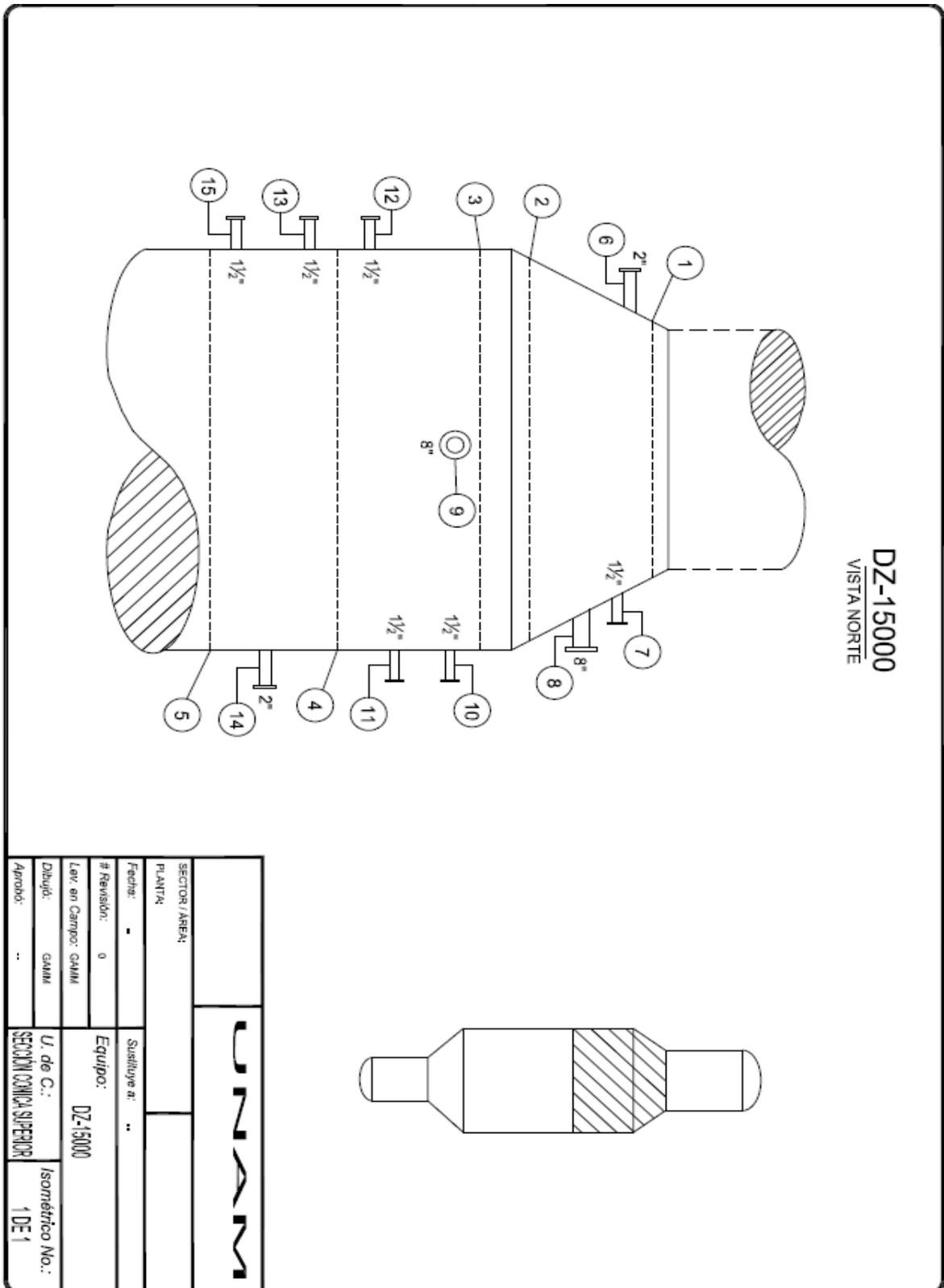


Figura 19. Diagrama de inspección técnica de la sección cónica superior de la torre DZ-15000.

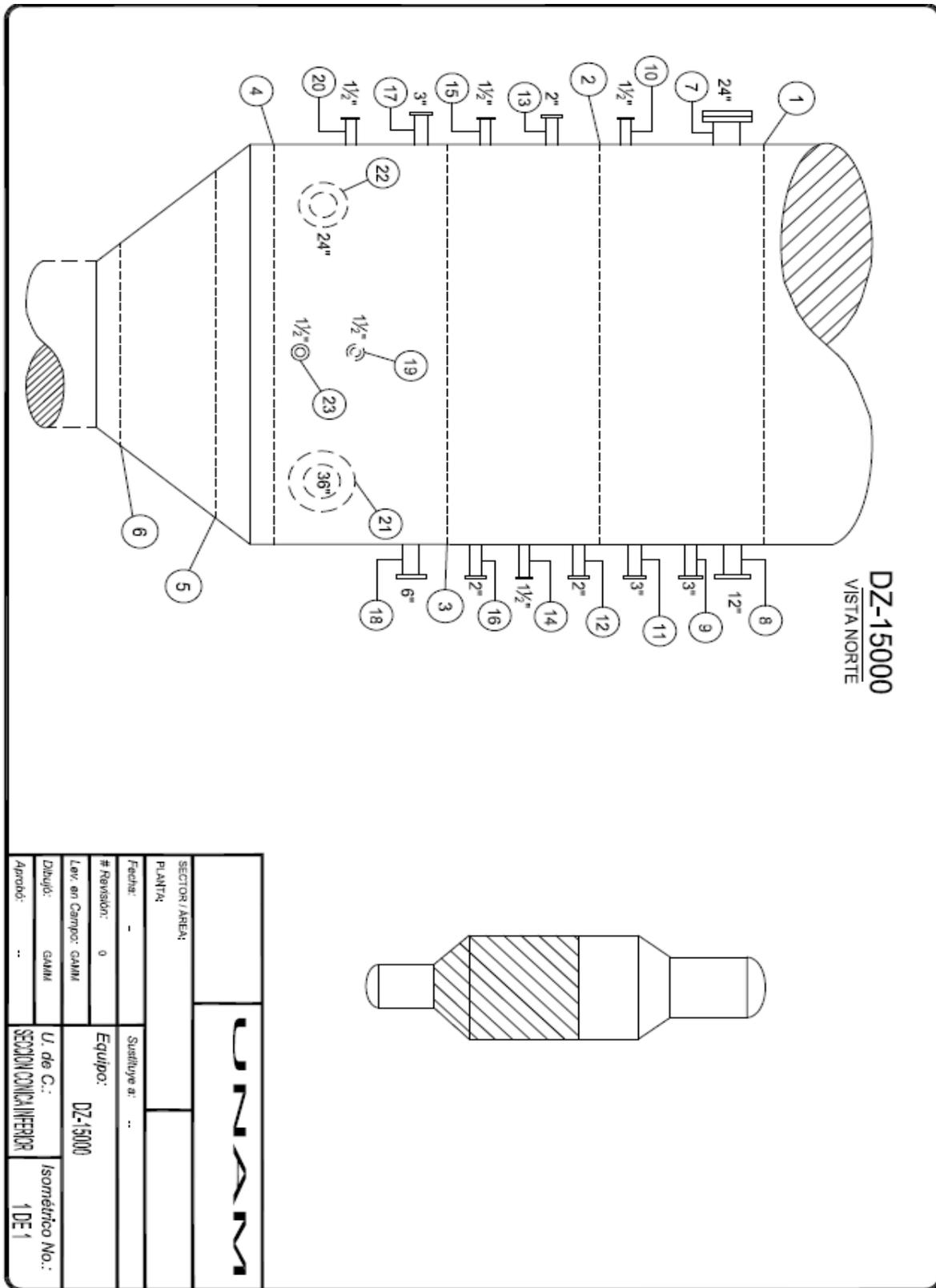


Figura 20. Diagrama de inspección técnica de la sección cónica inferior de la torre DZ-15000.

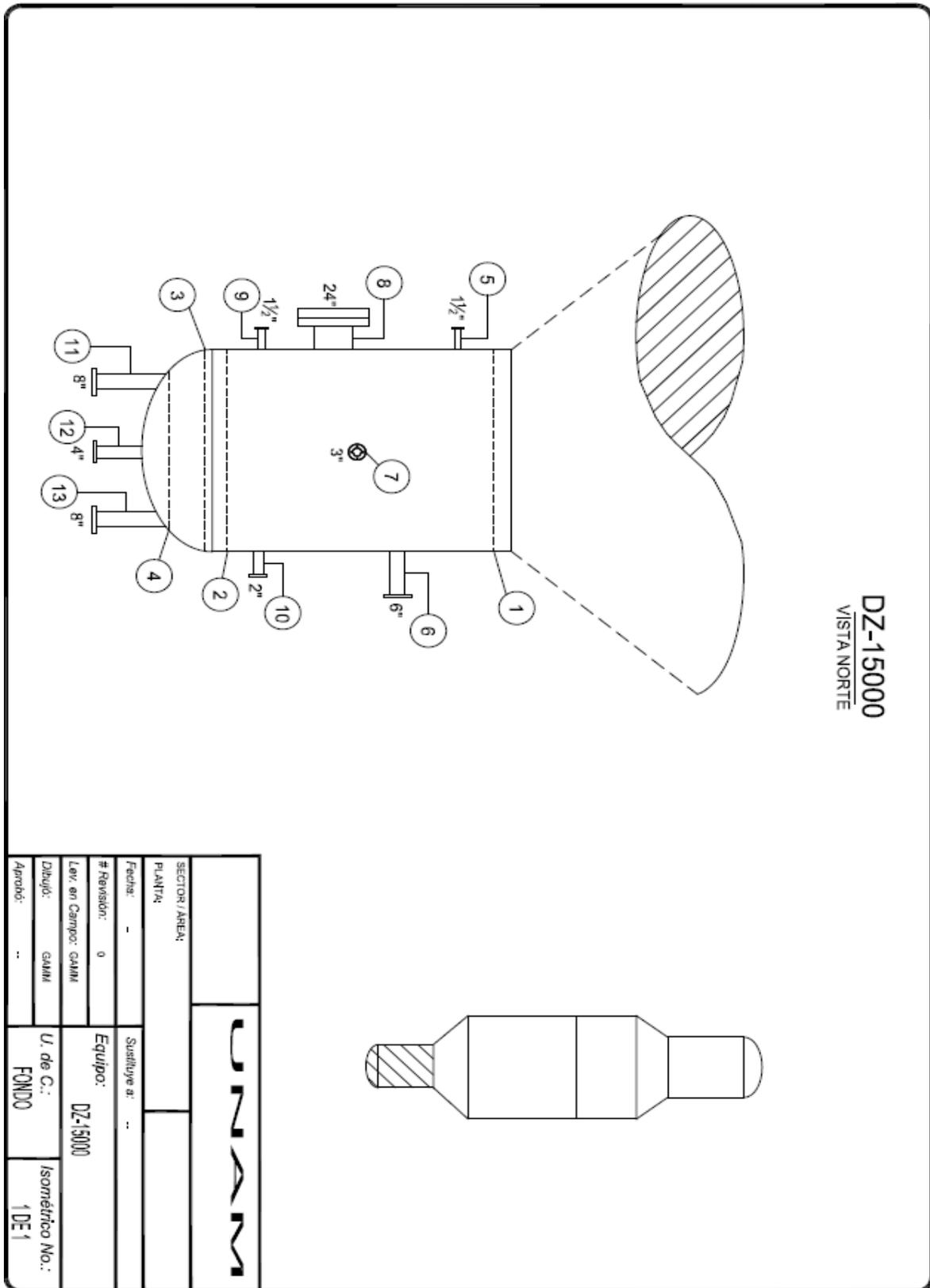


Figura 21. Diagrama de inspección técnica del fondo de la torre DZ-15000.

3.5 INSPECCIONES TÉCNICAS

Como se mencionó, los diagramas de inspección técnica indican donde se realizarán las mediciones; conforme se van realizando las mediciones en cada nivel, se va generando un expediente. Este expediente contiene los niveles, la orientación y el valor de cada medición, así como el año en que se realizó la inspección.

Las mediciones de los espesores la realizan personal del centro de trabajo que está acreditado para realizar este tipo de actividades, utilizando los dispositivos que manejan como principio las pruebas ultrasónicas.

En la tabla 6 se muestra un ejemplo del expediente de una inspección técnica, la primera columna corresponde al nivel de medición, la segunda contiene el espesor original y límite de retiro de cada nivel, la tercera corresponde a las posiciones donde se realiza la medición de cada nivel, en las dos últimas columnas se encuentran los años en los que se realizaron las inspecciones, así como los valores reportados.

