

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

PROPUESTA DE PROCEDIMIENTO DE REPARACIÓN A TANQUES DE AIRE A PRESIÓN MEDIANTE PROCESOS DE SOLDADURA POR ARCO CON APORTE, BAJO LINEAMIENTOS ASME Y API

Trabajo de Titulación para optar al título de
Ingeniero en Mantenimiento Industrial con
Licenciatura en Ingeniería

Alumno:

Sr. Francisco Cueto González

Profesor Guía:

Mg. Ing. Alejandro Badilla Bello



CONSTANCIA DE VALIDACIÓN Y CONFIDENCIALIDAD DE MONOGRAFÍA A REPOSITORIO ACADÉMICO

1.- IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO ACADÉMICO

Tipo de monografía (marcar una opción): Memoria o trabajo de título Tesis de Postgrado

Título del trabajo: PROPUESTA DE PROCEDIMIENTO DE REPARACIÓN A TANQUES DE AIRE A PRESIÓN MEDIANTE PROCESOS DE SOLDADURA POR ARCO CON APORTE, BAJO LINEAMIENTOS ASME Y API

Nombre del candidato(a): Francisco Guillermo Cueto González

Carrera / Grado: Ingeniería en Mantenimiento Industrial con licenciatura en Ingeniería vespertina

Campus: Sede Viña del Mar _____ Departamento: Mecánica

2.- VALIDACIÓN DEL PROFESOR GUÍA/DIRECTOR DE TESIS

Yo, ALEJANDRO BADILLA BELLO, en mi calidad de profesor(a) guía/director(a) del trabajo académico mencionado anteriormente **DEJO CONSTANCIA** que:

- He revisado esta versión del documento y corresponde a la versión final aprobada del trabajo.
- El trabajo cumple con los requisitos académicos y de formato establecidos por la institución.

3.- EVALUACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD POR PROPIEDAD INDUSTRIAL (marcar una opción)

El trabajo **NO contiene** información que amerite confidencialidad y puede ser publicado de inmediato en repositorio con acceso abierto.

El trabajo **CONTIENE** información con potenciales implicancias de propiedad industrial o intelectual y requiere un periodo de confidencialidad (**embargo**) por (**marcar una opción**):

6 meses 12 meses 2 años 3 años 5 años 10 años

Fundamentación de la necesidad de confidencialidad (obligatorio si se solicita embargo):

4.- FIRMAS

Profesor(a) guía o director(a) de memoria o tesis:

Fecha: 23/04/2026 Firma: _____

Estudiante o Candidato(a):

Fecha: 23/04/2026 Firma: _____

Este formulario debe ser insertado como página 2 de la memoria o tesis, completado y firmado por estudiante y profesor(a) antes de la entrega en portal PRISMA de Biblioteca USM

RESUMEN

Keywords: TANQUE DE AIRE A PRESIÓN, REPARACIÓN SOLDADA, EVALUACIÓN DE SOLDADURA.

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo proponer un procedimiento de reparación a un tanque de aire a presión utilizado como almacenamiento de aire comprimido de un camión, el cuál es una parte fundamental en el sistema neumático de frenos. El tanque presentó una perforación puntual producto de un impacto externo, lo que generó pérdida de estanqueidad e imposibilitó la operación del camión.

En el capítulo 1, se desarrolla la identificación inicial del tanque con el objetivo de determinar la viabilidad de reparación. Para ello, se realiza una inspección visual detallada y una caracterización del daño conforme a la norma API 579-1. Adicionalmente se calculan los espesores mínimos requeridos según ASME VIII División 1, verificando que, una vez concluida la reparación, cumplirá con los requisitos de construcción exigidos para su integridad estructural respecto a su presión de operación.

Posteriormente se diseñará un procedimiento de soldadura por arco con aporte, construido en base a las variables esenciales requeridas para la calificación de este. En función del procedimiento, se aplicará la norma ASME PCC-2, específicamente el artículo 212, el cual propone un método de reparación mediante un parche soldado tipo filete cubriendo el área dañada.

Finalmente se evaluará la efectividad de la reparación realizada, con el objetivo de validar la integridad estructural y seguridad operativa del tanque. Esta evaluación se llevará a cabo mediante inspecciones visuales y ensayos no destructivos, conforme a los lineamientos de las normas API 510 y 572.

En virtud de que, a partir del desarrollo de los capítulos y el enfoque normativo, se concluye que la reparación es técnicamente viable, normativamente respaldada y aplicables a un tanque de aire a presión utilizado en camiones, demostrando una combinación adecuada de normas ASME y API permite restituir hacia una condición aceptable, aunque se haya ejecutado una intervención.

ÍNDICE

SIGLAS Y SÍMBOLOS.....	9
SIMBOLOGÍA.....	9
SIGLAS:	10
INTRODUCCIÓN	11
OBJETIVOS	13
OBJETIVO GENERAL	13
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1. ANTECEDENTES GENERALES:.....	15
1.1. SISTEMA DE AIRE DE UN CAMIÓN:.....	15
1.2. METODOLOGÍA DE INSPECCIÓN:	16
1.2.1. Inspección visual:.....	16
1.3. CÁLCULO DE ESPESOR SEGÚN ASME:	18
1.3.1. Espesor Requerido, fórmula UG-27 (tanque cilíndrico, tensión circunferencial)	18
1.3.2. Espesor (Trabajo):.....	18
1.3.3. Espesor (Prueba):	19
1.3.4. Espesor del cabezal, fórmula UG-24 (tanque cilíndrico)	19
1.3.5. Espesor cabezal, según ASME VIII-1, UG-32:.....	20
1.4. API 579, SECCIÓN 5, PÉRDIDA LOCAL DE MATERIAL.....	20
1.4.1. Espesores medidos con UT:	21
1.4.2. Facto de abombamiento local y factor de Folias:.....	22
1.4.3. RSF (Remaining Strength Factor).....	23
1.4.4. Criterios de RSF:.....	23
1.5. COMPARACIÓN DE VALORES:	24
1.6. EVALUACIÓN DE APTITUD PARA EL SERVICIO (FFS)	25
1.7. RESULTADOS FINALES.....	26
2.1 INTRODUCCIÓN	28
2.2 FUNDAMENTACIÓN NORMATIVA.....	29
2.3 APLICACIÓN NORMA ASME IX:.....	29
2.3.1. ASME IX, ARTÍCULO 1: ALCANCE	29
2.3.2. ASME IX, ARTÍCULO 2: CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA	29
2.3.3. ASME IX, ARTÍCULO 3: CALIFICACIÓN DE SOLDADORES Y OPERADORES	30
2.3.4. ASME IX, ARTÍCULO 4: VARIABLES DE SOLDADURA	31
2.4. APLICACIÓN NORMA ASME PCC-2.....	32
2.4.1. Artículo 212, Parches tipo filete:.....	32
3.1. INTRODUCCIÓN	38

3.2. MARCO NORMATIVO:	39
3.2.1. API 510:	39
3.2.2. API 572:	39
3.3. RELACIÓN ENTRE NORMAS:	39
3.4. API 510: Código de inspección de recipientes a presión: Inspección en servicio, clasificación, reparaciones y alteraciones.	39
3.4.1. Alcance:	39
3.4.2. Propósito:	40
3.4.3. Referencias normativas:	40
3.4.4. Organización del usuario/dueño:	41
3.4.5. Inspección y monitoreo:	41
3.4.6. Preparación para la inspección:	42
3.4.7. Mediciones del daño:	42
3.4.8. Tipos de inspección:	42
3.4.9. Frecuencia de inspecciones:	44
3.4.10. Evaluación, análisis y registro de la información de inspección.	45
3.4.11. Registros:	45
3.4.12. Reparación final:	46
3.5. API 572: Práctica recomendada para inspección de recipientes a presión	47
3.5.1. Tipos de daño al recipiente:	47
3.5.2. Métodos de construcción:	47
3.5.3. Materiales de construcción:	47
3.5.4. Inspección de mantenimiento:	47
3.5.5. Mecanismos de deterioro:	47
3.5.6. Métodos de inspección:	47
3.5.7. Registros y reportes.....	49
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	50
BIBLIOGRAFÍA	52
ANEXO 1 - FORMATO SUGERIDO PARA ESPECIFICACIONES DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS).	53
ANEXO 1 – CONTINUACIÓN	54
ANEXO 2 - FORMATO SUGERIDO PARA REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE PROCEDIMIENTO (PQR)	55
ANEXO 2 – CONTINUACIÓN	56
ANEXO 3 – FORMATO SUGERIDO PARA CALIFICACIONES DE HABILIDAD DEL SOLDADOR.	57
ANEXO 4 - FORMATO SUGERIDO PARA EL REGISTRO DE REPARACIÓN, ALTERACIÓN O RECLASIFICACIÓN DE RECIPIENTES A PRESIÓN SEGÚN API 510.	58

**ANEXO 5 – REGISTRO DE INSPECCIÓN DE RECIPIENTES A PRESIÓN SEGÚN
API 510. 59**

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Tanque de almacenamiento de aire.	15
Figura 1.2: Tanque de almacenamiento de aire	16
Figura 1.3 Área de adelgazamiento local.	21
Figura 3.1: Tanque construido conforme a normas reconocidas	40

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Clasificación de tipos de acero.	17
Figura 1.3 Área de adelgazamiento local.	21
Tabla 1.2: Métodos de medición con herramientas.	24
Tabla 1.3: Métodos de medición en base a fórmulas ASME VIII-1.....	25

SIGLAS Y SÍMBOLOS

SIMBOLOGÍA

m	:	Metro
mm	:	Milímetro
l	:	Litros.
bar	:	Bar. (unidad de presión en fluidos y gases)
LML	:	Local Metal Loss (Pérdida localizada de metal)
t	:	Espesor del material, en milímetros.
P	:	Presión.
R	:	Radio interior del tanque.
S	:	Esfuerzo admisible del material.
E	:	Efectividad de la soldadura.
t_c	:	Espesor sano.
t_{eff}	:	Espesor efectivo.

