

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



**“EVALUACIÓN DE LA APTITUD PARA EL SERVICIO DE ACUERDO A
LA NORMA API 579-1_ASME FFS-1 DEL RECIPIENTE HORIZONTAL
PRESURIZADO TKAY-2640, AFECTADO POR CORROSIÓN POR
PICADURA”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL
Para optar el Título Profesional de
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR EL BACHILLER
ZAMORA DIAZ, FREDI

Villa El Salvador
2017

DEDICATORIA

A mi pequeña hija Xiara Valentina,
a mis padres María y Eleodoro, y a
mi abuela Clara.

AGRADECIMIENTOS

A mi madre, por darme la vida y cuidarme con el mayor amor posible, por siempre estar a mi lado pese a mis errores y malas aptitudes, porque gracias a su tolerancia, dedicación y consejos me enseñó el camino correcto por el cual conducirme a lo largo de la vida, porque ella fue el principal motivo por el cual me decidí a culminar la carrera universitaria, por su amor incondicional en los altos y bajos de la vida.

A mi padre, porque a pesar de todo siempre fue el consejero y amigo durante mi vida, por sus peculiares lecciones de vida, por estar siempre a mi lado en buenas y malas, por enseñarme a luchar siempre por los objetivos que uno se propone, por mostrarme que la familia es el mejor respaldo que uno puede tener, por su amor rudo muy a su estilo.

A mi pequeña hija, por enseñarme que hay lazos y sentimientos más fuertes que todo, por ser el principal motivo por el que me decidí a obtener el título, por el amor y las lecciones de vida aprendidas y por aprender.

A mi familia por el respaldo que siempre me han brindado, el apoyo y la unión que siempre los caracterizó.

A mi novia, por apoyarme en los retos que la vida nos presenta.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	viii
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1. Descripción de la realidad problemática.....	1
1.2. Justificación del Proyecto	1
1.3. Delimitación del Proyecto.....	2
1.4. Formulación del problema	3
1.4.1. Problema general.....	3
1.4.2. Problemas específicos	3
1.5. Objetivo.....	3
1.5.1. Objetivo general	3
1.5.2. Objetivos específicos	3
CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	
2.1. Antecedentes de la Investigación.....	5
2.2. Marco teórico	7
2.2.1. Recipiente a Presión.....	7
2.2.2. Presión de Diseño.....	7
2.2.3. Presión de Servicio.....	7
2.2.4. Máxima Presión de Trabajo Admisible (MWAP)	8
2.2.5. Corrosión.....	9
2.2.6. Corrosión por Picaduras	10
2.2.7. Métodos de Identificación de la Corrosión por Picadura.....	12
2.2.7.1. Inspección Visual.....	12
2.2.7.2. Ensayos no Destructivos	14
a. Ultrasonido Industrial (UT)	14
b. Radiografía Industrial (RT)	15
2.2.8. API 579-1_ASME FFS-1 / Aptitud Para el Servicio	15
2.2.9. Clasificación de los Mecanismos de Daño según API 579	16
2.2.10 Niveles de Evaluación.....	21
2.2.10.1. Evaluación Nivel 1.....	21
2.2.10.2. Evaluación Nivel 2.....	21

2.2.10.3. Evaluación Nivel 3.....	22
2.2.11. Esfuerzo Admisible.....	22
2.2.11.1. Factor de Esfuerzo Remanente.....	23
2.2.12. Futura Corrosión Admisible.....	25
2.2.13. Velocidad de Corrosión.....	26
2.3. Marco Conceptual.....	26
CAPITULO III: DISEÑO/DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA, MODELO O SISTEMA	
3.1. Análisis del Modelo, Herramienta o Sistema.....	29
3.1.1. Etapas de una Evaluación FFS.....	29
3.1.2. Alcance y Limitaciones de la Evaluación.....	31
3.1.3. Datos Requeridos.....	34
3.1.3.1. Datos Originales del Diseño del Equipo.....	34
3.1.3.2. Historial de Operación y Mantenimiento.....	35
3.1.3.3. Datos Requeridos para la Evaluación FFS.....	36
3.1.4. Desarrollo de la Metodología en los Niveles de Evaluación.....	39
3.1.4.1. Evaluación Nivel 1.....	39
3.1.4.2. Evaluación de Vida Remanente.....	47
3.1.4.3. Aplicación de los Resultados de la Evaluación de la Vida Remanente.....	49
3.2. Construcción, Diseño o Simulación de la Herramienta.....	50
3.2.1. Descripción del Componente TKAY-2640.....	50
3.2.1.1. Características de Diseño y Operación.....	51
3.2.2. Evaluación Nivel 1.....	52
3.2.3. Determinando la Vida Remanente.....	55
3.3. Revisión y Consolidación de Resultados.....	58
3.3.1. Revisión de Resultados.....	58
CONCLUSIONES.....	60
RECOMENDACIONES.....	60
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
ANEXOS.....	63

LISTADO DE FIGURAS

FIGURA 2.1: Corrosión externa e interna.....	10
FIGURA 2.2: Facto de picadura	11
FIGURA 2.3: Tipos de forma de picadura	12
FIGURA 2.4: Ejemplo de fotografía de inspección visual.....	13
FIGURA 2.5: Ejemplo de medición de picaduras	13
FIGURA 2.6: Esquema general del proceso UT	14
FIGURA 2.7: Proceso de Toma Radiográfica	15
FIGURA 2.8: Procedimiento de evaluación para diferentes tipos de daño según API 579.....	17
FIGURA 3.1: Medición de la distancia entre par de picaduras (p) y el ángulo (θ) del par con respecto al eje longitudinal del recipiente.....	37
FIGURA 3.2: Medición del diámetro (d) y profundidad (w) de los diferentes tipos de formación de picaduras	38
FIGURA 3.3: Picadura localizada en una región de área delgada.....	38
FIGURA 3.4: Gráfico para Grado 1	41
FIGURA 3.5: Gráfico para Grado 2	42
FIGURA 3.6: Gráfico para Grado 3	43
FIGURA 3.7: Gráfico para Grado 4	44
FIGURA 3.8: Gráfico para Grado 5	45
FIGURA 3.9: Gráfico para Grado 6	46
FIGURA 3.10: Fotografía de la zona afectada por la corrosión por picaduras	53
FIGURA 3.11: Gráfica de la Vida Remanente presión vs tiempo.....	57
FIGURA 3.12: Gráfica de la Vida Remanente R_{wt} vs tiempo	57

LISTADO DE TABLAS

TABLA 2.1: Velocidad de Corrosión según el tipo de ambiente	9
TABLA 2.2: Clasificación de defectos según API-579-1	18
TABLA 2.3: Factor recomendado del esfuerzo remanente admisible basado en el código de diseño	25
TABLA 2.4: Velocidad de corrosión según el tipo de ambiente	26
TABLA 3.1: Temperatura Máxima de operación dependiendo del material.....	33
TABLA 3.2: RSF para Grado 1	41
TABLA 3.3: RSF para Grado 2	42
TABLA 3.4: RSF para Grado 3	43
TABLA 3.5: RSF para Grado 4	44
TABLA 3.6: RSF para Grado 5	45
TABLA 3.7: RSF para Grado 6	46
TABLA 3.8: Datos del placa del recipiente	51
TABLA 3.9: Datos del TJAY-2640	52
TABLA 3.10: Tabulación para determinar W_f y $MAWP$	56

INTRODUCCIÓN

Para llevar a cabo el proyecto sobre la Metodología de Evaluación de la Aptitud para el Servicio según la norma API 579-1_ASME FFS-1, en el recipiente a presión horizontal TKAY – 2640 ubicado en el área de Almacenamiento NGL de la planta Malvinas Proyecto Camisea, asimismo, para un estudio sistematizado del problema, el proyecto se ha estructurado de la siguiente manera. En el Capítulo I: Planteamiento del problema. Aquí se exponen la Descripción de la Realidad Problemática, Justificación del Problema, Delimitación del Proyecto, Formulación del Problema y Objetivos. En el Capítulo II: Marco Teórico. Aquí se exponen los Antecedentes de la Investigación, Bases Teóricas y Marco Conceptual. Capítulo III: Metodología de Evaluación de Aptitud para el servicio según norma API 579-1_ASME FFS-1, Aquí se exponen el Análisis de la Metodología, Evaluación Nivel 1 y Consolidación de Resultados. Finalmente, se redactan las CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES, BIBLIOGRAFIA y ANEXOS.

1. CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la Realidad Problemática

En la evaluación del mecanismo de daño en el recipiente, expuesta en este trabajo, se tiene en consideración que los problemas surgen a partir de la falta o poco conocimiento de la metodología descrita en la norma API 579-1_ASME FFS-1 para la evaluación de los diferentes mecanismos de daño que afectan los recipientes sometidos a presión.

1.2. Justificación del proyecto

El presente trabajo se lleva a cabo para desarrollar una metodología adecuada para la evaluación de recipientes a presión que presentan uno de los defectos típicos que se encuentran en la industria (corrosión por picaduras) y la importancia que puede llegar a tener el uso de las evaluaciones FFS, las cuales nos permiten determinar, evaluar y tomar decisiones desde un ámbito más ingenieril frente a la presencia de este tipo de deterioro, evitando que el desconocimiento de la condición real del recipiente y los límites de aceptación permisibles, lleven a la decisión de reparar, reemplazar y/o dejarlo fuera de servicio de manera innecesaria en algunos casos, generando pérdidas económicas considerables.

A pedido del área de mantenimiento de la empresa PlusPetrol Perú, se realizó la evaluación de aptitud para el servicio del recipiente horizontal presurizado TKAY-2640 que presenta corrosión por picadura en la 2da plancha

de la envolvente, esta condición fue detectada durante la inspección interna realizada por la empresa ADEMINSAC, como parte del plan de inspección RBI 2016.

Los resultados de la inspección fueron utilizados para realizar la evaluación necesaria para determinar si el componente cumple con los parámetros establecidos en la norma API 579-1_ASME FFS-1 Parte 6, evaluación de la aptitud para el servicio de elementos sometidos a presión que presentan daño de corrosión por picaduras, y así determinar si continua en servicio o se procederá a su reparación o reemplazo.

1.3. Delimitación del proyecto

1.3.1. Conceptual

La metodología, cálculos y evaluación de resultados del presente proyecto están regidos bajo las Normas API, estas normas son la base para la inspección de equipos y sistemas de tuberías en la industria petroquímica.

1.3.2. Espacial

El proyecto se desarrolló en la Planta Malvinas del Proyecto Camisea ubicado en el distrito Echarati, provincia La Concepción, Región Cusco.

1.3.3. Temporal

El periodo de duración del proyecto comprende entre los meses de febrero y mayo del 2016.

1.4. Formulación del Problema

1.4.1. Problema General

- ¿Cómo afectará la aptitud para el servicio del recipiente horizontal presurizado TKAY-2640 la corrosión por picaduras?

1.4.2. Problemas Específicos

- ¿Cuál será la metodología adecuada para determinar la aptitud para el servicio de componentes afectados por corrosión por picaduras?
- ¿Cuáles serán los resultados de la evaluación de la aptitud para el servicio del recipiente horizontal presurizado TKAY-2604?
- ¿Cuál será la vida remanente y el intervalo de inspección, si se determina que el recipiente horizontal presurizado puede seguir en servicio?

1.5. Objetivo

1.5.1. Objetivo General

Realizar la evaluación de aptitud para el servicio del recipiente horizontal presurizado TKAY-2640, que presenta pérdida localizada de material.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Desarrollar metodología de evaluación adecuada para el caso de corrosión por picaduras presente en el recipiente horizontal presurizado TKAY-2640.

- Evaluar el daño por corrosión por picaduras en el recipiente horizontal TKAY-2640 y determinar su aptitud para el servicio.
- Determinar la vida remanente y los intervalos de inspección necesarios para monitorear el desarrollo del daño en el componente.