Tabla 6. Ejemplo de un expediente de inspección técnica.

Descripción			sep-2000	nov-2004
Nivel	Datos	Posición	Espesor [mils]	Espesor [mils]
1	Espesor nominal: 512 Límite de retiro: 450	Norte	527	526
		Sur	530	519
		Oriente	500	532
		Poniente	528	530
2	Espesor nominal: 512 Límite de retiro: 450	Norte	521	510
		Sur	506	509
		Oriente	514	504
		Poniente	513	500
3	Espesor nominal: 512 Límite de retiro: 450	Norte	573	540
		Sur	554	552
		Oriente	554	552
		Poniente	572	551
4	Espesor nominal: 512 Límite de retiro: 450	Norte	535	526
		Sur	529	526
		Oriente	528	510
		Poniente	547	532

[mils]= milésimas de pulgada.

Para este trabajo se cuenta con los expedientes de las dos torres de vacío, cabe señalar que cada unidad de control es independiente en los años en que se realizó la medición de espesores, por tal motivo se pueden encontrar variaciones en los años en cada expediente, así como variaciones en el número de mediciones de cada unidad de control.

Una vez que se cargan los expedientes de inspección técnica de cada unidad de control a SIMECELE, este software realiza los cálculos necesarios para obtener los parámetros que son de utilidad para realizar el análisis final como: velocidad de desgaste, vida útil estimada (VUE), fecha próxima de medición de espesores (FPME) y fecha de retiro probable (FRP). Las ecuaciones para realizar estos cálculos son presentadas en el Anexo A.

3.6 ANÁLISIS DE MEDICIÓN DE ESPESORES DE LA TORRE DE VACÍO DX-10000

El análisis se realizó por unidad de control. En el anexo B se encuentran los expedientes de las inspecciones técnicas de cada unidad de control de la torre de vacío DX-10000.

3.6.1 Domo

Para esta unidad de control, se cuenta con el expediente de inspecciones técnicas con mediciones en cuatro años (2005, 2008, 2009, 2011). En el diagrama para la inspección técnica se mostraron todos los niveles que contiene esta unidad de control, para este caso sólo se tomaron en cuenta los niveles del cuerpo, ya que las boquillas son de otro material. En la tabla 7 se muestran los resultados de las velocidades de desgaste que se tienen de los niveles que conforman el cuerpo.

Tabla 7. Velocidad de desgaste en el domo de la torre DX-10000.

Descripción		Fecha de inicio 2005	Enero 2008	Julio 2009	Agosto 2011
Nivel	Posición	Vel. de desgaste (mpa)			
1	Norte	-	-	-	45.84
	Sur	-	50.05	-	48.87
	Oriente	-	1.65	-	75.95
	Poniente	-	-	-	50.01
2	Norte	-	0	18.03	0
	Sur	-	6.62	-	0
	Oriente	-	-	4.34	5.28
	Poniente	-	0	20.03	0.48
3	Norte	-	3.31	18.03	10.08
	Sur	-	0	27.38	19.68
	Oriente	-	1.65	12.02	2.88
	Poniente	-	6.2	25.37	19.68
4	Norte	-	0	0	21.12
	Sur	-	0	-	9.77
	Oriente	-	12.82	-	0
	Poniente	-	4.14	-	3.63

En la primera columna debido a que es el año inicial de mediciones no se tienen valores de velocidad de desgaste. Para el siguiente año de medición (2008) se observan celdas vacías esto se debe a que en este año no se tiene valor en la medición de espesores, por otro lado, el valor que está resaltado (50.05 mpa) es una velocidad de desgaste crítica, esto genera que se analice con mayor atención la próxima ocasión, las celdas que tienen un valor de cero (0), es porque se tiene el mismo valor de medición que el año anterior, los demás valores están por debajo de la velocidad de desgaste crítica.

En el 2009, lo que corresponde al nivel 1, los espacios vacíos se deben a que no se tienen valores de medición de espesores, en el nivel 2 y 3 predomina las velocidades de desgaste críticas, esto provoca un seguimiento especial a esta unidad de control, en caso de que se necesite emplazar, en el nivel 4 las celdas vacías corresponden a valores que en la medición de espesores crecieron, esto se conoce como engrosamiento, lo cual físicamente no es posible, en el anexo B se observan los valores.

En el caso del 2011 la mayoría de los niveles presentan velocidades de desgaste críticas, por lo tanto, se deberá tener un especial seguimiento a esta unidad de control ya que sus velocidades de desgaste son altas.

En la figura 22 se presenta la gráfica de los valores de la medición de espesores que se encuentran en milésima de pulgada contra el número de nivel y su posición de cada uno.

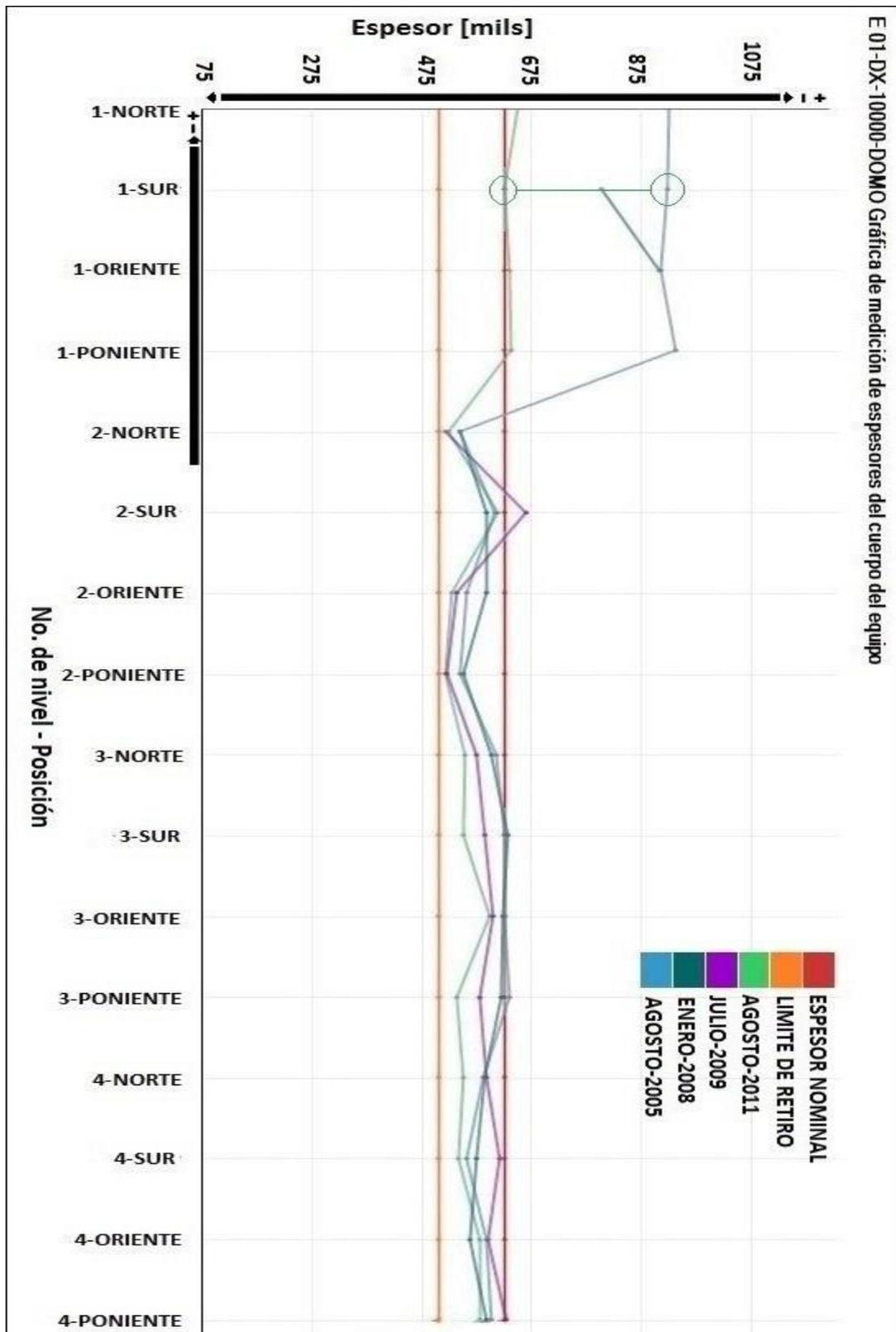


Figura 22. Gráfica de la velocidad de desgaste en el domo de la torre DX-10000.

De la gráfica de la figura 22, se observa que en el nivel 1 se encuentra la velocidad de desgaste crítica, el problema en éste nivel es que los valores están por encima del espesor original, esto se debe, por lo general, a errores durante la medición en campo, o bien, que el valor reportado del espesor original y límite de retiro son erróneos debido a que el nivel 1 corresponde al casquete elipsoidal.

En los siguientes niveles, los valores se encuentran entre el espesor original y límite de retiro, se observa que los valores están cercanos al límite de retiro, el efecto de esto se ve de forma más específica en los datos que arroja SIMECELE después de realizar los cálculos. En la tabla 8 se presenta el análisis de la medición de espesores realizada por SIMECELE.

Tabla 8. Análisis de la medición de espesores del domo.

Inspección	Agosto 2005	Enero 2008	Julio 2009	Agosto 2011
Vida útil estimada (VUE)	-	3.2	0.5(Emplazar)	0.4(Emplazar)
Fecha próxima de medición de espesores (FPME)	agosto 2006	febrero 2009	julio 2010	agosto 2012
Fecha de retiro probable (FRP)	-	abril 2011	enero 2010	enero 2012

En el año 2005 como es la fecha inicial no se tiene análisis estadístico y no se generó el dato de vida útil estimada ni fecha de retiro probable, pero por norma, la fecha de próxima medición deberá efectuarse al término de un año después de la fecha de primera medición.

Para el 2008 se tiene una vida útil de 3.2 años, es decir, que si continúa constante la velocidad de desgaste en 3 años, aproximadamente se tendrá que emplazar esta unidad de control, como se tiene una vida útil corta la fecha de próxima medición la genera para el próximo año, en el 2009. La fecha de retiro probable va de la mano con la vida útil estimada, cuyo valor fue de 3 años, por lo tanto, la fecha de retiro probable indica que será en el 2011.

En 2009 debido al crecimiento de las velocidades de desgaste, cuyos valores son críticos, la vida útil genera un emplazamiento, esto es debido a que los valores se encuentran cercanos al límite de retiro, la fecha de retiro probable y la fecha de próxima medición están indicadas en el mismo año, esto se debe a la orden de emplazar generada en 2009, por lo que se espera que para el 2010 se tenga un equipo nuevo y se realice la primera medición en ese mismo 2010.

La última medición se realizó en 2011, debido a que no se emplazó esta unidad de control, SIMECELE sigue mandando a emplazar la unidad de control y que se realice la medición de espesores el mismo año.

3.6.2 Sección cónica superior

En esta unidad de control, se cuenta con el expediente de inspecciones técnicas con mediciones en tres años (2005, 2008 y 2011). Al igual que en la unidad de control anterior en el diagrama para la inspección técnica se muestran los niveles que corresponden a esta unidad de control, pero solo se hizo el análisis a los que corresponden al cuerpo. En la tabla 9 se muestran los resultados obtenidos de la velocidad de desgaste en esta unidad de control en los tres años en que se realizó la medición.

Tabla 9. Velocidad de desgaste en la sección cónica superior.

Descripción		Fecha de inicio 2005	Enero 2008	Enero 2011
Nivel	Posición	Vel. de desgaste (mpa)	Vel. de desgaste (mpa)	Vel. de desgaste (mpa)
1	Norte	-	3.31	1.33
	Sur	-	0.41	5.33
	Oriente	-	1.65	5
	Poniente	-	0	4.67
2	Norte	-	2.9	1.33
	Sur	-	1.24	11.33
	Oriente	-	2.48	12.66
	Poniente	-	1.24	9.33
3	Norte	-	1.24	6.67
	Sur	-	9.51	3.33
	Oriente	-	0	7.66
	Poniente	-	0.83	6.67
4	Norte	-	53.77	-
	Sur	-	54.19	-
	Oriente	-	32.26	-
	Poniente	-	33.51	-

Las celdas correspondientes al 2005 están vacías porque es el año inicial de medición. En 2008 se observa que en los niveles 1, 2 y 3 las velocidades de desgaste están por debajo de los 15 mpa, pero en el nivel 4 se tienen velocidades de desgaste críticas que están por encima de los 15 mpa. En el 2011 continúa la tendencia de los primeros tres niveles con velocidades no consideradas críticas, las celdas vacías correspondientes al nivel 4 se deben a que no se encontraron valores en la medición de espesores en ese año.