SIGLAS:

ASME	:	American Society of Mechanical Engineers.
API	:	American Petroleum Institute.
WPS	:	Welding Procedure Specifications.
PQR	:	Procedure Qualification Record.
WPQ	:	Welding Procedure Qualification.
ASTM	:	American Society for Testing and Materials.
ISO	:	Internacional Organization for Standardization.
SAE	:	Society of Automotive Engineers
EN	:	European Norm.
CTP	:	Critical Thickness Profile.
RSF	:	Remaining Strenght Factor.
GMAW	:	Gas Metal Arc Welding.
FFS	:	Fitness for service.
UT	:	Ultrasonido.
END	:	Ensayos no destructivos.

INTRODUCCIÓN

Un tanque de aire sometido a presión, generado por un compresor, permite almacenar aire comprimido para que el sistema disponga de una reserva en caso de que el compresor deje de operar. Este componente actúa como un mecanismo de compensación entre el compresor y el sistema de aire, ya que dentro de dicho sistema se producen fluctuaciones de presión que podrían generar fallas en el compresor si no existiera un amortiguador de presión adecuado.

En los camiones Scania, el sistema neumático cuenta con tres a cuatro tanques de aire, los cuales son controlados por una válvula distribuidora. Esta válvula tiene la función de redirigir el aire comprimido hacia los distintos subsistemas que lo requieran, tales como:

- El sistema de frenos, tanto del eje delantero como del eje de tracción.
- El sistema de freno del acoplado o remolque, que también utiliza aire comprimido.
- El sistema de suspensión neumática, en caso de que el camión esté equipado con este tipo de suspensión.

Inicialmente, el tanque en estudio se encontraba operativo, sin fugas ni rupturas visibles. Sin embargo, durante su funcionamiento habitual, y debido a irregularidades en la calzada, el vehículo impactó contra una barra de acero corrugado presente en la vía, provocando una grieta significativa en la pared del tanque. Este daño generó una pérdida considerable de aire, lo que fue detectado por el conductor al observar una disminución de la presión en los manómetros ubicados en la cabina. Como resultado, el sistema de frenos automáticos del camión se activó, deteniendo el vehículo.

Debido a la magnitud del daño, el tanque fue reemplazado temporalmente por otro de similar capacidad y función, con el objetivo de mantener operativo el sistema.

No obstante, para recuperar la funcionalidad del tanque original, será necesario realizar una reparación mediante soldadura, la cual deberá desarrollarse bajo procedimientos estandarizados y normas técnicas que aseguren su integridad estructural y funcionamiento seguro.

Las normas aplicables recomiendan, en primera instancia, establecer la condición actual del equipo, recopilando información clave sobre dimensiones, material, espesores, tipo de daño y ubicación de la falla. Con esta información se podrá definir un procedimiento de soldadura adecuado según el tipo y extensión del daño. Posteriormente, se llevará a cabo la reparación conforme a los lineamientos normativos y se ejecutarán ensayos y pruebas no destructivas, en la soldadura y en el tanque, para evaluar su comportamiento posterior.

Finalmente, con los resultados obtenidos, se determinará la nueva condición operativa del tanque, y se decidirá si éste se encuentra apto para continuar en servicio de manera segura.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Proponer un procedimiento de reparación de tanques de aire a presión utilizados en camiones, mediante procesos de soldadura por arco con aporte, con el fin de garantizar su integridad estructural y seguridad operativa, a través de la integración de criterios normativos ASME y API.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar las condiciones iniciales del tanque, con el fin de determinar su viabilidad de reparación, mediante inspecciones, mediciones de espesores y normativa ASME VIII y API 579.
2. Diseñar un procedimiento de soldadura por arco con aporte (WPS), para establecer parámetros y condiciones de aplicación, conforme a ASME IX y ASME PCC-2.
3. Evaluar la efectividad de la reparación, a fin de validar la integridad estructural y la seguridad operativa, mediante ensayos no destructivos e inspecciones según API 510 y API 572.

CAPÍTULO 1: ANTECEDENTES GENERAL

1. ANTECEDENTES GENERALES:

1.1. SISTEMA DE AIRE DE UN CAMIÓN:

El sistema de aire de un camión se conforma por un compresor, que es un pequeño motor que comprime el aire extraído de la atmósfera y lo comprime, luego se dirige a secadores de aires, si es que el fabricante incluye uno, que se encarga de eliminar partículas de agua y aceite provocados por la humedad del ambiente y el desgaste del compresor respectivamente, para llegar a los tanques de aire que retendrán el aire hasta que algún actuador le permita liberar y redirigir donde se desee.



Fuente: Elaboración propia

Figura 1.1: Tanque de almacenamiento de aire.

Por lo que es un componente esencial en el camión de carga, una gran pérdida de aire podría ocasionar una pérdida de frenos y aumentar el riesgo de accidente.

El tanque por reparar tiene un volumen de 22 litros, una presión de trabajo de 10 bar y además entrega una presión de pruebas de 20 bar. Un largo de 430 mm y un diámetro exterior de 260 mm. Tiene una forma cilíndrica así permitiendo su uso horizontal, en el camión de donde se extrajo el tanque, presenta 2 cilindros más, con un total de 3 que se encargan de almacenar aire comprimido suficiente para las distintas funciones y accesorios que el camión presenta.

Dada esta criticidad del componente se hace necesario determinar la factibilidad de la reparación mediante un análisis respaldado por normas internacionales de importancia.

1.2. METODOLOGÍA DE INSPECCIÓN:

1.2.1. Inspección visual:

Esta es la encargada de dar una primera vista al problema, es la primera etapa de cualquier evaluación de servicio, la norma API 579-1 Parte 2, busca reconocer la morfología de tanque y del defecto, determinar el mecanismo de falla, causas mecánicas o mecanismos de degradación, para finalmente recopilar datos dimensionales y fotográficos para poder clasificar por categoría el daño presente.



Fuente: Elaboración propia

Figura 1.2: Tanque de almacenamiento de aire

- 1.2.1.1. Criterios observados:

El tanque presenta un contorno definido, no presenta picaduras, corrosión, o fisuración superficial asociados a éstos. Sólo una abertura puntual provocada por daño mecánico externo. La norma lo menciona como *Pérdida local del material*.

- 1.2.1.2. Tipo de material:

Los tanques de aire a presión se fabrican de acero al carbono de bajo porcentaje de carbono, la norma ASME IX, Anexo D, indica los tipos de acero compatibles, dónde el fabricante no declara una especificación acerca del material pero sí bajo qué normativa utilizan la selección del metal, se utilizará un material equivalente cómo los siguientes, clasificables en el grupo P-N°1.

Tabla 1.1: Clasificación de tipos de acero.

Norma	Tipo de acero	Esfuerzo admisible
ASTM A1011 / COMMERSIAL STEEL (CS)	Acero al carbono de bajo porcentaje, laminado en caliente	120 MPa
EN 10130	Acero al carbono para alta conformabilidad.	120 MPa
SAE 1008 / SAE 1010	Acero al carbono de muy bajo porcentaje de carbono. (0,08% C y 0,10% C)	130 MPa / 140 MPa

Fuente: Elaboración propia.

Dado que no se dispone de certificación real del material, el esfuerzo admisible es utilizado para definir los distintos parámetros, el rango de 120-140 MPa es una selección conservadora conforme a la práctica ASME/API.

1.3. CÁLCULO DE ESPESOR SEGÚN ASME:

Para el siguiente cálculo se utilizará las fórmulas brindadas por ASME VIII, División 1 (UG-27 y UG-32) para luego verificar la aptitud de servicio mediante la norma API 579 (Sección 5).

1.3.1. Espesor Requerido, fórmula UG-27 (tanque cilíndrico, tensión circunferencial)

$$t = \frac{P * R}{(S * E) - 0,6P}$$

$$\Rightarrow t_{requerido} = t$$

Dónde:

t = espesor.

P = Presión de diseño.

R = Radio interno.

S = Esfuerzo admisible.

E = Eficiencia soldadura.

Datos de entrada:

Presión de trabajo: 10 bar = 1 MPa

Diámetro interno: 259 mm. Radio interno = 129,5 mm.

Corrosión admisible: 1,5 mm

Eficiencia soldadura: 0,7

Esfuerzo admisible: S: 140 MPa.

1.3.2. Espesor (Trabajo):

$$t = \frac{1 \text{ MPa} * 129, \text{ mm}}{(140 \text{ MPa} * 0,7) - 0,6(1 \text{ MPa})}$$

$$t \cong 1,349 \text{ mm}$$

1.3.3. Espesor (Prueba):

$$t = \frac{2 \text{ MPa} * 129,5 \text{ mm}}{(140 \text{ MPa} * 0,7) - 0,6(1 \text{ MPa})}$$

$$t \cong 2,698 \text{ mm}$$

1.3.4. Espesor del cabezal, fórmula UG-24 (tanque cilíndrico)

Datos de entrada:

Tipo de cabezal: Torisférico estándar.

Presión: 1 MPa = 10 bar

Diámetro interno: 259 mm

Esfuerzo admisible: 138 MPa

Eficiencia soldadura: 1

Constante corrosión: 0,7 mm

Constante K (tipo de cabezal): 0,885

Formula:

$$t = \frac{P (K * D)}{(2 * S * D) - 0.2P}$$

1.3.5. Espesor cabezal, según ASME VIII-1, UG-32:

$$t = \frac{1 \text{ MPa} (0,885 * 259 \text{ mm})}{(2 * 140 \text{ MPa} * 1) - 0.2 * 1 \text{ MPa}}$$

$$t \cong 0,831 \text{ mm}$$

1.4. API 579, SECCIÓN 5, PÉRDIDA LOCAL DE MATERIAL

Esta norma busca dimensionar y cuantificar en base a factores de seguridad un daño presente en tanques o equipos cilíndricos, entre otros más, y así definir si éste puede seguir operando luego de una reparación normada por estándares internacionales que esté validada por esta norma. Para el caso presente, la sección 5 es la que se adecua a el daño que se presenta en el tanque de aire a presión del camión.