2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

21. Antecedentes de la Investigación

Yaselis Cotes Blanco y Juan Ortiz Rodríguez (Agosto 2010), Evaluación de integridad al recipiente a presión (Drum D105) ubicado en campo escuela colorado con base en la norma API510; Universidad Industrial de Santander; en sus conclusiones manifiesta: (a) es fundamental llevar un historial de falla, reparación, mantenimiento e inspección, ya que estos facilitan el desarrollo de la evaluación de integridad de los equipos (p 71). (b) es necesario conocer las características de diseño, condiciones de operación y fluido que almacenan los equipos para determinar los mecanismos de daños por los cuales pueden fallar y hacer análisis de las variables que pueden llevar a estos deterioros, para hacer posible un control efectivo mediante el monitoreo de dichas variables (p 719).

Gian Giovanni Gil Pingo (junio 2016), Evaluación de la capacidad para el servicio de una tubería, sometida a presión interna, con presencia de pérdida localizada de material, en el marco de la norma API-579-1/ASME FFS-1, Pontificia Universidad católica del Perú; en sus conclusiones manifiesta: (a) Según la evaluación desarrollada para el caso del defecto del LTA, se concluye que una evaluación FFS nivel 1 sirve para poder obtener un diagnóstico preliminar, ya que arroja resultados conservadores. Sin embargo, si se quiere un diagnóstico más preciso de la condición actual del componente se debe realizar una evaluación FFS nivel 2, la cual requiere de mayor

información de entrada pero arroja resultados más exactos y cercanos a la realidad (p 90). (b) la implementación de esta metodología en la industria peruana puede generar consecuencias tan positivas como la prevención de accidentes, prevención de pérdidas de infraestructura y por último dotar al ingeniero de un procedimiento que le permita tomar decisiones consistentes y sustentadas que eviten gastos en reparaciones innecesarias o incluso en el reemplazo del componente evaluado cuando este aún tiene la posibilidad de continuar operando (p 90). (c) Se concluye que el conocimiento de los mecanismos de daños es fundamental no solo para poder identificar el tipo de defecto que presenta el componente, sino también para poder determinar el método de remediación en caso de ser necesario o al menos tomar medidas para reducir la velocidad de desgaste del componente (p 91).

Renato Cárdenas Postigo (diciembre 2015), evaluación de la aptitud para el servicio de una tubería, sujeta a presión, con presencia de corrosión por picadura, según norma API 579-1/ASME FFS-1^a, Pontificia Universidad católica del Perú, en sus conclusiones manifiesta: (a) Con la metodología desarrollada se pudo definir que para la tubería A53, a pesar de contar con los daños de corrosión por picadura, puede continuar en operación pasando con éxito los niveles de evaluación para los tipos de picadura simulados (p 98). (b) La simulación del incremento de los daños ayudo a estimar la vida remanente y a establecer el tiempo de operación con el daño o si se debe realizar un reemplazo o remediación, o conocer el periodo para la próxima inspección (p 98).

22 MARCO TEÓRICO

2.2.1. Recipiente a Presión

Se considera como un recipiente a presión a cualquier vasija cerrada que sea capaz de almacenar un fluido a presión manométrica, ya sea presión interna o vacío, independientemente de su forma y dimensiones.

2.2.2. Presión de Diseño.

Es la presión máxima, interna o externa, utilizada para determinar los espesores mínimos de un recipiente. Es recomendada para el diseño del recipiente y sus accesorios, ya que es una presión superior a la de operación. La presión de diseño es superior a la de trabajo en un 10%. La presión del fluido que contendrá el recipiente debe ser tomada en cuenta para determinar la presión de diseño.

2.2.3. Presión de Servicio

Es identificada como la presión de operación, se define como la presión manométrica a la cual estará sometido un recipiente en condiciones normales de operación. La presión de operación puede llegar a ser máxima, siendo ésta la presión prevista en el sistema debido a desviaciones de la operación normal. La máxima presión de operación debe ser al menos 5% mayor y la presión de operación mínima es la presión más baja que puede tener el recipiente, basada en las condiciones esperadas.

2.2.4. Máxima Presión de Trabajo Admisible (MWAP)

Es la máxima presión que el recipiente puede soportar en condiciones seguras, normalmente coincide con la presión de diseño.

La presión máxima admisible de trabajo no se determina normalmente para recipientes nuevos, pero se usa en recipientes que van a ser redimensionados. Cuando no se realizan cálculos de dicha presión, la presión de diseño puede ser usada como la presión de trabajo máximo permisible.

La máxima presión admisible de trabajo se establece a partir de la mayor presión donde el punto más débil del componente puede soportarla a una temperatura específica, durante la operación normal. Este es un importante factor que se identifica en el recipiente y sus componentes para poder determinar la presión interna y cargas suplementarias que deben soportar durante el funcionamiento. La presión interna a la que está sujeta el elemento puede ser afectada por los siguientes factores:

- a. El estado de desgaste por corrosión.
- b. Por una temperatura determinada.
- c. La posición normal de trabajo; horizontal, vertical o inclinada.
- d. Bajo el efecto de otras cargas (cargas de viento, presión externa, presión hidrostática, entre otros) adicionales a la presión interna.

2.2.5. Corrosión [1]

Se define como el desgaste de un metal o varios metales debido a un ataque químico o electroquímico que es el resultado de una reacción al ambiente en el que se encuentra. En este proceso el metal se va disolviendo como iones y los productos sólidos pueden o no formarse mediante una reacción subsecuente.

Hay que destacar que la corrosión no siempre es un defecto indeseado. Por ejemplo, en algunas ocasiones, la corrosión es aprovechada como proceso de acabado superficial de metales. Sin embargo, las dificultades ocurren cuando por diversos factores la corrosión es desigual a lo largo de la superficie o excede los límites esperados.

Lo que complica a la corrosión, es el papel determinante que juegan factores tales como la geometría del componente, su composición, la rapidez de flujo (ver Tabla 1.1), variables climáticas como la temperatura (la corrosión a elevadas temperaturas es más agresiva que la corrosión a temperatura ambiente o bajas temperaturas), humedad intermitente, etc.

Tabla 2.1 Velocidad de corrosión según el tipo de ambiente [2]

Tipos de Ambiente	Velocidad de corrosión (mm por año)
Ambiente marino	0.504
Ambientes industriales	0.127 - 0.254
Ambientes con precipitaciones moderadas	0.0254 – 0.0762
Ambientes secos	< 0.0254

2.2.6. Corrosión por Picaduras [1]

Ciertos metales y aleaciones, que deben su estabilidad a la delgada capa pasivante de óxido, son los más propensos a desarrollar picaduras. Estas se originan en las imperfecciones superficiales y en los lugares expuestos a daño mecánico, bajo condiciones en que la película es incapaz de regenerarse. Por lo general, las zonas mal aireadas son más susceptibles a este tipo de corrosión, también puede producir fallas estructurales en componentes por perforación y por debilitamiento.



Fig. 2.1 Corrosión Externa e Interna

Las picaduras, que pueden ser de forma superficial o profunda (Ver figura 2.1), comienzan a desarrollarse en las zonas donde el metal produce un aumento local de su velocidad de corrosión. Si se produce corrosión sobre un área de metal relativamente pequeña que actúa como ánodo, el ataque progresa en profundidad, y la picadura resultante se describe como profunda, si, por el contrario, el área de ataque es más amplia, y no tan

profunda, la picadura se denomina superficial. La magnitud de las picaduras se expresa generalmente por medio del término factor de picadura, el cual relaciona la profundidad media de las picaduras y el promedio perdido por corrosión generalizada (Ver figura 2.2).

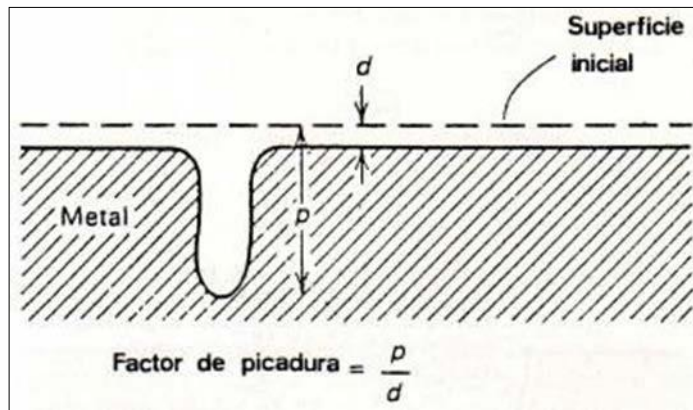


Fig. 2.2 Factor de picadura [3]

Las picaduras constituyen una forma muy perjudicial de corrosión; a pesar de que el daño producido en la superficie del metal atacado es pequeño, las probabilidades de falla son mayores, en particular cuando el metal está destinado a contener fluidos (Tubos de intercambiadores, tuberías enterradas, recipientes de la industria química, etcétera), ya que existe el riesgo de una rápida perforación. Una de las primeras cuestiones a ser planteadas es determinar dónde se originan las picaduras y qué elementos o defectos en la superficie proporcionan los lugares para su iniciación.

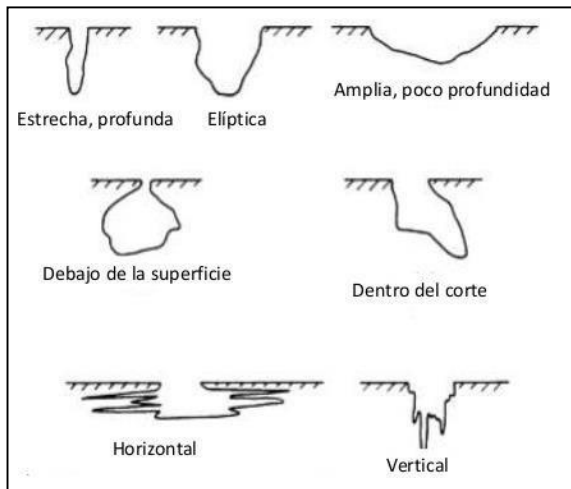


Fig. 2.3 Tipos de forma de picaduras [4]

La picadura compone una pila local en la que la corriente fluye a través del electrolito desde la región anódica (Fondo de la picadura) a la región catódica colindante. Como el área anódica central es pequeña, la densidad de corriente es elevada, lo que explica las altas velocidades de penetración, que forman diferentes tipos de picadura como se esquematiza en la figura 2.3.

2.2.7. Métodos de identificación de la corrosión por picadura

2.2.7.1. Inspección Visual

La inspección visual es el primer método utilizado para la detección de discontinuidades y defectos de forma directa en los componentes examinados. Se realiza en ambientes bien iluminados para determinar la localización y dimensiones del área afectada.



Fig. 2.4 Ejemplo de fotografía de inspección visual

Esta técnica no requiere de equipamiento especial. Para el caso de corrosión por picaduras seguir las siguientes recomendaciones.

- a. Para exponer la picadura, utilizar los procedimientos de limpieza explicados en la ASTM G1. Practica para la preparación, limpieza y evaluación de especímenes de corrosión.
- b. Examinar la superficie bajo luz blanca (1000 lux) para determinar las el tamaño y distribución de la corrosión, con instrumentos que nos permitan dimensionar las picaduras.



Fig. 2.5 Ejemplo de medición de picaduras

2.2.7.2. Ensayos no destructivos

Son métodos de inspección que se emplean para la detección y evaluación de discontinuidades de los materiales sin destruirlos, alterar o afectar su utilidad.

Son un campo de la ingeniería que se puede aplicar durante los diversos procesos de un proyecto, fabricación, montaje, puesta en marcha, operación, reparaciones, etc.

a. Ultrasonido Industrial (UT)

El ensayo por ultrasonido es un método no destructivo volumétrico, en el cual un haz ultrasónico de alta frecuencia (125 KHz – 25 MHz) es introducido en el material a ser inspeccionado.