En la figura 23 se muestra la gráfica de la medición de espesores contra número de nivel y posición, de ésta unidad de control.

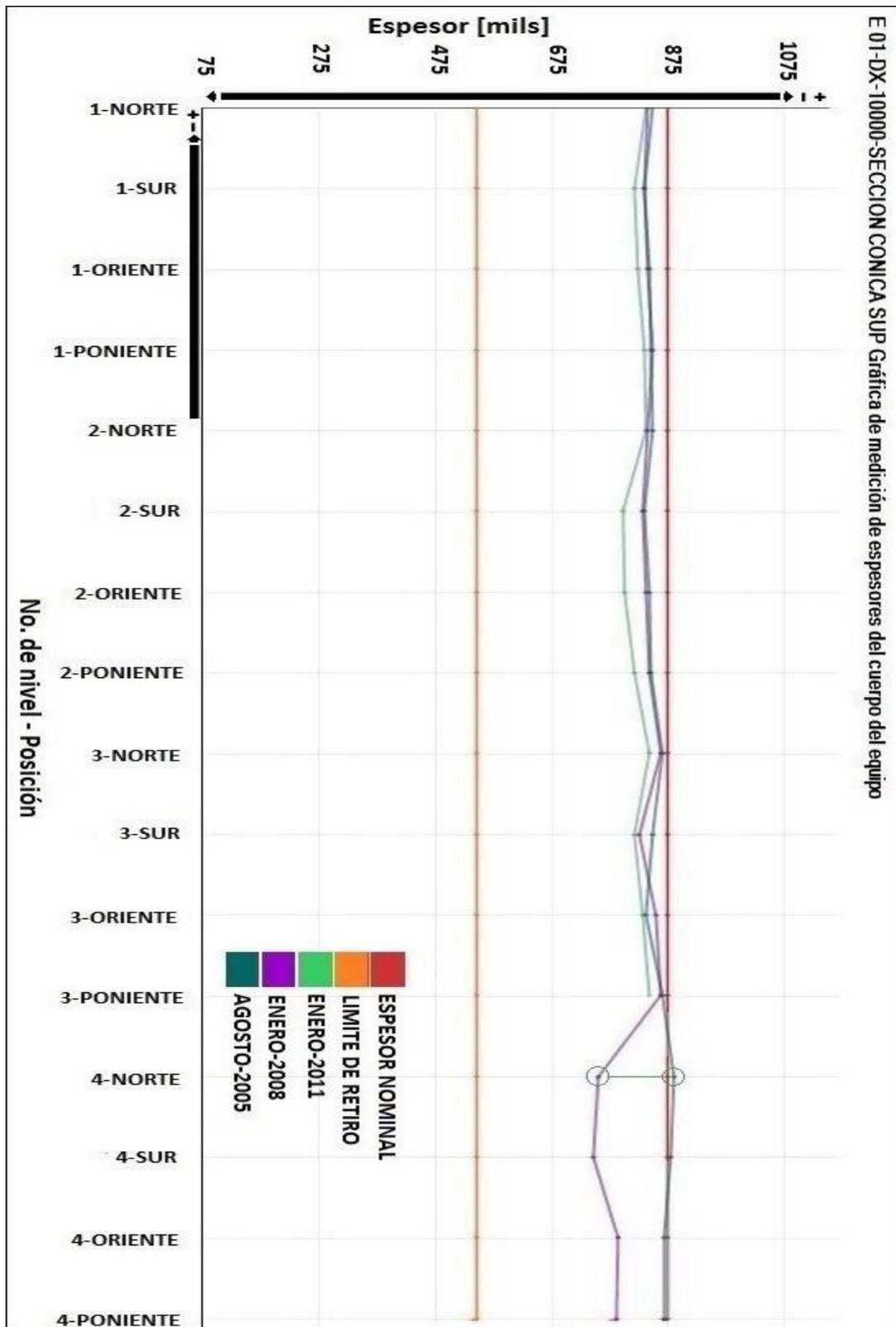


Figura 23. Gráfica de la velocidad de desgaste en la sección cónica superior de la torre DX-10000.

De la gráfica se observa, que el nivel 1 presenta bajo desgaste, por tal motivo las mediciones son cercanas al espesor original. Para el nivel 2 el desgaste es un poco mayor teniendo en la posición sur y oriente el mayor desgaste, aun así, los valores están lejos del límite de retiro, la tendencia sigue en el nivel 3 con un bajo desgaste. En el nivel 4 se obtuvieron velocidades de desgaste críticas, las cuales son señaladas en la gráfica, es evidente que en este nivel en especial la posición norte y sur son las que presentan mayor desgaste.

Como se observa en la gráfica de la figura 23, los valores no son cercanos al límite de retiro, esto se ve reflejado en el análisis que realiza SIMECELE. Este análisis se muestra en la tabla 10.

Tabla 10. Análisis de la medición de espesores de la sección cónica superior.

Inspección	Agosto 2005	Enero 2008	Enero 2011
Vida útil estimada (VUE)	-	10.6	32.5
Fecha próxima de medición de espesores (FPME)	agosto 2006	julio 2011	enero 2016
Fecha de retiro probable (FRP)	-	agosto 2018	julio 2043

En 2005 por ser año inicial, no se tiene valor en la vida útil estimada ni fecha de retiro probable, por tal motivo la fecha de próxima medición se manda al siguiente año de la fecha inicial.

Para el año 2008 se tiene una vida útil de 10.6 años, esto se ve reflejado por la conjunción de los niveles con bajas velocidades de desgaste y el nivel 4 que tiene velocidades de desgaste críticas, también se ve en la fecha de próxima medición que la manda a 3 años, en el 2011. La fecha de retiro probable es en el año del 2018, esto corresponde con la vida útil estimada para la unidad de control.

El nivel 4 en 2008 registraba velocidades de desgaste críticas, para el 2011 no se tuvieron mediciones de este nivel, por tal motivo no entró en el análisis, esto se ve reflejado en los 3 aspectos que se analizan, se obtiene una vida útil de 32 años, esto da una fecha de retiro probable hasta el 2043, la fecha de próxima medición indica que se tiene que realizar la inspección dentro de 5 años, 2 año más que en la medición anterior.

3.6.3 Sección cónica inferior

Para esta unidad de control, se cuenta con el expediente de inspecciones técnicas con mediciones en dos años (2009 y 2011). En el diagrama de inspección técnica se muestran los niveles de medición que componen a esta unidad de control, sin embargo, para este análisis se tomaron en cuenta los niveles que corresponden al cuerpo.

En este caso en particular, al tener sólo dos fechas, se realizó el análisis, sin embargo, es una limitante para tener un panorama general del desgaste que va teniendo esta unidad de control. En la tabla 11 se muestra la velocidad de desgaste en estas fechas.

Tabla 11. Velocidad de desgaste en la sección cónica inferior.

Descripción		Fecha de inicio 2009	Agosto 2011
Nivel	Posición	Vel. de desgaste (mpa)	Vel. de desgaste (mpa)
1	Norte	-	0.96
	Sur	-	0.96
	Oriente	-	2.88
	Poniente	-	0
2	Norte	-	80.63
	Sur	-	48.48
	Oriente	-	51.36
	Poniente	-	58.56
3	Norte	-	-
	Sur	-	-
	Oriente	-	-
	Poniente	-	-
4	Norte	-	0
	Sur	-	11.04
	Oriente	-	7.2
	Poniente	-	6.24

Las celdas vacías en el 2009 se deben a que es la fecha inicial en que se realizaron las mediciones. Para el año 2011 en el nivel 1 se tienen velocidades de desgaste bajas, los valores están cercanos a cero, mientras que en el nivel 2 se tienen velocidades de desgaste críticas, para el nivel 3 no se tuvieron valores en la medición de espesores en ninguno de los dos años, esto se puede deber a que en campo este nivel este inaccesible, en el nivel 4 se tienen velocidades de desgaste que no son consideradas críticas. En la figura 24 se muestra la gráfica de la velocidad de desgaste de esta unidad de control.

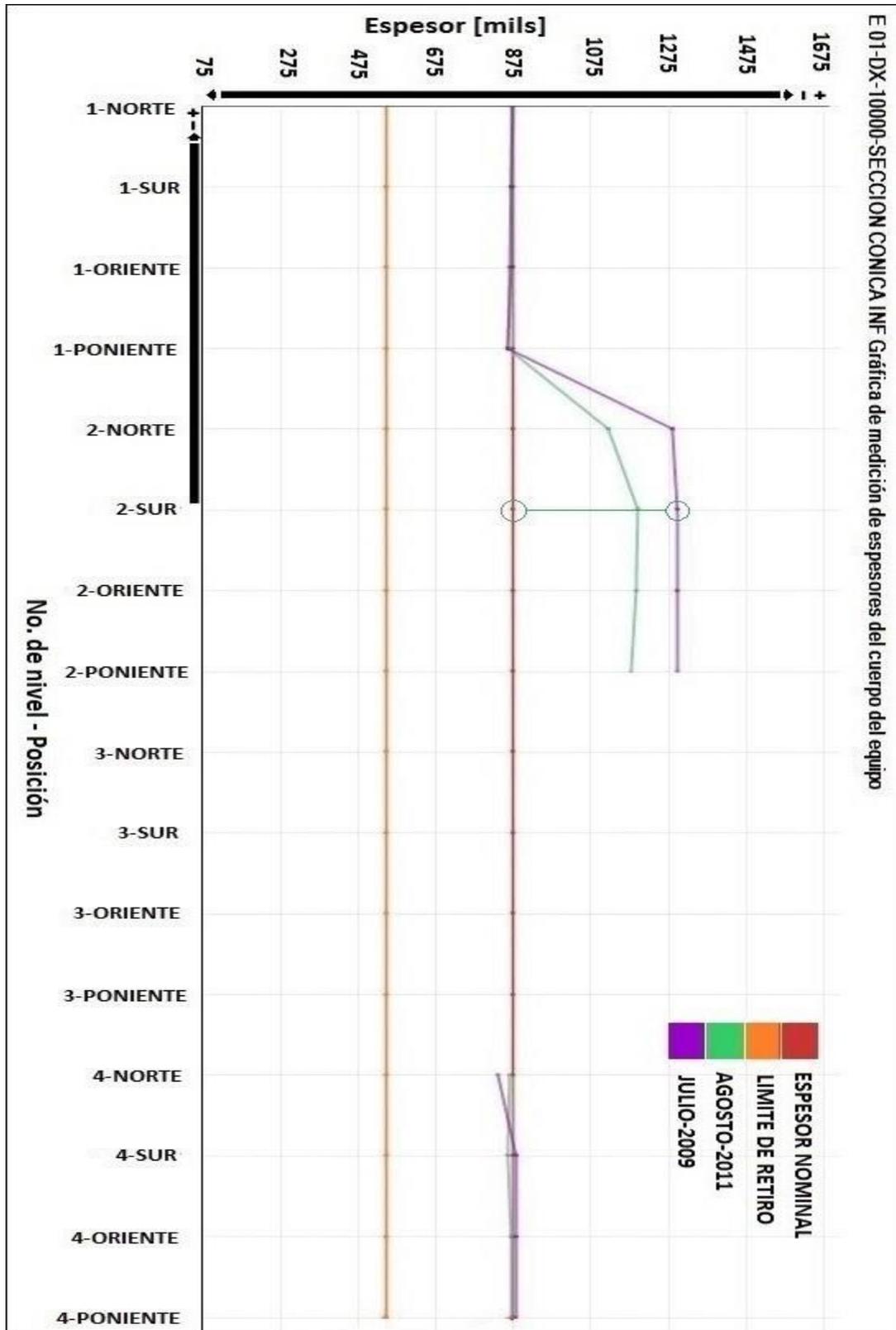


Figura 24. Gráfica de la velocidad de desgaste en la sección cónica inferior de la torre DX-10000.

De la gráfica en la figura 24 se observa que en el nivel 1 los valores se encuentran cercanos al espesor original, pero en el nivel 2 se señala la diferencia entre el valor de la medición que se realizó en el 2009 y el espesor original, a pesar de que se tienen velocidades de desgaste críticas en este nivel, el valor no está cercano al espesor original. Se observa de la gráfica una parte inconclusa esto se debe a que en el nivel 3 como se mencionó no se tienen valores, en el nivel 4 los valores son cercanos al espesor original.