Para poder calcular la pérdida local del material según la norma, se deberá establecer una cuadrícula de entre 20 y 30 mm como mínimo cubriendo el área afectada llamada *Local Thin Area (área de adelgazamiento local)*, para así obtener posiciones estratégicas dónde medir, se mide en L, longitud axial del daño y C (o W) ancho circunferencial (alrededor del perímetro) esta área o grilla es la base para calcular el “*Critical Thickness Profile*” (CTP), luego dentro de la cuadrícula se medirá mediante ultrasonido que se deberá obtener lo siguiente:

$t_{\text{mínimo}}$: Espesor mínimo medido dentro del área dañada.

t_{promedio} : Espesor promedio dentro del área dañada.

t_c o t_{sano} : Espesor sano fuera del área central del daño, adyacente a la perforación

Datos de entrada:

Dimensiones del área a medir: Largo: 100 mm
Ancho: 100 mm
Dimensiones de las cuadrículas: Largo: 25 mm
Ancho: 25 mm



Fuente: Elaboración propia

Figura 1.3 Área de adelgazamiento local.

Para obtener lo solicitado se deberán realizar estas 16 mediciones con ultrasonido para, obtener un espesor mínimo medido, luego promediar las mediciones y finalmente definir entre las distintas mediciones cuál es la mayor para deducir que ése es el espesor sano, el cual no ha presentado adelgazamientos importantes.

1.4.1. Espesores medidos con UT:

$$t_{\text{mínimo medido}} : 2,92 \text{ mm}$$

$$t_{\text{promedio}} : 3,04 \text{ mm}$$

$$t_c : 3,06 \text{ m}$$

1.4.2. Facto de abombamiento local y factor de Folias:

Para definir el parámetro de longitud y el factor de Folias que sirve para entrar en las tablas del factor de abombamiento local (M_t). Este es un coeficiente que corrige la resistencia de una pared delgada cuando existe una pérdida localizada de espesor. Este factor se utiliza en la Figura 5.3 de la norma, en base a éste se obtendrá M_t . Si el factor es menor a 1 significa que existe la presencia de abombamiento y un aumento de tensión en la zona dañada, si es mayor o igual a 1, no presenta concentración de esfuerzos.

$$\lambda = \frac{L}{\sqrt{R * t_c}} \approx 5,02$$

Dónde:

L = Longitud axial del área dañada.

R = Radio interno del cilindro o tanque.

t_c : = Espesor sano fuera del daño.

Una vez obtenido el factor de folias, nos dirigimos a la tabla para encontrar M_t , dándonos como resultado, $M_t \cong 5$.

En función de estos valores podremos calcular el espesor efectivo remanente, que se calculará de la siguiente forma:

$$t_{eff} = t_{min} + (t_{prom} - t_{min}) \left(1 - \frac{1}{M_t}\right)$$

$$t_{eff} = 2,92 \text{ mm} + (3,04 \text{ mm} - 2,92 \text{ mm}) \left(1 - \frac{1}{5}\right)$$

$$t_{eff} = 3,016 \text{ mm}$$

1.4.3. RSF (Remaining Strength Factor)

Este factor permite cuantificar la integridad estructural remanente de un componente que presenta daños, como daño localizado. Es un factor de seguridad que determina si el equipo puede continuar desempeñando sus funciones de forma segura o si debe retirarse de servicio.

Este compara la capacidad del componente dañado con la capacidad del componente sin daños, para esto se utilizará la siguiente fórmula.

$$RSF = \frac{t_{eff}}{t_c}$$

$$RSF = 0,985$$

1.4.4. Criterios de RSF:

- $RSF \geq 1.0$
 - No existe pérdida efectiva.
 - Condición casi como nueva.
 - Operación normal.
- $0,9 \leq RSF < 1.0$
 - Apto para operar.
 - Debe monitorearse.
 - Puede requerir una nueva reparación en el futuro.
- $0,75 \leq RSF < 0,9$
 - Condición marginal.
 - Dependerá del nivel de evaluación
 - La norma puede permitir operación con restricciones.

- $RSF < 0,75$
 - No cumple criterios de aceptabilidad
 - Riesgo de falla significativo
 - Requiere reparación o retiro inmediato

1.5. COMPARACIÓN DE VALORES:

Tabla 1.2: Métodos de medición con herramientas.

Método de medición	Espesor mínimo	Espesor máximo	Espesor promedio
Pie de metro	3,00 mm	3,10 mm	3,05 mm
Micrómetro	2,950 mm	3,120 mm	3,062 mm
Ultrasonido	2,92 mm	3,11 mm	Tc: 3,06 mm

Fuente: Elaboración propia

Tabla 1.3: Métodos de medición en base a fórmulas ASME VIII-1

Método de medición	Espesor requerido	Espesor requerido más corrosión admisible (1,5 mm)
Fórmula UG-27	0,831 mm	1,531 mm
Fórmula UG-32	1,349 mm	2,849 mm

Fuente: Elaboración propia

1.6. EVALUACIÓN DE APTITUD PARA EL SERVICIO (FFS)

Aplicando la sección 4 de la norma API 579-1 que aborda sobre la pérdida general del espesor y la sección 5 que evalúa el daño en la zona afectada y su entorno. Se comparan los espesores remanentes efectivo y el espesor mínimo que presenta la zona, si se cumplen los factores de seguridad que menciona la norma, es considerado apto para el proceso de reparación bajo un proceso calificado de soldadura.

El proceso Fitness-for-service hace referencia a un proceso de evaluación de integridad estructural del equipo, donde su propósito es determinar si un equipo que posea daños, defectos o discontinuidades puede seguir operando de forma continua y segura después de una intervención en su estructura.

Existen 3 niveles de evaluación, donde el primero es una evaluación rápida que utiliza métodos simples, ecuaciones conservadoras y datos reducidos, ideal para intervenciones en pequeñas pérdidas de espesor, si en esta evaluación no se cumple con lo esperado, se continúa con la evaluación 2, donde se requiere de un ingeniero especializado para tomar más datos requeridos y calcular la geometría del daño con distintos ensayos. Y el nivel 3 se utiliza

cuando no se pudo aprobar el componente en base a los niveles 1 y 2 a la vez, esta utiliza métodos numéricos como un análisis por elementos finitos, evaluaciones de cargas combinadas, análisis de las fracturas y también requiere una inspección por un ingeniero especializado.

En función que el RSF es mayor a lo que el nivel 1 requiere, el equipo está apto para su reparación.

1.7. RESULTADOS FINALES

En cuanto a la norma ASME VIII, división 1, que entrega los espesores mínimos requeridos del componente son menores a los espesores medidos por ultrasonido, se cumple que el tanque está apto para ejecutar una reparación sobre el material y la norma API 579 menciona que el equipo puede ser apto para una reparación en función de un factor de seguridad que sí cumple con lo requerido, se determina que el tanque es apto para una reparación controlada bajo normativos internacionales que estén certificados y cumplan también con los requisitos de las normas ASME VIII y API 579.

**CAPÍTULO 2: DESARROLLO DE PROCEDIMIENTO, CALIFICACIÓN Y MÉTODO
DE REPARACIÓN.**

2.1 INTRODUCCIÓN

Una vez establecida la condición inicial del estanque y confirmada su viabilidad de reparación conforme a las normas API 579-1 y ASME VIII, el siguiente paso consiste en diseñar un procedimiento de soldadura que asegure la correcta recuperación de la integridad del equipo.

El desarrollo de este procedimiento tiene como finalidad garantizar que el proceso de soldadura aplicado sea repetible para algún caso similar, controlado y conforme a los lineamientos normativos internacionales, asegurando que la reparación no introduzca a futuros defectos ni deformaciones en el material base ni afecte a las propiedades mecánicas del componente.

El código ASME Sección IX establece los requisitos mínimos para la calificación del procedimiento de soldadura y de los soldadores encargados de ejecutarlos. Esta norma define las variables esenciales, no esenciales y suplementarias que deben controlarse durante la soldadura, junto con los ensayos de calificación necesarios para completar de forma idónea el proceso.

Por otra parte, la norma ASME PCC-2 brinda procesos normalizados de reparación aplicables a recipientes a presión, abarcando procesos de soldadura como insertos, parches externos, recargues mecánicos entre otras técnicas de restauración. En la Parte 2 de la norma, se mencionan particularmente los artículos 207 y 212.

El diseño de procedimiento de soldadura (WPS) contemplará la selección del proceso de soldadura por arco con aporte más adecuado, considerando distintas variabilidades. Se definirán variables esenciales, datos de la soldadura y datos del soldador en base a la conformidad de las tablas de ASME IX, y también se definirán los requerimientos de la parte 2 de la norma ASME PCC-2 que indica la forma de reparar el componente.

En este capítulo se describirá la metodología para el diseño, elaboración y calificación del procedimiento de soldadura, el cual permitirá ejecutar una reparación permanente y segura al tanque de aire sometido a presión.

2.2 FUNDAMENTACIÓN NORMATIVA

El diseño y ejecución de una intervención a un equipo a presión requiere la aplicación de normas técnicas reconocidas internacionalmente, que garanticen calidad, seguridad y competencia del personal involucrado, el código ASME de calderas y recipientes a presión, sección IX y la norma ASME PCC-2, serán la base normativa de la reparación de un tanque de presión, debido a su carácter complementario y amplia aceptación en la industria para la fabricación, reparación y evaluación de componentes presurizados.