A través de este ensayo se pueden determinar posición y profundidad de las picaduras desde la cara opuesta del material examinado.

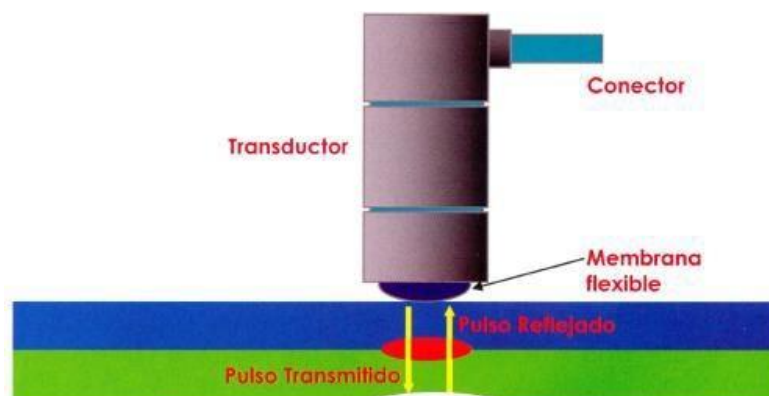


Fig. 2.6 Esquema general del proceso UT [5]

b. Radiografía Industrial (RT)

Ensayo no destructivo volumétrico que se basa en los cambio e absorción de la radiación en áreas solidas vs. Áreas con discontinuidades. La radiación atraviesa el objeto examinado para determinar la magnitud del daño; las picaduras deben ser tan largas como el 50% del espesor de pared para ser detectadas.

LOCALIZACIÓN DE DEFECTOS POR 2 SHOTS A 90°

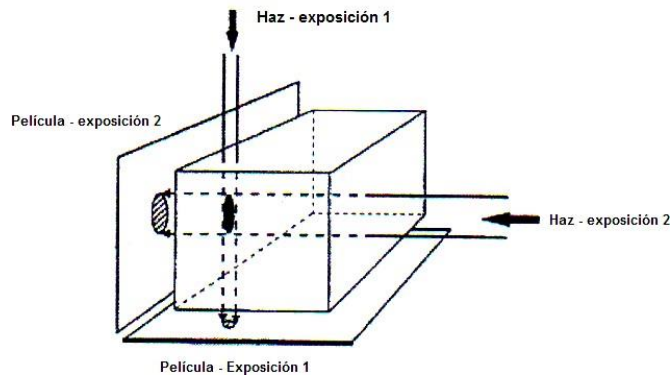


Fig. 2.7 Proceso de toma radiográfica [5]

2.2.8. API 579-1_ASME FFS-1 / Aptitud Para el Servicio [6]

“Fitness for service (FFS)” es un complemento de los códigos API 510, 570 y 653 para evaluar la integridad estructural en servicio de los equipos sometidos a presión; recipientes a presión, tuberías y tanques de almacenamiento en la industria petroquímica.

Las estimaciones de aptitud para el servicio (FFS) son evaluaciones ingenieriles que se realizan para determinar la integridad estructural de un componente en servicio con respecto a una falla o daño.

La norma API 579 contiene los procedimientos a seguir para poder evaluar la capacidad para el servicio de componentes presurizados que presenten algún tipo de daño. A través de criterios de evaluación cuantitativos se determina si el componente es apto para continuar en operación normal, o debe adoptarse alguna medida para recalificar el mismo como, por ejemplo, establecer nuevos límites de operación, presión y/o temperatura, llevar a cabo reparaciones, mitigaciones de los mecanismos de daño, etc.

Otro punto a resaltar, es que la norma API 579-1_ASME FFS-1, además de brindar procedimientos de evaluación y criterios de aceptación para poder determinar si un componente puede seguir operando, establece procedimientos para poder determinar la vida restante del componente y cuál será su degradación (por ejemplo, tasa de corrosión). Todo esto con el fin de establecer programas de inspección, o monitoreo, con el objetivo de poder supervisar que el diagnóstico obtenido en la evaluación FFS se está cumpliendo y así poder evitar resultados no esperados.

2.2.9. Clasificación de los Mecanismos de Daño Según API 579

Se pueden definir los siguientes mecanismos de daño y como son desarrollados por la Norma API 579.

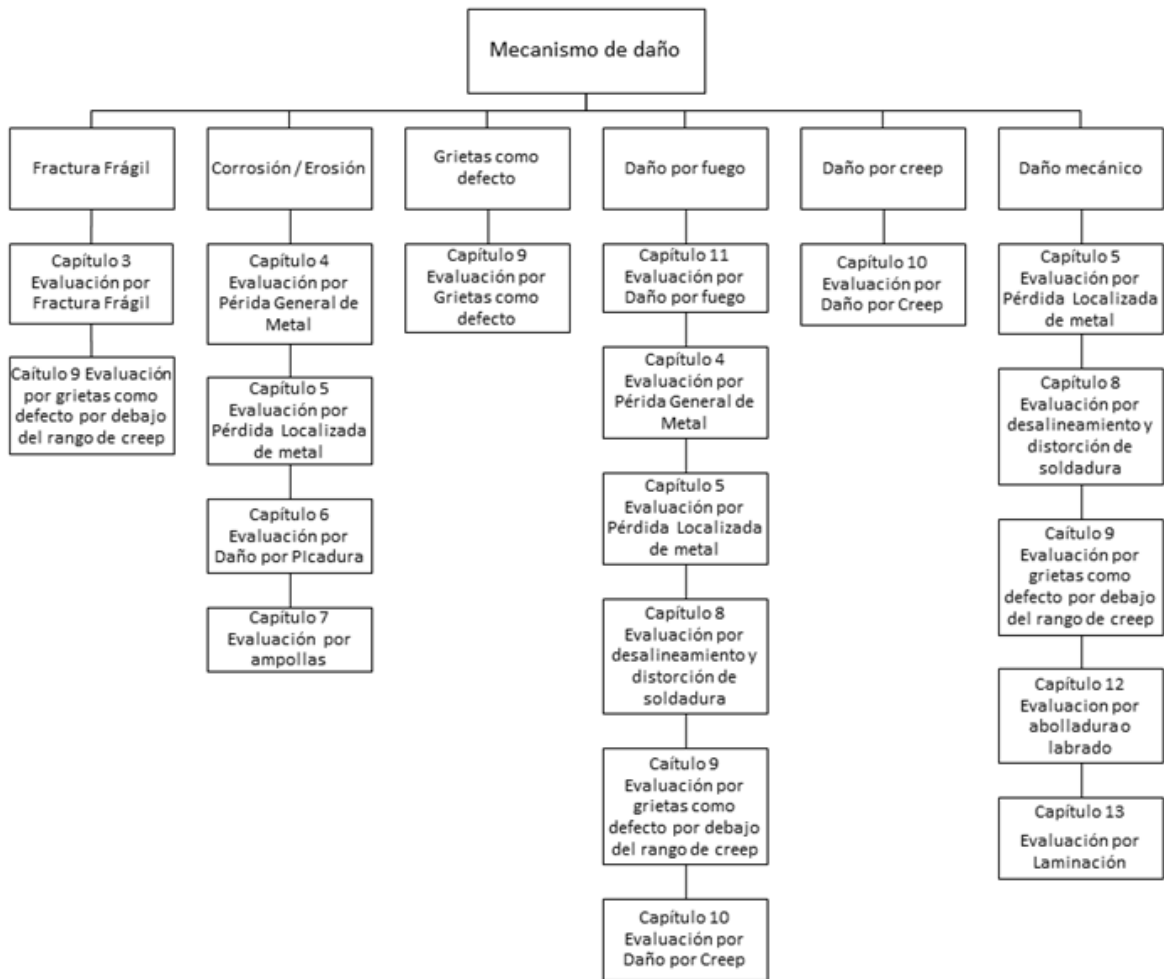


Fig. 2.8 Procedimiento de evaluación para diferentes tipos de daño según API 579 [6]

Tabla 2.2 - Clasificación de Defectos según API 579-1 [6]

Defectos o mecanismos de daño	Parte	Descripción general
Fractura frágil	Parte 3	Los procedimientos de evaluación se proporcionan para evaluar la resistencia a una fractura frágil existente en aceros carbono y de baja aleación utilizados en la fabricación de recipientes a presión, tuberías y tanques de almacenamiento. Los criterios son proporcionados para evaluar la operación normal, puesta en marcha, falla o daño, y la condiciones de sacar de operación al equipo.
Perdida general de metal	Parte 4	Los procedimientos de evaluación se proporcionan para evaluar la pérdida de espesor por corrosión general. Los datos utilizados para la evaluación pueden ser tanto las lecturas de espesor de punto o perfiles detallados de espesor. Una metodología se proporciona para utilizar los procedimientos de evaluación de la parte 5 cuando el espesor de los datos indica que la pérdida de metal puede ser tratado como localizada.
Perdida local de metal	Parte 5	Las técnicas de evaluación se proporcionan para evaluar individual y redes de áreas locales delgadas y defectos en forma de ranura en componentes presurizados. Perfiles detallados de espesor son necesarios para la evaluación. Los procedimientos de evaluación también pueden ser utilizados para evaluar picaduras individuales o ampollas conforme a lo dispuesto en la parte 6 y parte 7, respectivamente.

Corrosión por picaduras	Parte 6	Los procedimientos de evaluación se proporcionan para evaluar ampliamente picaduras dispersas, picaduras, localizadas, picaduras que ocurren dentro de una región de la pérdida de metal local, y una región de la pérdida de metal localizada dentro de una región de picaduras muy dispersos. Los procedimientos de evaluación también se pueden utilizar para evaluar una red de ampollas estrechamente espaciados conforme a lo dispuesto en la parte 7.
Ampollas de HIC/ Daño SOHIC	Parte 7	Los procedimientos de evaluación se proporcionan para evaluar ampollas agrupadas u aisladas y daños por hic / sohic. Las guías para la evaluación incluyen disposiciones para las ampollas y el daño de hic / sohic ubicada en las juntas de soldadura y discontinuidades estructurales, como las transiciones de pared, anillos de refuerzo, y las boquillas.
Des-alineamiento de soldaduras y distorsión de pared	Parte 8	Procedimiento de evaluación son proporcionados para evaluar el esfuerzo resultante de discontinuidades geométricas en el tipo estructuras incluyendo des-alineamiento de soldaduras y distorsiones de pared (ej. Ovalamiento y abolladuras)
Fisuras / Grietas	Parte 9	Los procedimientos de evaluación se proporcionan para evaluar defectos como grietas. La solución para los factores de intensidad de esfuerzos y el esfuerzo de referencia (carga límite) se incluyen en el anexo c y el anexo d, respectivamente. Métodos para evaluar los esfuerzos residuales como lo exige el procedimiento de

		<p>evaluación se describen en las propiedades incluidas en el anexo e. Propiedades del material necesario para la evaluación son presentados en el anexo f. Recomendaciones para la evaluación de crecimiento de la grieta incluyendo condiciones ambientales también están cubiertos.</p>
<p>Operación a altas temperaturas y termo fluencia</p>	<p>Parte 10</p>	<p>Los procedimientos de evaluación se proporcionan para determinar la vida útil remanente de componentes que operan en el régimen de fluencia. Propiedades de los materiales necesarios para la evaluación se encuentran en los métodos de análisis incluidas en el anexo f. Para la evaluación de crecimiento de la grieta como las preocupaciones ambientales también están cubiertos.</p>
<p>Daño por fuego</p>	<p>Parte 11</p>	<p>Los procedimientos de evaluación se proporcionan para evaluar los equipos sometidos a daño de fuego. Una metodología se proporciona a los componentes de rango y de la pantalla para la evaluación sobre la base de la exposición al calor experimentado durante el incendio. Los procedimientos de evaluación de las demás partes de esta publicación se utilizan para evaluar los daños en los componentes.</p>
<p>Abolladuras, rayones, y combinaciones</p>	<p>Parte 12</p>	<p>Se proporcionan técnicas de evaluación para evaluar la abolladura, ralladuras y combinaciones en componentes.</p>

Laminaciones	Parte 13	Los procedimientos de evaluación se proporcionan para evaluar las laminaciones. Las directrices incluyen disposiciones para la evaluación de laminaciones ubicadas en las uniones soldadas y discontinuidades estructurales, como las transiciones de pared, anillos de refuerzo, y las boquillas.
--------------	----------	--

2.2.10. Niveles de Evaluación

Tres niveles de evaluación son provistos en la Norma API 579 que establecen los procedimientos para la evaluación por Aptitud para el Servicio, en este caso se desarrollaran los dos primeros niveles de evaluación. En general, cada nivel de evaluación provee un balance entre tendencia conservativa, la cantidad de información requerida para la evaluación y la complejidad del análisis siendo desarrollado.