Los resultados del análisis de la medición de espesores que realizó SIMECELE se muestran en la tabla 12.

Tabla 12. Análisis de la medición de espesores de la sección cónica inferior.

Inspección	Julio 2009	Agosto 2011
Vida útil estimada (VUE)	-	9.3
Fecha próxima de medición de espesores (FPME)	julio 2010	septiembre 2014
Fecha de retiro probable (FRP)	-	noviembre 2020

Siendo el 2009 la fecha inicial de la medición de espesores, el sistema manda al año siguiente a realizar la inspección, estableciendo como fecha de próxima medición el 2010.

En 2011 a pesar de presentar velocidades de desgaste críticas, estas no están cerca del límite de retiro, es por eso que no manda a emplazar la unidad de control, por el contrario se tiene una vida útil de 9 años, esto manda una fecha de retiro probable en 2020, la fecha de próxima medición la propone a 3 años en el 2014, debido a que existen velocidades de desgaste críticas en el nivel 2.

3.6.4 Fondo

Para esta unidad de control, se cuenta con el expediente de inspecciones técnicas con mediciones en tres años (2001, 2005 y 2011). En el diagrama para inspección técnica se muestran los niveles de medición que conforman a esta unidad de control, sin embargo, para realizar el análisis de la velocidad de desgaste sólo se utilizaron los niveles que pertenecen al cuerpo.

En la tabla 13 se presentan los resultados de la velocidad de desgaste en cada año en que realizó la medición.

Tabla 13. Velocidad de desgaste en el fondo.

Descripción		Fecha de inicio 2001	Noviembre 2005	Julio 2011
Nivel	Posición	Vel. de desgaste (mpa)	Vel. de desgaste (mpa)	Vel. de desgaste (mpa)
1	Norte	-	-	0.1
	Sur	-	-	0.2
	Oriente	-	-	0.2
	Poniente	-	-	0.99
2	Norte	-	0.45	0.71
	Sur	-	0.23	1.59
	Oriente	-	0.91	0
	Poniente	-	1.81	0.71
3	Norte	-	2.49	3.36
	Sur	-	4.98	0
	Oriente	-	3.85	0.71
	Poniente	-	6.34	0.53

Las celdas vacías en el 2001 se deben a que es la fecha inicial en que se realizaron las mediciones.

Para el año 2005, las celdas vacías del nivel 1 son porque no se tuvieron valores en la medición de espesores, en los niveles siguientes las velocidades de desgaste son bajas, no se consideran críticas porque no llegan a los 15 mpa, en el nivel 2 las velocidades de desgaste son más bajas con respecto al nivel 3.

En el último año de medición, las velocidades de desgaste en los tres niveles de medición fueron bajas, lo que indica poco desgaste. En la figura 25 se muestra la gráfica de la medición de espesores contra el número de nivel y las posiciones donde se realizó la medición.

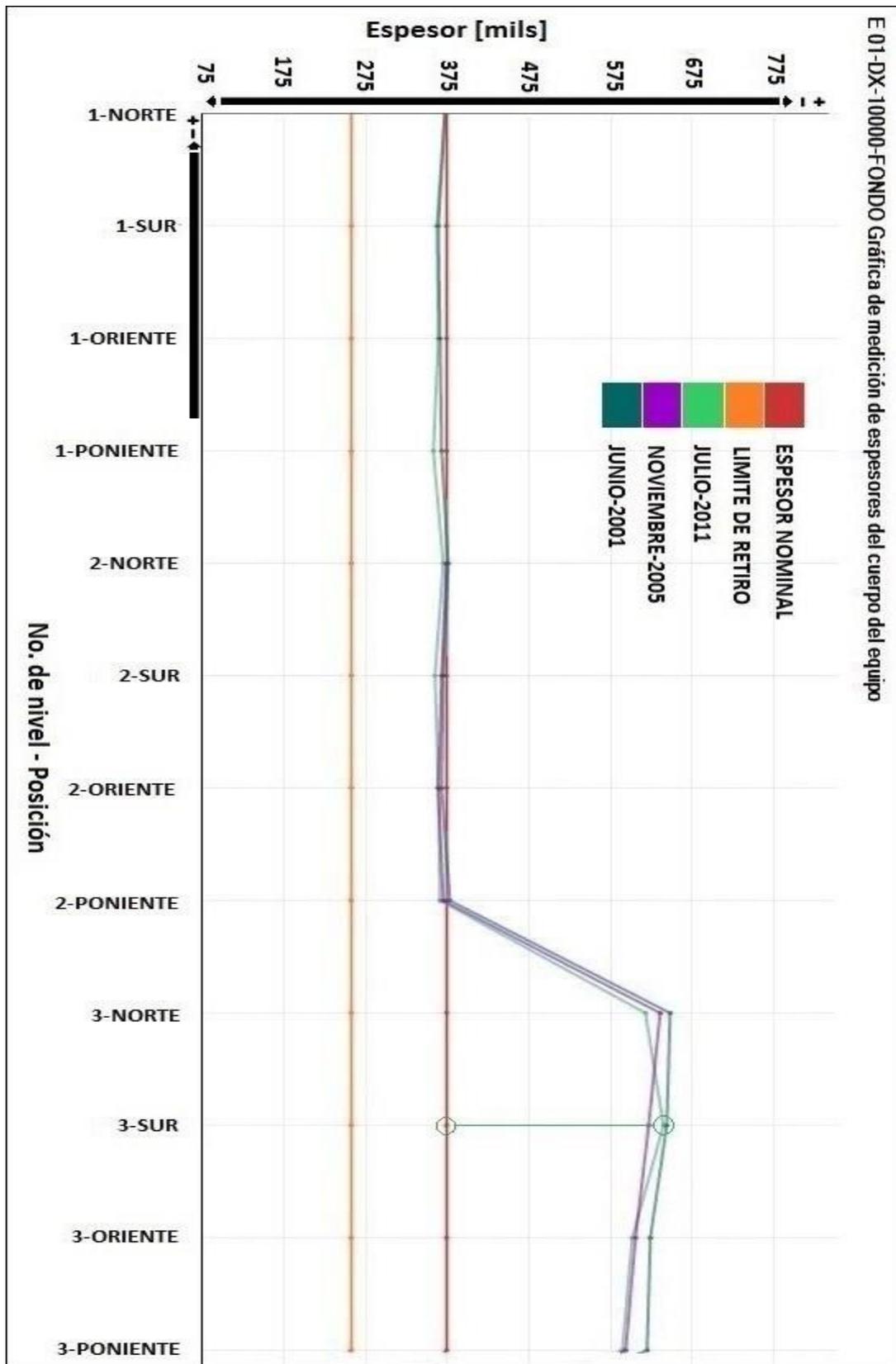


Figura 25. Gráfica de la velocidad de desgaste en el fondo de la torre DX-10000.

De la gráfica de la figura 25 se observa que en los primeros dos niveles, al existir poco desgaste los valores se encuentran cercanos al espesor original. Por otro lado, en el nivel 3 se señala la diferencia que existe entre los valores que se obtuvieron de la medición de espesores y el espesor original. Para el nivel 3, el límite de retiro y el espesor original no coincide con la tendencia que se observa durante los 3 años en los que se realizaron las mediciones de espesores en éste nivel, esto puede ser consecuencia de que el límite de retiro y el espesor original no coinciden con el reportados, ya que el nivel 3 corresponde al casquete elipsoidal.

En la tabla 14 se muestran los resultados del análisis que realizó SIMECELE.

Tabla 14. Análisis de la medición de espesores del fondo.

Inspección	Junio 2001	Noviembre 2005	Julio 2011
Vida útil estimada (VUE)	-	28.5	90.3
Fecha próxima de medición de espesores (FPME)	junio 2002	noviembre 2010	julio 2016
Fecha de retiro probable (FRP)	-	mayo 2034	octubre 2101

En 2001 por ser año inicial, no se tiene valor en la vida útil estimada ni fecha de retiro probable, por tal motivo la fecha de próxima medición se manda al siguiente año de la fecha inicial.

Para el año 2005, la vida útil se estimó de 28.5 años a causa de las velocidades de desgaste bajas, también se observa que la fecha de próxima medición quedó indicada en 5 años. La fecha de retiro probable será el año 2034, consistente con la vida útil estimada en esta unidad de control.

En el 2011, la vida útil estimada fue de 90 años, creció debido a que las velocidades de desgaste son más bajas con respecto al año anterior, la fecha de próxima medición la propuso a 5 años. La fecha de retiro probable será en el año 2101, consistente con los 90 años de la vida útil estimada.

3.7 ANÁLISIS DE MEDICIÓN DE ESPESORES DE LA TORRE DE VACÍO DZ-15000

El análisis se realizó por unidad de control. En el anexo C se encuentran los expedientes de las inspecciones técnicas de cada unidad de control de la torre de vacío DZ-15000.

3.7.1 Domo

Para esta unidad de control, el expediente de inspecciones técnicas cuenta con la medición en cuatro años (2000, 2004, 2008, 2011). En el diagrama para la inspección técnica se muestran todos los niveles que contiene esta unidad de control, para este caso sólo se tomaron los niveles del cuerpo, ya que las boquillas son de otro material. En la tabla 15 se muestran los resultados de las velocidades de desgaste en los niveles que conforman el cuerpo.

Tabla 15. Velocidad de desgaste en el domo.

Descripción		Fecha de inicio 2000	Noviembre 2004	Julio 2008	Noviembre 2011
Nivel	Posición	Vel. de desgaste (mpa)			
1	Norte	-	0.24	4.09	0
	Sur	-	2.64	0	3.6
	Oriente	-	-	0	6.6
	Poniente	-	0	1.36	3.9
2	Norte	-	2.64	3	0
	Sur	-	0	5.46	1.2
	Oriente	-	2.4	1.36	2.7
	Poniente	-	3.12	0	1.8
3	Norte	-	7.92	1.09	4.2
	Sur	-	0.48	2.73	2.1
	Oriente	-	0.48	7.64	4.2
	Poniente	-	5.04	3.82	0
4	Norte	-	2.16	0	5.1
	Sur	-	0.72	3.55	4.5
	Oriente	-	4.32	0.27	3
	Poniente	-	3.6	0.55	7.5

Las celdas vacías en el año 2000 se deben a que es la fecha inicial en que se realizaron las mediciones.

Para el año 2004, en el nivel 1 las velocidades de desgaste fueron bajas, la celda vacía de este nivel, se debe a que el espesor registrado en este año es mayor al anterior, esto se conoce como engrosamiento lo cual físicamente no es posible, las celdas con valor cero

(0) es porque el espesor registrado fue el mismo que el del año anterior. En los niveles siguientes las velocidades que se observan son bajas, algunas son cercanas a cero (0).

En julio del 2008 se tienen 4 celdas con valores de cero, como se explicó, esto se debe a que el espesor registrado en este año es el mismo al anterior. Las velocidades de desgaste en los demás niveles no fue crítico ya que están por debajo de los 15 mpa, siendo la mayor velocidad de desgaste de 7.64 mpa.

De forma similar en el año 2011 se encontraron velocidades de desgaste igual a cero (0), el desgaste en este año sigue siendo bajo, la velocidad de desgaste más alta fue de 7.5 mpa.

En la figura 26 se muestra la gráfica de los espesores contra el número de nivel y posición que corresponden a esta unidad de control.