2.3 APLICACIÓN NORMA ASME IX:

2.3.1. ASME IX, ARTÍCULO 1: ALCANCE

Se establecen los requisitos para la calificación de un procedimiento de soldadura y soldadores, aplicables a uniones soldadas utilizadas en reparaciones, fabricaciones o modificaciones en equipos presurizados.

El propósito principal de la sección es asegurar que los procesos de soldaduras proporcionen uniones con propiedades mecánicas adecuadas, compatibles con exigencias del servicio en el equipo.

ASME IX no regula aspectos de diseños ni criterios de aceptación final de los equipos, sino que enfoca exclusivamente en demostrar la idoneidad de un procedimiento de soldadura y la habilidad del soldador.

2.3.2. ASME IX, ARTÍCULO 2: CALIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

El artículo establece los requisitos para la calificación del procedimiento de soldadura (WPS), definiendo que es obligatorio mantener un respaldo de dicho procedimiento mediante un registro de calificación del procedimiento (PQR) el cuál puede ser utilizado en producción si ha sido previamente calificado mediante ensayos que demuestren su capacidad para generar uniones soldadas con propiedades mecánicas aceptables.

En el ítem QW-200 se regula todo el contenido mínimo del WPS y las condiciones mínimas para que un procedimiento pueda ser calificado en función de las variables esenciales. Asimismo, el PQR debe reflejar los valores reales utilizados en el ensayo de la soldadura de prueba y los resultados de los ensayos mecánicos efectuados sobre la misma.

2.3.3. ASME IX, ARTÍCULO 3: CALIFICACIÓN DE SOLDADORES Y OPERADORES

Se establecen los requisitos para la calificación de soldadores, soldadores operarios y operadores de soldadura que estén a cargo de realizar la reparación, la persona que ejecuta la soldadura debe demostrar que posee la habilidad necesaria para realizar uniones de calidad aceptable en base a lo que exige la norma. Se define cómo debe evaluarse, ensayarse y registrar las habilidades del soldador, asegurando que pueda reproducir correcta y consistentemente el WPS ya calificado.

La calificación del soldador tiene como objetivo verificar la técnica de manipulación del electrodo o antorcha, el control del charco de soldadura, la penetración adecuada, control térmico y continuidad del cordón, y la ausencia de defectos típicos de la soldadura, como, porosidad, falta de fusión, mordeduras o socavación, entre otras.

El soldador deberá calificarse en la soldadura GMAW, la cual aplica a nuestra reparación. Se permitirá calificarse mediante soldaduras realizadas directamente en producción, siempre que cumpla los requisitos. Para nuestro caso es más que suficiente que el soldador se califique en 1G y en GMAW, es decir, el soldador será sometido a ejecutar un ensayo de soldadura dónde deberá ejecutar una soldadura similar a la de la reparación, dónde se le harán distintos tipos de prueba, como ensayos no destructivos o radiografías (si el código lo indica) o ultrasonido, el inspector será el encargado de decidir mientras cumpla con lo especificado en QW-302.2 y QW-302.3.

Dentro del informe del soldador o WPQ, se deberán incluir las variables esenciales para la calificación del soldador, cómo la posición, tipo de transferencias, proceso de soldadura, metal de aporte y características eléctricas. Luego se añadirán las variables obligatorias como, el metal base, espesor, resultado de los ensayos, firma

del inspector y la fecha de la calificación, ya que el soldador al obtener esta calificación sólo estará 6 meses apto para ejecutar esta reparación.

El WPQ será el documento oficial que acredite que el soldador posee la capacidad de ejecutar el WPS.

2.3.4. ASME IX, ARTÍCULO 4: VARIABLES DE SOLDADURA

En este artículo se registrarán todas las variables obligatorias, esenciales, no esenciales y suplementarias en los distintos formatos que sugiere la norma. Se regula todo lo que puede o no modificarse de la soldadura, su procedimiento, su calificación y la calificación del soldador.

- 2.3.4.1. QW-482:

Entrega un formato sugerido para el procedimiento de soldadura, se utilizará como guía para rellenar los datos necesarios y agregar o quitar variables que sean de la necesidad del procedimiento. Formato WPS. (Ver anexo A)

- 2.3.4.2. QW-483:

Es el formato sugerido para la calificación del procedimiento de soldadura, se incluirán las variables que sean necesarias para poder calificar el procedimiento a utilizar, quedará registro de que los ensayos, similar al proceso final de reparación, cumple con los requisitos para calificar al WPS. Formato PQR. (Ver anexo B)

- 2.3.4.3. QW-484:

Es el formato sugerido para la calificación del rendimiento del soldador, donde se incluirán variables obligatorias correspondientes al soldador, se registrará que el soldador posee la habilidad para efectuar una soldadura en base al WPS, en base a los ensayos, se validará la capacidad del soldador. Formato WPQ. (Ver anexo C)

2.4. APLICACIÓN NORMA ASME PCC-2.

La norma funciona como un conjunto de métodos estandarizados para reparar equipos y tuberías sometidas a presión, donde presenta distintos artículos dedicados a distintos tipos de reparaciones. Se utiliza cuando se desea devolver un componente a condiciones seguras de operación, pero no reemplaza los códigos de construcción originales.

Se organiza por partes y artículos que clasifican los métodos de reparación según el tipo de intervención, como soldadura, reparaciones mecánicas, reparaciones no metálicas y pruebas posteriores a la reparación. Cada artículo brindará requisitos de diseño, limitaciones, procedimientos de fabricación, exámenes y pruebas después de la soldadura.

El propósito es proporcionar prácticas aceptadas por la industria para reparar componentes presurizados cuando han sufrido daño, deterioro, pérdida de espesor o no posea la capacidad de ejecutar su función. No pretende ser el sustituto original del equipo, pero sí mantener la integridad estructural y funcional del componente, el usuario debe aplicar juicios de ingeniería y cumplir con los requisitos normativos.

Es obligatorio cumplir con la evaluación de la integridad previa a la reparación, la cual fue aceptada por la aptitud para el servicio (Fitness-for-service) de la norma API 579, y también en cuanto a la competencia técnica, la reparación deberá ser efectuada por un soldador calificado por la norma ASME IX.

En el siguiente trabajo se incluirá la parte 2 de la norma ASME PCC-2 que indica las reparaciones soldadas, donde se haya el artículo 212, parches tipo filete y la parte 5 que indica las pruebas posteriores a la soldadura.

2.4.1. Artículo 212, Parches tipo filete:

Este artículo cubre la reparación de componentes presurizados mediante parches soldados con cordones de filete. Se utiliza cuando existe una pérdida de espesor o daño localizado que requieran de una intervención en la restauración integral. Se suelda un parche que posea similares características a las del metal base, utilizando soldadura

de filete a lo largo de todo el perímetro del parche, deteniendo fugas o para reforzar áreas dañadas.

- 2.4.1.1. Limitaciones:

- El análisis ingenieril demuestra que el parche proporciona un refuerzo suficiente para soportar las cargas de trabajo del componente.
- El material base y el metal de aporte son compatibles según ASME IX.
- No se aplica en zonas con esfuerzos elevados, altas temperaturas o una geometría compleja, a menos que se ejecute un análisis adicional.
- No debe utilizarse en equipos que presenten una corrosión significativa, o pérdida estructural extensa.

- 2.4.1.2. Diseño:

El parche debe estar diseñado para aguantar esfuerzos o cargas de presión internas o externas según el código aplicable al diseño original, en este caso se calculó que el espesor mínimo requerido según la norma ASME VIII es de 2,849 mm y se utilizará un parche de otro estanque similar, de donde se extraerá este parche, que mide 3,01 mm.

- 2.4.1.3. Geometría del parche:

Se utilizará un parche cuadrado de 100 mm x 100 mm que cubrirá el 100% del daño localizado y se asentará en material sano previamente medido, para evitar cualquier diferencia de espesores. El parche deberá tener sus esquinas redondeadas para evitar concentraciones de esfuerzos.

- 2.4.1.4. Dimensionamiento del filete:

El tamaño mínimo del filete debe ser el suficiente para transmitir las cargas y sellar la unión, estas dimensiones deben cumplir con la norma ASME IX y sus cálculos de resistencia mecánica.

- 2.4.1.5. Perímetro de la soldadura:

La soldadura deberá recorrer todo el contorno del parche y poseer continuidad completa, que se evidenciará mediante ensayos no destructivos, y debe tener un traslape en cada esquina para asegurar su continuidad.

- 2.4.1.6. Preparación de la superficie:

La superficie debe estar limpia, sin corrosión significativa para que el cordón de soldadura encuentre su fusión en metal sano con metal sano.

- 2.4.1.7. Fabricación:

- 2.4.1.7.1. Preparación del parche:

El parche previamente diseñado deberá ser limpiado para eliminar corrosión o recubrimientos de pintura.

- 2.4.1.7.2. Ajuste del parche:

Este deberá tener un ajuste adecuado, sin separaciones excesivas entre el parche y el componente.

- 2.4.1.7.3. Procedimiento de la soldadura:

La soldadura deberá llevarse a cabo mediante un procedimiento calificado de soldadura (WPS) que se diseñó y calificó previamente en base a la norma ASME IX.

- 2.4.1.8. Exámenes:

Al finalizar la soldadura deberá realizarse al menos un examen visual y un ensayo no destructivo como:

2.4.1.8.1. Inspección visual:

- No deberá presentar deformaciones significativas, ni grietas ni fisuras que se puedan percibir a simple vista, la continuidad de la soldadura también deberá ser analizada cuidadosamente.

2.4.1.8.2. Líquidos penetrantes:

- Este ensayo definirá si la continuidad de la soldadura está correcta, ya que al aplicar estos líquidos se evidenciará si presenta discontinuidades.

