

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA MECÁNICA**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
Ingeniero Mecánico**

**TEMA:
DESARROLLAR UN MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA LA
INSPECCIÓN EN UNIONES DE SOLDADURA A TOPE Y TIPO T
EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO FABRICADOS DE
ACERO ASTM- A36.**

**AUTOR:
CHRISTIAN RODRIGO PÉREZ PAREDES**

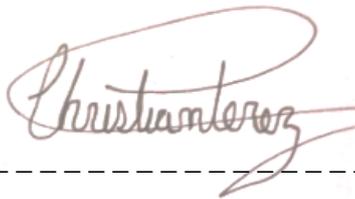
**TUTOR:
MARCOS ANTONIO HECHAVARRÍA SÁNCHEZ**

Quito, marzo del 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo Christian Rodrigo Pérez Paredes, con documento de identificación N° 1003710843, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación: “DESARROLLAR UN MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA LA INSPECCIÓN EN UNIONES DE SOLDADURA A TOPE Y TIPO T EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO FABRICADOS DE ACERO ASTM- A36.”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Mecánico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Christian Rodrigo Pérez Paredes
C.I. 1003710843

Quito, marzo 2020

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo Proyecto Técnico, “DESARROLLAR UN MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA LA INSPECCIÓN EN UNIONES DE SOLDADURA A TOPE Y TIPO T EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO FABRICADOS DE ACERO ASTM- A36.” realizado por Christian Rodrigo Pérez Paredes, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, marzo 2020



Marcos Antonio Hechavarría Sánchez

CI: 1756684369

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedico a mi hijo, Christian, por ser mi fuerza para lograr mis metas.

AGRADECIMIENTO

Agradezco primeramente a Dios por darme la fortaleza para lograr superar esta etapa de mi vida; a mis padres Jaime y María, por su apoyo incondicional durante todas las etapas de mi vida, por todo el sacrificio para que pueda lograr mis metas; a mi hermano Jaime Geovanny, por apoyarme en todo momento por ser mi inspiración y mi guía, a mi esposa Paola, por inspirarme con su ejemplo de fortaleza y dedicación.

Al Ingeniero Marcos Antonio Hechavarría Sánchez, director del trabajo de titulación, por dedicar su tiempo y compartir su conocimiento durante la elaboración de este proyecto de titulación.

Al Ingeniero Juan Gangotena, por la asesoría y recomendaciones, las cuales fueron parte fundamental para lograr culminar este proyecto.

ÍNDICE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	I
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR.....	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO.....	IV
ÍNDICE	V
GLOSARIO.....	XIII
RESUMEN.....	XVI
ABSTRACT	XVII
INTRODUCCIÓN	XVIII
CAPÍTULO I.....	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Tanques de almacenamiento	1
1.1.1. Tanques atmosféricos soldados	1
1.1.2. Normas para la construcción e inspección de tanques de almacenamiento ..	3
1.2. Métodos de soldadura	3
1.2.1. Soldadura de arco con electrodo revestido SMAW	3
1.3. Ensayos no destructivos	4
1.3.1. Inspección visual	5
1.3.2. Ultrasonido	6
1.3.3. Líquidos penetrantes.....	11
1.4. Juntas de soldadura	15
1.4.1. Juntas a tope	16
1.4.2. Juntas tipo “T”.....	16
1.5. Discontinuidades	17
1.5.1. Discontinuidades en el cordón de soldadura	17
1.5.2. Discontinuidades superficiales	19
1.5.3. Discontinuidades internas.....	20
CAPÍTULO II	22
METODOLOGÍA	22
2.1. Elaboración de un manual de procedimiento	22
2.1.1. Procedimiento.....	22
2.1.2. Manual de procedimientos	22

2.2.	Construcción de probetas	26
2.2.1.	Cálculo del espesor de la plancha.....	26
2.2.2.	Probeta tipo tanque	27
2.2.3.	Probeta tipo juntas	29
2.3.	Procedimientos para la inspección de soldaduras	29
2.3.1.	Procedimiento de inspección visual	29
2.3.2.	Procedimiento de inspección con líquidos penetrantes	31
2.3.3.	Procedimiento de inspección con ultrasonido	38
CAPÍTULO III		41
DESARROLLO		41
3.1.	Requerimientos establecidos por la norma API 650	41
3.1.1.	Criterios de aceptación para inspección visual.....	41
3.1.2.	Criterios de aceptación para líquidos penetrantes	42
3.1.3.	Criterios de aceptación para ultrasonido con arreglo de fases	43
3.2.	Construcción de probetas	44
3.2.1.	Construcción de probeta tipo tanque	44
3.2.2.	Proceso de fabricación de las probetas tipo junta en T y a tope.....	45
3.2.3.	Soldadura.....	46
3.3.	Elaboración de soldadura con defectología.....	47
3.3.1.	Defectos en las probetas tipo junta	47
3.3.2.	Defectos en la probeta tipo tanque	49
3.4.	Identificación y evaluación de las discontinuidades	51
3.4.1.	Discontinuidades en la probeta tipo tanque.....	51
3.4.2.	Discontinuidades en la probeta tipo junta	54
3.5.	Validación de los procedimientos de inspección	56
3.5.1.	Validación del procedimiento de ultrasonido.....	57
3.5.2.	Validación del procedimiento de líquidos penetrantes.....	59
3.5.3.	Validación del procedimiento de inspección visual	60
3.6.	Manual de procedimiento para inspección de soldadura	63
3.6.1.	Manual de procedimiento para inspección visual	63
3.6.2.	Manual de procedimientos para inspección de soldaduras por líquidos penetrantes.....	68

3.6.3. Manual de procedimiento para inspección de soldadura por ultrasonido por arreglo de fases.....	74
CAPÍTULO IV.....	80
COSTO.....	80
4.1. Costos directos	80
4.1.1. Mano de obra.....	80
4.1.2. Material y equipo.....	80
4.2. Gastos generales.....	81
4.3. Costo total del proyecto	81
CONCLUSIONES	82
RECOMENDACIONES	83
LISTA DE REFERENCIAS	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Tanque cilíndrico de techo fijo tipo domo.....	2
Figura 2. Proceso de soldadura SMAW.....	4
Figura 3. Clasificación AWS - A.5.1 para electrodos.....	4
Figura 4. Esquema de las ondas ultrasónicas longitudinales	7
Figura 5. Esquema de ondas ultrasónicas transversales.....	8
Figura 6. Presentación pantalla A-Scan	9
Figura 7. Presentación pantalla B-Scan	9
Figura 8. Presentación pantalla C-Scan	9
Figura 9. Presentación pantalla S-Scan.....	10
Figura 10. Transductor ultrasónico.	10
Figura 11. Transductor de incidencia angular.....	11
Figura 12: Tensión superficial	13
Figura 13 : Ángulo de contacto de los líquidos penetrantes	14
Figura 14: Tensión molecular de un líquido penetrante.....	14
Figura 15: Propiedades controladas por el revelador.....	15
Figura 16. Junta a tope	16
Figura 17. Junta tipo T.	16
Figura 18. Junta a tope con bisel en V.	16
Figura 19. Tipos de defectos superficiales.....	18
Figura 20. Tipos de defectos internos	18
Figura 21: Socavadura.....	19
Figura 22: Falta de soldadura.....	19
Figura 23: Falta de Fusión.....	20
Figura 24: Falta de Penetración en la Junta	20
Figura 25. Quemón.....	20
Figura 26: Inclusión	21
Figura 27. Porosidad agrupada.....	21
Figura 28: Fisura	21
Figura 29. Membrete de encabezado.	23
Figura 30. Membrete de firmas.....	23
Figura 31. Proceso de barolado.....	28
Figura 32. Tanque de almacenamiento prototipo a escala	28

Figura 33. Proceso de repujado.....	28
Figura 34. Probeta junta tipo T.	29
Figura 35. Proceso de Inspección con penetrantes visibles	32
Figura 36. Temperatura límite de confort que soporta la mano humana	33
Figura 37. Implementación de inspección no destructiva de soldadura en la empresa INDIMA S.A.....	34
Figura 38. Aplicación del revelador no acuoso.....	35
Figura 39. Tiempo del revelado	36
Figura 40. Bloques de Referencia Tipo IIW	38
Figura 41. Planchas baroladas.....	45
Figura 42. Piso del tanque de almacenamiento.....	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Imperfecciones vs tipos de métodos en END	25
Tabla 2. Espesor máximo de refuerzo	42
Tabla 3. Criterios de aceptación de fallas para indicaciones de ultrasonido (SI).....	43
Tabla 4. Parámetros de soldadura SMAW.	46
Tabla 5. Fallas inducidas en la soldadura de las probetas tipo junta y sus causas. ...	48
Tabla 6. Fallas inducidas en la soldadura de las juntas del tanque a escala y sus causas.	49
Tabla 7. Discontinuidades encontradas en la probeta tipo tanque, detectados por ultrasonido con arreglo de fases.	51
Tabla 8. Discontinuidades encontradas en la probeta tipo tanque, detectados por líquidos penetrantes.....	53
Tabla 9. Discontinuidades encontradas en la probeta tipo tanque, detectados por inspección visual.	54
Tabla 10. Discontinuidades encontradas por líquidos penetrantes en las probetas tipo junta.....	55
Tabla 11. Discontinuidades encontradas por ultrasonido por arreglo de fases en las probetas tipo junta.	55
Tabla 12. Discontinuidades encontradas por inspección visual en las probetas tipo junta.....	56
Tabla 13. Resultados de validación del método de inspección por ultrasonido.....	57
Tabla 14. Resultados de validación del método de inspección por ultrasonido en probetas tipo junta.	58
Tabla 15. Resultados de validación del método de inspección por líquidos penetrantes en probetas tipo tanque.....	59
Tabla 16. Resultados de validación del método de inspección por líquidos penetrantes en probetas tipo junta.	60
Tabla 17 . Resultados de validación del método de inspección visual en probetas tipo junta.....	61
Tabla 18. Resultados de validación del método de inspección visual en la probeta tipo tanque.	61
Tabla 19 Kit de líquidos penetrantes.....	69
Tabla 20. Costo mano de obra.....	80

Tabla 21. Costo materiales y equipo	80
Tabla 22. Gastos generales.....	81
Tabla 23. Costo total del proyecto	81

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Planos de tanque de almacenamiento de petróleo a escala 1:25	90
Anexo 2. Formato de reporte para inspección visual.....	91
Anexo 3. Formato de reporte para inspección por líquidos penetrantes.....	91
Anexo 4. Formato de reporte para inspección por ultrasonido con arreglo de fases .	92
Anexo 5. Registro de calificación de soldadores y operadores (WPQ).....	93
Anexo 6. Especificaciones del procedimiento de soldadura (WPS).....	94
Anexo 7. Tabla KOPPERFORM	95
Anexo 8. Reporte inspección visual en probeta tipo tanque por la Empresa ECI Pruebas & Inspecciones.	96
Anexo 9. Reporte inspección visual en probeta tipo junta por la Empresa ECI Pruebas & Inspecciones.....	97
Anexo 10. Reporte inspección por líquidos penetrantes en probeta tipo tanque por la Empresa ECI Pruebas & Inspecciones.....	98
Anexo 11. Reporte inspección por líquidos penetrantes en probeta tipo junta por la Empresa ECI Pruebas & Inspecciones.....	99
Anexo 12. Reporte inspección por ultrasonido con arreglo de fases en probeta tipo tanque por la Empresa ECI Pruebas & Inspecciones.	100
Anexo 13. Reporte inspección por ultrasonido con arreglo de fases en probeta tipo junta por la Empresa ECI Pruebas & Inspecciones.....	101
Anexo 14. Probeta tipo tanque de almacenamiento a escala 1:25	102
Anexo 15. Aplicación de Líquidos Penetrantes en la probeta tipo tanque	102
Anexo 16. Aplicación de líquidos Penetrantes en las probetas tipo Junta.....	103
Anexo 17. Inspección de la probeta tipo tanque usando Ultrasonido con arreglo de fases.....	103
Anexo 18. Inspección de la probeta tipo tanque usando Ultrasonido con arreglo de fases.....	104
Anexo 19. Medición de la longitud de los defectos encontrados en las probetas....	104
Anexo 20. Fuentes Luminosas	105

GLOSARIO

Ensayos destructivos: Es la aplicación de fenómenos físicos para el análisis de la estructura física de los materiales, piezas o estructuras, en búsqueda de defectos que se puedan encontrar [1].

ASTM: Siglas en inglés para la American Society of Testing Materials, que significa, Asociación Americana de Ensayo de Materiales. Son los encargados de probar la resistencia de los materiales para la construcción [2].

Capilar: Es la elevación o descenso de un líquido en un tubo capilar (o en situaciones físicas análogas, tales como en medios porosos) que vienen producidos por la tensión superficial, en función de las magnitudes relativas de la cohesión del líquido [3].