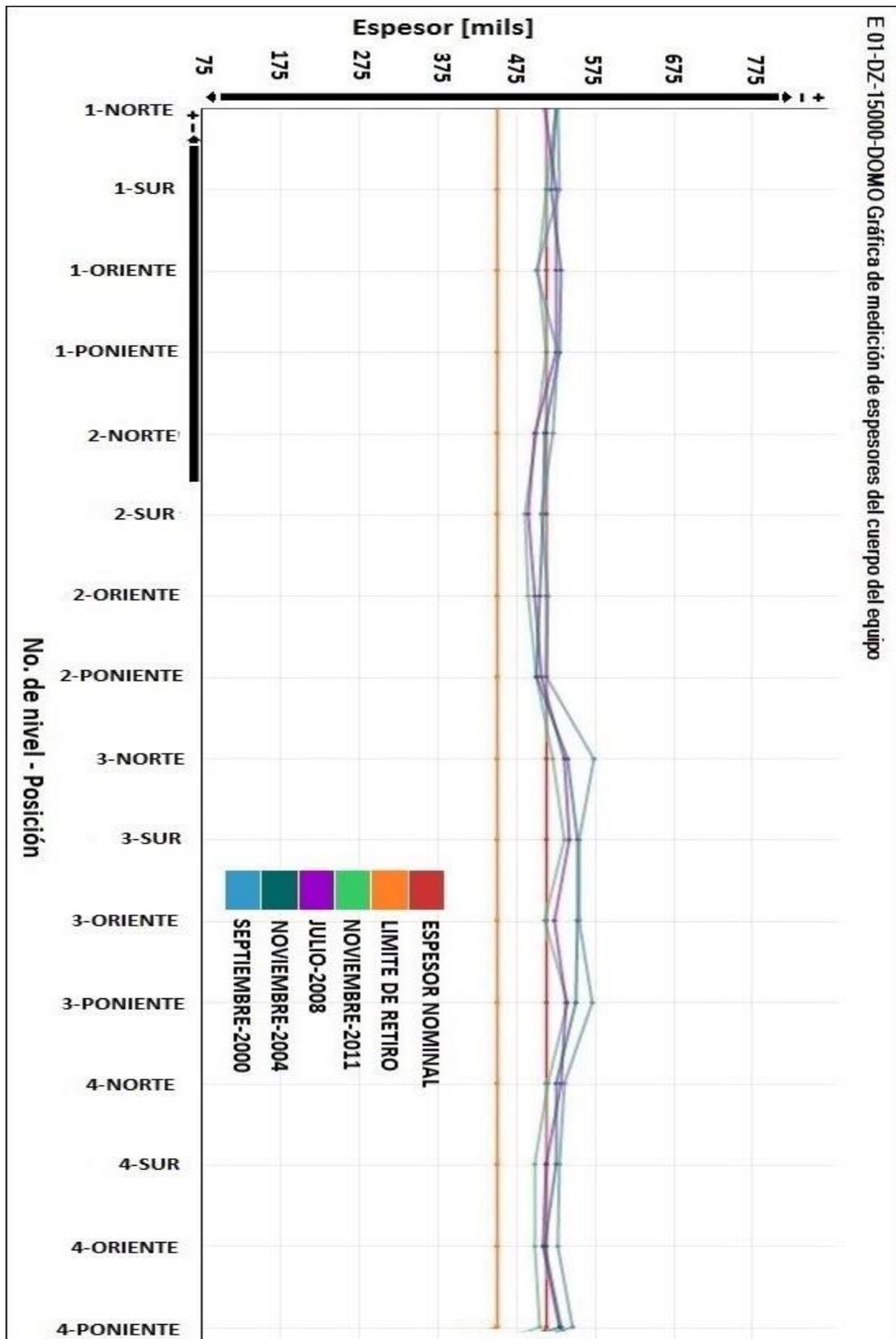


Figura 26. Gráfica de la velocidad de desgaste en el domo de la torre DZ-15000.

De la gráfica de la figura 26 se observa que en el nivel 1 los valores están cercanos al espesor original, mientras que para el nivel 2 los valores están localizados por debajo del espesor original.

En el nivel 3 y el nivel 4, la tendencia de las mediciones se observó por encima del espesor original, esto puede deberse a un mal procedimiento cuando se realizó la medición, o bien, los valores del espesor original son más altos a los reportados.

La información antes presentada sirve para que SIMECELE realice el análisis de la medición de espesores, en la tabla 16 se presentan los resultados obtenidos con valores ya mencionados.

Tabla 16. Análisis de la medición de espesores del domo.

Inspección	Septiembre 2000	Noviembre 2004	Julio 2008	Noviembre 2011
Vida útil estimada (VUE)	-	15.8	13.2	9
Fecha próxima de medición de espesores (FPME)	septiembre 2001	noviembre 2009	julio 2012	noviembre 2014
Fecha de retiro probable (FRP)	-	diciembre 2020	agosto 2021	diciembre 2020

En 2000 por ser año inicial, no se tienen valores en la vida útil estimada ni fecha de retiro probable, por tal motivo la fecha de próxima medición se reportó para el siguiente año de la fecha inicial.

En el año 2004, se encontraron velocidades de desgasta bajas, esto se vio reflejado en la vida útil estimada que es cercana a los 16 años, la fecha de próxima medición la programó dentro de 5 años. La fecha de retiro probable al ser consistente con la vida útil, se estimó para el año 2020.

Para el 2008, al continuar las velocidades de desgaste bajas la vida útil fue de 13 años y la fecha de próxima medición fue programada a 4 años. La fecha de retiro probable se programó para el año 2021, esto coincide con los 13 años de vida útil estimada.

En noviembre del 2011, la vida útil estimada fue de 9 años, se redujo 4 años a comparación de la medición anterior, la fecha de próxima medición la manda al 2014, 3 años después de que se realizó esta medición. Se puede considerar un desgaste constante porque la fecha de retiro probable casi no varió.

3.7.2 Sección cónica superior

Para esta unidad de control, se cuenta con el expediente de inspecciones técnicas con mediciones en cuatro años (2000, 2004, 2008 y 2011). En el diagrama para la inspección técnica se muestran los niveles que corresponden a esta unidad de control, para realizar este análisis se tomaron en cuenta sólo los niveles que corresponden al cuerpo. Los resultados obtenidos de la velocidad de desgaste se muestran en la tabla 17, se presentan para cada año de inspección.

Tabla 17. Velocidad de desgaste en la sección cónica superior.

Descripción		Fecha de inicio 2000	Octubre 2004	Julio 2008	Noviembre 2011
Nivel	Posición	Vel. de desgaste (mpa)			
1	Norte	-	2.69	0.27	0
	Sur	-	0	-	2.82
	Oriente	-	3.67	0	3.3
	Poniente	-	3.67	-	1.41
2	Norte	-	-	-	1.88
	Sur	-	-	-	1.52
	Oriente	-	-	-	2.6
	Poniente	-	-	-	0.9
3	Norte	-	-	-	5.22
	Sur	-	9.06	-	1.98
	Oriente	-	3.67	-	2.68
	Poniente	-	-	-	2.96
4	Norte	-	-	-	-
	Sur	-	6.61	-	2.68
	Oriente	-	8.33	-	0.71
	Poniente	-	-	-	1.69
5	Norte	-	-	-	-
	Sur	-	-	-	1.61
	Oriente	-	-	-	1.43
	Poniente	-	-	-	-

Las celdas vacías en el año 2000 son debidas a que fue el año inicial de medición. Los valores que se obtuvieron corresponden a velocidades de desgaste bajas. A esta unidad de control en particular le faltaron mediciones, como se observa en las celdas vacías de los demás años. Esta información se ve reflejada en la figura 27 que representa la gráfica de las mediciones de espesores de esta unidad de control.

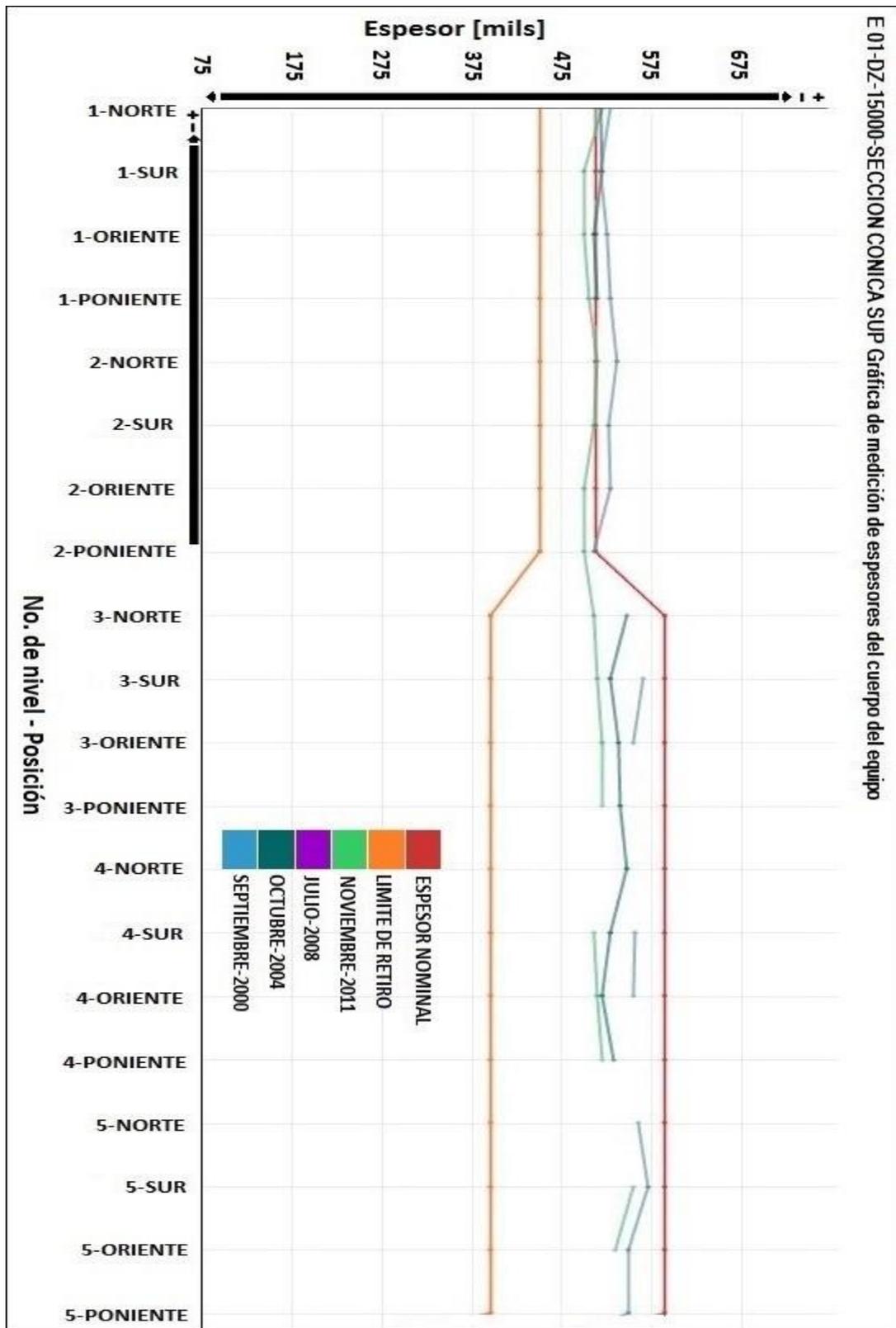


Figura 27. Gráfica de la velocidad de desgaste en la sección cónica superior de la torre DZ-15000.

De la gráfica de la figura 27 se observa, la falta de datos, esto se refleja en las discontinuidades en la línea de cada inspección. Hay datos que se localizan por encima del espesor original, esto se puede deber a una falla en el momento de utilizar el instrumento de medición.

Para los niveles siguientes las líneas de inspección muestran un desgaste progresivo conforme pasa el tiempo.

Con los datos que se tienen, SIMECELE realizó el análisis de la medición de espesores, en la tabla 18 se presentan los resultados obtenidos de dicho análisis.

Tabla 18. Análisis de la medición de espesores de la sección cónica superior.

Inspección	Septiembre 2000	Octubre 2004	Julio 2008	Noviembre 2011
Vida útil estimada (VUE)	-	9.6	237.2	20.2
Fecha próxima de medición de espesores (FPME)	septiembre 2001	diciembre 2007	julio 2013	noviembre 2016
Fecha de retiro probable (FRP)	-	mayo 2014	julio 2108	febrero 2032

Dado que el año 2000 es la fecha inicial de medición de espesores, no se generan valores para la vida útil y la fecha de retiro, la fecha de próxima medición se generó para el año siguiente de la medición inicial.

Para el 2004, la vida útil estimada fue de casi 10 años, esto se debe a que las velocidades de desgaste son de 9, 8 y 6 mpa, se pueden considerar velocidades altas, por tal motivo la fecha de próxima medición se indicó de 3 años. La fecha de retiro probable se estableció en el 2014, coincide con los 10 años de la vida útil.

En el 2008, este año en particular, el análisis estuvo basado en sólo dos mediciones de espesores en toda la unidad de control, las velocidades de desgaste fueron cercanas a cero, es por eso que los resultados obtenidos, como la vida útil estimada fue de 237 años, la fecha de próxima medición se indicó para realizarse en 5 años, valor máximo manejado de acuerdo con la normatividad del centro de trabajo y la fecha de retiro probable fue establecida para el 2108.

Los resultados en el 2011, se normalizan al tener más datos para realizar el análisis, la vida útil fue de 20 años, debido a las velocidades de desgaste bajas, por tal motivo la fecha de próxima medición se estableció para 2016, en 4 años. La fecha de retiro probable que se obtuvo fue para 2032.