2.4.1.8.3. Ultrasonido:

- La norma menciona que el espesor mínimo medido no deberá ser menor al 1.5 veces el espesor mínimo requerido, por lo que se realizarán 16 mediciones dentro del parche que están dadas por un área de 100 mm x 100 mm donde se encuentra una cuadrícula con cuadrados de 25 mm x 25 mm.

- 2.4.1.9. Pruebas:

Para validar la integridad estructural se realizarán los siguientes ensayos para validar que el estanque puede resistir la carga de presión interna que sugiere el fabricante, 20 bar.

2.4.1.9.1. Prueba de estanqueidad:

- Es la primera prueba para evitar que existan fugas, se rellenará el estanque con líquido y se esperará a que presente alguna fuga.

2.4.1.9.2. Prueba neumática:

- Se someterá a una presión de prueba que sugiere el fabricante a 20 bar, si el tanque logra mantener esa presión a lo largo del tiempo, cumplirá con esta prueba.

CAPÍTULO 3: VALIDACIÓN NORMATIVA.

3.1. INTRODUCCIÓN

Una vez realizado el procedimiento de soldadura para la reparación de un estanque a presión conforme a los lineamientos de la norma ASME IX y ASME PCC-2, es fundamental analizar y evaluar la efectividad de la reparación, con el objetivo de verificar y certificar que el componente intervenido mantiene su integridad estructural y cumple con las condiciones de seguridad operativa exigidas para su continuidad de servicio.

La reparación no se considera completa hasta que ha sido inspeccionada, ensayada y aceptada mediante criterios normativos reconocidos. En el siguiente capítulo las normas API 510 y API 572 establecen requisitos, condiciones y recomendaciones para la inspección posterior a reparaciones, así como métodos de evaluación que permiten confirmar la ausencia de discontinuidades relevantes y capacidad de operación del equipo en condiciones seguras.

El presente capítulo desarrolla la aplicación y ejecución de ensayos no destructivos, pruebas físicas y aceptaciones de inspección visual, dimensional y superficial, enfocadas en la zona reparada mediante parche soldado tipo filete conforme al artículo 212 de ASME PCC-2. A través de estas evaluaciones se busca comprobar que la intervención no presenta defectos, no compromete la seguridad operativa del tanque y no afecta en la resistencia mecánica ni el comportamiento del tanque bajo presiones de trabajo constantes.

De esta manera el capítulo final de este proyecto tiene por finalidad validar técnicamente la intervención realizada, cerrando ciclos de diagnóstico, diseño y ejecución desarrollado en capítulos anteriores, proporcionando así, evidencia objetiva que respalda la continuidad operacional del tanque de aire a presión utilizado en camiones.

3.2. MARCO NORMATIVO:

En el siguiente marco normativo se utilizarán las siguientes normas internacionales que cumplen un rol esencial en la inspección de un tanque presurizado, las cuales brindarán la información necesaria para que pueda cumplir su función, aunque haya sido reparado y pueda ser aceptado bajo lineamientos de la norma API.

3.2.1. API 510:

Código de inspección de recipientes a presión: Inspección en servicio, clasificación, reparaciones y alteraciones.

3.2.2. API 572:

Prácticas de inspección a recipientes a presión.

3.3. RELACIÓN ENTRE NORMAS:

Las normas API 510 y API 572 se aplican de forma complementaria en la evaluación de reparación de recipientes sometidos a presión, dónde la API 510 define qué debe inspeccionarse, cuándo y bajo qué criterios se acepta una reparación, y la API 572 explica cómo inspeccionar, qué métodos utilizar y cómo interpretar los resultados.

En conjunto, estas normas permiten validar que la intervención realizada cumple con los requisitos de integridad estructural, estanqueidad y seguridad operativa, asegurando que el tanque puede ser devuelto a servicio sin introducir riesgos de falla a la operación del sistema de frenado neumático del camión.

3.4. API 510: Código de inspección de recipientes a presión: Inspección en servicio, clasificación, reparaciones y alteraciones.

3.4.1. Alcance:

El código aplica a recipientes a presión en servicio utilizados principalmente en refinería, plantas químicas y petroquímicas, incluyendo:

- Recipientes construidos conforme a códigos reconocidos.
- Recipientes sin código de construcción.
- Recipientes especiales aprobados por jurisdicción.

No aplica para recipientes que han sido de baja permanentemente o no sean sido aceptados por algún criterio de condiciones operativas por alguna normativa.



Figura 3.1: Tanque construido conforme a normas reconocidas

Fuente: Elaboración propia

3.4.2. Propósito:

API 510 define un programa sistemático de inspección y monitoreo de condición, y permite:

- Detectar mecanismos de daño activo.
- Evaluar la pérdida de espesor por corrosión o erosión.
- Determinar la presión máxima admisible de trabajo.
- Estimar vida remanente del equipo.
- Definir la acción correctiva indicada como reparación, alteración o retiro definitivo.

El código exige al encargado de la reparación contar con personal técnicamente calificado cuyo perfil debe calificarse en Anexo B de la norma. (Ver ANEXO 3 y ANEXO 4)

3.4.3. Referencias normativas:

La norma API 510 se integra con un amplio conjunto de normas técnicas con las que se puede complementar para mantener comunicación normativa y técnica.

- API 572: Prácticas de inspección de recipientes a presión
- API 579-1/FFS-1: Evaluación de la aptitud para el servicio.
- ASME VIII: Regla de diseño de recipientes.
- ASME PCC-2: Métodos de reparación a estanques a presión.
- ASME IX: Calificación de procedimientos y soldadores.

Estas normas cumplen con lo que señala la API 510 para continuar con la misma esencia normativa.

3.4.4. Organización del usuario/dueño:

El código establece responsabilidades claras para:

- Encargado del tanque: responsable final de la integridad mecánica.
- Inspector autorizado API 510: ejecuta y valida las inspecciones.
- Ingeniero de recipientes a presión: realiza evaluaciones de integridad, FFS y cálculos de MAWP.
- Organización reparadora: ejecuta reparaciones conforme a procedimientos calificados.
- Examinadores END: realizan ensayos no destructivos bajo procedimientos calificados.

3.4.5. Inspección y monitoreo:

El siguiente documento debe contener un plan de inspección que deberá contar con:

- Preparación para la inspección.
- Mediciones del daño.
- Tipo de inspección.
- Frecuencia de monitoreo.
- Vida remanente.

3.4.6. Preparación para la inspección:

Se deberá establecer los requisitos previos obligatorios que deben cumplirse antes de ejecutar la actividad de inspección, la norma menciona que es importante mantener una correcta preparación para no afectar los resultados de inspección ni la seguridad del personal involucrado.

La norma exige una limpieza superficial del tanque para permitir una correcta inspección, sugiere cumplir con lo siguiente:

- Retiro completo del equipo de servicio.
- Despresurización total.
- Drenaje, limpieza y ventilación adecuada dentro del tanque.
- Eliminación de residuos, corrosión o incrustaciones.
- Lugar ventilado y con medidas de seguridad adecuadas.

3.4.7. Mediciones del daño:

El daño presente en el estanque se categoriza en base a la norma, la cual sugiere diversos mecanismos de daños que son susceptibles a ocurrir en un tanque presurizado de aire.

Este estanque está categorizado como:

- i. Pérdida de metal general o localizada, ya definida previamente.

3.4.8. Tipos de inspección

Los tipos de inspección sugeridos por la norma serán los escogidos a continuación los cuales son los apropiados para un tanque de aire presurizado utilizado en camiones.

- 3.4.8.1. Inspección interna:

- 3.4.8.1.1. Estanqueidad:

- se sugiere sellar el estanque y llenar con líquido a presión para detectar fugas en la soldadura.

- 3.4.8.1.2. Prueba de presión:

- la prueba de presión es requerida después de una alteración o intervención. En dónde la presión mínima que debe soportar en función del espesor requerido calculado previamente no deberá sobre pasar el 1,3 veces la tensión admisible.

Como resultados se deberán comprobar que, en la prueba de estanqueidad, el tanque no presente fugas de líquido por el perímetro del parche, en cuanto a la prueba neumática se dará por aprobado que el tanque mantenga la presión de prueba un periodo de tiempo y que no presente fugas de aire por los cordones de soldadura.

- 3.4.8.2. Inspección externa:

- Realizar una inspección visual confirmando que no exista presencia de corrosión, deformación excesiva del tanque, fisuras y agrietamientos.
 - Se llevarán acabo mediciones de ultrasonido en distintos puntos estratégicos para cumplir con el espesor mínimo requerido por la norma encargada de la reparación del tanque presurizado.
 - Determinar que la pintura aplicada sea la correcta para proteger de posible corrosión futura.

3.4.9. Frecuencia de inspecciones:

Para asegurar la integridad estructural del recipiente, deberán ser inspeccionados en los intervalos y frecuencias establecidos en esta sección. El tanque deberá ser inspeccionado a la hora de su instalación para asegurar que no hayan ocurrido daños inaceptables para su continuidad operacional.

Como mínimo la inspección deberá incluir lo siguiente:

- La placa de identificación tiene que ser la correcta y coincidir con los datos reportados y con los requisitos de diseño.
- Verificar que los soportes del tanque estén asegurados, firmes y correctamente.
- Verificar que los alivios de presión estén instalados y funcionando correctamente.

Si ocurre un cambio de condiciones de funcionamiento, como el tipo de fluido, presión máxima de operación o temperatura, los intervalos de inspección deberán establecer nuevas condiciones de servicio.

Tanto como las inspecciones internas y externas el intervalo de inspección no excederá un tiempo total de 5 años. Es preferible que el recipiente esté en operación para realizar las inspecciones. Finalmente, el intervalo de inspección lo establecerá el inspector de acuerdo con el sistema del dueño/usuario.

- a) 5 años para los servicios de procesos típicos, y
- b) 10 años para servicios limpios (que no produzcan atascamiento) y no corrosivos.