Viscosidad: Es una propiedad del fluido mediante la cual ofrece resistencia al esfuerzo cortante [3].

Atenuación: Es la pérdida de la intensidad afectada por una radiación cuando se propaga en un medio [4].

Reflexión: Es la cantidad de energía ultrasónica que se refleja al incidir en una interfase acústica. La ley de reflexión dice que el ángulo de onda reflejada, es igual al ángulo de onda incidente del mismo tipo [4].

Refracción: Este fenómeno se produce en una interfaz debido a las diferentes velocidades de las ondas acústicas que se encuentran en el interior del material [5].

Cohesión: Es la fuerza que mantiene las moléculas de un cuerpo a distancias cercanas una de las otras [6].

Certificación: Es el testimonio escrito de que un individuo cumple con los requerimientos de una práctica específica o norma [7].

END: Abreviatura de Ensayos No Destructivos [8].

Trazabilidad: Son procedimientos preestablecidos, que permiten conocer el histórico de un elemento o varios [9].

Grietas en la corona: Es una fisura presente en la zona superior del cordón de soldadura [10].

Golpe de arco: Son pequeños puntos que se encuentran alejados de la junta, en la cual la superficie se derrite [11].

Presión de Operación: Es la presión de trabajo en condiciones normales de funcionamiento de un tanque de almacenamiento [12].

Defectos de soldadura: Son indicaciones o discontinuidades que se forman en el cordón de soldadura, por algún proceso mal realizado durante su fabricación.

Discontinuidad: Es la falta de continuidad en la estructura de un material, que debido a esta interrupción se ve comprometida la resistencia del material o soldadura [13].

Junta Soldada: Es la unión de dos o más piezas, generados por un cordón de soldadura [14].

Mordedura: es un tipo de discontinuidad superficial, es una depresión en la superficie del material base adyacente al cordón de soldadura [15].

VT: Visual Testing [16].

PT: Liquid penetrant testing [16].

UT: Ultrasonic testing [16].

Probeta: Elemento que es sometido a una serie de ensayos, para ser estudiada [17].

Tolerancia: Es la variación permisible del tamaño, para un adecuado funcionamiento [18].

Heterogeneidad: Los elementos que lo componen son diferenciables entre sí [19].

Hidrocarburos: Sustancias químicas, que se forman en la naturaleza, debido a la mezcla de hidrogeno y carbono [20].

Lineamientos: tendencia, rasgo característico de algo [21].

Luminiscente: Es cuando un electrodo de simple valencia es estimulado [22].

Incidencia: Acontecimiento que sobreviene en el transcurso de una situación [23].

Alumbramiento: Acción de alumbrar o llenar de luz.

Salpicadura: Son partículas de material no metálico, las cuales salen dispersas durante el proceso de soldadura [24].

Confort: Bienestar físico en determinadas condiciones.

Traslape: es la unión entre dos elementos, permitiendo que los elementos se prolonguen [25].

Escoria: Es una capa protectora que se genera para proteger el cordón de soldadura.

J1: Junta uno.

P1T: Probeta uno, sección Transversal.

P2F: Probeta dos, sección frontal.

RESUMEN

El objetivo de este proyecto de titulación es desarrollar un manual de procedimientos para la aplicación de ensayos no destructivos como: inspección visual, líquidos penetrantes y ultrasonido por arreglo de fases, aplicados a juntas a tope y tipo T, presentes en tanques de almacenamiento de petróleo, de acuerdo a la Norma API 650; desarrollando procedimientos específicos para cada tipo de ensayo, y su aplicación en probetas con defectologías.

Mediante un análisis comparativo del porcentaje de error en la detección de fallos o discontinuidades, se validan los procedimientos de inspección desarrollados, con los realizados por una entidad externa certificada, basado en los criterios de aceptación y rechazo de la Norma API 650 sección 8, el porcentaje de error fue menor del 10% como límite, los procedimientos de inspección son aplicables para cordones de soldadura de tanques de almacenamiento atmosférico.

Dichos procedimientos se encuentran agrupados en un manual, estos fueron desarrollados para las diferentes técnicas de inspección: inspección visual, líquidos penetrantes y ultrasonido por arreglo de fases.

Este manual constituye una guía para el desarrollo de nuevos procedimientos para las entidades que se especializan en la aplicación de ensayos no destructivos y que buscan la certificación de sus inspecciones.

Palabras Clave: Procedimientos, Inspección, Inspección Visual, Líquidos Penetrantes, Ultrasonido, Arreglo de Fases, Probeta, Ensayos No Destructivos.

ABSTRACT

The objective of this titling project is to develop a manual of procedures for the application of non-destructive tests such as: visual inspection, penetrating liquids and ultrasound phases arrangement, applied to tope and type T joints present in petroleum storage tanks, according to API Standard 650; developing specific procedures for each type of non-destructive test and its application in defection specimens. A comparative analysis that corroborates the validity of the inspection procedures applied, and those performed by a certified external entity, evaluated by means of acceptance and rejection criteria of API Standard 650, obtaining as a result a percentage of error below the 10% limit, corresponding to the human and environmental factor in the taking of measurements, in conclusion, the inspection procedures are applicable for welding cords of atmospheric storage tanks.

These procedures are described in manuals developed for the different inspection techniques: visual, penetrant liquids and ultrasound phase arrangement.

This manual is going to be a guide for the new procedure developing for entities which are specialized in the application of non-destructive testing, and which are looking for the certification of their inspection.

Keywords: Procedures, Inspection, Visual Inspection, Penetrating Liquids, Ultrasound, Phase Arrangement, Test Tube, Non-Destructive Testing.

INTRODUCCIÓN

La actividad petrolera en el Ecuador, es una fuente de ingresos importante para su economía, en el año 2019, hasta el mes de octubre, se extrajeron un total de 527.459,26 barriles de petróleo, el cual es almacenado hasta su procesamiento en tanques, dependiendo de la presión y la volatilidad del petróleo, varían su estructura y material, siendo el más importante el acero ASTM-A36.

La aplicación de normas establecidas por el Instituto Americano de Petróleo (API), garantiza la fabricación y funcionamiento de tanques soldados para almacenamiento, mediante parámetros aplicados a métodos de detección de discontinuidades, como los ensayos no destructivos, los cuales, son técnicas que permiten la detección de indicaciones superficiales y subsuperficiales en uniones de soldadura, posibilitando el mantenimiento y reparación oportuna de estructuras de grandes dimensiones. Para la aplicación adecuada de este tipo de ensayos es necesario estandarizar los procedimientos mediante manuales que sirvan de complemento al momento de inspeccionar.

En la actualidad existen manuales que permiten el uso de los equipos de ensayos no destructivos: Jaime Pérez et al, en el año 2015 elaboró un manual de procedimientos para la inspección en uniones a tope para tubería, de acuerdo a la norma API 1104 y código ASME B31.3, con el equipo de ultrasonido Olympus EPOCH 1000i, en la que se destaca la importancia de aplicar dichos ensayos para determinar la integridad estructural de los materiales y estructuras en tuberías; Daniel Perera, en el año 2017 elaboró un manual de introducción al ultrasonido industrial, en el que se destaca la necesidad de definir los pasos de una inspección ultrasónica, cumpliendo con las normas internacionales, brindar una guía para el desarrollo de manuales de procedimiento de empresas dedicadas al ámbito de las inspecciones de tanques de almacenamiento de petróleo, aplicando ensayos no destructivos. Esta es una razón de gran importancia para desarrollar un manual de procedimientos que permita la inspección en uniones de dos importantes tipos de soldadura: a tope y tipo T, en tanques de almacenamiento de petróleo fabricados de acero ASTM- A36.

Problemática

Siendo el Ecuador un país que basa su economía en la producción de petróleo, tiene la necesidad de aumentar la construcción de tanques para su almacenamiento, mismos que necesitan un debido control de calidad para verificar el cumplimiento de todos los lineamientos establecidos para la puesta en operación de los mismos, de lo contrario puede existir la presencia de fallas estructurales que podrían causar derrames de petróleo lo que generaría pérdidas económicas a las empresas petroleras y daños irreparables al medio ambiente.

Además, las empresas constructoras, de los tanques en mención, contratan a otras, especializadas en ensayos no destructivos de soldaduras para realizar las debidas inspecciones y, al considerar que, cada procedimiento requiere de un manual para su aplicación; en respuesta a dichos requerimientos, se elabora el presente trabajo.

Justificación

Es necesario la elaboración de un manual práctico y fácil de usar, que permita realizar un correcto procedimiento de inspección en juntas soldadas presentes en tanques de almacenamiento de petróleo, y evaluar el proceso de soldadura, detectando posibles defectos que ocasionen fuga del líquido almacenado, que perjudicaría de manera irreparable al medio ambiente y provocaría pérdidas económicas a la empresa petrolera, cabe destacar que este tipo de manual de procedimiento no los posee cualquier entidad y son de uso principal de empresas dedicadas al área de los ensayos no destructivos.

Objetivo General

- Desarrollar un Manual de Procedimientos para la inspección en uniones de soldadura a Tope y tipo T en tanques de almacenamiento fabricados de acero ASTM- A36.

Objetivos Específicos

- Determinar los requerimientos establecidos por la norma API 650 y para la inspección de uniones soldadas tipo T y a tope con la aplicación de los métodos de inspección visual, tintas penetrantes y ultrasonido.

- Identificar y evaluar las discontinuidades presentes en probetas soldadas con uniones a tope y tipo T fabricadas de acero ASTM- A36 con el uso de las técnicas de inspección visual, tintas penetrantes y ultrasonido.
- Validar los procedimientos de inspección a efectuar en cada tipo de prueba en un prototipo de tanque de almacenamiento construido a escala basado en la Norma API 650.
- Desarrollar el Manual de Procedimientos de inspección de uniones soldadas a Tope y tipo T, en tanques de almacenamiento fabricados de acero A-36, por los métodos de inspección visual, tintas penetrantes y ultrasonido.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se considera, los tipos de tanques que se utilizan en el almacenamiento de petróleo, describiendo sus características principales como el tipo de unión para su construcción, forma del techo y la capacidad de presión de funcionamiento; el proceso de soldaduras que se pueden utilizar para la fabricación de tanques de almacenamiento dependiendo de la capacidad y uso que se va a aplicar; el proceso de calidad que deben cumplir estos tanques para su funcionamiento, así como los tipos de técnicas de ensayos no destructivos utilizados (inspección visual, líquidos penetrantes, ultrasonido) para verificar y certificar que el tanque se encuentra apto para su funcionamiento después de su fabricación, describiendo las características, tipos y propiedades de cada uno de ellos; los tipos de juntas presentes en la construcción de los tanques de almacenamiento de petróleo, los tipos de discontinuidades más comunes que pueden existir en este tipo de uniones soldadas; las partes y contenido que tiene un manual de procedimientos, y, la descripción de cada punto a ser tratado en una inspección.

1.1. Tanques de almacenamiento

Los tanques son estructuras diseñadas para el almacenamiento o proceso de fluidos, previos a la refinación del petróleo. Se los puede diseñar de diferentes formas, tamaños y materiales dependiendo de la función que se les dé. La volatilidad y la presión del fluido almacenado, determinan el diseño del tanque que se debe usar [26].

1.1.1. Tanques atmosféricos soldados

Estos tanques son generalmente utilizados en instalaciones petroleras, como refinerías de petróleo y estación de bombeo. Estos son diseñados para soportar presiones internas de 15 psi.

En la norma API 650 se contempla dos tipos de tanques de almacenamiento, los de techo fijo y los de techo flotante, la diferencia entre los dos tipos, es que los de techo flotante se utilizan para el almacenamiento de productos altamente volátiles como la gasolina. Los de techo fijo son utilizados para el almacenamiento de productos poco

volátiles como el petróleo. Los tanques de almacenamiento a presión atmosférica de techo fijo, serán los que formen parte del presente estudio [27].

a. Tanques atmosféricos de techo fijo

Estos sirven para almacenar petróleo, agua o productos con una presión de vapor relativamente baja. Es decir que son aquellos que no tienen tendencia a producir vapores a la temperatura ambiente [28]. La presión de operación de estos tanques, es de 15 psi, esto se logra por los respiraderos que se encuentran en la parte superior del tanque. De acuerdo a la norma API 650 para los tanques de techo fijo, existen las siguientes configuraciones de acuerdo al tipo de techo: cónico, sombrilla, domo. Los tanques atmosféricos de techo tipo domo son los estudiados en este proyecto de investigación [29].