2210.1. Evaluación Nivel 1; los procedimientos de evaluación incluidos en este nivel proporcionan una proyección conservativa, se realiza con una cantidad mínima de inspección e información. Puede ser realizada por los inspectores y/o ingenieros de planta. Si el componente supera la Evaluación Nivel 1, entonces superará las evaluaciones de Nivel 2 y 3.

2210.2. Evaluación Nivel 2; los procedimientos de evaluación incluidos en este nivel proporcionan una evaluación más detallada obteniendo

datos más precisos que en el nivel anterior. En este nivel de evaluación la información de inspección es similar a la requerida en una evaluación de nivel 1, sin embargo, los cálculos son de mayor detalle y complejidad. Esta evaluación puede ser realizada por ingenieros de planta especialistas y/o ingenieros experimentados y formados en la normativa API/ASME FFS.

2.2.10.3. Evaluación Nivel 3, los procedimientos de evaluación incluidos en este nivel proporcionan resultados más precisos que el nivel anterior. Se requiere de inspección e información más amplia y los análisis se basan en técnicas numéricas y simulación por computadora como el Análisis de Elementos Finitos (FEA) y/o Dinámica de Fluidos Computacional (CFD). Este nivel de análisis solo debe realizarse por ingenieros con un alto nivel de conocimiento y experiencia en la normativa API/ASME FFS

2.2.11. Esfuerzo Admisible

Este criterio de aceptación es basado sobre cálculos de esfuerzos resultantes de diferentes condiciones de carga, clasificación y superposición del resultado de esfuerzos; y comparación de los esfuerzos calculados en una categoría asignada o clase para un valor de esfuerzo admisible. El valor del esfuerzo admisible es típicamente establecido como una fracción de rendimiento a la tracción o esfuerzo de ruptura en el tiempo de servicio y

la temperatura de servicio. Esta fracción puede ser asociada con un margen de diseño. Este método de criterio de aceptación es actualmente utilizado en la mayoría de diseño en códigos de construcción. En la aplicación de la aptitud para el servicio, este método limita la aplicabilidad del componente por la dificultad de establecer la clasificación de la tensión adecuada, para componentes conteniendo defectos.

2.2.11.1. Factor de Esfuerzo Remanente

Los procedimientos de evaluación que utilizan el análisis lineal de tensión elástica y los criterios de aprobación esfuerzo admisible sólo proporcionan una aproximación de las cargas que un componente puede soportar sin presentar fallas. La estimación de la capacidad de carga que un componente puede soportar, se proporciona mediante el uso del análisis de tensión no lineal, desarrollando el límite donde el componente comienza a presentar deformación plástica, evaluar las características de deformación del componente, por ejemplo: Deformación límite asociados a la operatividad componente; y evaluar los daños ocasionados por fatiga o fluencia.

- a. En la presente norma, el concepto de “Factor esfuerzo remanente” se utiliza para definir la aceptabilidad de un componente para continuar operando. El factor del esfuerzo remanente (*RSF*) se determina:

$$RSF: \frac{L_{DC}}{L_{UC}}$$

Donde:

L_{DC} : Límite de carga del componente dañado donde comienza la deformación plástica.

L_{UC} : Límite de carga sin daños donde comienza la deformación plástica.

- b. Con esta definición del RSF , para los criterios de aceptación y rechazo se pueden establecer cálculos de análisis de la tensión elástica. Para evaluar las áreas con picaduras, los procedimientos de evaluación para la aptitud para el servicio, proporcionan un medio para calcular el RSF . Si el RSF calculado es mayor al RSF admisible, el componente evaluado puede ser colocado nuevamente en servicio, de lo contrario, el componente deberá ser reparado, recalificado o de alguna forma deberá remediar su condición de tal forma que pueda reducir la severidad de las condiciones de operación. La nueva presión de operación se puede calcular a partir del RSF :

$$MWAP_r = MWAP \left(\frac{RSF}{RSF_a} \right)$$

Donde:

$MWAP$: Máxima presión admisible del componente que no presenta daños.

$MWAP_r$: Nueva máxima presión admisible del componente dañado.

RSF : Factor del esfuerzo remanente.

RSF_a : factor del esfuerzo remanente admisible.

- c. Los valores recomendados para el RSF se aprecian en la siguiente tabla según el código de construcción del componente.

Tabla 2.3 Factor recomendado del esfuerzo remanente admisible basado en el código de diseño [6]

Código de diseño	Factro del Esfuerzo Admisible Recomendado RSF_a
ASME Section 1	0.90
ASME Section VIII, Division 1 (pre 1999)	0.90
ASME Section VIII, Division 1 (post 1999)	0.90
ASME Section VIII, Division 2	0.90
AS 1210	0.90
BS PD 5500	0.90
CODAP	0.90
ASME B31.1	0.90
ASME B31.3	0.90
API 620	0.90
API 650	0.90

2.2.12. Futura Corrosión Admisible

La futura corrosión admisible debe ser establecida para el periodo destinado de operación. La corrosión permitida debe ser establecida en base a mediciones previas de espesor, a tasas de corrosión en equipos de similar servicio o de información obtenida en curvas de diseño de corrosión.

2.2.13. Velocidad de corrosión.

Tabla 2.4 Velocidad de corrosión según el tipo de ambiente. [7]

Tipos de Ambiente	Velocidad de corrosión (mm por año)
Ambiente marino	0.504
Ambientes industriales	0.127 - 0.254
Ambientes con precipitaciones moderadas	0.0254 – 0.0762
Ambientes secos	< 0.0254

23. Marco Conceptual

2.3.1. Corrosión: puede definirse como el deterioro de un material producido por el ataque químico de su ambiente. Puesto que la corrosión es una reacción química, la velocidad a la cual ocurre dependerá hasta cierto punto de la temperatura y de la concentración de los reactivos y productos. Otros factores como el esfuerzo mecánico y la erosión también pueden contribuir a la corrosión

2.3.2. Coeficiente de variación (COV): indicador estadístico, resultante de la relación entre la desviación estándar de distribución y la media de distribución, correspondiente a las lecturas de espesor en una evaluación.

2.3.3. Defecto: una discontinuidad o irregularidad que se detecta mediante inspección, la cual puede originar modificaciones en la capacidad para funcionamiento u operación del elemento involucrado.

- 2.3.4. Ensayos no destructivos (END):** métodos de inspección de componentes en los que no se compromete la integridad de los mismos (ultrasonido, radiografía, etc).
- 2.3.5. Futura corrosión admisible (FCA):** futura corrosión admisible para un determinado periodo de operación del componente.
- 2.3.6. Máxima presión admisible de trabajo:** MAWP, de sus siglas en inglés Maximum Allowance Work Pressure, la se define como la máxima presión que puede soportar un componente durante su operación.
- 2.3.7. Mecanismo de daño:** se define como el agente causal que origina el defecto existente en el componente involucrado.
- 2.3.8. Presión de Diseño:** máxima presión a la que el componente puede operar.
- 2.3.9. Recipiente a presión:** un contenedor diseñado para soportar una presión interna o externa. Esta puede ser aplicada por una fuente externa, por la aplicación de calor de uan fuente directa o indirecta, o por uan combinación de estas. Esta definición incluye intercambiadores, enfriadores de aire, generadores de vapor no sometidos a llama y otros recipientes generadores de vapor que utilizan calor de operación de un sistema de proceso u otra fuente indirecta de calor.
- 2.3.10. Reparación:** restauración de la integridad estructural de un componente y con ello de su capacidad de operar de forma segura y confiable.
- 2.3.11. Re-rating:** se define como el re cálculo de las condiciones de

trabajo (menor presión y temperatura) debido a que el componente ya no puede continuar operando a las condiciones actuales.

2.3.12. Temperatura de Diseño: máxima temperatura a la que el componente puede operar.

2.3.13. Vida remanente: Es el período probable, expresado en años, que se estima funcionará un elemento, a partir de una determinada fecha ya sea de instalación y/o inspección.

3. CAPITULO III. DISEÑO/DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA, MODELO O SISTEMA

3.1. Análisis del Modelo, Herramienta o Sistema.

Una vez conocidos los fundamentos teóricos del presente trabajo, el siguiente paso fue estudiar el método por el cual se puede evaluar el defecto de corrosión por picaduras.

La base de este capítulo es el desarrollo de un método como el descrito en el capítulo 6 de la norma API 579-1_ASME FFS-1; todo esto con el objetivo de elaborar un procedimiento a seguir para realizar una evaluación FFS que nos ayude a evaluar el caso particular Corrosión por picaduras.

3.1.1. Etapas de una evaluación FFS [6]

Una evaluación FFS, independientemente del defecto a evaluar, tiene una secuencia guía de pasos a seguir para obtener el diagnóstico del componente evaluado. A continuación, se describirá dicha secuencia, la cual consta de 8 pasos:

PASO 1 - Identificación del defecto y mecanismo de daño: El primer paso en una evaluación FFS es identificar el tipo de defecto y el mecanismo de daño. Para el caso de este último, es necesario basarse en información conocida como el diseño original y las prácticas de fabricación del

componente, el material de construcción, el historial de servicio y las condiciones ambientales.

PASO 2 – Determinar el alcance y las limitaciones del procedimiento de evaluación para poder determinar si se debe proceder a realizar una evaluación FFS.

PASO 3 –Información requerida: La información que se requiere para poder realizar una evaluación FFS depende del tipo de defecto o mecanismo de daño que se está evaluando. Esta información podría ser la siguiente: condiciones de diseño (presión y temperatura) del equipo, información relacionada con el mantenimiento y el historial de servicio, servicio futuro esperado, y datos específicos para la evaluación de las FFS, tales como el tamaño del defecto, ubicación de la falla, y las propiedades del material.

PASO 4 - Técnicas de evaluación y criterios de aceptación: en esta etapa se encuentra la esencia de la evaluación FSS, ya que es aquí donde se ejecuta el procedimiento de evaluación en base a los principios y criterios de aceptación brindados por la norma.

PASO 5 – Estimación de la vida restante: una vez evaluado el componente, se debe realizar una estimación de la vida útil restante, esto con el objetivo de poder determinar cuándo será la próxima inspección del componente. Dicho cálculo de la vida restante del componente se puede utilizar en conjunto con un código de inspección para establecer un intervalo de inspección.

PASO 6 - Remediación: Dependiendo del diagnóstico obtenido de la evaluación FFS, se debe determinar si es necesario algún método remediación. Esto se hace con el objetivo de remediar el defecto encontrado o incluso, en algunas ocasiones, para controlar el futuro daño asociado con el desarrollo del defecto y/o deterioro del material.

PASO 7 - Monitoreo: El monitoreo tiene como propósito evaluar constantemente la vida útil restante en el caso que esta no se haya podido determinar de forma confiable, para así poder evitar consecuencias no deseadas.