3.7.3 Sección cónica inferior

Para esta unidad de control, se cuenta con el expediente de inspecciones técnicas con mediciones en cuatro años (2000, 2004, 2008 y 2011). En el diagrama para la inspección técnica se muestran los niveles que pertenecen a esta unidad de control, para el análisis de la velocidad de desgaste se tomaron en cuenta sólo los niveles que pertenecen al cuerpo. En la tabla 19 se muestran las velocidades de desgaste que se obtuvieron de estos cuatros años en los que se realizó la medición.

Tabla 19. Velocidad de desgaste en la sección cónica inferior.

Descripción		Fecha de inicio 2000	Octubre 2004	Julio 2008	Noviembre 2011
Nivel	Posición	Vel. de desgaste (mpa)			
1	Norte	-	0	-	1.27
	Sur	-	3.67	0.53	1.5
	Oriente	-	-	2.4	0.6
	Poniente	-	2.69	-	0.56
2	Norte	-	-	3.74	3.3
	Sur	-	0	0.27	5.7
	Oriente	-	-	6.4	1.8
	Poniente	-	-	-	-
3	Norte	-	-	0.64	4.5
	Sur	-	-	0	4.2
	Oriente	-	1.71	4	0
	Poniente	-	-	2.55	7.8
4	Norte	-	17.15	-	-
	Sur	-	11.02	-	0.85
	Oriente	-	8.57	-	-
	Poniente	-	-	-	-
5	Norte	-	-	3.07	10.5
	Sur	-	-	3.83	0
	Oriente	-	-	2.43	3
	Poniente	-	-	5.49	-
6	Norte	-	-	-	6.3
	Sur	-	-	-	15.59
	Oriente	-	-	-	2.1
	Poniente	-	-	-	9.6

Las celdas vacías en el 2000 son debidas a que fue el año inicial de medición. Para el 2004 las celdas vacías corresponden a la falta de mediciones en los niveles en el expediente de inspección técnica, existe una velocidad de desgaste crítica el nivel 4 de 17.15 mpa, además en este mismo nivel se encuentran velocidades altas de 11 mpa y 8 mpa, en el resto de los niveles se observaron velocidades de desgaste bajas.

En el año del 2008 al igual que en el año 2004, las celdas vacías se deben a la falta de información en el expediente, en el nivel 2 y en el nivel 5, se encontraron las velocidades de desgaste más altas en este año con valores de 6 y 5 mpa respectivamente, el resto son velocidades de desgaste bajas.

Lo que respecta al año 2011, se tiene una velocidad de desgaste crítica localizada en el nivel 6 de 15.59 mpa. En este año se encuentran algunas velocidades altas aunque no consideradas críticas porque no superan los 15 mpa, localizadas en los niveles 3, 5 y 6, el resto de los valores se consideran velocidades bajas.

En la figura 28 se presenta la gráfica donde se observa la tendencia que tienen los datos de la tabla 18.

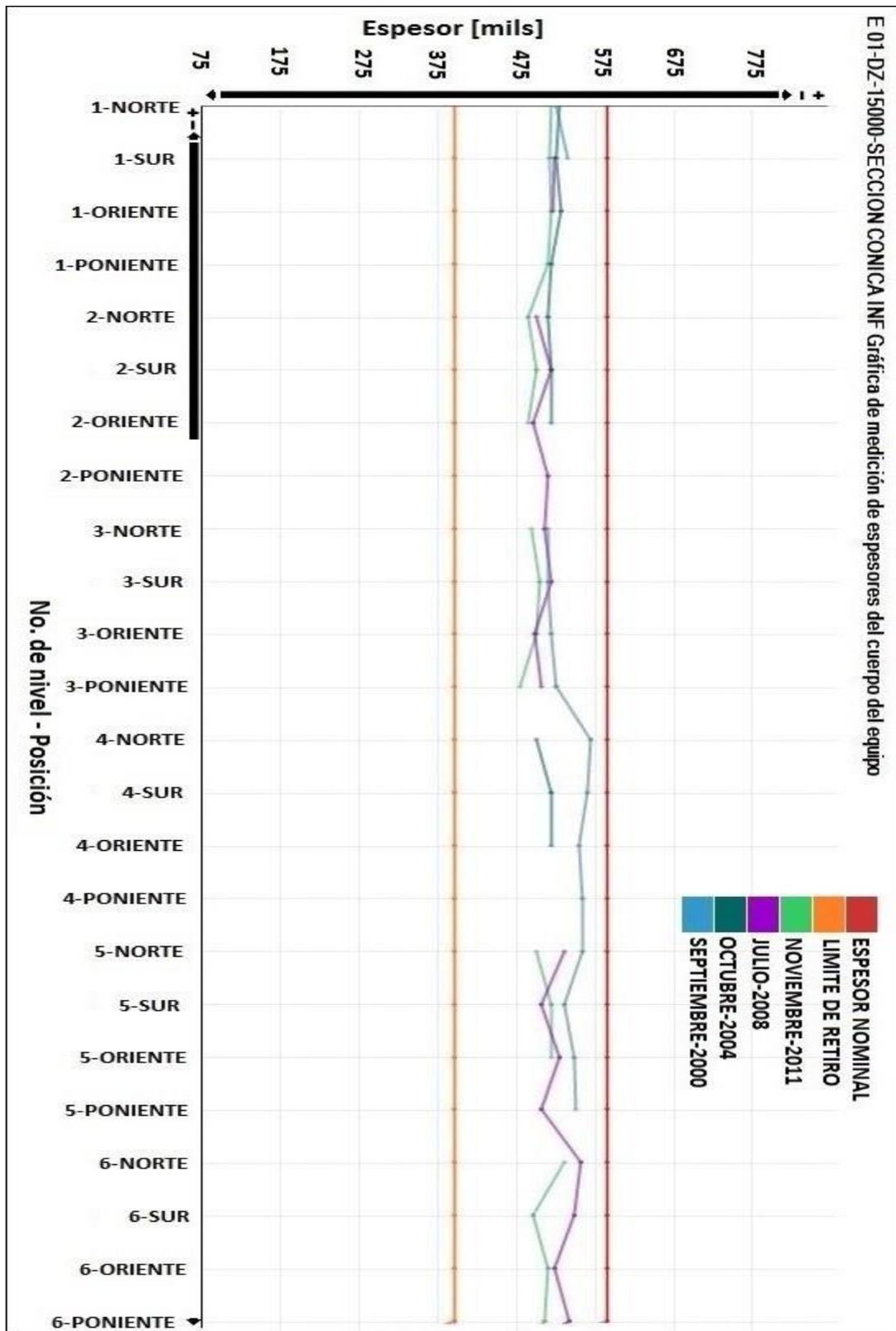


Figura 28. Gráfica de la velocidad de desgaste en la sección cónica inferior de la torre DZ-15000.

De la figura 28 se observa que la falta de datos se ve reflejada en la discontinuidad en las líneas de inspección. Se observa que la información de los espesores se localiza entre el espesor original y el límite de retiro, esto facilita observar la tendencia que tiene el desgaste en esta unidad de control.

En la tabla 20 se muestran los resultados obtenidos después de que SIMECELE realizó el análisis de la información que se tiene en el expediente de inspección técnica.

Tabla 20. Análisis de la medición de espesores de la sección cónica inferior.

Inspección	Septiembre 2000	Octubre 2004	Julio 2008	Noviembre 2011
Vida útil estimada (VUE)	-	12.1	29.1	15.6
Fecha próxima de medición de espesores (FPME)	septiembre 2001	octubre 2008	julio 2013	noviembre 2016
Fecha de retiro probable (FRP)	-	noviembre 2016	agosto 2037	junio 2027

El año inicial corresponde al 2000, es por eso que no se tienen valores de vida útil estimada y fecha de retiro probable, la fecha próxima de medición se estableció al año siguiente de la primera medición.

En el año 2004 a falta de datos y aún con un valor de velocidad de desgaste crítica, la vida útil estimada fue de 12 años, la fecha de próxima medición es 4 años después. La fecha de retiro probable se propuso para 2016, 12 años después.

Para el año 2008, sigue la falta de datos y en este año las velocidades de desgaste con las que se cuenta son bajas, esto genera un crecimiento de la vida útil con respecto al año pasado, siendo de 29 años, como no se tienen velocidades críticas la fecha próxima de medición se estableció de 5 años. La fecha de retiro probable se indicó para 2037, coincidiendo con los años reportados para la vida útil.

La última fecha de inspección, 2011, se reportaron más valores de medición de espesores con respecto a los años anteriores, la vida útil fue de 15 años, existe un decrecimiento de 14 años comparado con la inspección de 2008, para la fecha de próxima medición se indicó de 4 años. La fecha de retiro se estableció para 2027, concordando con la vida útil estimada.

3.7.4 Fondo

Para esta unidad de control, se cuenta con el expediente de inspecciones técnicas con mediciones en cuatro años, (2000, 2004, 2008 y 2011). En el diagrama para la inspección técnica se muestran los niveles de medición que corresponden a esta unidad de control, para este análisis se tomaron en cuenta sólo los niveles que pertenecen al cuerpo. En la tabla 21 se presentan las velocidades de desgaste que se obtuvieron en los años en que se realizaron las mediciones a ésta unidad de control.

Tabla 21. Velocidad de desgaste en el fondo.

Descripción		Fecha de inicio 2000	Octubre 2004	Julio 2008	Noviembre 2011
Nivel	Posición	Vel. de desgaste (mpa)			
1	Norte	-	0	4.27	0
	Sur	-	0	1.33	3.6
	Oriente	-	7.84	0	6.6
	Poniente	-	0.49	0.8	3.9
2	Norte	-	2.69	2.67	0.3
	Sur	-	0	6.4	0
	Oriente	-	2.45	3.74	0
	Poniente	-	3.18	0	0
3	Norte	-	8.08	1.07	4.2
	Sur	-	0.49	2.67	2.1
	Oriente	-	0.49	7.47	4.2
	Poniente	-	5.14	3.74	0
4	Norte	-	2.2	0	5.1
	Sur	-	0.73	3.47	4.5
	Oriente	-	4.41	0.27	3
	Poniente	-	3.67	0.53	7.5

Las celdas vacías de la primera columna son debidas a que fue el año inicial de mediciones, por lo tanto, no se tiene valores para determinar la velocidad de desgaste. En el año 2004, los valores de la velocidad de desgaste fluctúan en los cuatro niveles de medición, ya que hay valores que van de 0 a 8 mpa. Esta fluctuación de los valores en las velocidades de desgaste en todos los niveles continuó en los siguientes años de medición. En la figura 28 se observa la tendencia que tienen los datos registrados en las mediciones de espesores, así como, la velocidad de desgaste.