– Tanques atmosféricos de techo tipo domo

Tienen un cuerpo cilíndrico, un fondo plano y su parte superior es similar a una superficie esférica, como se puede observar en la figura 1, estos tanques atmosféricos de techo tipo domo soportan presiones de 15 psi, en ocasiones esta presión puede aumentar 2.5 psi debido a la generación de vapores internos [30]. Su proceso de fabricación es laborioso, debido a que, cada segmento del techo, deben ser conformados con un radio de curvatura comprendido en un rango de 0,8 – 1,2 veces el diámetro nominal del tanque [29]. El diseño de la probeta tipo tanque que se fabricará en este proyecto, será en base a las características principales de este tipo de tanques.



Figura 1. Tanque cilíndrico de techo fijo tipo domo

Fuente: Recipientes a presión, Díaz del Castillo Rodríguez, 2018

1.1.2. Normas para la construcción e inspección de tanques de almacenamiento

Los tanques atmosféricos son infraestructuras que representan el 95% de almacenamiento de petróleo del país. Las normas que se aplican en este tipo de estructuras son elaboradas por muchos organismos, uno de los cuales es la API [31].

a. Instituto americano de petróleo (API)

Las normas y estándares para tanques, son hechos para proveer confiabilidad ante factores críticos de diseño; los códigos que son emitidos por el API son los encargados de reducir los riesgos por catástrofe debido a sus consideraciones de selección de materiales, soldadura, uniones, métodos de inspección y fabricación, y, se aplican a la industria química, alimenticia, petrolera, entre otras; de esta manera entregan aceptabilidad, viabilidad, así como también utilidad; mediante el aseguramiento de la calidad, fiabilidad y seguridad de los diseños, practicas, operaciones y equipamientos. Por ende, la norma que se va a utilizar en el proyecto para las inspecciones de juntas a tope y tipo T, es la norma API 650 en tanques soldados para almacenamiento de petróleo.

– Norma API 650

Esta norma tiene como finalidad, facilitar la fabricación y adquisición de tanques de almacenamiento de petróleo, de varios tamaños y capacidades, para presiones internas no mayores a 17.2 kPa (21/2 lbf/in). En esta norma, se puede encontrar información sobre materiales de fabricación, procedimientos de soldadura, pruebas e inspecciones, así como algunos lineamientos para la puesta en operación [32], [14].

1.2.Métodos de Soldadura

Los métodos más conocidos de soldadura tipo arco, que se aplican en la construcción de tanques de almacenamiento son: SMAW (soldadura de electrodo revestido), GMAW (Soldadura de arco con protección de gas) y GTAW (soldadura de electrodo de tungsteno). Para la construcción del tanque de almacenamiento de petróleo, se ha seleccionado el proceso SMAW.

1.2.1. Soldadura de arco con electrodo revestido SMAW

Es un proceso de soldadura por arco, el cual consiste en la utilización de un electrodo con recubrimiento, a través de este electrodo se genera un arco eléctrico con el material

base como se observa en la figura 2 , este arco puede llegar a tener temperaturas de hasta 5500 °C, fundiéndose el núcleo del electrodo al material base que se está soldando, el recubrimiento del electrodo combustiona creando una atmosfera que protege el proceso de soldeo de la humedad y elementos contaminantes. También este crea una escoria que recubre el cordón de soldadura [33].

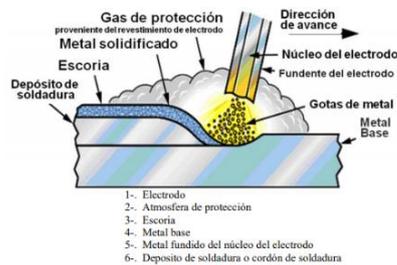


Figura 2. Proceso de soldadura SMAW

Fuente: Soldadura al Arco Eléctrico SMAW, Flores Carlos Eliseo, 2015

– Tipo de electrodo utilizado en el proceso SMAW

Para la selección del electrodo, se debe seleccionar en base al material del que está construido el núcleo, también se debe tener en cuenta el material del cual está compuesto el recubrimiento, además se debe considerar el diámetro del electrodo [33], para la identificación de un electrodo se puede guiar en la figura 3.



Figura 3. Clasificación AWS - A.5.1 para electrodos

Fuente: Soldadura al Arco Eléctrico SMAW, Flores Carlos Eliseo, 2015

1.3. Ensayos no destructivos

Los procesos de soldeo se encuentran presentes en diferentes tipos de construcciones a nuestro alrededor ya sean estas estructuras de edificios, puentes, máquinas, barcos, trenes, aviones, vehículos, o en cualquier unión que esté formada por diferentes piezas. Los elementos y piezas soldadas requieren de una verificación de cómo se realizó el proceso de fabricación, así como también sirven para realizar mantenimientos preventivos a nivel industrial, ya que la presencia de grietas, nudos, imperfecciones y

escoria pueden provocar la rotura de las piezas [34]. Los ensayos no destructivos que se van a utilizar para esta investigación son: inspección visual, líquidos penetrantes y ultrasonido con arreglo de fases.

1.3.1. Inspección visual

Este tipo de ensayo no destructivo es el más básico e inevitable de realizar en cada inspección, ayuda a detectar discontinuidades superficiales que a simple vista no son evidentes. Existen algunas ayudas ópticas que se utilizan durante la inspección visual:

- **Magnificadores:** son accesorios que convergen o divergen la luz por refracción, se los llama lupas, permiten magnificar el tamaño de la imagen. La curvatura en el lente convergente es un factor que permite la magnificación de la imagen que va desde los 1.5X a 2000X.
- **Linternas:** Permiten iluminar áreas con falta de luz natural o claridad. Se debe tener precaución en la utilización de este accesorio en ambientes explosivos. El tipo de linternas más usados son las halógenas. La intensidad de la luz debe ser de 1000 lux.
- **Calibrador vernier o pie de rey:** son utilizados para realizar mediciones muy finas con una alta exactitud [35].

a. Visión

Es la capacidad que permite, a través de la luz, interpretar nuestro entorno; con la percepción de las ondas de luz, captadas por el ojo e interpretadas por el cerebro, se transforman en visión.

b. Fundamento de la luz

La luz es el principio físico indispensable en la inspección visual, la frecuencia del espectro electromagnético está entre 370 y 770 nm (nanómetros). Existen algunos tipos de luz:

- Incandescentes: son lámparas de filamento, con un manto de gas y arco de carbón piro luminiscente.

- Luminiscente: son lámparas de descarga de gas, laser, diodos que emiten luz led y fluorescente [35].

1.3.2. Ultrasonido

Es una técnica de ensayo no destructivo la cual es empleada en detección de defectos de soldadura. Este hace uso de las ondas acústicas de igual naturaleza que las ondas sonoras, con la diferencia de que su campo de frecuencia se localiza por encima de la zona perceptible para el oído.

El campo de las ondas ultrasónicas comprende las frecuencias superiores a los 20 kHz. El límite para la frecuencia puede ser percibida por el oído, y, depende de la práctica para que pueda existir generación y recepción de estas frecuencias [36]. Estas ondas ultrasónicas se generan debido a las siguientes propiedades:

- **Efecto piezoeléctrico**

Es un fenómeno físico que poseen algunos cristales, por lo cual, se forma un diferencial de potencial eléctrico en el cristal, cuando éste se encuentra sometido a una deformación mecánica, generándose ondas ultrasónicas a frecuencias sobre los 100 KHz con cristales delgados [5].

- **Efecto magnetostrictivo**

Debido al efecto del campo magnético existen materiales ferromagnéticos que tienen la propiedad de contraerse o expandirse. En el acero ferromagnético se genera un campo magnético si este es expuesto a un esfuerzo de compresión o tracción [39]

La aplicación de esta técnica necesita una fuente de emisión e interacción de las ondas con la pieza, con los defectos y un verificador de indicaciones [37]. Las ondas ultrasónicas se propagan a través de todos los medios por donde exista fracciones de materia, átomos o moléculas capaces de vibrar, debido a esto su propagación tendrá lugar en los gases, líquidos y sólidos [5].

Este método no destructivo en el que un haz o conjunto de ondas de alta frecuencia se los introduce en materiales para la detección de fallas en la superficie y sub-superficial [38].

a. Onda ultrasónica

Todo material con propiedades elásticas puede propagar ondas sónicas y ultrasónicas a través de él, en tanto, las fuerzas elásticas son capaces de retraer las partículas a su posición de reposo.

En cuerpos con estructura cristalina, como los metales en estado sólido, las partículas que conforman la red, pueden ser desplazadas de sus posiciones de equilibrio describiendo oscilaciones con trayectorias diversas, en función de la energía mecánica aplicada, originando distintos tipos de ondas ultrasónicas [40]:

– Ondas longitudinales

Estas ondas viajan a través de los materiales, con una alternancia entre compresión y rarefacción, generando que las partículas transmitan ondas de vibración de ida y vuelta, en la misma dirección por la cual viajaron las ondas, tal como se puede observar en la figura 4. Este mismo tipo de onda es el que transmite el sonido a través de los cuerpos sólidos y líquidos [36], [41].

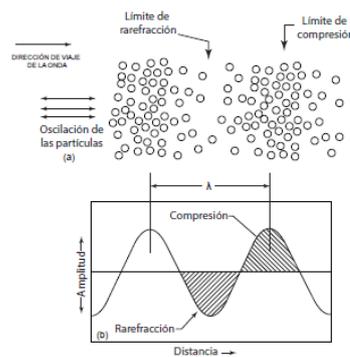


Figura 4. Esquema de las ondas ultrasónicas longitudinales

Fuente: Implementación y aplicación del procedimiento de ultrasonido para control de calidad de la soldadura en tuberías de presión, mediante la técnica difracción por tiempo de vuelo, Ortiz Dávila Camilo Inty, 2017

Se muestra: (a) el gráfico de la amplitud del desplazamiento de la partícula versus la distancia que viaja la onda, ambas con la resultante del punto más bajo de la rarefacción y la cresta de la compresión. (b) Representación de la presión instantánea del desplazamiento de la partícula. El eje horizontal representa el tiempo instantáneo de la distancia recorrida [41].

– Ondas transversales

Si el medio es capaz de transmitir esfuerzos de cizalladura, lo cual ocurre en la mayor parte de los cuerpos sólidos, las partículas oscilan en dirección transversal de la emisión de la onda, originándose de esta manera las ondas transversales, como se puede observar en la figura 5 [36].

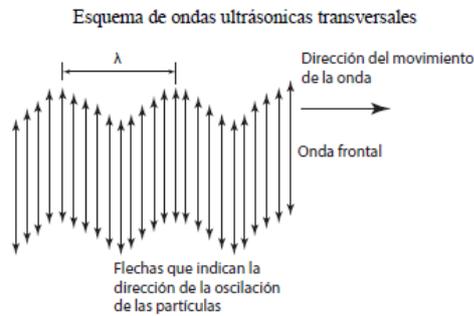


Figura 5. Esquema de ondas ultrasónicas transversales

Fuente: Implementación y aplicación del procedimiento de ultrasonido para control de calidad de la soldadura en tuberías de presión, mediante la técnica difracción por tiempo de vuelo, Ortiz Dávila Camilo Inty, 2017

Se muestra el esquema de la oscilación de las partículas, onda frontal, dirección de la onda, y la longitud de la onda correspondiente a un ciclo [41].

b. Pantallas del equipo de ultrasonido

Para examinar las señales que detecta el equipo de ultrasonido, este se ayuda de cuatro diferentes pantallas, en las cuales se detectan variables, utilizadas para interpretar los resultados del barrido realizado durante la inspección.

– A-SCAN

En esta pantalla se muestran señales oscilantes, mostrando un oscilograma del eco de amplitud del reflector encontrado, indicando los parámetros dimensionales de la ubicación del defecto presente en el área inspeccionada, esto se pueden observar en la figura 6.



Figura 6. Presentación pantalla A-Scan

Fuente: Elaboración de un Manual de procedimientos para la inspección en uniones a Tope para tubería de acuerdo a la norma API 1104 y código ASME B31.3, con el equipo de ultrasonido OLYMPUS EPOCH 1000i, Pérez Jaime y Sucuzhañay, 2015.

– **B-SCAN**

Como se observa en la figura 7, esta pantalla muestra las dimensiones de profundidad y longitud de la discontinuidad, teniendo como referencia la superficie frontal del elemento inspeccionado.

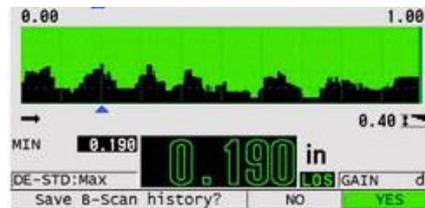


Figura 7. Presentación pantalla B-Scan

Fuente: Cursillo sobre la detección de defectos por ultrasonido, OLYMPUS, 2015.

– **C-SCAN**

En la pantalla se visualiza la vista superior del área inspeccionada, similar a una radiografía, se puede observar varias discontinuidades a la vez, la intensidad de cada elemento se la representa en gamas de colores, donde el elemento más relevante tiene la más alta intensidad de color que es el rojo, como se muestra en la figura 8.