PASO 8 – Documentación: Se debe incluir un registro de toda la información requerida y de las decisiones tomadas en cada uno de los pasos previos para así poder calificar adecuadamente el componente y establecer la medida correcta a tomar.

3.1.2. Alcance y Limitaciones de la Evaluación

A continuación, se listará el alcance y restricciones de la metodología:

a. La metodología se limita a evaluar el mecanismo de daño por corrosión por picadura en un recipiente a presión, siendo los siguientes tipos:

- Picadura dispersa.
- Picadura localizada.
- Picadura confinada en área local delgada.
- Picadura dispersa con área local delgada.

b. La metodología de este capítulo solo aplica a componentes que han sido diseñados en base a una de las siguientes normas:

- ASME B&PV Code, Section VIII, Division 1.
- ASME B&PV Code, Section VIII, Division 2.
- ASME B&PV Code, Section I.
- ASME B31.1 Piping Code.
- ASME B31.3 Piping Code.
- API 650.
- API 620.

c. El componente no deberá trabajar en servicio. Si el componente está sujeto a variaciones de presión y/o temperatura incluyendo cambio operacionales, encendidos y apagados a lo largo de su funcionamiento, el componente puede ser evaluado con el procedimiento del Anexo B1, párrafo b1.5.2, de la Norma API 579.

d. El componente no debe trabajar dentro de los rangos de fluencia lenta (creep). En la tabla 2.1 se presentan materiales con la temperatura límite a la cual se ocasiona el daño por fluencia lenta.

Tabla 3.1 – Temperatura máxima de operación dependiendo del material [6]

Material	Temperatura Límite
Acero al carbono (UTS ≤ 414 MPa (60ksi))	343 C° (650° F)
Acero al carbono (UTS > 414 MPa (60ksi))	371 C° (700° F)
Acero al carbono - Grafitado	371 C° (700° F)
C-1/2 Mo	399 C° (750° F)
1-1/4Cr-1/2Mo Normalizado y templado	427 C° (800° F)
1-1/4Cr-1/2Mo-Recocido	427 C° (800° F)
2-1/4Cr-1Mo Normalizado y templado	427 C° (800° F)
2-1/4Cr-1Mo-Recocido	427 C° (800° F)
2-1/4Cr-1Mo y templado	427 C° (800° F)
2-1/4Cr-1Mo-V	441 C° (825° F)
3Cr-1Mo-V	441 C° (825° F)
5Cr-1/2Mo	427 C° (800° F)
7Cr-1/2Mo	427 C° (800° F)
9Cr-1Mo	427 C° (800° F)
9Cr-1Mo-V	454 C° (850° F)
12Cr	482 C° (900° F)
AISI Type 304 y 304H	510 C° (950° F)
AISI Type 306 y 306H	538C° (1000° F)
AISI Type 321 y 321H	538C° (1000° F)
AISI Type 347 y 347H	538C° (1000° F)
Aleación 800	565C° (1050° F)
Aleación 800H	565C° (1050° F)
Aleación 800HT	565C° (1050° F)
HK-40	649 C° (1200° F)

e. Los siguientes tipos de componentes podrán ser evaluados según la categorización para cada nivel de evaluación.

- Componentes tipo A, el diseño se relaciona específicamente con el espesor requerido como, por ejemplo: Tanques

presurizados cilíndricos y cónicos, tanques esféricos presurizados y atmosféricos, secciones rectas de tubería, los codos de tuberías, cilindros de almacenamiento atmosférico.

- Componentes tipo B, en este tipo de componentes los parámetros de diseño se relacionan a las dimensiones del componente por lo que el diseño de este se independiza del espesor, por ejemplo: inyectores para recipientes a presión, boquillas de tanques, ramales en tuberías, refuerzo en las zonas de transición cónica, cilindro de tapa plana, placa porta tubos, bridas, sistemas de tuberías.

f. La futura corrosión admisible debe de ser basada en la proyección de la pérdida de metal futura en una región con picadura.

3.1.3. Datos Requeridos

3.1.3.1. Datos Originales del Diseño del Equipo

La recolección de datos es importante para poder realizar una evaluación correcta y precisa. Estos datos dependerán del daño y nivel de evaluación.

- Informe de fabricación ASME o documentación equivalente.
- Los planos de fabricación suficientemente detallados para poder calcular la MAWP, así mismo debe indicarse si las condiciones de operación son diferentes a las de diseño. en caso de no poseer los

planos, se aceptarán dibujos con los detalles suficientes para el cálculo de a MAWP.

- Presión de alivio del dispositivo incluyendo la presión de la válvula de alivio.
- Registro original de prueba hidrostática, incluyendo la presión de prueba y la temperatura del metal en el momento de la prueba.

3.1.3.2. Historial de Operación y Mantenimiento

El historial de operación y mantenimiento de cualquier componente es de vital importancia para realizar una evaluación FFS, es por ello que cualquier ocurrencia que se presente, deberá ser registrada con el fin de poder contar con un historial de operación y mantenimiento adecuado.

- Se deberá tener un reporte de la operación actual del componente incluyendo la presión real y la temperatura de trabajo. En caso las condiciones de funcionamiento no están disponibles se deberá hacer una aproximación en base a los datos operacionales y las consultas con el personal operativo.
- Se deberá documentar cualquier cambio significativo en las condiciones de servicio, incluyendo la presión, el contenido y la velocidad de corrosión.
- La fecha de instalación además de un resumen de todas las alteraciones y reparaciones incluyendo los cálculos necesarios, cambio de material, diseño y procedimiento de reparación. Los

cálculos deben de incluir el espesor de pared requerida y presión máxima admisible considerando cargas adicionales, tales como carga estática del líquido, el viento y terremotos.

- Registro de todas las pruebas hidrostáticas realizadas como parte de cualquier reparación incluyendo la presión de prueba y temperatura del metal durante la prueba.
- Los registros de evaluación en servicio, incluyendo la medición de espesores y otras evaluaciones END que puedan ayudar a determinar la integridad estructural del componente,
- Los registros de todas las reparaciones internas, acumulación y superposición de cordones de soldadura y todo tipo de modificaciones.

3.1.3.3. Datos Requeridos para la Evaluación FFS

Para cada nivel de evaluación se requiere los siguientes parámetros:

a. Evaluación Nivel 1

- Profundidad de picadura máxima.
- Espesor de pared del componente.
- Diámetro del componente.
- Futura tolerancia a la corrosión.
- Pérdida de metal.
- Presión y temperatura de diseño.
- Esfuerzo admisible del material a la temperatura de diseño.

- Eficiencia de la junta de soldadura.

b. Evaluación Nivel 2

Además de los datos recopilados en el nivel 1, se necesita los siguientes parámetros:

- La distancia a la mayor discontinuidad estructural más cercana.
- Eficiencia de la soldadura longitudinal y circunferencial.
- Determinar las cargas suplementarias (peso, presión externa, etc.)
- Definir el diámetro, profundidad, distancia entre picadura y Angulo de referencia al eje longitudinal del equipo. Ver Figuras 3.1 y 3.2.

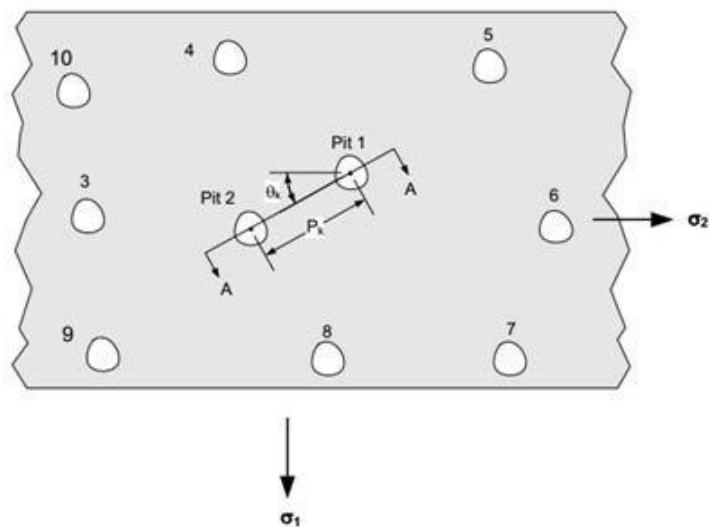


Fig. 3.1 Medición de la distancia entre par de picadura (p) y el ángulo (θ) del par con respecto al eje longitudinal del recipiente. [6]

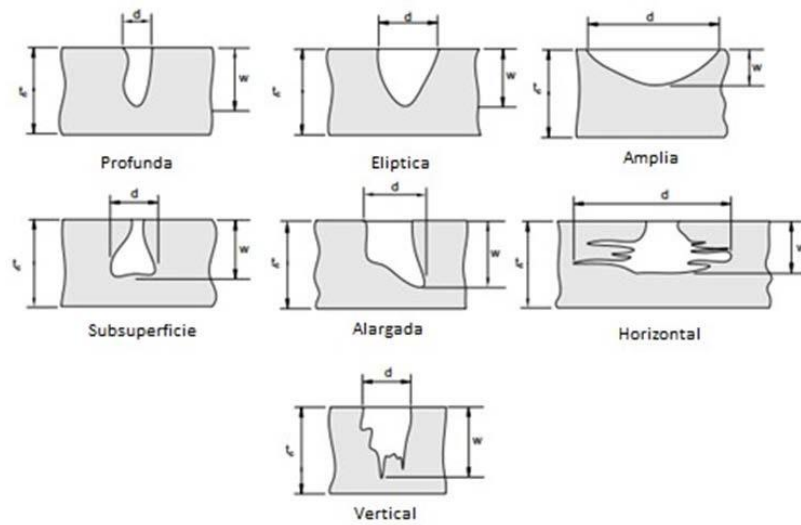


Fig. 3.2 Medición del diámetro (d) y profundidad (w) de los diferentes tipos de formación de picaduras. [6]

- En caso de encontrarse el daño en una región local delgada se debe de medir el ancho y largo de la región de corrosión por picaduras. Ver Figura 3.3

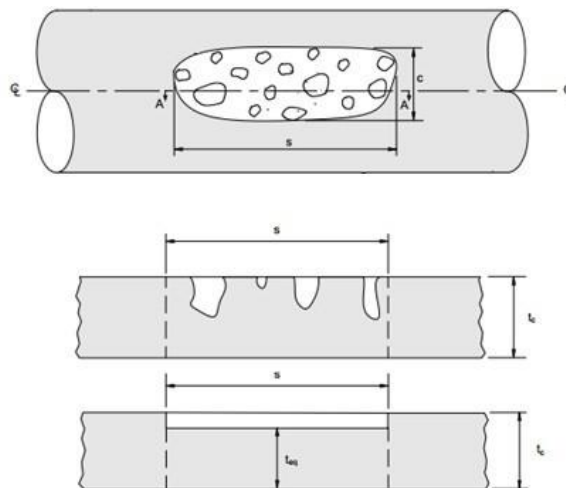


Fig. 3.3 Picadura localizada en una región de área delgada. [6]

3.1.4. Desarrollo de la metodología en los niveles de evaluación

A continuación, se explicará el procedimiento para el desarrollo de la metodología de evaluación. Así como la identificación de sus variables.

3.1.4.1. Evaluación Nivel 1

En este nivel se utiliza tablas de picaduras estandarizadas y la profundidad máxima de picadura para obtener el factor de esfuerzo remante (*RSF*).

Se realiza una comparación visual entre el área dañada y el cuadro de picadura estandarizado. Basado en el cuadro de picaduras que mejor se aproxime a la dispersión de picaduras, el *RSF* puede ser determinado usando el porcentaje de espesor remante de pared.

Para este nivel se describe el siguiente procedimiento:

Paso 1, verificar y revisar la documentación y los códigos de fabricación, inspeccionar el área utilizando métodos de evaluación indicados en el párrafo 2.2.7 para la recolección de los datos requeridos en la evaluación.