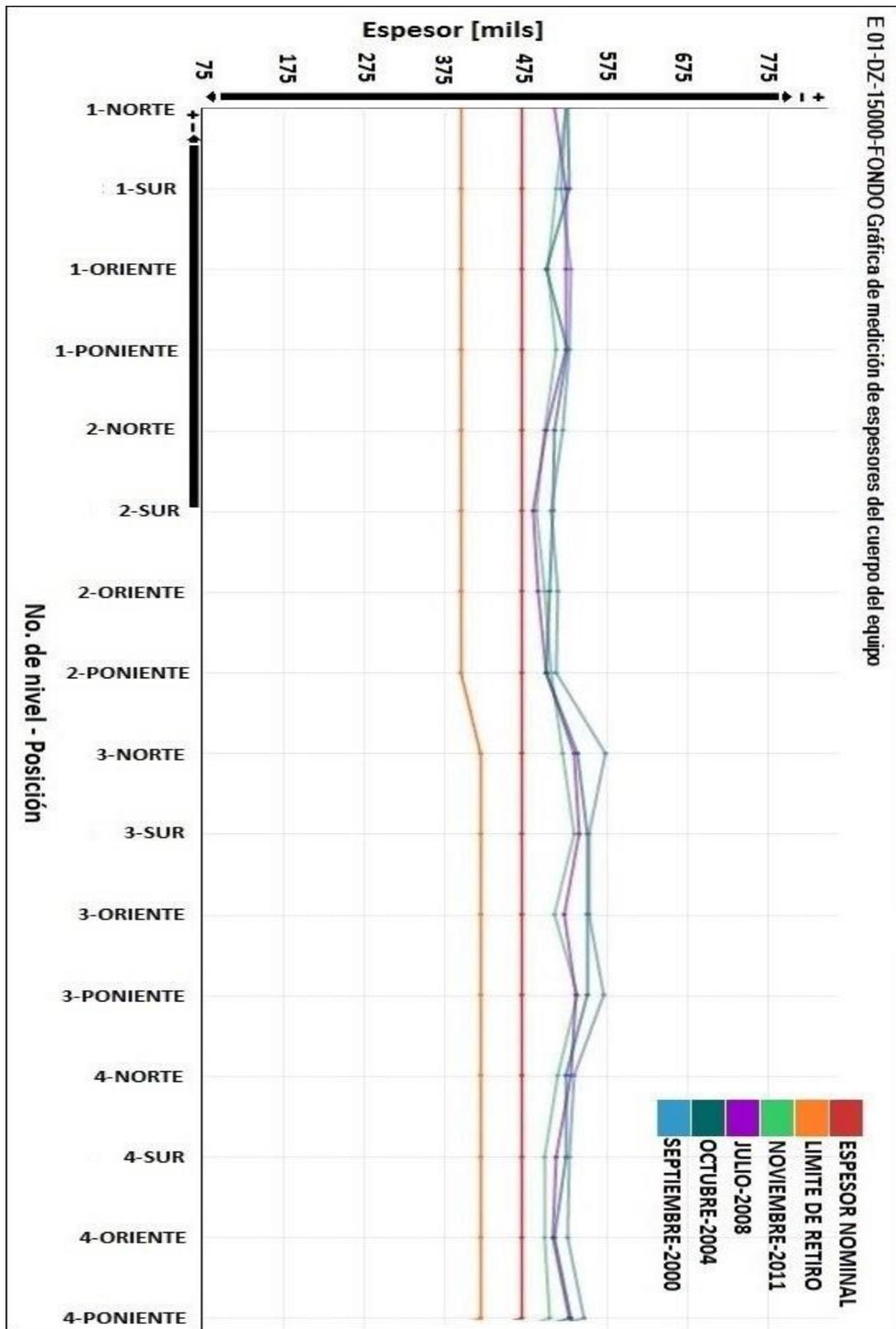


Figura 29. Gráfica de la velocidad de desgaste en el fondo de la torre DZ-15000.

De la gráfica se observa la tendencia que tienen estos valores al existir muchas variaciones en la velocidad de desgaste en todos los años. Lo importante a observar de esta gráfica es que todos los valores están por arriba del espesor original, esto puede atribuirse a un error en el valor reportado del espesor original y límite de retiro.

En la tabla 22 se muestran los valores obtenidos por SIMECELE después de realizar el análisis de los valores de medición reportados en el expediente de inspección técnica para esta unidad de control.

Tabla 22. Análisis de la medición de espesores del fondo.

Inspección	Septiembre 2000	Octubre 2004	Julio 2008	Noviembre 2011
Vida útil estimada (VUE)	-	29.9	28.3	25.7
Fecha próxima de medición de espesores (FPME)	septiembre 2001	octubre 2009	julio 2013	noviembre 2016
Fecha de retiro probable (FRP)	-	septiembre 2034	octubre 2036	julio 2037

El año 2000, fue el año inicial de medición, al no tener velocidades de desgaste no se realizó el análisis para determinar la vida útil estimada y la fecha de retiro, la fecha de próxima medición se propone al año siguiente de que se realizó la medición.

Para el 2004 al tener velocidades de desgaste bajas se obtuvo una vida útil de 30 años, la fecha de próxima medición se mandó a 5 años después, en el 2009. La fecha de retiro probable se estimó para 2034, consistente con los años de la vida útil estimada.

Las velocidades de desgaste en 2008 continuaron bajas, por lo tanto, la tendencia se mantuvo similar a la medición del año anterior, con una vida útil de 28 años, la fecha de próxima medición se estimó en 5 años después de que se realizó esta medición. La fecha de retiro probable se estableció para 2036.

Para el 2011, siendo el último año de medición, las velocidades de desgaste fueron bajas, esto hizo que se conservara la tendencia de los años de mediciones anteriores, ahora la vida útil es de 25 años, la fecha de próxima medición la continúa proponiendo a 5 años. La fecha de retiro probable es para 2037.

3.8 COMPARACIÓN DE LA VELOCIDAD DE DESGASTE ENTRE LAS TORRES DE VACÍO

Con anterioridad se realizó el análisis de la velocidad de desgaste en cada unidad de control de las torres de vacío, por separado, esto con el fin de tener un panorama del desgaste en cada unidad de control.

En éste apartado se presenta la comparación entre las unidades de control de las torres de vacío. Cada unidad de control cuenta con una velocidad de desgaste promedio correspondiente al año en que se realizó la inspección, la comparación se realizó entre las unidades de control con base en estas velocidades promedio, para determinar que material tiene mayor resistencia al desgaste.

3.8.1 Comparación del domo

La unidad de control del domo maneja como fluidos, gasóleo ligero e incondensables, en la tabla 23 se muestran las velocidades de desgaste promedio de cada año en que se realizó la medición de espesores, esto para las unidades de control del domo de la torre de vacío DX-10000 y la torre de vacío DZ-15000.

Tabla 23. Velocidad de desgaste promedio en el domo.

Torres de vacío	Velocidad de desgaste promedio (mpa)		
DX-10000	6.6	15.7	19.6
DZ-15000	2.4	2.2	3.2

Se observa que la torre de vacío DZ-15000 presenta velocidades de desgaste bajas, su velocidad promedio es de 2 y 3 mpa, mientras que la torre de vacío DX-10000 presenta velocidades promedio de 6, 15 y 19 mpa las cuales comparadas con las velocidades de la torre DZ-15000 son mayores. De las velocidades obtenidas para la unidad de control del domo, el material SA 285 Gr. C de la torre de vacío DZ-15000, presentó mayor resistencia al desgaste con los fluidos manejados.

3.8.2 Comparación de la sección cónica superior

La unidad de control sección cónica superior maneja como fluido, gasóleo pesado, en la tabla 24 se muestran las velocidades de desgaste promedio de cada año en que se realizó la medición de espesores, esto para las unidades de control de la sección cónica superior la torre de vacío DX-10000 y la torre de vacío DZ-15000.

Tabla 24. Velocidad de desgaste promedio de la sección cónica superior.

Torres de vacío	Velocidad de desgaste promedio (mpa)		
DX-10000	-	12.4	6.3
DZ-15000	4.7	0.1	2.5

De la tabla 24 para la torre DX-10000 se observa un celda vacía, debido a que para esta unidad de control sólo se realizaron en 3 fechas las mediciones de espesores, con las cuales se realizó el análisis de las velocidades de desgaste, obteniendo dos valores de velocidades promedio en la unidad de control.

Las velocidades de desgaste promedio en la torre de vacío DX-10000 son de 6 y 12 mpa, mientras que en la torre de vacío DZ-15000 las velocidades de desgaste promedio son de 0.1, 2 y 4 mpa, de donde el valor de 0.1 no se tomó en cuenta, ya que para este año sólo se tenían dos mediciones de espesores. De las velocidades de desgaste promedio para la unidad de control de la sección cónica superior, el material SA 285 Gr. C de la torre de vacío DZ-15000 presenta mayor resistencia al desgaste.

3.8.2 Comparación de la sección cónica inferior

La unidad de control sección cónica inferior corresponde a la zona de alimentación, en la cual se maneja como fluido crudo reducido, en la tabla 25 se muestran las velocidades de desgaste promedio de cada año en que se realizó la medición de espesores, esto para la unidad de control sección cónica inferior de la torre de vacío DX-10000 y la torre de vacío DZ-15000.

Tabla 25. Velocidad de desgaste promedio de la sección cónica inferior.

Torres de vacío	Velocidad de desgaste promedio (mpa)		
DX-10000	-	-	22.4
DZ-15000	5.6	2.7	4.2

De la tabla 25 para la torre de vacío DX-10000, presenta un sólo valor de velocidad de desgaste promedio, como se señaló anteriormente, las velocidades de desgaste promedio se obtienen con los datos de medición de espesores, para esta unidad de control en particular sólo se tenían 2 fechas de medición de espesores, con las cuales se llevó a cabo el análisis obteniendo un solo valor de velocidad de desgaste promedio.

Para llevar a cabo la comparación de resistencia de materiales entre las unidades de control sección cónica inferior de las torres de vacío, se debería contar con más mediciones de espesores en la torre de vacío DX-10000, para realizar el análisis de

velocidades de desgaste promedio, de esta manera se tendría un panorama general de la tendencia en el desgaste en la unidad de control de la torre DX-10000, sin embargo con los datos obtenidos se realizó el comparativo.

La torre de vacío DX-10000 cuenta con un valor de velocidad de desgaste promedio de 22 mpa (ésta velocidad es considerada una velocidad de desgaste crítica), mientras que la torre de vacío DZ-15000 tiene velocidades de desgaste promedio de 2, 4 y 5 mpa. Al analizar ambos comportamientos de velocidad de desgaste en las torres se observó que el material de la torre de vacío DZ-15000 presenta mayor resistencia al desgaste en esta unidad de control.

3.8.1 Comparación del fondo

La unidad de control fondo maneja como fluido el residuo de vacío, en la tabla 26 se muestran las velocidades de desgaste promedio de cada año en que se realizó la medición de espesores para esta unidad de control de la torre de vacío DX-10000 y la torre de vacío DZ-15000.

Tabla 26. Velocidad de desgaste promedio del fondo.

Torres de vacío	Velocidad de desgaste promedio (mpa)		
DX-10000	-	2.6	0.8
DZ-15000	2.6	2.4	2.8

La celda vacía, como se ha mencionado, se debe a que para esta unidad de control en la torre de vacío DX-10000 se contaba con 3 fechas de medición de espesores, por tal motivo al realizar el análisis de la velocidad de desgaste se obtuvieron sólo dos valores en la velocidad de desgaste promedio.

La torre de vacío DX-10000 obtuvo velocidades de desgaste promedio de 0.8 y 2.6 mpa, mientras que las velocidades de desgaste promedio de la torre de vacío DZ-15000 fueron de 2.4 a 2.8 mpa. De las velocidades de desgaste obtenidas, se observa que el material SA 515 Gr.70 correspondiente a la torre de vacío DX-10000 presenta mayor resistencia para la unidad de control fondo. Los valores de velocidad de desgaste obtenidos en ambas torres son similares, pero se observa que la velocidad de desgaste promedio en la unidad de control fondo de la torre DZ-15000, comparada con la velocidad de desgaste de la torre DX-10000, se mantiene constante.

Después del análisis comparativo entre las torres de vacío, de las unidades de control se observa que en 3 de ellas (domo, sección cónica superior y sección cónica inferior), el material SA 285 Gr. C presentó mayor resistencia al desgaste, con velocidades de desgaste

promedio que no exceden los 5 mpa. Mientras que para la unidad de control fondo, el material SA 515 Gr. 70 presentó mayor resistencia al desgaste en ésta sección.

El material SA 515 Gr. 70, su uso primordial es en calderas, lo cual podría ser el factor por el cual presento una menor resistencia al desgaste a comparación del material SA 285 Gr. C que tuvo un desgaste más uniforme en toda la torre de vacío.

CAPÍTULO IV CONCLUSIONES Y SUGERENCIAS

La recopilación de información necesaria para llevar a cabo el análisis, presentó la dificultad de falta de datos en las mediciones de espesores en los expedientes. Además para realizar los diagramas de inspección técnica, se tuvo que recurrir a las hojas de diseño mecánico.

Con la información recopilada y analizada en SIMECELE se obtuvieron las gráficas de las velocidades de desgaste, donde se observaron tres cosas en específico:

1. La tendencia que tiene la velocidad de desgaste en cada año que se realizó la medición.
2. Un panorama general de la localización de los datos de velocidad de desgaste, con respecto al espesor original y el límite de retiro.
3. Los datos de mediciones de espesores reportados en los expedientes, ya que la falta de datos se manifestó en la presencia de discontinuidades en los gráficos.

Para un análisis de los resultados más detallado, la información obtenida de SIMECELE se presentó primero por unidad de control para cada torre de vacío, de dónde se obtuvo la vida útil estimada (VUE), fecha próxima de medición de espesores (FPME) y la fecha de retiro probable (FRP). Para después realizar el análisis comparativo entre las torres de vacío y determinar qué material presentó mayor resistencia a la velocidad de desgaste.

Cada planta tiene su propio plan anual para la medición de espesores, es por ello que no fue posible comparar entre años de inspección la velocidad de desgaste promedio. El análisis final se realizó con base en las velocidades de desgaste en cada unidad de control independientemente del año en que se realizó la medición de espesores.