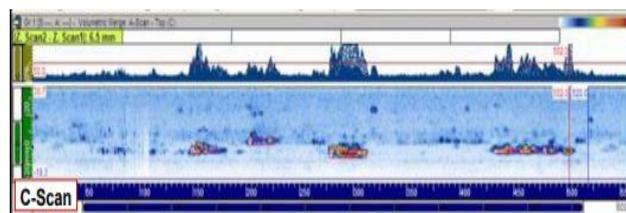


Figura 8. Presentación pantalla C-Scan

Fuente: Inspección de soldaduras empleando el ensayo de ultrasonido en lugar de radiografía, Carlos Enrique Suárez Navas, 2011.

– S-SCAN

Esta pantalla permite visualizar la profundidad de la pieza, en la cual se muestra dos ejes, el de la distancia proyectada y el del recorrido, entregando una imagen del sector angular, como se puede observar en la figura 9 [5].



Figura 9. Presentación pantalla S-Scan

Fuente: Elaboración de un Manual de procedimientos para la inspección en uniones a tope para tubería de acuerdo a la norma API 1104 y código ASME B31.3, con el equipo de ultrasonido OLYMPUS EPOCH 1000i, Pérez Jaime y Sucuzhañay, 2015.

c. Transductor

Es un elemento muy importante en el sistema ultrasónico de instrumentación, debido al elemento piezoeléctrico que se encarga de convertir la señal eléctrica en vibraciones mecánicas y de vibraciones mecánicas a señales eléctricas, se lo puede observar en la figura 10 [5].



Figura 10. Transductor ultrasónico.

Fuente: Christian Pérez.

- Hay dos tipos de transductores con respecto a la dirección del haz y a la superficie, estos son: transductores de incidencia normal y transductores de incidencia angular.

Para la detección defectológica en juntas soldadas presentes en tanques de almacenamiento, se va a utilizar un transductor de incidencia angular.

– Transductores de incidencia angular

Son aquellos que generan ondas cortas, son empleados en equipos de ultrasonido con arreglo de fases de pulso-eco, su función es detectar discontinuidades (inspección en defectología). Los ángulos de refracción más comunes en este tipo de transductores son de 35, 45, 60,70, 80 y 90°, a estos ángulos se los denomina de entrada, como se observa en la figura 11, [5].

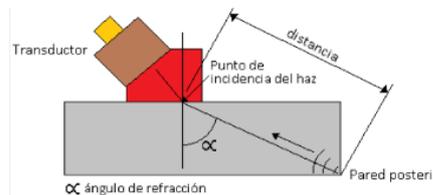


Figura 11. Transductor de incidencia angular

Fuente: Ajustes de equipo de medición por ultrasonido usando un brazo robótico, Arroyo Francisco, 2015.

1.3.3. Líquidos penetrantes

Es un método de ensayo no destructivo que permite detectar discontinuidades superficiales en materiales no demasiados rugosos. Hoy en día la evolución de la prueba de líquidos penetrantes, permite el uso de un tipo de aceite, la adición de pigmentos, removedores y reveladores [42]; las fallas encontradas a través de los líquidos penetrantes dan solamente una indicación aproximada de la profundidad y tamaño del defecto [43].

Se los aplica en diferentes materiales como: aluminio, plásticos, magnesio, acero, latón, bronce, vidrio y fundiciones. Todos estos materiales producen discontinuidades, ya sea, por defectos de manufactura, servicio, fundición; se considera como los más relevantes: las porosidades, grietas, traslapes, fisuras, granulaciones internas, falta de fusión y grietas de fatiga [44].

Están basados en la propiedad que tiene un líquido para filtrarse dentro de las cavidades que se encuentran abiertas a la superficie; estos permanecen en la cavidad mientras el exceso de líquido es removido. El líquido remanente es extraído para formar una indicación, que es mucho más visible que la propia cavidad [42] [36]. A continuación, se enlista la clasificación de los líquidos penetrantes:

a) Por su tipo

- **Tipo I.** Penetrantes fluorescentes
- **Tipo II.** Penetrantes visible.
- **Tipo III.** Dual.

b) Por su método de remoción.

- **Método A.** Lavable con agua
- **Método B.** Post emulsificable (emulsificador lipofílico)
- **Método C.** Removible con solvente
- **Método D.** Post emulsificable (emulsificador hidrofílico)

c) Por la forma del revelador

- **Forma a.** Polvo seco
- **Forma b.** Soluble en agua
- **Forma c.** Suspendible en agua
- **Forma d.** No acuoso para tipo I
- **Forma e.** No acuoso para tipo II
- **Forma f.** Aplicaciones especiales

En presente estudio, se utilizará la configuración método C - tipo II – forma e [42].

a. Penetrantes visibles

Estos pueden ser inspeccionados con luz natural o artificial. El penetrante usualmente es de color rojo, para que las indicaciones que se producen con el contraste blanco del fondo blanco del revelador sean bien definidas [45]. Se utiliza para la detección de discontinuidades de fabricación en talleres o en el campo: Soldaduras en estructuras de acero, soldaduras en recipientes sujetos a presión, piezas de fundición, piezas forjadas, piezas con maquinado final.

Las indicaciones del penetrante visibles pueden ser examinadas, sea con luz visible natural o artificial. Se necesita una iluminación adecuada para no tener fallas en la sensibilidad de la inspección [46].

- **Características del penetrante visible.**

La característica fundamental de un líquido penetrante es su poder de penetración. Lo que no es suficiente para que sea apto para examinar un producto, sino que precisa de

otras propiedades. Por lo cual, un penetrante ideal debería reunir las siguientes características [5]: poder penetrar en discontinuidades o grietas muy finas, poder permanecer en discontinuidades muy gruesas, no evaporarse o secarse rápidamente, ser fácilmente eliminable de la superficie, que la limpieza superficial no afecte al penetrante retenido por la discontinuidad, permanecer en estado fluido para poder emerger con facilidad al aplicar el revelador, poder extenderse en películas finas y de espesor uniforme, conservar el color o la fluorescencia durante un tiempo suficiente, su color o fluorescencia contraste bien sobre el fondo, no ser corrosivo ni atacar a los materiales que se examinen, no tener olor intenso o desagradable, ser estable en las condiciones de uso o almacenamiento, no tener componentes tóxicos, ser económicamente rentables [36].

– **Propiedades básicas de los penetrantes visibles**

El penetrante es un líquido de tipo aceitoso transparente, incoloro y sin sabor, el cual cuenta con las siguientes propiedades [42]:

– **Tensión superficial**

Es la unión de las moléculas que se encuentran en una superficie líquida, con un mismo volumen, tomando la forma de la superficie, tal como se puede observar en la figura 12. La forma que tiene la gota permite la simplificación de este concepto [47].



Figura 12: Tensión superficial

Fuente: Líquidos Penetrantes, Echevarria Ricardo, 2003

– **Humectabilidad**

Es la propiedad de los líquidos que les permite expandirse, adhiriéndose a la superficie de la pieza a inspeccionar. Esta depende de la interacción del líquido con la fase sólida y gaseosa en la que se encuentra [47].

– **Ángulo de contacto**

Es el ángulo que se forma entre la interfase líquido- sólido, tal como se observa en la Figura 13. En la unión del penetrante con el material se debe producir un ángulo de

contacto menor de 90° , este generará un resultado satisfactorio durante la inspección [42].

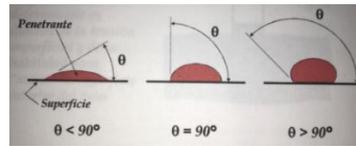


Figura 13 : Ángulo de contacto de los líquidos penetrantes

Fuente: Líquidos Penetrantes, Aillón Edison, 2018

– **Acción capilar**

Es la elevación o descenso de un líquido en un tubo capilar (o en situaciones físicas análogas, tales como en medios porosos) que es producida por la tensión superficial [3].

– **Viscosidad**

Es una propiedad del fluido mediante la cual ofrece resistencia al esfuerzo cortante. La viscosidad de los líquidos, se reduce con el aumento de temperatura; estas propiedades tienen efecto contrario en los gases [3].

– **Tensión superficial**

Es el trabajo que realiza un líquido al transportar moléculas hasta la superficie, como se observa en la figura 14 [48].

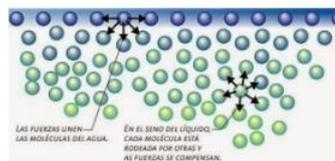


Figura 14: Tensión molecular de un líquido penetrante

Fuente: Propuestas para uso del método de líquidos penetrantes, para la identificación de daños en materiales compuestos, Norzagaray Castillo Luis Ezequiel, 2015

– **Volatilidad**

Es una propiedad de los líquidos que les permite pasar al estado gaseoso con facilidad. Esta propiedad depende principalmente de la temperatura y la presión interna a la cual se encuentra la mezcla del líquido penetrante [48].

b. Removible con solventes

Este tipo de método se emplea para la remoción del exceso de líquido penetrante visibles que no es soluble en agua. Son muy prácticos de utilizar ya que el solvente generalmente se presenta en aerosol [49].

c. Reveladores húmedos no acuosos

Es un polvo suspendido en un líquido volátil, se lo puede utilizar con todos los tipos de penetrantes y procesos. Este tiene la más alta sensibilidad de todos los reveladores. Se debe tener mucha precaución que la zona esté fría antes de ser aplicado el producto [50]. La principal propiedad de los reveladores húmedos no acuosos es la siguiente:

- Acción capilar

El revelador provee de un recubrimiento que permite extrae el penetrante de la cavidad donde se encuentre, actuando como un papel secante, tal como se observa en la figura 15 [42].

- a) El revelador dispersa el penetrante de forma lateral, de esta manera ensancha la indicación.
- b) Expande las tintas del penetrante alrededor de las partículas del revelador para resaltarlas.
- c) Trabaja verticalmente a través del revelador para incrementar el espesor del tinte.

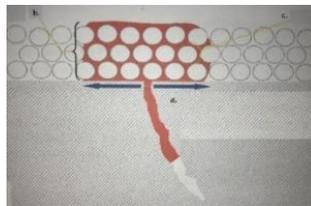


Figura 15: Propiedades controladas por el revelador

Fuente: Líquidos Penetrantes, Aillón Edison, 2018

1.4. Juntas de soldadura

Es la unión de elementos o miembros a ser soldados permanentemente [51]. Existe una gran variedad de juntas soldadas utilizadas para la construcción de tanques de almacenamiento, de las cuales se va a utilizar: a tope y en “T”.

1.4.1. Juntas a tope

Los elementos o miembros de metal se unen por su espesor o sus extremos, tal como se puede observar en la figura 16 [15].



Figura 16. Junta a tope

Fuente: Manual de Sistemas y Materiales de Soldadura, INDURA S.A., 2015.

1.4.2. Juntas tipo “T”

La zona a soldar consta de la unión de la cara de uno de los elementos de metal y el borde de otro [31], tal como se puede observar en la figura 17.



Figura 17. Junta tipo T.

Fuente: Manual de Sistemas y Materiales de Soldadura, INDURA S.A., 2015.

a. Biselado

El bisel en V, es utilizado generalmente para la unión de tanques de almacenamiento de petróleo, el cual sirve para unir elementos por la parte exterior o interior del tanque [31].

- Juntas con biselado en V

Es la ranura más conocida en uniones de tipo a tope [15], requiere un biselado con un ángulo que puede variar desde 15° hasta los 60° en la cara simple de las piezas coincidentes [52] [15], tal como se puede observar en la figura 18.



Figura 18. Junta a tope con bisel en V.

Fuente: Manual de Sistemas y Materiales de Soldadura, INDURA S.A., 2015.

1.5. Discontinuidades

Por lo general, las juntas soldadas y el material base presenta discontinuidades, comprometiendo la integridad de la estructura.

En las normas, existen distintos criterios de aceptación de las discontinuidades, estableciendo el tipo, tamaño, número y distribución, dependiendo de los valores especificados podrían ser consideradas aceptables, caso contrario, la junta soldada debe ser reparada y se estima una fecha para realizar nuevamente la inspección.

Hay grandes diferencias entre discontinuidades y defectos; cuando se habla de una interrupción anormal en la estructura del material, como, por ejemplo, las propiedades mecánicas presentan una falta de homogeneidad, o en la metalurgia, etc., es una discontinuidad; el defecto, es una discontinuidad en sí, y se produce cuando por su naturaleza excede los valores límite para ser aceptados por una Norma o código, y dicha soldadura quedara automáticamente rechazada. Las discontinuidades se dividen en [5]:

- **Relevantes:** son aquellas que requieren de la interpretación y evaluación de sus características (tamaño, forma o localización), durante el proceso de inspección.
- **No relevantes:** aquellas que requieren únicamente ser interpretadas sus características, durante el proceso de inspección (no requieren de evaluación).