Paso 2, determinar el espesor de pared a ser usado durante la evaluación

$$t_c = t_{nom} - LOSS - FCA$$

Donde:

t_c : Espesor de pared corroído.

t_{nom} : Espesor nominal de pared.

LOSS: Espesor por pérdida de material.

FCA: Futura corrosión admisible.

Paso 3, tomar fotos del área afectada incluyendo una escala referencial para comparar la dispersión de picaduras en los cuadros comparativos.

Paso 4, determinar la máxima profundidad de Picadura ($W_{m\acute{a}x}$) con los métodos de inspección revisados.

Paso 5, determinar el porcentaje de espesor de pared remanente R_{wt} .

$$R_{wt} = \frac{t_c + FCA - W_{m\acute{a}x}}{t_c}$$

- Si el $R_{wt} < 0.2$, entonces el componente es rechazado.

Paso 6, determinar la máxima presión admisible de trabajo *MAWP*.

- Por efecto de esfuerzos circunferenciales (juntas longitudinales):

$$MAWP^c = \frac{S * E * t_c}{R + 0.6 * t_c}$$

Donde:

$MAWP^c$: Presión máxima de trabajo admisible circunferencial.

S: Esfuerzo admisible del material a la temperatura de diseño.

E: Eficiencia de la junta soldada.

R: Radio interno.

t_c : Espesor de pared corroído.

- Por efecto de esfuerzos longitudinales (juntas circunferenciales):

$$MAWP^L = \frac{S * E * (t_c - t_{ls})}{R + 0.4 * (t_c - t_{ls})}$$

Donde:

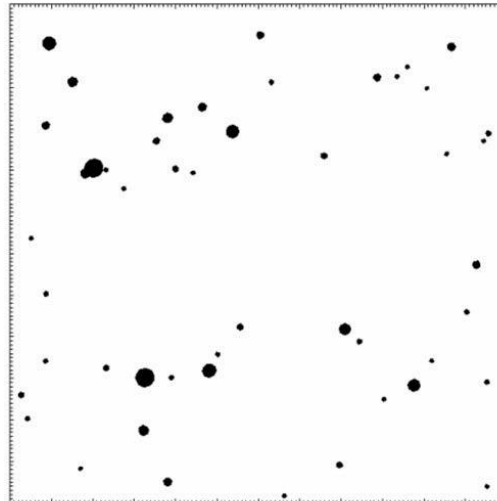
$MAWP^L$: Presión máxima de trabajo admisible longitudinal.

t_{ls} : Espesor requerido para soportar cargas adicionales.

Por lo que el $MAWP = \min[MAWP^c; MAWP^L]$

Paso 7, revisar el área dañada o las fotografías tomadas y comparar con los cuadros estandarizados de picadura. Seleccionar el cuadro que se acerque más a la superficie dañada. Ver Figuras 3.4 al 3.8.


- Grado 1



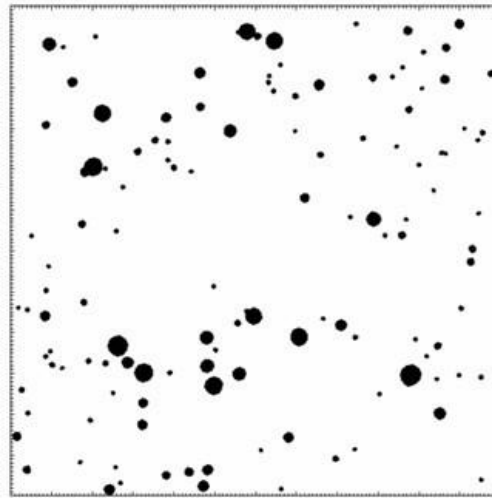
Nota: La escala de la figura es 150 mm por 150 mm

Figura 3.4 Grafico para grado 1 [6]

Tabla 3.2 RSF para grado 1 [6]

	Nivel 1 RSF	
	Cilindro	Esfera
0.8	0.97	0.96
0.6	0.95	0.91
0.4	0.92	0.87
0.2	0.89	0.83

- Grado 2



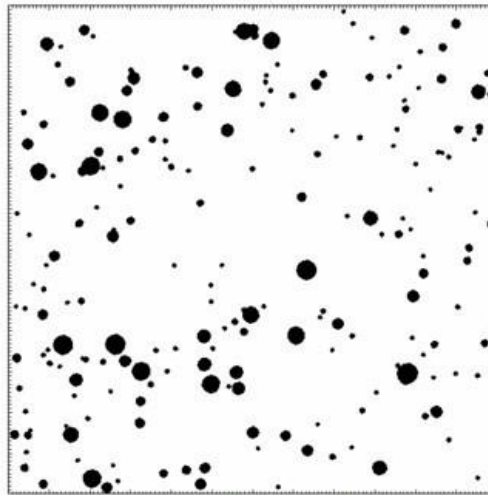
Nota: La escala de la figura es 150 mm por 150 mm

Figura 3.5 Grafico para grado 2 [6]

Tabla 3.3 RSF para grado 2 [6]

□□□□ □	Nivel 1 RSF	
	Cilindro	Esfera
0.8	0.97	0.96
0.6	0.95	0.91
0.4	0.92	0.87
0.2	0.89	0.83

- Grado 3



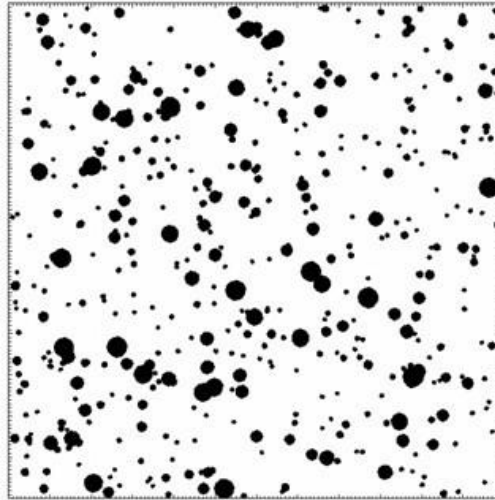
Nota: La escala de la figura es 150 mm por 150 mm

Figura 3.6 Grafico para grado 3 [6]

Tabla 3.4 RSF para grado 3 [6]

□□□□ □	Nivel 1 RSF	
	Cilindro	Esfera
0.8	0.96	0.95
0.6	0.93	0.89
0.4	0.89	0.84
0.2	0.86	0.79


- Grado 4



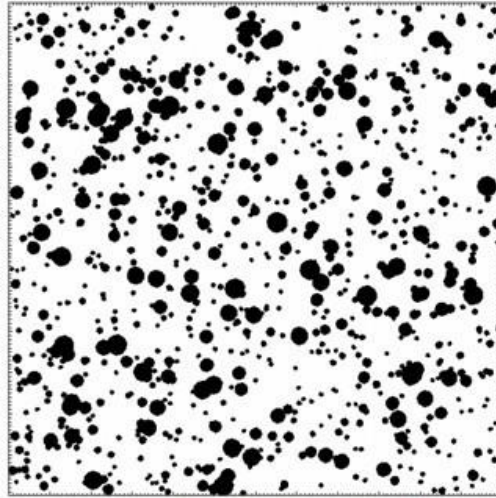
Nota: La escala de la figura es 150 mm por 150 mm

Figura 3.7 Gráfico para grado 4 [6]

Tabla 3.5 RSF para grado 4 [6]

	Nivel 1 RSF	
	Cilindro	Esfera
0.8	0.95	0.93
0.6	0.90	0.86
0.4	0.85	0.79
0.2	0.79	0.72

- Grado 5



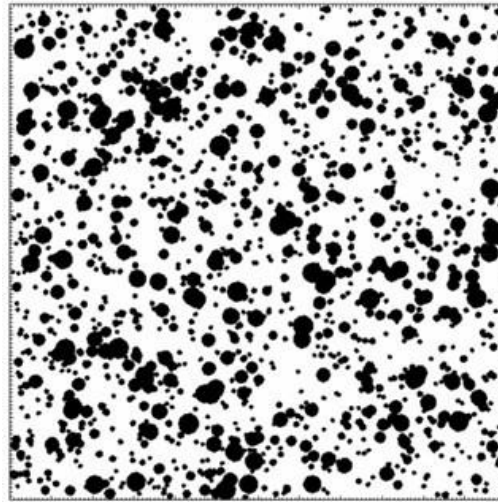
Nota: La escala de la figura es 150 mm por 150 mm

Figura 3.8 Grafico para grado 5 [6]

Tabla 3.6 RSF para grado 5 [6]

□□□□ □	Nivel 1 <i>RSF</i>	
	Cilindro	Esfera
0.8	0.93	0.91
0.6	0.85	0.81
0.4	0.78	0.72
0.2	0.70	0.62

- Grado 6



Nota: La escala de la figura es 150 mm por 150 mm

Figura 3.9 Grafico para grado 6 [6]

Tabla 3.7 RSF para grado 6 [6]

□□□□ □	Nivel 1 RSF	
	Cilindro	Esfera
0.8	0.91	0.89
0.6	0.82	0.78
0.4	0.73	0.69
0.2	0.64	0.56

Paso 8, calcular el RSF con las tablas anexas de cuadro comparativo en el paso anterior. Interpolar el RSF von el R_{wt} calculado en el paso 5.

Paso 9, determinar la máxima presión admisible de trabajo considerando las siguientes condiciones. Seleccionar el RSF_a de la tabla 1.3

- Si el $RSF \geq RSF_a$, entonces el daño por picadura para el componente es aceptable y opera a la presión hallada en el paso 6.

- Si el $RSF < RSF_a$, se debe calcular la máxima presión admisible de trabajo reducida

$$MAPW_r = \frac{RSF}{RSF_a} \times MAWP$$

- Si el componente no cumple los requisitos de la evaluación nivel 1, puede considerarse:
 - a. Re-rate, reparar o reemplazar el componente.
 - b. Ajustar el FCA con las técnicas de remediación descritas en la Parte 4 de la norma.
 - c. Realizar una evaluación nivel 2 o nivel 3.

3.1.4.2. Evaluación de Vida Remanente.

En corrosión por picaduras, estas pueden crecer en tamaño y área de la región afectada, para lo cual la estimación adecuada de la tasa de propagación de ser establecida para cada modelo.

- a. Incremento del tamaño de picadura, un estimado en cuanto a cómo las características del diámetro y profundidad de la picadura incrementa con el tiempo de ser realizada.
- b. Incremento de la densidad de picadura, en adición a las picaduras ya existentes, nuevas picaduras pueden formarse, este incremento de la densidad de picaduras en un área determinada disminuye la distancia entre centros de picaduras, con lo que se tendrá que re-tabular RSF como se indicó en el paso 7 de la evaluación nivel 1.

- c. Incremento en el tamaño de la región afectada, este incremento en la región localizada con picaduras tiene similar efecto que el daño por pérdida de material localizado.

El siguiente procedimiento debe ser usado para determinar la vida remanente de un componente con picaduras usando el *MAWP* resultante de la evaluación del nivel usado.

Paso 1, determinar la pérdida de metal uniforme, *LOOS* en la región con picadura.

Paso 2, usando el procedimiento descrito en nivel 1, determinar el *MAWP* para una serie de incrementos en el tiempo usando la tasa de propagación de picadura aplicada para la profundidad y diámetro de la picadura.

Paso 3, el tamaño efectivo de picaduras y la tasa de cambio en las características de las dimensiones son determinadas por:

$$W_f = W_c + PPR_{prof} \times tiempo$$

$$d_f = d_c + PPR_{diam} \times tiempo$$

Donde:

W_f : Futura profundidad de picadura.

W_c : Actual profundidad de picadura.

PPR_{prof} : Tasa estimada del cambio de profundidad.

PPR_{diam} : Tasa estimada del cambio de profundidad.

d_f : Futuro diámetro de picadura.

d_c : Actual diámetro de picadura.