3.4.10. Evaluación, análisis y registro de la información de inspección.

- 3.4.10.1. Velocidad de corrosión:

Será la diferencia entre dos mediciones de espesores dividida por el intervalo de tiempo de las dos mediciones.

$$\text{Velocidad de corrosión} = \frac{t_{inicial} - t_{actual}}{\text{tiempo entre } t_{inicial} \text{ y } t_{actual} \text{ (en años)}}$$

- 3.4.10.2. Vida remanente:

Cantidad de años restantes de vida al tanque presurizado en condiciones normales de operación.

$$\text{Vida remanente} = \frac{t_{actual} - t_{requerido}}{\text{velocidad de corrosión}}$$

Dónde:

t_{actual} : Espesor medido por UT

$t_{requerido}$: Espesor requerido calculado por ASME VIII, División 1

3.4.11. Registros:

El dueño del recipiente deberá mantener un registro permanente y progresivo. Contendrán cuatro tipos de información correspondientes a la integridad mecánica.

- 3.4.11.1. Información de construcción y diseño:

- Número de serie del equipo.
- Planos de fabricación.
- Especificaciones de datos de diseño.
- Cálculos de diseño.
- Comentarios y recomendaciones.

- 3.4.11.2 Historial de inspecciones:
 - Informes de inspección.
 - Datos de cada tipo de inspección.
 - Fecha, personal encargado y firma.
 - Descripción de la inspección.
 - Recomendación y resultados.

- 3.4.11.3 Informaciones de reparaciones, alteraciones y reclasificación.
 - Formularios.
 - Informes que indican que se requiere una intervención.
 - Documentación de reclasificación.

- 3.4.11.4 Requisitos de documentación de la evaluación FFS que se describe en la norma API 579-1 específicos para el tipo de fallo que se está evaluando.

3.4.12. Reparación final:

Todas las reparaciones, intervenciones y alteraciones deben ser realizadas y respaldadas por una organización reparadora de acuerdo con los principios aplicables en el código ASME y de acuerdo con el plan de reparación específico por el inspector, quién será el encargado de dar la autorización y aprobación de la reparación. (Ver anexo D)

Parches soldados tipo filete: Esta reparación requiere una consideración especial de diseño relacionada con la eficiencia de junta soldada. Dónde cumple con lo siguiente:

- ✓ Debe ser aplicado en una superficie externa para facilitar su examen de línea.
- ✓ La tensión admisible de membrana no es excedida en las partes soldadas ni en el cuerpo del recipiente.
- ✓ No existe deformación que comprometa la tensión en las soldaduras.

3.5. API 572: Práctica recomendada para inspección de recipientes a presión

Esta norma cubre la inspección a recipientes a presión. Incluye la descripción de los distintos tipos de recipiente y normativa para su construcción y mantenimiento. Su principal objetivo es guiar al inspector en la identificación de daños, selección de métodos de inspección y evaluación en condiciones de servicio. Se sugiere mantener un registro según el formato de la norma API 510 de todo lo que se mencionará a continuación:

3.5.1. Tipos de daño al recipiente:

dónde a nuestro caso corresponderá a pérdida de metal localizada.

3.5.2. Métodos de construcción:

Estanque de aire a presión construido en base a juntas soldadas.

3.5.3. Materiales de construcción:

Acero al carbono de bajo porcentaje.

3.5.4. Inspección de mantenimiento:

Una primera vez cuando esté en funcionamiento y luego cada 5 años.

3.5.5. Mecanismos de deterioro:

El tanque estará sometido a posible corrosión ya que está instalado en el exterior del camión, expuesto constantemente al ambiente, por lo que se sugieren las siguientes áreas a inspeccionar:

- Válvulas de alivio.
- Válvulas de control.
- Área intervenida.

3.5.6. Métodos de inspección:

Antes de cualquier inspección, el inspector deberá mantener un claro registro acerca de los parámetros de funcionamiento del tanque, historial de inspecciones de antes y después de la reparación, entre las distintas variables presentes y adecuadas al tipo de inspección a realizar:

- 3.5.6.1. Soportes de acero:

Se deberá inspeccionar visualmente el soporte del tanque de aire del camión, dónde no deberá presentar corrosión significativa o algún daño mecánico o deformación, también deberá ser pintado en caso de que el inspector lo sugiera, si la inspección visual no asegura una seguridad operacional de los soportes, se medirán espesores mínimos y se compararán con los espesores requeridos calculados para los soportes. También se podrían aplicar inspecciones por partículas magnéticas, líquidos penetrantes o ultrasonido.

- 3.5.6.2. Equipo auxiliar:

El inspector deberá inspeccionar todos los tanques de aire que presente el camión.

- 3.5.6.3. Revestimiento y aislación:

El tanque deberá presentar una capa protectora de pintura para conservar su resistencia a la corrosión, normalmente un examen visual es suficiente para determinar la condición del aislamiento, aunque si se aprecian ampollas, corrosión o grietas, se deberá realizar una preparación de la superficie para inspeccionar el metal del tanque. Un examen de ultrasonido para mediciones de espesores de la carcasa podrá asegurar la condición del revestimiento en áreas típicas problemáticas.

- 3.5.6.4. Mediciones de ultrasonido:

API 510 permite un tratamiento estático de datos de espesores por ultrasonido para cálculos de índice de corrosión y espesores actuales. Esto es aceptable para promediar varias lecturas individuales de espesor en un punto de prueba para determinar el espesor del punto de prueba. Más aún, el promedio de los datos del punto de prueba podrá ser analizado satisfactoriamente para el cálculo del índice de corrosión y el espesor mínimo actual.

- 3.5.6.5. Prueba de presión:

La prueba de presión consiste en el llenado del recipiente con líquido o gas e incrementar una presión interna a un nivel deseado, se utilizarán 20 [bar] que es lo que sugiere el fabricante como presión de prueba. La presión y el procedimiento utilizado deberán de estar de acuerdo con los requerimientos del código de construcción aplicable de acuerdo con el espesor existente del recipiente y la apropiada eficiencia de juntas. Se le realizará una minuciosa inspección visual para detectar fugas o signos de deformación. Cuando se prueba reumáticamente, un detector de fugas ultrasónico o solución jabonosa deberán de ser usadas para ayudar la inspección visual. La solución jabonosa es aplicada con brocha sobre los cordones y juntas del recipiente. El recipiente entonces es examinado por evidencias de burbujeos que indiquen fugas.

3.5.7. Registros y reportes

Los registros de inspección son requeridos por API 510. Estos registros forman una base del programa calendarizado de mantenimiento. Un archivo completo deberá contener lo siguiente:

- Datos básicos
- Notas de campo
- Datos acumulados

Los datos básicos incluyen los dibujos del fabricante, reportes y especificaciones, información de diseño, y los resultados de cualquier análisis y pruebas de materiales. Las notas de campo consisten en notas y mediciones registradas en sitio tanto en formatos preparados (ver anexo E)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente trabajo de título tuvo como propósito proponer un procedimiento de reparación para un tanque de aire a presión utilizado en camiones, mediante procesos de soldadura asegurando la integridad estructural y seguridad operativa a través de la aplicación integrada de normas ASME y API. A partir del desarrollo de los distintos capítulos, se dio el cumplimiento efectivo de cada uno de los objetivos planteados, con métodos y técnicas respaldadas mediante evidencia normativa.

Se estableció una condición inicial del tanque con el fin de validar la viabilidad de una reparación, en dónde se logró caracterizar el daño presente y determinar un factor de seguridad. El defecto fue clasificado como pérdida de metal localizada conforme a la norma API 579-1. Además, se calcularon espesores mínimos requeridos según ASME VIII División 1. Se verificó mediante un análisis dimensional en función de estos datos, la viabilidad de la reparación, dónde el factor de seguridad o RSF cumple con la aptitud para el servicio del tanque, aunque haya sido reparado.

En cuanto al segundo objetivo, se diseñó un procedimiento de soldadura por arco con aporte, dónde se desarrolló un procedimiento técnicamente controlado y normativamente respaldado con respecto a lo que dicta la norma ASME IX, lo que permitió registrar variables esenciales en un formato técnico que fue calificado por la misma norma. Complementariamente, el artículo 212 de ASME PCC-2 brindó un método de reparación adecuado al tipo de daño, definiendo así la geometría del parche, asimismo su fabricación, tipos de soldadura, controles entre otros parámetros esenciales.

Para evaluar la efectividad de la reparación, validar la integridad estructural y seguridad operativa del tanque, se aplicarán inspecciones y ensayos no destructivos conforme a las normas API 510 y API 572. La inspección visual y los ensayos por líquidos penetrantes no deberían evidenciar discontinuidades relevantes en la zona reparada, lo que permitirá confirmar la calidad de la reparación y ausencia de defectos que puedan comprometer al servicio.

En conjunto, los resultados obtenidos permitirán concluir que la reparación propuesta, basada en la integración normativa de ASME y API, forman una alternativa técnica válida y segura para la reparación de un tanque de aire a presión. El enfoque desarrollado demuestra que, mediante un diagnóstico adecuado, un procedimiento de soldadura calificado y una inspección rigurosa, es posible extender la vida útil de estos componentes sin comprometer la seguridad.

BIBLIOGRAFÍA

- American Petroleum Institute. (2016). *API Recommended Practice 572: Inspection of pressure vessels*. API Publishing Services.
- American Petroleum Institute. (2022). *API Standard 510: Pressure vessel inspection code: In-service inspection, rating, repair, and alteration*. API Publishing Services.
- American Petroleum Institute. (2016). *API 579-1/ASME FFS-1: Fitness for service*. API Publishing Services.
- American Society of Mechanical Engineers. (2018). *ASME PCC-2: Repair of pressure equipment and piping*. ASME.
- American Society of Mechanical Engineers. (2021). *Boiler and Pressure Vessel Code, Section IX: Welding, Brazing, and Fusing Qualifications*. ASME.
- American Society of Mechanical Engineers. (2021). *Boiler and pressure Vessel Code, Section VIII: Pressure Vessels, Division 1*. ASME.