1.5.1. Discontinuidades en el cordón de soldadura

Existen dos tipos de defectos: de tipo superficial e internos, los cuales se encuentran especificados en las figura 19 y figura 20 respectivamente [5]:



Figura 19. Tipos de defectos superficiales

Fuente: Elaboración de un manual de procedimientos para la inspección en uniones a tope para tubería de acuerdo a la Norma API 1104 y código ASME B31.3, con el equipo de ultrasonido OLYMPUS EPOCH 1000i, Pérez Jaime y Sucuzhañay Diego, 2015

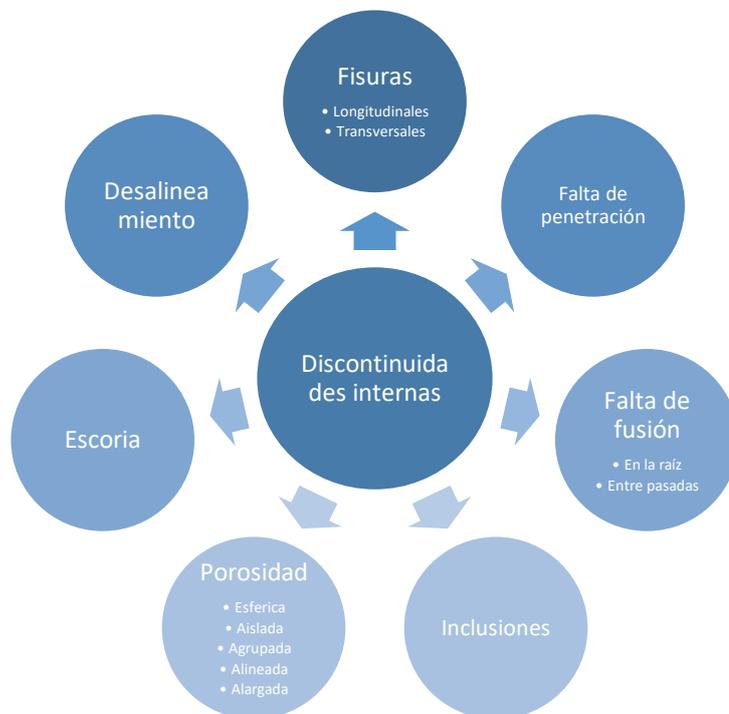


Figura 20. Tipos de defectos internos

Fuente: Elaboración de un manual de procedimientos para la inspección en uniones a tope para tubería de acuerdo a la Norma API 1104 y código ASME B31.3, con el equipo de ultrasonido OLYMPUS EPOCH 1000i, Pérez Jaime y Sucuzhañay Diego, 2015

1.5.2. Discontinuidades superficiales

A continuación, se enlista los defectos superficiales, más recurrentes en la construcción de tanques de almacenamiento de petróleo.

- Socavadura

Es la falta de metal en los bordes del cordón de soldadura, tiene la forma de surcos con longitudes variadas, son concentradores de tensión y disminuyen el espesor de la plancha; las causas para que se generen son la inapropiada técnica y corrientes altas, como se observa en la figura 21.

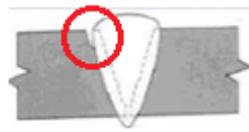


Figura 21: Socavadura

Fuente: Defectos y discontinuidades de la soldadura, Ortiz Gabriel, 2018

- Falta de soldadura

Es la falta de material de aporte en la superficie del cordón de soldadura, como se observa en la figura 22; esta discontinuidad también puede generarse en la raíz de la junta.

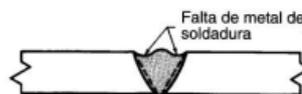


Figura 22: Falta de soldadura

Fuente: Elaboración de una guía de inspección de soldadura y calificación de soldadores aplicado a las Normas ASME BPVC y API 1104, Zambrano Jhonny, 2015.

- Falta de fusión

Es un tipo de discontinuidad en la que no existe una fusión completa entre el metal de soldadura y las paredes de los cordones de soldaduras cercanas o el bisel del metal; puede ser superficial o sub-superficial y se debe a una técnica deficiente por parte del soldador que realiza el cordón de soldadura, inadecuado diseño de la junta o contaminación excesiva, como se observa en la figura 23.



Figura 23: Falta de Fusión

Fuente: Elaboración de una guía de inspección de soldadura y calificación de soldadores aplicado a las Normas ASME BPVC y API 1104, Zambrano Jhonny, 2015.

1.5.3. Discontinuidades internas

A continuación, se enlista los defectos internos, más recurrentes en la construcción de tanques de almacenamiento de petróleo.

- Falta de penetración en la junta

Se ubica de manera adyacente a la raíz de la junta y es producida por la falta de penetración de la soldadura, ya que no se extiende en toda la junta, es causada por una mala técnica o inexperiencia del soldador, diseño deficiente o contaminación excesiva, como se observa en la figura 24, [15], [5], [53].



Figura 24: Falta de Penetración en la Junta

Fuente: Defectos y discontinuidades de la soldadura, Ortiz Gabriel, 2018

- Quemones

Son discontinuidades que se producen cuando existe penetración excesiva en el sector de la pasada de raíz, provocando que el aporte de soldadura se solape dentro de la misma; su causa más frecuente es un exceso en la corriente, un manejo inadecuado y bajas en la velocidad del electrodo, como se observa en la figura 25, [15], [5], [53].



Figura 25. Quemón

Fuente: Elaboración de un Manual de procedimientos para la inspección en uniones a Tope para tubería de acuerdo a la Norma API 1104 y código ASME B31.3, con el equipo de Ultrasonido OLYMPUS EPOCH 1000i, Pérez Jaime y Sucuzhañay, 2015

- **Inclusiones**

Es cuando se halla un material metálico o no metálico totalmente ajeno en la soldadura. La inclusión más común es por presencia de escoria, como se observa en la figura 26, [15], [5], [53].

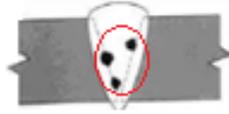


Figura 26: Inclusión

Fuente: Defectos y discontinuidades de la soldadura, Ortiz Gabriel, 2018

- **Porosidad agrupada**

Son discontinuidades provocadas por gases, agentes oxidantes o exceso de humedad en el revestimiento del electrodo o en el metal base, atrapados en el interior del metal de soldadura durante el proceso de solidificación, formando cavidades llamadas también nido de poros en el interior del cordón de soldadura, como se observa en la figura 27, [15], [5], [53].



Figura 27. Porosidad agrupada.

Fuente: Elaboración de un Manual de procedimientos para la inspección en uniones a Tope para tubería de acuerdo a la Norma API 1104 y código ASME B31.3, con el equipo de Ultrasonido OLYMPUS EPOCH 1000i, Pérez Jaime y Sucuzhañay, 2015

- **Fisura**

Es una discontinuidad lineal que se caracteriza por presentar en sus extremos geometrías agudas, debido a esto tiende a propagarse por el cordón de soldadura y crecer, especialmente aquellos que se someten a cargas de fatiga, como se observa en la figura 28, [15], [5], [53].



Figura 28: Fisura

Fuente: Defectos y discontinuidades de la soldadura, Ortiz Gabriel, 2018

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA

En este capítulo se describe el contenido de cada uno de los puntos que debe tener un manual de procedimientos para inspección de soldaduras.

Se indica: el procedimiento para la construcción, de un prototipo a escala, de un tanque de almacenamiento atmosférico de petróleo, se realiza: el diseño de la estructura, el proceso de ensamblaje y la unión de la estructura por medio de cordones de soldadura; también se describe el proceso de fabricación de otras probetas de tipo juntas a tope y T con discontinuidades en su cordón de soldadura.

Se trata también sobre los procesos de inspección con ensayos no destructivos (inspección visual, líquidos penetrantes y ultrasonido) que se deben realizar bajo la norma API 650, describiendo cada punto que se debe tomar en cuenta para una correcta inspección y evaluación de los cordones de soldadura.

2.1. Elaboración de un manual de procedimiento

2.1.1. Procedimiento

Es el proceso que se realiza para desarrollar un trabajo, está conformado por tareas que se deben realizar. Se pretende que el procedimiento relacione una tarea que se está realizando con otras que la siguen [49].

2.1.2. Manual de procedimientos

Es un documento en el cual se describe las actividades que se debe seguir para realizar funciones de un proceso. En esta sección se describe cada elemento que, como mínimo, debe contener un manual de procedimientos, así como la especificación del contenido a ser incluido en este [5]:

1. Carátula

Para elaborar un manual de procedimiento, se debe colocar membretes que permitan identificar el origen y la validez de este, los mismos que están constituidos por membretes de encabezado y de firmas:

- Membrete encabezado

Este elemento consta de cuatro casilleros como se observa en la figura 29, estos pueden ser más, dependiendo de las necesidades.

1	2	3
		4

Figura 29. Membrete de encabezado.

Fuente: Elaboración de un Manual de procedimientos para la inspección en uniones a Tope para tubería de acuerdo a la Norma API 1104 y código ASME B31.3, con el equipo de Ultrasonido OLYMPUS EPOCH 1000i, Pérez Jaime y Sucuzhañay, 2015.

Casillero 1: se coloca el logotipo de la institución a la que pertenece el manual.

Casillero 2: se coloca el tipo de método con el cual se va a realizar el procedimiento.

Casillero 3: se coloca un código de referencia para identificar el procedimiento, así como el número de procedimientos con los cuales cuenta la institución.

Casillero 4: se coloca el número de páginas total de las que consta el manual.

- Membrete firmas

Este elemento consta de seis casilleros como se observa en la figura 30, estos pueden ser más, dependiendo de las necesidades.

1	4	7
2	5	8
3	6	9

Figura 30. Membrete de firmas.

Elaborado por: Christian Pérez, 2020.

Casillero 1: se coloca el nombre de la persona que elaboró el procedimiento.

Casillero 2: se coloca el nombre de la persona que va hacer la revisión del procedimiento.

Casillero 3: se coloca el nombre de la persona que va aprobar el procedimiento.

Casillero 4: se coloca firma de la persona que elaboró el procedimiento.

Casillero 5: se coloca firma de la persona que reviso el procedimiento.

Casillero 6: se coloca firma de la persona que aprobó el procedimiento.

Casillero 7: se coloca fecha en la que se elaboró el procedimiento.

Casillero 8: se coloca fecha en la que se revisó el procedimiento.

Casillero 9: se coloca fecha en la que se aprobó el procedimiento.

2. Objetivo

El objetivo debe describir los requerimientos de trabajo y el método de ensayo no destructivo con el que se va a realizar el procedimiento.

3. Alcance

Da a conocer la cantidad máxima de requisitos que permite el procedimiento a ser realizado.

4. Personal

Según la normativa, se describe a la persona autorizada a realizar el procedimiento en campo.

5. Normas y códigos de referencia

Se realiza una lista de las normas y códigos que regirán el procedimiento durante el proceso de inspección.

6. Materiales y características dimensionales

Es necesario conocer con exactitud el elemento del material a inspeccionar, así como también, sus parámetros constructivos y dimensiones.

7. Geometría de la junta

El tipo de unión de soldadura debe ser detallado, para poder realizar la inspección.

8. Equipo

Se describen las características del equipo y accesorios a ser utilizados durante la inspección.

9. Técnica a ser usada

Dependiente del trabajo a realizar, en este punto, se especifica la técnica adecuada para la imperfección de soldadura seleccionada, de acuerdo a la tabla 1.

Tabla 1. Imperfecciones vs tipos de métodos en END

Imperfecciones en Soldaduras	Superficial		Sub-Superficial		Volumétricas				
	VT	PT	MT	ET	RT	UTA	UTS	AE	UTT
Quemón	⦿	⦿	⦿	⦿
Grietas	⦿	⦿	⦿	⦿	⦿	⦿	⦿	⦿	...
Refuerzo	⦿	⦿	⦿	⦿	...	⦿
Excesivo/Inadecuado									
Inclusiones (escoria)	⦿	⦿	⦿	⦿	⦿	⦿	...
Fusión incompleta	⦿	...	⦿	⦿	⦿	⦿	⦿	⦿	...
Penetración incompleta	⦿	⦿	⦿	⦿	⦿	⦿	⦿	⦿	...
Desalineación	⦿	⦿	⦿
Traslape	⦿	⦿	⦿	⦿	...	⦿
Porosidad	⦿	⦿	⦿	...	⦿	⦿	⦿	⦿	...
Concavidad de raíz	⦿	⦿	⦿	⦿	⦿	⦿
Desbaste	⦿	⦿	⦿	⦿	⦿	⦿	⦿	⦿	...