Paso 5, si la región de picadura es localizada, una estimación del incremento de la futura región afectada debe ser hecho e incluido en la estimación del *MAWP* en el paso 2.

Paso 6, determinar la vida remanente con un gráfico del *MAWP* frente al tiempo. El tiempo en el cual la curva *MAWP* intersecta el *MAWP* de diseño para un componente es definido como la vida remanente del componente. El equipo *MAWP* es tomado como el más pequeño valor del *MAWP* para componentes individuales. A su vez verificar que los criterios definidos por cada nivel de evaluación se cumplan ya que son afectados por el incremento en el tamaño del daño por picadura.

3.1.4.3. Aplicación de los Resultados de la Evaluación de la Vida

Remanente

Con la vida remanente calculada se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- a. Continuar en operación, cuando la máxima presión admisible de trabajo determinada en el nivel evaluado es mayor a la presión en servicio, el recipiente pueda seguir operando por el periodo

determinado en que esta continúe siendo mayor a la presión de servicio, la cual se visualiza en la gráfica hallada en el resultado de la vida remanente.

- b. Programar una nueva inspección, al determinar la vida remanente y se obtenga que el daño no cumple con los requisitos de fisonomía por el incremento de la picadura en el tiempo, programar una nueva evaluación a mitad del periodo hallado para constatar el incremento del daño por picadura y tomar las medidas necesarias.
- c. Remediación o reemplazo del componente, al verificar que el componente ya no cumple o tiene un periodo corto de vida con respecto a los requisitos de presión un cambio o remediación debe ser realizada. En caso de remediación del componente se recomienda utilizar normas que contengan procedimientos adecuados de remediación a recipientes a presión con daño por corrosión por picadura. En el otro caso programar el reemplazo del segmento según la vida remanente estimada del componente afectado.

32. Construcción, diseño o simulación de la herramienta.

3.2.1. Descripción del componente TKAY-2640

EL TKAY-2640 se encuentra instalado en el área de Almacenamiento NGL en la planta Malvinas del Proyecto Camisea.

Del informe de inspección interna presentado por la empresa ADEMINSAC se determinó la ubicación del área afectada por la corrosión por picaduras, los defectos fueron encontrados en la segunda plancha de la envolvente. Ver figura 3.10.

Se realizó la investigación acerca del TKAY_2640 en la base de datos proporcionada por PlusPetrol y ADEMINSAC, encontrando la información necesaria para la realización de la evaluación descrita en este proyecto.

Se obtuvieron los siguientes datos acerca del recipiente:

3.2.1.1. Características de Diseño y Operación

A continuación, se presentan las características de diseño y operación que fueron obtenidas de la base de datos y placa del equipo.

➤ Datos de Placa

Tabla 3.8 Datos de placa del Recipiente TKAY-2640

FABRICANTE	S.A. LITO GONELLA e HIJO I.C.F.I.
TIPO	TANQUE ALMACENAMIENTO GLP
AÑO DE CONSTRUCCIÓN	2002
TEMPERATURA DE DISEÑO	-24.4/51.7 °C
PRESIÓN DE DISEÑO	17.58 kg/cm ²
PRESIÓN MAX. ADM. DE TRABAJO	18.07 kg/cm ² a 51.7 °C
PRESION DE PUREBA	23.49 kg/cm ²
FUTURA CORROSION ADMISINLE	3.2.mm
RADIOGRAFIADO	FULL
MATERIAL DEL CUERPO	SA-516 Gr. 70N
CODIGO DE CONSTRUCCION	ASME VIII – DIV 1 Ed 2001 Sin Adenda

➤ Base de datos Envolvente del recipiente

Tabla 3.9 Datos del TKAY-2640

PRESIÓN DE OPERACIÓN	4.83 kg/cm ²
DIAMETRO EXTERNO	3349.00 mm
ESPESOR NOMINAL	25.4 mm
LONGITUD DEL ENVOLVENTE	24170.00 mm
ESFUERZO ADMISIBLE	1406.14 kg/cm ²
PRESION ESTATICA DEL FLUIDO	0.2118 kg/cm ²

- De la inspección realizada por ADEMINSAC
 - Espesor promedio medido en la zona afectada por la corrosión: 25.13 mm
 - LOSS: 0.27 mm
 - Profundidad Máxima de Picadura $W_{m\acute{a}x}$: 8 mm

3.2.2. Evaluación Nivel 1

En este nivel de evaluación se utilizan tablas de picaduras estandarizadas y la profundidad máxima de picadura para obtener el factor de esfuerzo remanente (*RSF*). la superficie dañada se caracteriza para realizar una comparación visual entre el daño y el cuadro de picadura estandarizado.

Paso 1, revisar y verificar la documentación de fabricación. La inspección y evaluación del área afectada se tomará de los datos registrados por la empresa ADEMINSAC.

Paso 2, determinar el espesor de pared corroído.

$$t_c = t_{nom} - LOSS - FCA$$

$$t_c = 25.4 - 0.27 - 3.2$$

$$t_c = 21.93$$

Paso 3, inspección del área con el daño por picadura. Fotografías del registro fotográfico de ADEMINSAC.

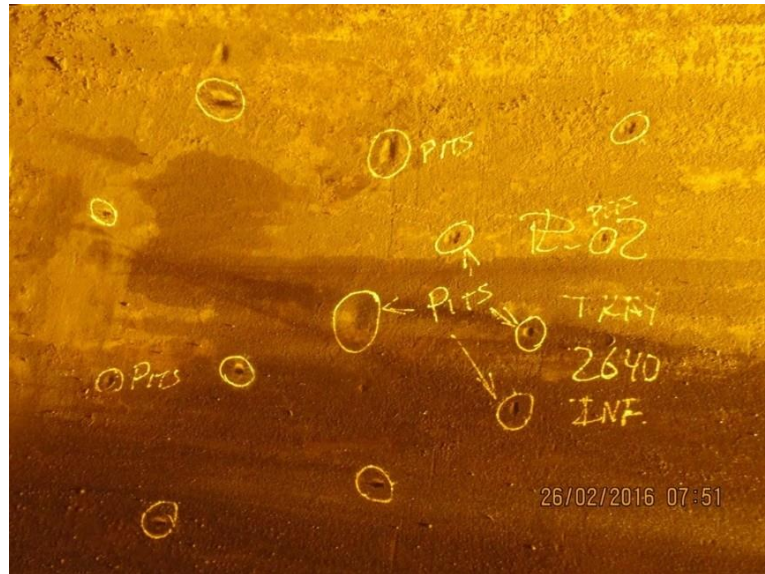


Figura 3.10 Fotografía de la zona afectada por la corrosión por picaduras.

Imagen corresponde a un área de 1.2 m por 1.2 m, al interior del recipiente.

Paso 4, obtener la máxima Profundidad de Picadura.

$$W_{m\acute{a}x} = 8$$

Paso 5, determinar el espesor de pared remanente

$$R_{wt} = \frac{t_c + FCA - W_{m\acute{a}x}}{t_c}$$

$$R_{wt} = \frac{21.93 + 3.2 - 8}{21.93}$$

$$R_{wt} = 0.78$$

Se cumple con $R_{wt} > 0.2$, entonces se cumple el criterio solicitado por la Evaluación Nivel 1.

Paso 6, determinar la máxima presión admisible de trabajo ($MAWP$).

➤ Por efecto de esfuerzos circunferenciales (juntas longitudinales):

$$MAWP^c = \frac{S * E * t_c}{R + 0.6 * t_c}$$

$$MAWP^c = \frac{1406.19 * 1 * 21.93}{1649.1 + 0.6 * 21.93}$$

$$MAWP^c = 18.55 \text{ kg/cm}^2$$

➤ Por efecto de esfuerzos longitudinales (juntas circunferenciales):

$$MAWP^L = \frac{S * E * (t_c - t_{ls})}{R - 0.4 * (t_c - t_{ls})}$$

$$MAWP^L = \frac{1406.19 * 1 * (21.93 - 0)}{1649.1 - 0.4 * (21.93 - 0)}$$

$$MAWP^L = 18.50 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo que el $MAWP = \min[18.55; 18.80] \text{ kg/cm}^2 = 18.55 \text{ kg/cm}^2$

Paso 7, revisar el área dañada y comparar con los cuadros estandarizados.

Comparando el área dañada con los cuadros estandarizados, se determina que el tipo de dispersión y localización del daño por picaduras equivales a un grado 1.

Paso 8, calcular el RSF con las tablas anexas de cuadro comparativo en el paso anterior. Interpolar el RSF con el R_{wt} .

$$RSF = (RSF_s - RSF_i) \left(\frac{R_{wt} - R_{wt,i}}{R_{wt,s} - R_{st,i}} \right) + RSF_i$$

$$RSF = (0.97 - 0.95) \left(\frac{0.78 - 0.6}{0.8 - 0.6} \right) + 0.95$$

$$RSF = 0.968$$

Paso 9, determinar la máxima presión admisible de trabajo considerando las siguientes condiciones. Seleccionar el RSF_a de la tabla 1.3

- Como $0.968 \geq 0.9$, entonces el daño por picadura para el componente es aceptable y opera a la presión hallada en el paso 6.

Se tiene como presión de diseño 17.58 kg/cm^2 .

$$MAWP = 18.55 \text{ kg/cm}^2 > 17.58 \text{ kg/cm}^2$$

Como la máxima presión admisible de trabajo calculada es mayor que la presión de diseño el recipiente puede seguir operando en las condiciones de diseño.

3.2.3. Determinando la Vida Remanente

Para el cálculo de la vida remanente se deben cumplir los siguientes criterios de la evaluación nivel 1.

- El $MAWP >$ Presión de diseño.
- El $R_{wt} > 0.2$

Se determina la profundidad de picadura para diferentes tiempos, se determinan una nueva *MAWP* con la que se verifica la aceptabilidad del recipiente

$$W_f = W_c + PPR_{prof} \times tiempo$$

Con la tabla 1.4 determinamos la velocidad de corrosión según el tipo de ambiente, para este caso ambiente industrial (0.127 – 0.254) mm/año, y tomaremos el valor más alto.

$$PPR_{prof} = 0.0254 \text{ mm/año}$$

Luego se calcula la *MAWP* para cada caso, según la futura profundidad de picadura.