Se cumplió el objetivo principal que fue determinar el material que presenta mayor resistencia a la velocidad de desgaste ante los fluidos que manejan las torres de vacío que corresponde al material SA 285 Gr. C, correspondiente a la torre de vacío DZ-15000 presentó mayor resistencia al desgaste ya que sus velocidades de desgaste promedio son bajas, sin tener bases económicas ya que este no fue el objetivo de ésta tesis, el material SA 285 Gr. C podría ser usado en las torres de vacío para plantas preparadoras de carga.

ANEXO A. Análisis estadístico formal

Es el análisis que se lleva a cabo matemáticamente, para obtener el desgaste máximo ajustado, vida útil estimada, fecha de próxima medición y fecha de retiro probable de una unidad de control.

- Cálculo de la velocidad de desgaste por punto (d)

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

Dónde:

d = Velocidad de desgaste del punto [mpa]

ff = Fecha de la medición más reciente – ef [años]

fi = Fecha de medición anterior – ei [años]

ei = Espesor obtenido en la fecha fi [mils]

ef = Espesor obtenido en la fecha ff [mils]

- Velocidad de desgaste promedio (D_{prom}) y velocidad máxima ajustada (D_{max})

$$D_{prom} = \frac{d1 + d2 + d3 + d4 + \dots + dn}{n}$$

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

Dónde:

$d1, d2, d3, \dots, dn$ = Velocidades de desgaste correspondientes a cada punto [mpa]

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

D_{prom} = Promedio aritmético de las velocidades de desgaste [mpa]

D_{max} = Velocidad de desgaste máxima ajustada estadísticamente [mpa]

1.28 = valor de la “ t ” Student para una población infinita con 90% confiabilidad

- Determinación de la vida útil estimada (VUE)

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

- Determinación de la fecha de próxima medición de espesores

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

- Determinación de la fecha de retiro probable (FRP)

$$FRP = fk + VUE$$

Dónde:

Lr=Límite de retiro [mils]

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

fk = Fecha de última medición [años]

ANEXO B. Inspecciones técnicas de la torre DX-10000

➤ DOMO

Tabla 27. Expediente de inspecciones técnicas del domo.

Descripción			ago-05	ene-08	jul-09	ago-11
Nivel	Datos	Posición	Espesor [mils]	Espesor [mils]	Espesor [mils]	Espesor [mils]
1	Espesor nominal: 625 Límite de retiro: 507	Norte	925	-	-	650
		Sur	923	802	-	627
		Oriente	912	908	-	636
		Poniente	937	-	-	637
2	Espesor nominal: 625 Límite de retiro: 507	Norte	545	545	518	425
		Sur	608	592	665	615
		Oriente	557	592	540	529
		Poniente	545	550	520	519
3	Espesor nominal: 625 Límite de retiro: 507	Norte	611	603	576	555
		Sur	627	632	591	550
		Oriente	627	623	605	599
		Poniente	634	619	581	540
4	Espesor nominal: 625 Límite de retiro: 507	Norte	588	590	594	550
		Sur	557	576	618	541
		Oriente	593	562	597	580
		Poniente	603	593	629	580

➤ SECCIÓN CÓNICA SUPERIOR

Tabla 28. Expediente de inspecciones técnicas de la sección cónica superior.

Descripción			ago-05	ene-08	ene-11
Nivel	Datos	Posición	Espesor [mils]	Espesor [mils]	Espesor [mils]
1	Espesor nominal: 875 Límite de retiro: 547	Norte	848	840	836
		Sur	834	833	817
		Oriente	843	839	824
		Poniente	847	848	834
2	Espesor nominal: 875 Límite de retiro: 547	Norte	848	841	837
		Sur	834	831	797
		Oriente	843	837	799
		Poniente	847	844	816
3	Espesor nominal: 875 Límite de retiro: 547	Norte	865	862	842
		Sur	849	826	816
		Oriente	837	854	831
		Poniente	864	862	842
4	Espesor nominal: 875 Límite de retiro: 547	Norte	886	756	-
		Sur	879	748	-
		Oriente	868	790	-
		Poniente	867	786	-

➤ SECCIÓN CÓNICA INFERIOR

Tabla 29. Expediente de inspecciones técnicas de la sección cónica inferior.

Descripción			jul-09	ago-11
Nivel	Datos	Posición	Espesor [mils]	Espesor [mils]
1	Espesor nominal: 875 Límite de retiro: 547	Norte	872	870
		Sur	871	869
		Oriente	871	865
		Poniente	863	863
2	Espesor nominal: 875 Límite de retiro: 547	Norte	1287	1119
		Sur	1299	1198
		Oriente	1299	1192
		Poniente	1299	1177
3	Espesor nominal: 875 Límite de retiro: 547	Norte	-	-
		Sur	-	-
		Oriente	-	-
		Poniente	-	-
4	Espesor nominal: 875 Límite de retiro: 547	Norte	836	865
		Sur	883	860
		Oriente	884	869
		Poniente	884	871

➤ FONDO

Tabla 30. Expediente de inspecciones técnicas del fondo.

Descripción			jun-01	nov-05	jul-11
Nivel	Datos	Posición	Espesor [mils]	Espesor [mils]	Espesor [mils]
1	Espesor nominal: 375 Límite de retiro: 257	Norte	373	-	372
		Sur	364	-	362
		Oriente	366	-	364
		Poniente	369	-	359
2	Espesor nominal: 375 Límite de retiro: 257	Norte	376	374	370
		Sur	370	369	360
		Oriente	368	364	365
		Poniente	379	371	367
3	Espesor nominal: 375 Límite de retiro: 257	Norte	648	637	618
		Sur	645	623	641
		Oriente	624	607	603
		Poniente	621	593	590

ANEXO C. Inspecciones técnicas de la torre DZ-15000

➤ DOMO

Tabla 31. Expediente de inspecciones técnicas del domo.

Descripción			sep-00	nov-04	jul-08	nov-11
Nivel	Datos	Posición	Espesor [mils]	Espesor [mils]	Espesor [mils]	Espesor [mils]
1	Espesor nominal: 512 Límite de retiro: 450	Norte	496	-	-	463
		Sur	516	-	-	375
		Oriente	489	-	-	379
		Poniente	510	-	-	460
2	Espesor nominal: 512 Límite de retiro: 450	Norte	519	510	440	459
		Sur	548	540	415	448
		Oriente	669	599	420	452
		Poniente	514	510	415	439
3	Espesor nominal: 512 Límite de retiro: 450	Norte	526	520	509	490
		Sur	524	520	531	520
		Oriente	527	523	520	525
		Poniente	523	520	514	500
4	Espesor nominal: 512 Límite de retiro: 450	Norte	-	498	489	480
		Sur	-	519	541	520
		Oriente	-	516	535	525
		Poniente	-	500	492	490

➤ SECCIÓN CÓNICA SUPERIOR

Tabla 32. Expediente de inspecciones técnicas de la sección cónica superior.

Descripción			sep-00	oct-04	jul-08	nov-11
Nivel	Datos	Posición	Espesor [mils]	Espesor [mils]	Espesor [mils]	Espesor [mils]
1	Espesor nominal: 512 Límite de retiro: 450	Norte	529	518	517	520
		Sur	519	520	-	500
		Oriente	525	510	511	500
		Poniente	530	515	-	505
2	Espesor nominal: 512 Límite de retiro: 450	Norte	536	-	-	515
		Sur	527	-	-	510
		Oriente	529	-	-	500
		Poniente	510	-	-	500
3	Espesor nominal: 590 Límite de retiro: 395	Norte	-	547	-	510
		Sur	566	529	-	515
		Oriente	554	539	-	520
		Poniente	-	541	-	520
4	Espesor nominal: 590 Límite de retiro: 395	Norte	-	547	-	-
		Sur	556	529	-	510
		Oriente	554	520	-	515
		Poniente	-	532	-	520

➤ SECCIÓN CÓNICA INFERIOR

Tabla 33. Expediente de inspecciones técnicas de la sección cónica inferior.

Descripción			sep-00	oct-04	jul-08	nov-11
Nivel	Datos	Posición	Espesor [mils]	Espesor [mils]	Espesor [mils]	Espesor [mils]
1	Espesor nominal: 590 Límite de retiro: 395	Norte	525	529	-	520
		Sur	540	525	523	518
		Oriente	-	531	522	520
		Poniente	530	519	-	515
2	Espesor nominal: 590 Límite de retiro: 395	Norte	-	515	501	490
		Sur	520	520	519	500
		Oriente	-	520	496	490
		Poniente	-	-	516	-
3	Espesor nominal: 590 Límite de retiro: 395	Norte	515	-	510	495
		Sur	515	-	519	505
		Oriente	520	513	498	500
		Poniente	526	-	506	480
4	Espesor nominal: 590 Límite de retiro: 395	Norte	570	500	-	-
		Sur	565	520	-	514
		Oriente	555	520	-	-
		Poniente	559	-	-	-
5	Espesor nominal: 590 Límite de retiro: 395	Norte	559	-	535	500
		Sur	536	-	506	520
		Oriente	549	-	530	520
		Poniente	550	-	507	-
6	Espesor nominal: 590 Límite de retiro: 395	Norte	-	-	557	536
		Sur	-	-	549	497
		Oriente	-	-	523	516
		Poniente	-	-	542	510

➤ FONDO

Tabla 34. Expediente de inspecciones técnicas del fondo.

Descripción			sep-00	oct-04	jul-08	nov-11
Nivel	Datos	Posición	Espesor [mils]	Espesor [mils]	Espesor [mils]	Espesor [mils]
1	Espesor nominal: 470 Límite de retiro: 395	Norte	526	527	511	526
		Sur	519	530	525	513
		Oriente	532	500	525	503
		Poniente	530	528	525	512
2	Espesor nominal: 470 Límite de retiro: 395	Norte	521	510	500	499
		Sur	506	509	485	489
		Oriente	514	504	490	499
		Poniente	513	500	500	506
3	Espesor nominal: 470 Límite de retiro: 420	Norte	573	540	536	522
		Sur	554	552	542	535
		Oriente	554	552	524	510
		Poniente	572	551	537	540
4	Espesor nominal: 470 Límite de retiro: 420	Norte	535	526	531	514
		Sur	529	526	513	498
		Oriente	528	510	509	499
		Poniente	547	532	530	505

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Iniciativas ATYCA, Miner Y F212. (1997). *La seguridad industrial, fundamentos y aplicaciones*. Ed. Fraternidad mupresa.
- [2] Storch José M. García Tomas. (2008). *Seguridad industrial en plantas químicas y energéticas*. (2ª edición). España. Ed. Díaz de Santos.
- [3] Center for Chemical Process Safety. (1995). *Plant Guidelines for Technical Management of Chemical Process Safety*. USA. American Institute of Chemical Engineers
- [4] NRF-274-PEMEX-2012. (2012). *Evaluación de la integridad mecánica de tuberías y equipos estáticos*.
- [5] Amendola, Luis José. (2006). *Gestión de proyectos de activos industriales*. España. Editorial de la UPV.
- [6] Ramírez Cavassa César. (2005). *Seguridad Industrial: Un enfoque integral*. (2ª edición). México. Ed. Limusa.
- [7] Vázquez, Alfonso. Damborenea, Juan. (2001). *Ciencia e Ingeniería de la superficie de los materiales metálicos*. España. Ed. CSIC.
- [8] Degarmo, E. Paul; Black, J T.; Kohser, Ronald A. (2007), *Materials and Processes in Manufacturing* (10a edición), Wiley
- [9] Callister, William. (1995). *Introducción a la ciencia e ingeniería de los materiales*. España. Ed Reverté.
- [10] ASME Boiler and Pressure Vessel Code II. Part A. Ferrous Material Specifications.
- [11] Hellier Charles. (2003). *Handbook of nondestructive evaluation*. USA. Ed. Mc Graw-Hill.
- [12] International Atomic Energy Agency (2001). *Guidebook for the fabrication of non-destructive testing (NDT) test specimens*. Vienna.
- [13] Tomasi Wayne (2003). *Sistemas de comunicaciones eléctricas*. (4ª edición). México. Ed. Prentice Hall.
- [14] Wauquier J.P. (2004) *El refinado del petróleo*. España Ed. Díaz de Santos.
- [15] DG-SASIPA-IT-0204. *Guía para el registro, análisis y programación de la medición preventiva de espesores*.
- [16] FACULTAD DE QUÍMICA UNAM- CEASPA-MUS-003 (2009) *Manual de usuario del SIMECELE*.

[17] Gary James. Handwerk Glenn (2001). *Petroleum Refining: Technology and Economics*. (4ª edición) USA. Ed. Marcel Dekker Inc.