Legenda:

VT. - Inspección Visual

PT.- Inspección por Tintas Penetrantes

MT.- Inspección por Partículas Magnéticas

ET. - Inspección por Electromagnetismo

RT.- Inspección por Radiografiado

UTA. - Inspección por Ultrasonido con haz angular

UTS. - Inspección por Ultrasonido con haz recto

AE. - Inspección por Emisiones Acústicas

UTT. - Inspección por Ultrasonido para medición de espesores.

⦿ Todos o la mayoría de las técnicas estándar detectarán esta imperfección bajo todas o la mayoría de condiciones.

⦿ Una o más técnicas estándar detectará esta imperfección bajo ciertas condiciones.

⦿ Se requieren técnicas, condiciones y/o requisitos especiales de personal para detectar esta imperfección.

Fuente: Nondestructive Examination, ASME Boiler and Pressure Vessel Code, 2019, pag 37.

10. Condiciones superficiales

En esta sección se describirá la condición en la que se debe encontrar la superficie, previas a la inspección, existen especificaciones básicas en los códigos y normas utilizados.

11. Criterios de registro e identificación

Se detallan ciertos criterios que permiten la aceptación de las discontinuidades encontradas en el proceso de inspección.

12. Criterios de aceptación y rechazo

Los criterios de aceptación-rechazo, que rige la norma API 650 para tanques soldados para almacenamiento de petróleo, se detallarán en este ítem.

13. Reporte

En esta sección se detallan los resultados obtenidos en el ensayo utilizado.

2.2. Construcción de probetas

2.2.1. Cálculo del espesor de la plancha

Para la construcción del tanque prototipo a escala, es necesario conocer el espesor de la plancha, que se va a utilizar para la fabricación del mismo, para esto se debe aplicar la ecuación (1), descrita a continuación.

$$t_d = \frac{2.6 \times D \times (H-1) \times G}{S_d} + CA \quad (1)$$

Donde:

t_d : espesor de la plancha [in]

D: diámetro nominal del tanque [ft]

H: nivel máximo del líquido a almacenar [ft]

G: gravedad específica del líquido a almacenar

CA: corrosión admisible [in]

S_d : esfuerzo admisible del material [psi]

Los valores del diámetro nominal y altura del tanque, se toman del tanque de almacenamiento real, debido a que, si se toman los datos del tanque a escala, el espesor será inferior al mínimo exigido por la norma API 650. Para el nivel máximo de líquido a almacenar, se debe tomar el 80% de la altura del cuerpo del tanque de almacenamiento, debido a que no se puede hacer uso de todo el espacio con el líquido a almacenar. A continuación, se muestran los valores del diámetro nominal y la altura del líquido a almacenar:

$$\mathbf{D= 27432 [mm]} \qquad \mathbf{D= 90 [ft]}$$

$$\mathbf{H= 9753.6 [mm]} \qquad \mathbf{H= 32 [ft]}$$

Los valores para la gravedad específica, corrosión admisible y esfuerzo admisible, fueron tomadas del documento bibliográfico Memorias de cálculo Mecánico [54].

Gravedad específica de petróleo crudo a 205 °F= 0.92

Corrosión admisible= 0.0625 [in]

Esfuerzo admisible A-36= 36000 [psi]

$$t_d = \frac{2.6 \times 90 \text{ ft} \times (32 \text{ ft} - 1) \times 0.92}{36000 \text{ psi}} + 0.0625 \text{ in}$$

$$t_d = 0.24 \text{ [in]} \quad t_d = 6.09 \text{ [mm]}$$

Debido a que no existe en el mercado planchas de acero ASTM A-36 con espesor de 6.09 [mm], se debe seleccionar la plancha de espesor 6 [mm].

2.2.2. Probeta tipo tanque

Para el diseño de las probetas con defectologías, se elaborará un tanque probeta a escala 1:25, de un modelo tomado de la empresa pública Petroamazonas, el cual, tendrá diferentes defectologías en sus uniones soldadas.

a. Barolado

Este proceso de conformado mecánico por flexión, consiste en la deformación plástica de láminas, con la ayuda de rodillos en configuraciones de tres o más rodillos, doblando la plancha metálica, obligándola a tomar la forma curva que se desea obtener, como se observa en la figura 31.

El proceso para barolar una plancha consiste en la aplicación de presión de uno de los rodillos el que tiene una movilidad en el eje vertical, hasta que roce el material y con el movimiento de los otros rodillos, permitir que la pieza empiece a tomar curvatura, se debe ir presionando un poco más cada vez que ingrese nuevamente el material a la baroladora. Este tipo de baroladora no posee ningún tipo de instrumento de medición de presión, por lo que la presión aplicada fue de forma mecánica hasta lograr un cilindro del diámetro requerido [55], [56].



Figura 31. Proceso de barolado

Fuente: Diseño y Construcción de una máquina prototipo para rebordear fondos toriesférico de tanques de almacenamiento, Cuichán Fausto, Malte Javier, 2012.

Cuando la plancha ya ha tomado la forma curva deseada se unen los pedazos de plancha ya barolados y mediante puntos de soldadura se da forma al cuerpo del tanque de almacenamiento prototipo a escala como se observa en la figura 32, [55], [56].



Figura 32. Tanque de almacenamiento prototipo a escala

Fuente: Christian Pérez

b. Repujado

Este proceso de conformado se lo emplea para dar la forma cóncava deseada a una chapa metálica plana, se coloca la chapa sujeta a un eje rotativo y mediante rodillos se va dando la forma deseada por medio de presión como se observa en la figura 33, [55], [56].



Figura 33. Proceso de repujado

Fuente: The Fabricator, Dished end manufacturing for beginners, 2018 [57].

2.2.3. Probeta tipo juntas

Estas probetas se las desarrolló con el proceso de soldadura SMAW, con la finalidad de desarrollar una simulación, de un corte de las juntas presentes en tanques de almacenamiento, se puede observar en la figura 34, un ejemplo de probeta tipo junta en T.



Figura 34. Probeta junta tipo T.

Fuente: Christian Pérez

2.3. Procedimientos para la inspección de soldaduras

Se describe el procedimiento teórico para realizar una inspección, así como los pasos previos a la misma.

2.3.1. Procedimiento de inspección visual

Las fallas típicas que se pueden encontrar en tanques de almacenamiento de petróleo, por medio de una inspección visual son: corrosión, agrietamiento y desunión [31], [58]. Existen factores que afectan la durante la inspección visual que se deben considerar:

- El acceso al área que se desea inspeccionar.
- Adecuada iluminación.
- Evitar el alumbramiento directo y reflejado.
- Es importante limpiar las zonas a ser inspeccionadas de cualquier tipo de suciedad, contaminación o cualquier objeto que impida la detección de fallas en el cordón de soldadura.
- El factor ambiental es muy importante en la inspección; como es: temperaturas altas, lluvia, viento, así como otros factores que alteren el clima y no permitan un buen proceso de inspección visual.

- El personal, que la va a realizar, debe tener conocimientos del objeto que va a inspeccionar, de esta manera podrá examinar de forma adecuada.
- Se debe inspeccionar los *targets* o blancos específicos, debido a que el funcionamiento del ojo ciega al mover de un punto a otro la mirada evitando el escaneo del área total.
- Las marcas como decoloraciones dan indicios de un defecto en la zona.
- La corrosión en la inspección visual es muy crítica, el personal debe tener experiencia en detección de corrosión que se encuentra en ciertos puntos de la estructura de los tanques.

a. Desarrollo de actividades

1. Inspección preliminar

Es necesario que el técnico certificado nivel II AST-SNT-TC1A, cumpla con el examen jaeger tipo 2, a una distancia no menor de 300 mm y examen de contraste, como solicita la norma API 650 [14]. Se debe realizar una inspección preliminar en toda el área con fines de: limpieza, detección de objetos extraños, objetos deformados, corrosión, salpicaduras u otros daños.

2. Preparación de la superficie

- La zona a ser inspeccionada debe ser limpiada teniendo en cuenta que no se debe dañar ningún tratamiento colocado en la superficie. Cualquier tipo de contaminante que impida la inspección debe ser removido de la superficie.
- Para la limpieza de las zonas a ser inspeccionadas se puede utilizar: detergentes, limpiadores alcalinos, desengrasantes de vapor, solventes, saca pintura, limpieza ultrasónica, limpieza a vapor, limpieza mecánica.
- Con el fin de realizar una correcta inspección visual a la pieza que se va a examinar, se recomienda que la superficie del material, tenga un acabado mínimo SSPC-SP3 (limpieza con herramienta manual mecánica) [31].

3. Iluminación

- Para la iluminación se debe tener una intensidad de 100 fc (1076 lux) sobre la superficie [59].

- En el caso de ser necesario la utilización de luz artificial las condiciones mínimas deben ser de acuerdo a la tabla de fuentes luminosas, en el anexo 21.

4. Método de examen visual

El método utilizado es el examen visual directo cumpliendo con las siguientes condiciones:

- Distancia máxima de la superficie a ser examinada hasta el ojo del observador es de 600 mm.
- El ángulo de observación con relación a la superficie a ser examinada no debe ser inferior a 30°.

5. Registros

Los ítems a ser inspeccionados deben ser documentados en una libreta de campo, la cual tendrá como variables: calificaciones de soldador, material a inspeccionar, cantidades de luz, aceptación o rechazo del ítem, características de la discontinuidad y observaciones, de ser el caso.

6. Criterios de aceptación y rechazo

Para la evaluación de uniones soldadas bajo la norma API 650 para tanques soldados para almacenamiento de petróleo en la sección 8.5, párrafo 8.5.2, se determina los parámetros de aceptación o rechazo.

7. Reporte

El reporte de los resultados deberá contemplar: todos los ítems inspeccionados, sus hallazgos, las herramientas de ayuda para la inspección (galgas, medidores de luz, iluminación), conjuntamente con su sistema de trazabilidad, códigos de referencia y códigos de aceptación y rechazo [31].

2.3.2. Procedimiento de inspección con líquidos penetrantes

La inspección que se realiza con la técnica de líquidos penetrantes se la puede subdividir en: procesos, tipos, métodos o técnicas de examinación. Se utiliza comúnmente dos grupos: penetrantes fluorescentes, penetrantes visibles.

El proceso que se emplea se puede ver en la figura 35. La técnica por líquidos penetrantes, consiste en la aplicación del líquido penetrante sobre la pieza previamente

sometida a un proceso de limpieza, el penetrante generalmente tiene una tonalidad rojiza y presenta baja viscosidad que, en función de esta propiedad, penetra en las discontinuidades existentes en la superficie de la pieza. Bajo el principio de capilaridad, se realiza la limpieza de la pieza por medio de un líquido removedor, cuya función es la eliminación del exceso de líquido penetrante que ha quedado en la superficie. Posteriormente se aplica el revelador, el cual, normalmente tiene talco en suspensión. El líquido penetrante que se encuentra en el interior de las discontinuidades de la pieza, será absorbido por el revelador, en consecuencia, mostrará las discontinuidades existentes en la pieza ya que, se tornan de color rojizo [43].

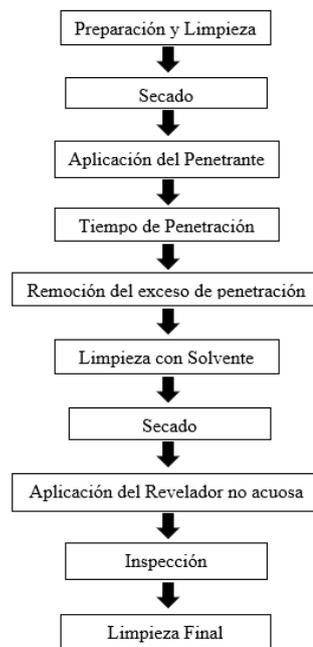


Figura 35. Proceso de inspección con penetrantes visibles

Elaborado por: Christian Pérez, 2019

a. Preparación de la superficie

1. Condiciones ambientales

La temperatura en la que se debe encontrar los materiales penetrantes, así como la superficie de la parte a ser inspeccionada debe estar entre 4°C y 52°C [60].

Para la verificación de la temperatura de la superficie, se utiliza la temperatura que puede soportar la mano humana mediante un tiempo de contacto con la superficie no mayor a 10seg, aplicando temperatura de confort como se muestra en la figura 36, [6].

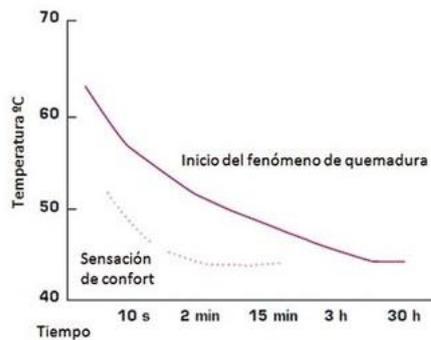


Figura 36. Temperatura límite de confort que soporta la mano humana

Fuente: Procedimiento de Inspección por Líquidos Penetrantes, Juan Gangotena, 2018.