Tabla 3.10 – Tabulación para determinar el W_f y la *MAWP*

<i>Tiempo</i> (mm)	W_c (mm)	<i>MAWP</i> (kg/cm ²)	R_{wt}	W_F (mm)
0	8.00	18.55	0.78	9.27
5	9.27	17.71	0.71	10.54
10	10.54	16.61	0.62	11.81
15	11.81	15.52	0.52	13.08
20	13.08	14.43	0.41	14.35

Interpolando el tiempo exacto en que la *MAWP* será igual a la Presión de Diseño:

$$Tiempo = (10 - 5) \left(\frac{17.58 - 17.71}{16.61 - 17.71} \right) + 5$$

Tiempo = 5.59 años

De la tabla 3.10 obtenemos las siguientes gráficas

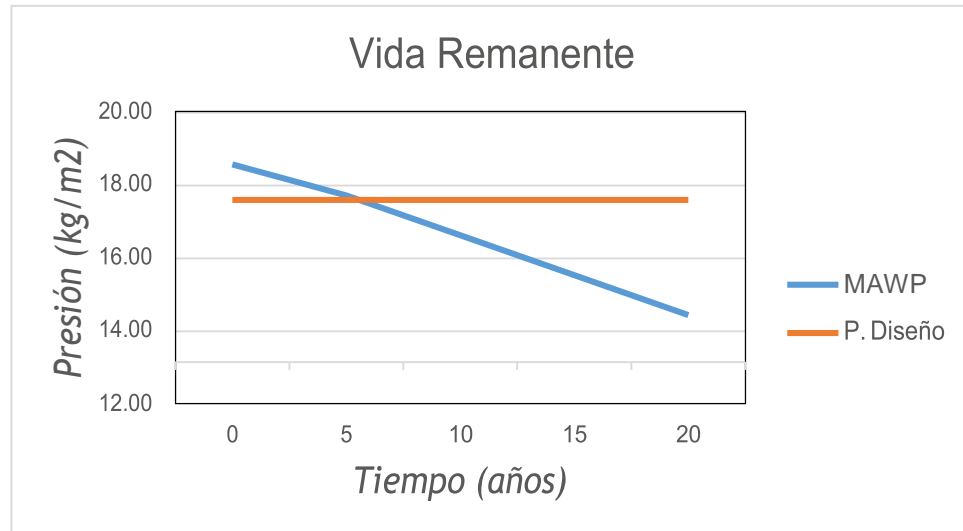


Figura 3.11 Gráfica de la Vida Remanente presión vs tiempo

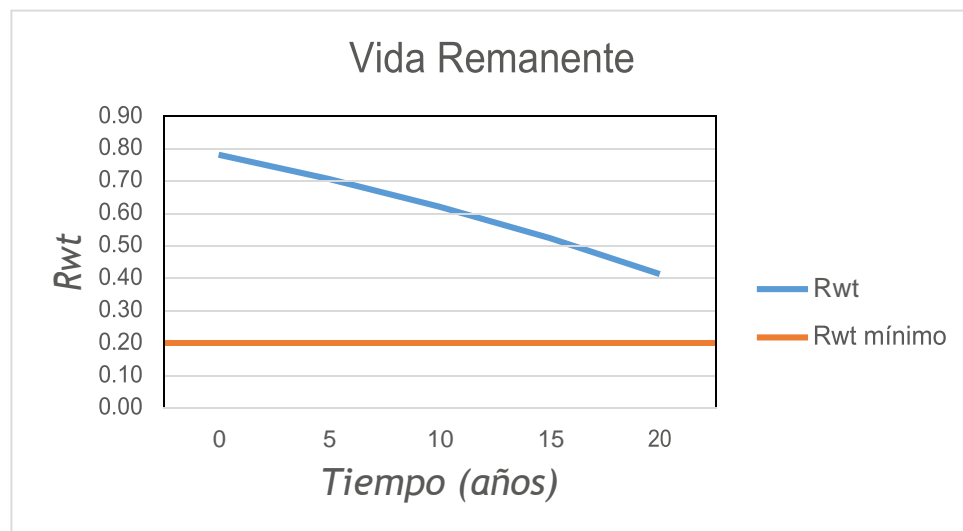


Figura 3.12 Gráfica de la Vida Remanente R_{wt} vs tiempo

De los datos obtenidos en la evaluación se determina que el componente podrá trabajar con la presión de diseño establecida ya que es menor que la *MAWP* calculada. Sin embargo, el espesor al ir reduciéndose se debe evaluar dentro de un periodo de 2.5 años para comprobar el incremento en la profundidad de las picaduras medidas y así determinar si el incremento de las dimensiones era correcto o calcular nuevamente la vida remanente del componente.

3.3. Revisión y consolidación de resultados

3.3.1. Revisión de resultados

La Evaluación de Nivel 1 realizada nos indica que el recipiente podrá seguir trabajando en condiciones normales de operación. La vida remanente nos indica el periodo de tiempo que el recipiente podrá operar bajo estas condiciones.

Se determinaron la vida remanente y el intervalo de inspección de recipiente:

- Vida Remanente: 5.59 años, que es el tiempo en el que la *MAWP* calculada y la Presión de Diseño tendrán el mismo valor, a partir de este punto la *MAWP* disminuirá por debajo de la Presión de Diseño, haciendo que el componente sea rechazado para este nivel de evaluación.

- Intervalo de Inspección: al ser el valor de la vida remanente muy cercano a 5 años, se tomará el tiempo de intervalo de inspección como 2.5 años, a fin de poder verificar el incremento de la corrosión por picaduras y/o volver a realizar una evaluación para los parámetros encontrados en ese momento.

CONCLUSIONES

- Con la aplicación de metodología se pudo definir la aptitud para el servicio del recipiente horizontal presurizado TKAY-2640 que, a pesar de contar con daño de corrosión por picadura, puede continuar en operación normal superando el nivel de evaluación para este tipo de daño.
- La evaluación nos ayudó a estimar la vida remanente y definir un tiempo de operación sin necesidad de realizar un reemplazo o reparación.
- La presión obtenida en la evaluación es de 18.55 kg/cm², esta presión es mayor que la presión de diseño 17.58 kg/cm².

RECOMENDACIONES

- Realizar una siguiente inspección dentro 2.5 años, a fin de evaluar el estado del área afectada por el mecanismo de daño. Esta inspección nos ayudara a determinar:
 - Si hubo un aumento en las dimensiones del área afectada.
 - Calcular una nueva Máxima Presión de Trabajo Admisible, nueva vida remanente y el nuevo intervalo de inspección.
 - Determinar el estado del recipiente en caso sea necesario realizar un re-rating, reparar o reemplazar el recipiente.
- Monitorear de forma constante el área donde se presenta la corrosión por picaduras, mediante medición de espesores con ultrasonido A-Scan y B-Scan en la cara externa del recipiente.

- Consultar normas y empresas que recomienden procedimientos y técnicas de remediación para disminuir el efecto del daño de a corrosión por picadura.
- Documentar toda la información recolectada y determinada durante la evaluación, a fin de crear un historial de inspección.

• REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] West, J.M. (1986). Corrosión y Oxidación, Fundamentos. Ed. Limusa
- [2] API 571 (American Petroleum Institute) Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry
- [3] G. Fernandez, J. I. Verdeja, J.A. Perosanz. (2014). Corrosión por picaduras de una tubería de acero al carbono, RDM Revista de Minas, Austrias, pp 43-48,
<http://www.unioviedo.es/sid-met-mat/MATMET/RDM0001.PDF>
- [4] American Society for testing and Materials (2011). ASTM G1 Standard Practice for Preparing, Cleaning, and Evaluating Corrosion Test Specimens.
- [5] Examinación No Destructiva Basado en el código ASME Sec. V.(PPT)
- [6] American Petroleum Institute. (2007). Fitness For Service, API 579-1/ASME FFS-1, USA.
- [7] American Petroleum Institute. (2006). Pressure Vessel Inspection Code: In-Service Inspection, Rating, Repair and Alteration API 510.

ANEXOS

- Reporte de inspección del Recipiente a presión TKAY-2640.



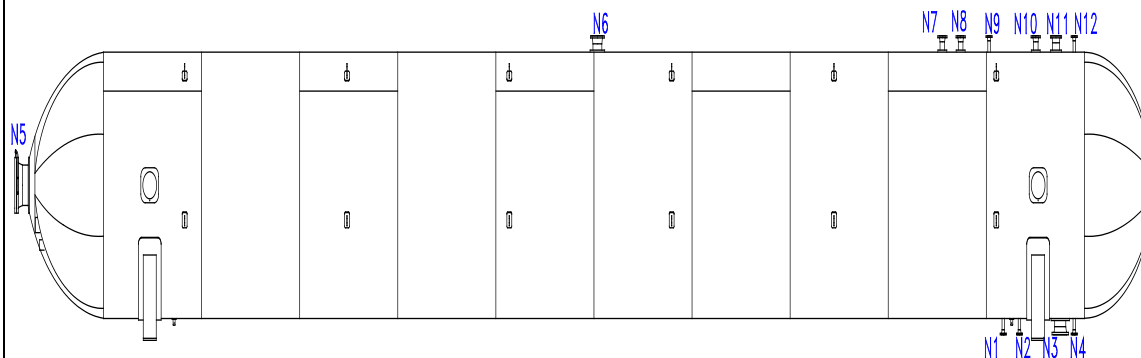
HALLAZGOS DE INSPECCION VISUAL

Fecha Inspección :	Febrero 26 del 2016
TAG;	TKAY-2640
Especificaciones Aplicables:	API 510, API RP 572, API 577, ASME SECCION V

Página 1 de 4

1

2



VISTA LATERAL



PLANO GUIA Y EXTERIOR DEL RECIPIENTE TKAY-2620

OBSERVACIONES Y RESULTADOS

1. Esquema del Bullet TKAY-2620, con la nomenclatura de las boquillas empleadas en los diferentes reportes de inspección.
2. Vista general del recipiente. Se observa la pintura con impregnación de tierra en todo el equipo y accesorios. Los componentes aledaños como tuberías, y las facilidades de acceso como son escaleras y plataformas se evidencian en buen estado.



HALLAZGOS DE INSPECCION VISUAL

Fecha Inspección :	Febrero 26 del 2016
TAG :	TKAY-2640
Especificaciones Aplicables:	API 510, API RP 572, API 577, ASME SECCION V

Página 2 de 4

3



4



5



ACCESORIOS

OBSERVACIONES Y RESULTADOS

3. Interior del Bullets: en general las superficies internas del bullets son uniformes y no evidencian desgastes localizados. Aún se observan marcas de tinta efectuadas en la fabricación del recipiente como referencia de las bajas velocidades de corrosión al interior del recipiente.
4. El tubo de nivel de producto que llega hasta la parte inferior del bullets, se evidencia en buenas condiciones mecánicas (no evidencia deformaciones). Los cordones de soldadura de los tubos no presenta imperfecciones en la superficie. El soporte de fijación carece de bulón, este no tiene buena sujeción.
5. El cordón de soldadura del desviador de flujo, es aceptable.



HALLAZGOS DE INSPECCION VISUAL

Fecha Inspección :	Febrero 26 del 2016
TAG :	TKAY-2640
Especificaciones Aplicables:	API 510, API RP 572, API 577, ASME SECCION V

Página 3 de 4

6



7



8



BOQUILLAS

OBSERVACIONES Y RESULTADOS

6. En el casquete del lado este del Bullet (Entrada de Hombre), este se encuentra con superficies uniformes, soldadura de la escalera interior se encuentra en buenas condiciones.
7. En la imagen se observa el termo pozo instalado, se encuentra en buenas condiciones mecánicas.
8. Los cordones de soldaduras internas de las boquillas del lado superior es aceptable, las superficies de metal de la parte alta del cilindro son uniformes y exhiben capas de óxido superficiales (normal).

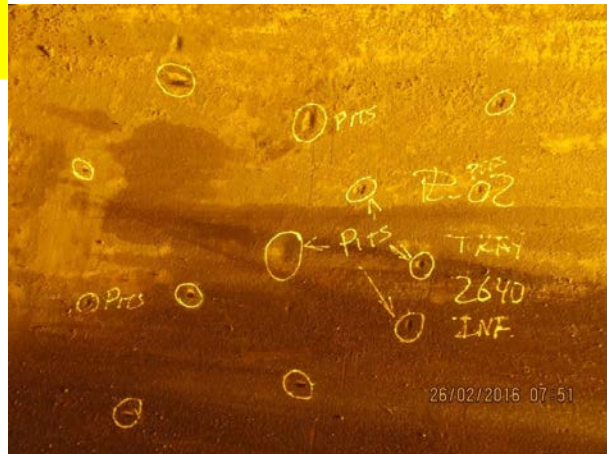


HALLAZGOS DE INSPECCION VISUAL

Fecha Inspección :	Febrero 26 del 2016
TAG :	TKAY-2640
Especificaciones Aplicables:	API 510, API RP 572, API 577, ASME SECCION V

Página 4 de 4

9



10



CASCO / CUERPO

OBSERVACIONES Y RESULTADOS

9. En la plancha N° 02, en ángulo 0°, se aprecia Pits dispersos en un área de 1.2 m x 1.2 m, siendo el pit de mayores dimensiones de 8 mm de profundidad y 3 mm de diámetro.
10. Soldaduras Longitudinales / Circunferenciales: el aspecto de los cordones de soldadura internos es aceptable.