ANEXO 1 - FORMATO SUGERIDO PARA ESPECIFICACIONES DE PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (WPS).

QW-482 FORMATO SUGERIDO PARA ESPECIFICACIONES DE PROCEDIMIENTO DE SOLDAR (WPS) (Vea QW-200.1, Sección IX, Código de Calderas y Recipientes de Presión de la ASME)																													
Nombre de la Compañía _____ Por: _____																													
Especificación de Procedimiento de Soldar No. _____ Fecha _____ No.(s) de QPR que Apoya (n) _____																													
Revisión No. _____ Fecha _____																													
Proceso(s) de Soldar _____ Tipo(s) _____ (Automático, Manual, Con Máquina, ó Semi-Auto.)																													
JUNTAS (QW-402) Diseño de Junta _____ Respaldo (Si) _____ (No) _____ Material de Respaldo (Tipo) _____ <input type="checkbox"/> Metal <input type="checkbox"/> Metal Que No Se funde <input type="checkbox"/> No Metálico <input type="checkbox"/> Otro Los Croquis, Dibujos de Producción Símbolos de Soldadura ó Descripción Escrita deberán mostrar el arreglo general de las partes que se van a soldar. En donde sea aplicable, se puede especificar el espaciamento arreglo de raíz y los detalles de la ranura de soldar. (A la opción del Fabte., se pueden anexar croquis para ilustrar diseño de junta, capas de soldadura y serie de cordones, p. ej. para procedimientos de tenacidad de muesca, para procedimientos de procesos múltiples. etc.	Detalles																												
*METALES BASE (QW-403) No. P. _____ No. Grupo _____ a No. P. _____ No. Grupo _____ ○ Especificación, Tipo y Grado _____ a Especificación, Tipo y Grado _____ ○ Análisis Quím. y Prop. Mec. _____ a Análisis Quím. y Prop. Mec. _____ Orden de Espesores: Metal Base: Ranura _____ Filete _____ Orden de Deám. de Tubo: Ranura _____ Filete _____ Otros _____																													
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="text-align: left;">*METALES DE APORTE (QW-404)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="width: 30%;">No. Espec. (SFA) _____</td> <td></td> </tr> <tr> <td>No. AWS (Clase) _____</td> <td></td> </tr> <tr> <td>No. F _____</td> <td></td> </tr> <tr> <td>No. A _____</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tamaño de Metales de Aporte _____</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Metales de Soldadura</td> <td></td> </tr> <tr> <td> Orden de Espesores:</td> <td></td> </tr> <tr> <td> Ranura _____</td> <td></td> </tr> <tr> <td> Filete _____</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fundente de Electrodo (Clase) _____</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Nombre Comercial de Fundente _____</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Met. Inserto Consumible _____</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Otros _____</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		*METALES DE APORTE (QW-404)		No. Espec. (SFA) _____		No. AWS (Clase) _____		No. F _____		No. A _____		Tamaño de Metales de Aporte _____		Metales de Soldadura		Orden de Espesores:		Ranura _____		Filete _____		Fundente de Electrodo (Clase) _____		Nombre Comercial de Fundente _____		Met. Inserto Consumible _____		Otros _____	
*METALES DE APORTE (QW-404)																													
No. Espec. (SFA) _____																													
No. AWS (Clase) _____																													
No. F _____																													
No. A _____																													
Tamaño de Metales de Aporte _____																													
Metales de Soldadura																													
Orden de Espesores:																													
Ranura _____																													
Filete _____																													
Fundente de Electrodo (Clase) _____																													
Nombre Comercial de Fundente _____																													
Met. Inserto Consumible _____																													
Otros _____																													
*Otra combinación de metal base y metal de aporte se deberá registrar individualmente.																													
Esta forma - en inglés - (E00006) se puede obtener del Orden Dept., ME, 22 Law Drive, Box 2300, Fairfield, NJ 07007-2300																													

ANEXO 1 – CONTINUACIÓN

QW-482 (Respaldo)																							
			WPS No. _____ Rev. _____																				
POSICIONES (QW-405) Posición(es) de Ranura _____ Progresión de Soldadura: P. Arriba _____ P. Abajo _____ Posición(es) de Filete _____			TRATAMIENTO TERMICO POSTERIOR A SOLDADURA (QW-407) Orden de Temperaturas _____ Orden de Tiempos _____																				
PRECALENTAMIENTO (QW-406) Temp. Prealent. Mín. _____ Temp. Entre Pasos. Máx. _____ Mantenancia de Prealent. _____ (Calentamiento continuo o especial donde sea aplicable se deberá registrar)			GAS (QW-408) <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="3" style="text-align: center;">Composición en por ciento</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">Gas(es)</th> <th style="text-align: center;">(Mezcla)</th> <th style="text-align: center;">Gasto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Protección</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Arrastre</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Respaldo</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> </tbody> </table>						Composición en por ciento			Gas(es)	(Mezcla)	Gasto	Protección	_____	_____	Arrastre	_____	_____	Respaldo	_____	_____
Composición en por ciento																							
Gas(es)	(Mezcla)	Gasto																					
Protección	_____	_____																					
Arrastre	_____	_____																					
Respaldo	_____	_____																					
CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QW-409) Corriente CA ó CD _____ Polaridad _____ Amps (Orden) _____ Volts (Orden) _____ (El orden de amps y volts se deberá registrar para cada tamaño de electrodo, posición, y espesor, etc. Esta información se puede poner en lista en forma tabular similar a la que se muestra abajo.) Tamaño y Tipo de Electrodo de Tungsteno _____ (Tungsteno Puro, Toriado 2% etc.) Modo de Transfer. Metal para GMAW _____ (Arco pulver., arco corto circ, etc.) Orden veloc. aliment. Electrodo de Alambre _____																							
TECNICA (QW-410) Cordón long. ó Cordón de vaivén _____ Tamaño Orificio o de Taza de Gas _____ Limpieza Inicial y Entre Pasos (Cepillado, Esmerilado, etc.) _____ Método de Cincelado Posterior _____ Oscilación _____ Tubo de Contacto a Distancia de Trabajo _____ Paso Múltiple ó Simple (por lado) _____ Electrodo Múltiples ó Simple _____ Velocidad de Recorrido (Orden de) _____ Martillado _____ Otros _____																							
Capa(s) de Soldadura	Proceso	Metal de Aporte		Corriente		Orden Volt.	Orden de Veloc. Recorrido	Otros (p. ej., Notas, Comentarios, Adición de Alambre Caliente, Técnica, Angulo de Soplete, Etc.)															
		Clase	Diám.	Tipo Polar	Orden Amp.																		

**ANEXO 2 - FORMATO SUGERIDO PARA REGISTRO DE CALIFICACIÓN DE
PROCEDIMIENTO (PQR)**

QW-483 FORMATO SUGERIDO PARA REGISTRO DE CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO (PQR) (Vea QW-200.2, Sección IX, Código de Calderas y Recipientes de Presión de ASME) Registro Condiciones Reales Usadas para Soldar Muestras de Prueba.												
Nombre de la Compañía _____ Registro de Calificación de Procedimiento No. _____ Fechas _____ WPS No. _____ Proceso(s) de Soldar _____ Tipos (Manual, Automático, Semiauto.) _____												
JUNTAS (QW-402) Diseño de Ranura de Muestra de Prueba (Para calificaciones en combinación, el espesor de metal de soldadura depositado se registrará para cada metal de aporte o proceso usado.)												
METALES BASE (QW-403) Espec. Material _____ Tipo ó Grado _____ No. P- _____ a No. P- _____ Espesor de Muestra de Prueba _____ Diámetro de Muestra de Prueba _____ Otros _____	TRATAMIENTO TERMICO POSTERIOR A SOLDADURA (QW-407) Temperatura _____ Tiempo _____ Otros _____											
METALES DE APORTE (QW-404) Especificación de SFA _____ Clasificación de AWS _____ Metal de Aporte No. F- _____ Análisis Metal Soldadura No. A- _____ Tamaño de Metal de Aporte _____ Otros _____ Espesor de Metal de Soldadura _____	GAS (QW-408) <table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Protección</th> <th colspan="2">Composición en Por Ciento</th> </tr> <tr> <th>Gas(es)</th> <th>(Mezcla) Gasto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Arrastre</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> <tr> <td>Respaldo</td> <td>_____</td> <td>_____</td> </tr> </tbody> </table>	Protección	Composición en Por Ciento		Gas(es)	(Mezcla) Gasto	Arrastre	_____	_____	Respaldo	_____	_____
Protección	Composición en Por Ciento											
	Gas(es)	(Mezcla) Gasto										
Arrastre	_____	_____										
Respaldo	_____	_____										
POSICION (QW-405) Posición de Ranura _____ Progresión de Soldadura (para Arriba, Para Abajo) _____ Otros _____	CARACTERISTICAS ELECTRICAS (QW-409) Corriente _____ Polaridad _____ Amps. _____ Volts. _____ Tamaño Electrodo de Tungsteno _____ Otros _____											
PRECALENTAMIENTO (QW-406) Temp. Precalentamiento _____ Temp. Entre Pasos _____ Otros _____	TECNICA (QW-410) Velocidad de Recorrido _____ Cordón Corrido ó de Vaivén _____ Oscilación _____ Multipasos o Paso Simple (por lado) _____ Electrodo Múltiples ó Simple _____ Otros _____											
Esta forma - en inglés - (E00007) se puede obtener de Orden Dept., ASME, 22 Law Drive, Box 2300, Fairfield, NJ 07007-2300												

ANEXO 2 – CONTINUACIÓN

QW-483 (Respaldo)

Prueba de Tensión (QW-150)

PQR No. _____

Espécimen No.	Ancho	Espesor	Area	Carga Ultima total lb	Esfuerzo Unitario Ultimo lb/pulg. ²	Tipo de Falla y Ubicación

Pruebas de DobleZ Guiado (QW-160)

Tipo y Figura No.	Resultado

Pruebas de Tenacidad (QW-170)

Espécimen No.	Ubicación de Muesca	Tipo Muesca	Temp. Prueba	Valores		Impacto Mils.	Piso de Gota	
				Ft. lbs.	% Corte		Rotura	Sin Rotura

Prueba de Soldadura Con Filete (QW-180)

Resultado- Satisfactorio: Sí _____ No _____ Penetración dentro Metal Base: Sí _____ No _____

Macro - Resultados _____

Otras Pruebas

Tipo de Prueba _____

Análisis de Depósito _____

Otros _____

Nombre del Soldador _____ No. Reloj _____ Sello No. _____

Pruebas conducidas por: _____ Laboratorio de Pruebas No. _____

Certificamos que las declaraciones de este registro son correctas y que las soldaduras de prueba fueron preparadas , soldadas y probadas de acuerdo con los requerimientos de la Sección IX del Código de ASME.