2. Limpieza

El examen con tintes penetrantes depende de las condiciones de la superficie y de los contaminantes que existan en la superficie.

Algunas de las sustancias contaminantes pueden tener como origen numerosas causas tales como [47]:

- **Procesos metalúrgicos de fabricación:** arenas, escama, cascarilla de tratamiento térmico, oxidación, etc.
- **Procedentes de controles no destructivos:** aceites, partículas magnetizables, líquidos penetrantes usados precedentemente, etc.
- **Condiciones de servicio:** grasas, lubricantes, óxidos, barnices y pinturas, etc.

Estas sustancias contaminantes se las elimina con la aplicación de los siguientes procesos de limpieza:

- **Desengrasado**

Se emplea detergentes alcalinos con concentración sobre la superficie de la pieza; se aplica por inmersión o con ayuda de una brocha en función del tamaño de la pieza que se desea examinar.

- **Desoxidación**

Para eliminar cualquier rastro de óxido en la superficie del material, que impida la inspección; se debe aplicar una SSPC-SP3 (limpieza con herramienta manual mecánica).

b. Desarrollo de actividades

1. Secado de las superficies de las piezas

Las piezas mojadas se deben secar antes de aplicar el penetrante, con aire impulsado caliente, con aire natural, o bien, por medio de trapos limpios que no dejen pelusa [37].

2. Aplicación del penetrante

El penetrante se debe aplicar en la superficie de la pieza a inspeccionar, intentando rociar el líquido sobre la zona, a una distancia no mayor a 20cm, tal como se observa en la figura 37; para que ingrese en las cavidades, y, este tiempo depende de las discontinuidades que se desea encontrar; las discontinuidades que se generan por fatiga llevan un mayor tiempo para que el líquido penetre, debido a que, las discontinuidades son diminutas y difíciles de detectar [15] [6] [60].



Figura 37. Implementación de inspección no destructiva de soldadura en la empresa INDIMA S.A
Fuente: Aplicación d líquido penetrante en la zona a inspeccionar, Encarnación Franco, Elizabeth Alexandra, 2010.

3. Tiempo de penetración

El tiempo de penetración depende de: la temperatura, tiempo de discontinuidad y los posibles contaminantes que pueden estar atrapados en las discontinuidades. El mínimo tiempo de penetración podría ser [42]:

- 5 minutos en partes en servicio
- 2 horas para grietas de fatiga por servicio
- 4 horas para grietas por estrés de corrosión

4. Eliminación del exceso de penetrante

El exceso de penetrante debe ser removido de la superficie con un paño humedecido con solvente, sin remover el penetrante que se encuentra en el interior de las discontinuidades [42] [36].

5. Secado

El proceso de secado se realiza después de la remoción del penetrante, este método se utiliza en función del proceso de remoción y revelado. Generalmente se lo realiza después de la aplicación del solvente, ya sea con aire o por el proceso de evaporación normal que tiene este compuesto, con una duración mínima de 5 minutos para cumplir con el secado [48] [6].

6. Aplicación del revelador no acuoso

El revelador, el cual es de color blanco, seca el penetrante que se encuentra en las discontinuidades, extrayéndolo con ayuda de la fuerza capilar, de esta manera, aparecen las manchas rojizas del penetrante en el área del defecto, tal como se observa en la figura 38, [50].



Figura 38. Aplicación del revelador no acuoso

Fuente: Propuestas para uso del método de líquidos penetrantes, para la identificación de daños en materiales compuestos, Norzagaray Castillo, Luis Ezequiel, 2015

La aplicación del revelador es uniforme, y se utiliza una capa gruesa a una distancia aproximada de 30 cm (12 pulgadas) de la superficie. la segunda capa se debe aplicar en dirección transversal a la primera, procurando, siempre, revisar que la primera capa esté seca antes de aplicar la segunda capa [42].

7. Tiempos del revelado

El tiempo del revelado comienza después de haber aplicado el revelador, tal como se observa en la figura 39. Es recomendable que, el tiempo de revelado sea de 10 minutos mínimo, y se establece como tiempo permitido 1 hora máximo para reveladores no acuosos [39]. Este periodo del revelador permite visibilizar las indicaciones, y, es inversamente proporcional al volumen que tenga la discontinuidad. Para dar un tiempo apropiado al revelador, se debe tener en consideración las siguientes variables: tipo de penetrante, sensibilidad de la técnica, temperatura de la pieza.

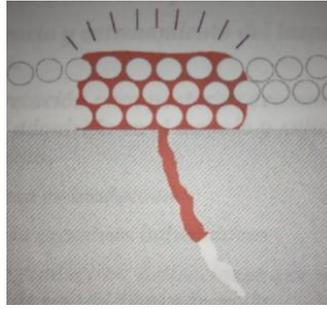


Figura 39. Tiempo del revelado
Fuente: Líquidos Penetrantes, Aillón Edison, 2018

c. Inspección de la superficie

Al aplicar el revelador y durante el tiempo de revelado, se debe observar la superficie como ayuda para la interpretación de las indicaciones [42]. Para realizar la inspección se debe seleccionar el tipo de iluminación, si se utiliza un penetrante visible será solo necesaria la luz normal, la iluminación debe ser adecuada, para asegurar que no exista pérdida de la sensibilidad durante la inspección [15].

d. Interpretación de los resultados de la inspección por líquidos penetrantes

Para poder interpretar las indicaciones de una manera correcta, se debe estar familiarizado completamente con el proceso de inspección con líquidos penetrantes. Se debe estar seguro si el ensayo se lo realizó correctamente, ser capaz de obtener toda la información acerca de las discontinuidades y sus consecuencias en la sección inspeccionada.

La evaluación correcta de las indicaciones obtenidas depende de la interpretación lo más exacta posible de la misma, la experiencia del inspector es clave en el proceso.

Algunos de los términos importantes para la interpretación de indicaciones son:

– Indicación

Es una señal o marca producida por una discontinuidad que se detecta aplicando el método de ensayos no destructivos, las cuales pueden ser: falsas, no relevantes, relevantes.

– Indicaciones falsas

Son aquellas que aparecen durante el proceso de inspección y pueden ser provocadas por una falla en la aplicación del método de líquidos penetrantes, por contaminación

de la superficie, al no realizar un correcto proceso de limpieza o por no realizar la remoción necesaria del exceso de penetrante [61].

– **Indicaciones relevantes**

Son indicaciones causadas por una condición o discontinuidad, que necesitan ser evaluadas. Con la ayuda de códigos y normas, se puede determinar la longitud máxima que debe tener una discontinuidad para ser considerada relevante.

– **Indicaciones no relevantes**

Se las determina debido a qué son causadas por: la configuración geométrica, variación de estructura o debido al acabado superficial de la pieza. Lo que indica que no existe ninguna relación con la existencia de discontinuidades o defectos; por lo cual, no se necesita evaluar [46].

– **Defecto**

Son las indicaciones de una discontinuidad que, debido a su tamaño, forma o el lugar donde se localiza; esta ha excedido los límites de aceptación que se establece en las normas o códigos.

En base a lo anteriormente mencionado, se puede concluir que, todos los defectos son discontinuidades, pero no todas las discontinuidades son defectos, ni todas las indicaciones son discontinuidades [61].

e. Criterios de aceptación y rechazo

Para la evaluación de uniones soldadas bajo la norma API 650 para tanques soldados para almacenamiento de petróleo, se rige bajo los criterios de la sección 8.4, párrafo 8.4.4, donde se determina los parámetros de aceptación o rechazo.

f. Reporte

El reporte de los resultados deberá contemplar: todos los ítems inspeccionados, sus hallazgos, las herramientas de ayuda para la inspección (medidores de luz, iluminación), conjuntamente con su sistema de trazabilidad, códigos de referencia y códigos de aceptación y rechazo [6].

2.3.3. Procedimiento de inspección con ultrasonido

Este procedimiento detalla los requerimientos mínimos para la inspección de uniones soldadas y detección de fallas por ultrasonido mediante la técnica de arreglo de fases [62].

a. Equipo y materiales a ser utilizados en la inspección

– Equipo de ultrasonido con arreglo de fases

Para el desarrollo del ensayo ultrasónico se debe utilizar un equipo pulso – eco con capacidad de trabajar con frecuencias comprendidas entre al menos 1 a 6 MHz que se puedan seleccionar de acuerdo a las características del material, condiciones geométricas, tamaño y ubicación de discontinuidades.

– Transductores (palpadores)

Se debe utilizar palpadores de 1 a 5MHz, si el tamaño del grano del material a examinarse requiere el uso de palpadores de otras frecuencias se puede utilizar para asegurar una adecuada penetración o resolución. Es posible además utilizar palpadores con zapatas curvas que permitan un mejor acoplamiento con la superficie de la parte, pieza o tubería a ser examinada.

– Acoplante

Se utilizará como acoplante carboximetil celulósico (CMC), producto totalmente biodegradable o cualquier otro producto que asegure un correcto acoplamiento acústico.

b. Calibración de acuerdo al manual OMNISCAN MX2

Se utiliza el bloque de calibración IIW tipo II como se observa en la figura 40.

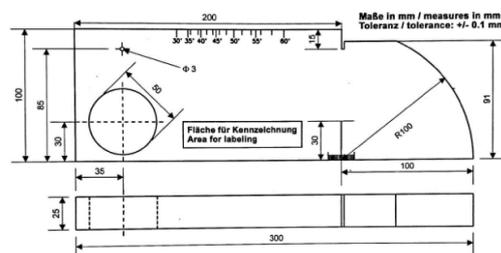


Figura 40. Bloques de Referencia Tipo IIW

Fuente: Certificado de calibración, KARL DEUTSCH, 2012.

– **Calibración con transductor de haz angular**

La calibración con haz angular descrito a continuación es llevada a cabo utilizando un transductor olympus 5L16-9.6X10-A10-P-2.5-OM, con una frecuencia de 5 MHz, para el caso de inspección bajo norma API. El transductor es montado sobre una zapata angular SA10-N55S, se recomienda utilizar un bloque de calibración ASTM E-164 IIW tipo I o tipo II, para este procedimiento de calibración [14].

c. Examinación de soldaduras a tope mediante ultrasonido

Para el procedimiento del uso del método de examinación ultrasónica (UT) para la inspección de soldaduras a tope. Esta alternativa se limita para juntas con espesor igual o mayor a 6 mm (1/4in).

d. Cobertura y superficie de examinación

El volumen de la pieza a ser explorado debe ser cubierto por el palpador mediante movimientos en la superficie de barrido, esto depende del palpador requerido.

Cada movimiento del palpador debe traslapar un mínimo del 10% de la dimensión paralela del transductor (elemento piezoeléctrico) a la dirección de punto de salida de barrido. La oscilación del palpador es permitida si este puede ser demostrado que la cobertura del traslape es provista.

e. Velocidad de movimiento

La velocidad de barrido del palpador no debe exceder los 150mm/s (6 in/s), a menos que, la tasa de repetición de pulsos del equipo sea suficiente para pulsar el palpador, como mínimo 6 veces, dentro del tiempo necesario, para moverse la primera mitad de la dimensión paralela del transductor, a la dirección del barrido en una máxima velocidad de barrido.

f. Técnica

El volumen de ultrasonido debe incluir el metal de soldadura más una longitud, que corresponda al valor menor entre 25 mm (1 in.), del metal base adyacente, en cada lado de la soldadura [14].

g. Barrido

En la opción de simulación de barrido, disponible en el equipo de ultrasonido, se debe establecer un plan de barrido, que indique las posiciones de inicio y fin del palpador, para asegurar la cobertura del volumen requerido para los ángulos de haz apropiados.

El barrido manual se muestra en el monitor por calidad de acople y señal, excediendo el umbral de evaluación; estas señales son indicaciones que deben ser evaluadas por el operador [62].

h. Criterios de aceptación y rechazo

Para la evaluación de uniones soldadas bajo la norma API 650 para Tanques soldados para almacenamiento de petróleo, se rige bajo los criterios del anexo U, donde se determina los parámetros de aceptación o rechazo.

i. Reporte

El reporte de los resultados deberá contemplar todos los ítems inspeccionados, sus hallazgos, conjuntamente con su sistema de trazabilidad, códigos de referencia y códigos de aceptación y rechazo [7].

CAPÍTULO III

DESARROLLO

En este capítulo se describe los requerimientos establecidos por la norma API 650 para la inspección de uniones soldadas tipo T y a tope, necesarios en los métodos de inspección visual, líquidos penetrantes y ultrasonido.

Para lo cual, se detallan los tipos de defectos encontrados en las diferentes probetas inspeccionadas en este proyecto, durante la aplicación de los distintos métodos de ensayos no destructivos: inspección visual, líquidos penetrantes y ultrasonido.