Fabricante _____

Fecha _____ Por _____

(Los detalles de registro de pruebas son sólo ilustrativos y se pueden modificar para conformar con el tipo y número de pruebas requeridos por el Código.)

**ANEXO 3 – FORMATO SUGERIDO PARA CALIFICACIONES DE HABILIDAD
DEL SOLDADOR.**

Nombre del Soldador _____ Número de Reloj _____ Sello no. _____
 Proceso(s) de soldar usados _____ Tipo _____
 Identificación de WPS seguida por el soldador durante la soldadura _____
 Material(es) base soldados _____ Espesor _____

Variables para Cada Proceso Manual o Semiautomático (QW-350)	Valores Reales	Orden Calificado
Respaldo (metal, metal de soldadura, soldado por ambos lados, fundente, etc.) (QW-402)	_____	_____
ASME No. P- _____ con ASME No. P- (QW-403)	_____	_____
<input type="checkbox"/> Placa <input type="checkbox"/> Tubo (asiente diámetro, si tubo)	_____	_____
Especificación de metal de aporte (de SFA): _____ Clasificación (QW-404)	_____	_____
Metal de Aportación No. F _____	_____	_____
Variedad de metal de aporte para GTAW, PAW (QW-404)	_____	_____
Inserte consumible para GTAW o PAW _____	_____	_____
Espesor de depósito de soldadura para cada proceso de soldar _____	_____	_____
Posición de soldadura (1G, 5G, etc.) (QW-405)	_____	_____
Progresión (p. arriba/p. abajo) _____	_____	_____
Gas de respaldo para GTAW, PAW, o GMAW; gas combustible para OFW (QW-408)	_____	_____
Modo de transferencia GMAW (QW-409)	_____	_____
Tipo/polaridad de corriente GTAW _____	_____	_____

Variables de Soldadura con Máquina para el Proceso Usado (QW-360)	Valores Reales	Orden Calificado
Control visual directo/remoto _____	_____	_____
Control automático de voltaje (GTAW) _____	_____	_____
Registro automático de junta _____	_____	_____
Posición de soldadura (1G, 5G, etc.) _____	_____	_____
Metal inserto consumible _____	_____	_____
Respaldo (metal, metal de soldadura, soldado por ambos lados, fundente, etc.) _____	_____	_____

Resultados de Prueba de Doblez Guiado

Tipo de pruebas de doblez guiado QW-462.2 Resultados (lado) QW-462.3(a) Tipo (R y C) QW-462.3(b) Resultados (R y C)

Resultados del examen visual (QW-302.4) _____
 Resultados de prueba radiografía (QW-304 y QW-305) _____
 (Para calificación optativa de soldaduras en ranura por radiografía)

Soldadura Filete - Prueba de fractura _____ Longitud y por ciento de defectos _____ pulg.
 Fusión de prueba macro _____ Tamaño pierna filete _____ pulg. x _____ pulg. Concavidad/convexidad _____ pulg.
 Prueba de soldadura conducida por _____ Prueba de laboratorio no. _____
 Pruebas mecánicas conducidas por _____

Certificamos que las declaraciones de este registro son correctas y que las muestras de prueba se prepararon, soldaron, y probaron de acuerdo con los requerimientos de la sección IX del Código ASME.

Organización _____

Fecha _____ Por _____

Esta forma - en ingles - (E00008) se puede obtener de Orden dept. ASME, 22 law drive, Box 2300 fairfield, NJ 07007-2300

**ANEXO 4 - FORMATO SUGERIDO PARA EL REGISTRO DE REPARACIÓN,
ALTERACIÓN O RECLASIFICACIÓN DE RECIPIENTES A PRESIÓN SEGÚN
API 510.**

EJEMPLO DE FORMULARIO DE REPARACIÓN,
ALTERACIÓN O RECLASIFICACIÓN DE
RECIPIENTES A PRESIÓN
API 510, 10ª EDICIÓN

Fecha formulario _____
Número formulario _____
Número de dueño o usuario _____
Nombre del recipiente _____

1. Número original de identificación del recipiente _____	
2. Ubicación original del recipiente _____	
3. Fabricante _____	Número de serie _____
4. Ver archivos adjuntos para información adicional <input type="radio"/> Si <input type="radio"/> No	
5. Código original de construcción _____	
6. Presión máxima admisible de trabajo original _____	Año de construcción _____
7. Temperatura de diseño original _____	Año de construcción _____
8. Temperatura mínima de diseño del material, original _____	A la presión _____
9. Presión de prueba original _____	Fluido _____ Posición _____
10. Material del cuerpo _____	Material del cabezal _____
11. Espesor cuerpo _____ Espesor cabezal _____	
12. Eficiencia original de junta _____	
13. Radiografiado original <input type="radio"/> Si <input type="radio"/> No	
14. PWHT original <input type="radio"/> Si <input type="radio"/> No	
Si sí, Temp (°F) _____ Tiempo (hs) _____	
15. Margen por corrosión original _____	
16. Trabajo en el recipiente clasificado como: <input type="radio"/> Reparación <input type="radio"/> Alteración <input type="radio"/> Reclasificación	
17. Organización que realiza el trabajo _____	
18. Código de construcción utilizado para el presente trabajo _____	
19. Nuevo número de identificación del recipiente (si aplica) _____	
20. Nueva ubicación del recipiente (si aplica) _____	
21. Nueva presión máxima admisible de trabajo _____	
22. Nueva temperatura de diseño _____	
23. Nueva temperatura mínima de diseño del material _____ A la presión _____	
24. Nuevo PWHT <input type="radio"/> Si <input type="radio"/> No	
Temp (°F) _____ Tiempo (hs) _____	
25. Nueva eficiencia de junta, si aplica E = _____	
26. Tipo de examen o inspección realizada:	
<input type="radio"/> radiográfico <input type="radio"/> ultrasonido <input type="radio"/> partículas magnetizables <input type="radio"/> líquidos penetrantes <input type="radio"/> visual <input type="radio"/> otro	
27. Nueva presión de prueba, Presión _____ Fluido de prueba _____ Posición de prueba _____	
28. Nuevo margen por corrosión _____	
29. Describa el trabajo realizado (adjuntar esquemas, cálculos, y otra información pertinente): _____	
Declaración de conformidad	
Certificamos que los datos contenidos en este informe son correctos y que todo el material, construcción y mano de obra de esta <input type="radio"/> reparación <input type="radio"/> alteración <input type="radio"/> reclasificación cumple los requisitos de la _____ edición del código de inspección de recipientes a presión API 510.	
_____ (organización de reparación, alteración o recertificación)	
Firma _____ (Representante autorizado)	
Fecha _____	
Declaración de inspección	
Yo, quien firma, un inspector empleado por _____, habiendo inspeccionado el trabajo arriba descrito, declaro que a mi mejor saber el trabajo ha sido completado satisfactoriamente de acuerdo con la _____ edición del código de inspección de recipientes a presión API 510.	
Firma _____ N° de certificación API 510 _____ Fecha _____	

**ANEXO 5 – REGISTRO DE INSPECCIÓN DE RECIPIENTES A PRESIÓN SEGÚN
API 510.**

EJEMPLO DE REGISTRO DE INSPECCIÓN
DE RECIPIENTES A PRESIÓN
API 510, 10ª EDICIÓN

Fecha formulario _____
Número formulario _____
Dueño o usuario _____
Nombre del recipiente _____

Descripción				
Nombre del proceso _____	Número de dueño o usuario _____			
Ubicación _____	Número de Jurisdicción/National Board _____			
Diámetro interno _____	Fabricante _____			
Longitud de tangente/Altura _____	N° serie fabricante _____			
Especificación del material del cuerpo _____	Fecha de fabricación _____			
Especificación del material del cabezal _____	Contratista _____			
Material de Internos _____	Número de planos _____			
Espesor nominal del cuerpo _____	Código de construcción _____			
Espesor nominal del cabezal _____	Eficiencia de junta _____			
Temperatura de diseño _____	Tipo de cabezales _____			
Presión máxima admisible de trabajo _____	Tipo de junta _____			
Máxima presión de prueba _____	Clase de brida _____			
Presión de diseño _____	Clase de cuplas _____			
Presión de ajuste de válvula de alivio _____	N° entradas de hombre _____			
Contenido _____	Peso _____			
Condiciones especiales _____				
Medición de espesores				
Esquema o Descripción de ubicación	Número de posición	Espesor original	Espesor mínimo requerido	Fecha
Comentarios (ver nota 2) _____				
Método _____				
Inspector autorizado _____				
Notas:				
1. Utilizar hojas adicionales cuando sea necesario.				
2. Se debería describir la posición a la cual hace referencia cada comentario				