En búsqueda de validar los procedimientos de inspección para cada tipo de ensayo no destructivo, se realizó un análisis comparativo de eficacia entre los resultados obtenidos con el uso del procedimiento descrito en el capítulo II y los resultados de una entidad externa dedicada a este tipo de trabajos.

Por último, se presenta el desarrollo de un manual de procedimientos de inspección para cada técnica de ensayos no destructivos: visual, líquidos penetrantes y ultrasonido. Para detección de fallas en uniones de soldadura presentes en tanques de almacenamiento de petróleo describiendo los requerimientos a seguir para su aplicación.

3.1. Requerimientos establecidos por la norma API 650

3.1.1. Criterios de aceptación para inspección visual

La norma API 650 en la sección 8.5, párrafo 8.5.2, establece como requerimientos para la evaluación de indicaciones superficiales, que una soldadura será aceptable mediante examen visual si la inspección muestra lo siguiente:

- No debe haber grietas en la corona, otras grietas en la superficie o golpes de arco sobre o adyacentes a las juntas soldadas.

- Para juntas horizontales a tope, accesorios permanentes, orientados horizontalmente y juntas a tope de anillo anular, el corte inferior máximo permitido es de 0.8 mm (1/32 in) de profundidad.

- La frecuencia de la porosidad de superficie en la soldadura no debe exceder nunca un racimo (uno o más poros) en 100 mm (4 in) de longitud, y el diámetro de cada racimo no supera los 2.5 mm (3/32 in).
- El refuerzo de las soldaduras en todas las juntas a tope, en cada lado de la placa, no debe exceder los siguientes espesores mostrados en la tabla 2:

Tabla 2. Espesor máximo de refuerzo

Espesor de la placa mm (in)	Espesor Máximo de refuerzo mm (in)	
	Juntas Verticales	Juntas Horizontales
≤ 13 (1/2)	2.5 (3/32)	3 (1/8)
> 13 (1/2) a 25 (1)	3 (1/8)	5 (3/16)
> 25 (1)	5 (3/16)	6 (1/4)

Fuente: Welded Tanks for Oil Storage, American Petroleum Institute, 2018.

El refuerzo no necesita ser removido, excepto en la medida en que exceda el espesor máximo aceptable, o, a menos que, se requiera su remoción para el examen radiográfico.

3.1.2. Criterios de aceptación para líquidos penetrantes

La norma API 650 en la sección 8.4, párrafo 8.4.4, establece como requerimientos para la evaluación de indicaciones superficiales inspeccionadas por la técnica de líquidos penetrantes, que todas las indicaciones que tengan cualquier dimensión superior a 1.5 mm (1/16 in), se consideran relevantes. Cualquier tipo de fisura que se encuentre en el cordón de soldadura no es aceptable y se rechaza directamente.

Una indicación lineal es una que tiene una longitud mayor que tres veces su ancho. Todas las superficies que han de examinarse deben estar libres de indicaciones relevantes.

Una indicación redondeada es una forma circular o elíptica con una longitud igual o inferior a tres veces su ancho. Todas las superficies que han de examinarse deben estar libres de indicaciones redondeadas relevantes mayores a 5mm (3/16 in), también se

debe tener en cuenta que cuatro o más indicaciones redondeadas relevantes en una misma línea, separadas por 1.5mm (1/16 in) o más, de borde a borde.

3.1.3. Criterios de aceptación para ultrasonido con arreglo de fases

La norma API 650 en la sección 8.3, párrafo 8.3.1, la cual redirecciona los anexos U.6 y U.8 que establecen como requerimientos para la evaluación de indicaciones internas inspeccionadas por la técnica de ultrasonido por arreglo de fases, que las indicaciones con altura de pico en la pantalla A Scan, que superan el 20% sobre el nivel de referencia, deben ser evaluadas para establecer si son defectos.

Para reflectores de tamaño de más de 40% de altura de pico en la pantalla A Scan de los defectos aceptables superficiales o subsuperficiales serán evaluados utilizando la tabla 3.

La documentación escrita se produce para cada defecto inaceptable, defectos aceptables que sean superiores al 50% del nivel de referencia para las técnicas basadas en la amplitud, o superiores al 75% de la longitud aceptable para las técnicas que no utilizan amplitud.

Para evaluar los defectos superficiales y subsuperficiales según su longitud de acuerdo al espesor de la plancha se debe utilizar la tabla 3.

Tabla 3. Criterios de aceptación de fallas para indicaciones de ultrasonido (SI).

Puede ser usada para todos los Materiales (SI). Todas las dimensiones en mm.								
Espesor de soldadura (t) ^a	LONGITUD DE FALLA ACEPTABLE (l)							
	Para fallas superficiales ^b con altura (h)			Para fallas sub superficiales con altura (h)				
	2.0	2.5	3.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
6 a < 10	8	4	3	5	3	No permitido	No permitido	No permitido
10 a < 13	8	8	4	14	5	4	No permitido	No permitido
13 a < 19	8	8	4	38	8	5	4	3
19 a < 25	8	8	4	75	13	8	6	5

25 a < 32	9	8	4	100	20	9	8	6
32 a < 40	9	8	4	125	30	10	8	8
40 a < 44	9	8	4	150	38	10	9	8

a t= espesor de la soldadura, excluyendo cualquier refuerzo permitido. Para una soldadura a tope que une miembros que tienen diferentes espesores en la soldadura, t es el menor de los dos.

b Cualquier falla superficial, para ser considerada aceptable, debe satisfacer la limitación de tamaño de esta tabla y adicionalmente satisfacer las limitaciones de caracterización MT/PT.

Fuente: Welded Tanks for Oil Storage, American Petroleum Institute, Addendum 2018, pág 460

3.2. Construcción de probetas

Se describe el proceso de construcción de las probetas utilizadas para la detección e identificación defectológica, la misma que consta de una probeta tipo tanque de almacenamiento de petróleo a escala 1:25, tres probetas tipo junta a tope y tres probetas tipo junta en T.

3.2.1. Construcción de probeta tipo tanque

En esta sección se describe el proceso de fabricación del tanque probeta.

a. Proceso de selección de tapa

Con una plancha de acero A36, se determinaron cuatro parámetros: el diámetro exterior, el radio de bombeo, el radio de borde y fondo, los cuales se encuentran estandarizados en el código ASME, sección UG-32, y, en las tablas KLOPPERFORM establecidas en el código SPVC (swedish pressure vessel code), con un diámetro de 1000 mm como se indica en la tabla KOPPERFORM del anexo 7 [63]. Usando una abombadora mecánica de alta presión, se colocaron los parámetros calculados, dando como resultado una tapa del tipo toriesférico en cédula 150.

b. Proceso de barolado del cuerpo

Se selecciona planchas de 300 x 3000 mm, se ubica en la máquina baroladora entre los rodillos, el rolado de la plancha se verifica con un molde fabricado a la medida, rueda entre los rodillos hasta obtener la forma cilíndrica deseada, con un diámetro 1000 mm, se realizan puntos de soldadura en los extremos a unir, y se repite el proceso hasta

conseguir los dos anillos que conforman el cuerpo del tanque, como se ve en la figura 41.



Figura 41. Planchas baroladas

Fuente: Christian Pérez.

c. Proceso de fabricación del piso

Para el piso del tanque de almacenamiento es necesario una plancha de 1010 x 1010 mm; se realiza el trazado de una circunferencia de diámetro 1010 mm, como se observa en los planos que se encuentran en el anexo 1, y se procede a realizar el corte de la sección circular utilizando el método de oxicorte, el mismo que se puede observar en la figura 42.



Figura 42. Piso del tanque de almacenamiento.

Fuente: Christian Pérez.

3.2.2. Proceso de fabricación de las probetas tipo junta en T y a tope

Se describe el proceso que se realizó para la construcción de las probetas tipo junta, el mismo que se ve a continuación:

- De la plancha de acero ASTM A-36, se cortan formas rectangulares de 10x15 (mm), utilizando una moladora y disco de corte de 4pulg.

- Se debe igualar la zona donde se va a realizar el biselado para que este quede uniforme y así haya una correcta fusión del cordón de soldadura, utilizando el proceso SMAW.
- Las planchas rectangulares se las suelda en formas de juntas a tope y tipo T, siguiendo el mismo proceso hecho en la probeta tipo tanque, induciendo las discontinuidades.

3.2.3. Soldadura

Para cumplir con las normativas de construcción, bajo un procedimiento de soldadura correcto para este tipo de tanques de almacenamiento, se elaboró el procedimiento de soldadura (WPS) y la calificación del soldador (WPQ), por parte de un certified welding inspector (CWI), el cual entregó la documentación que se puede observar en los anexos 5 y 6. Los mismos que se debe seguir para un correcto proceso de construcción del tanque de almacenamiento, cumpliendo con los parámetros y estándares necesarios para la fabricación del mismos.

a. Procedimiento de soldadura

En este procedimiento, se detallan los parámetros de soldadura, utilizando el proceso SMAW, los mismos que se observan en la tabla 4. Estos parámetros son los que debe cumplir el soldador, durante el proceso de unión de las piezas para la construcción del tanque probeta y de las probetas tipo junta.

Tabla 4. Parámetros de soldadura SMAW.

No. De pase	Proceso	Material de aporte		Corriente		Vel. Alim. Electrodo (mm/min)	Voltaje (voltios)	Vel. de Avance (Pulg/min)
		Clase	Diámetro (mm)	Amperaje (amp)	Tipo y polaridad			
Raíz	SMAW	E6010	2.38	60-120	DC +	N/A	10 - 14 V	8-12
Pase caliente	SMAW	E6010	2.38	60-120	DC +	N/A	11 - 14 V	9-13
Relleno	SMAW	E7018	2.38	100-120	DC +	N/A	19 - 25 V	11-15
Acabado	SMAW	E7018	2.38	100-120	DC +	N/A	20 - 25 V	11-15

Fuente: Especificación del Procedimiento de Soldadura- WPS, Giovanni Aguais, 2019 [64].

- **Pase de raíz:** es el que se realiza para unir las dos piezas, dándole un soporte inicial al cordón de soldadura [65].
- **Pase de caliente:** este pase sirve para que el pase de raíz penetre un poco más el bisel de la junta [65].
- **Pase de relleno:** es el que permite que el pase de presentación quede uniforme, este debe quedar por debajo de la ranura 2 mm, [65].

b. Proceso de ensamblaje de las piezas por soldadura SMAW

Para la construcción del tanque de almacenamiento y las probetas tipo junta en T y a tope, se debe realizar el biselado en V, utilizando una moladora con disco de desbaste, posteriormente se realiza los pases utilizando el proceso de soldadura SMAW: el primero, de raíz utilizando un electrodo E6010, para el segundo pase se, el de relleno utilizando un electrodo E7018, para el tercer pase, el de relleno se utiliza un electrodo E7018 y el pase final de acabado, se realiza con un electrodo E7018. Pero al ser necesario la generación de defectos en los cordones de soldadura se debe realizar una serie de modificaciones en el proceso de soldadura las cuales se describen en las tablas 5 y 6.

3.3.Elaboración de soldadura con defectología

3.3.1. Defectos en las probetas tipo junta

Para la construcción de las probetas se tienen fuentes bibliográficas que ayudan con las causas por las cuales se puedan generar defectos en la soldadura, tales como el documento Manual de Sistemas y Materiales de Soldadura, además, con la ayuda de criterios de ingeniería conocemos el comportamiento metalúrgico de los materiales y sus posibles reacciones.

Se realizaron un tanque a escala y 6 tipos de placas (tres con soldadura a tope y tres con soldadura tipo filete), las cuales fueron sometidas a diversas fallas en su fabricación, con el fin de poder realizar los análisis comparativos de las mismas.

Mediante técnicas de inspección visual, líquidos penetrantes y ultrasonido con arreglo de fases, aplicado a las probetas elaboradas, se pudo detectar los siguientes defectos y sus causas; como se muestran en la tabla 5 de las probetas tipo junta y en la tabla 6 de la probeta tipo tanque:

Tabla 5. Fallas inducidas en la soldadura de las probetas tipo junta y sus causas.

PLACA	CONFIGURACIÓN	DEFECTOS INDUCIDOS	TÉCNICA UTILIZADA	CAUSAS
P1F	Filete "T"	Sin defectos inducidos	VT + PT	-
P1T	Filete "T"	Sin defectos inducidos	VT + PT	-
P2F	Filete "T"	Inclusión + Socavadura	VT + PT	Manejo defectuoso del electrodo, selección inadecuada del tipo de electrodo, corriente muy elevada.
P2T	Filete "T"	Inclusión	VT + PT	Humedad excesiva en el electrodo o en los bordes de la plancha base, limpieza prematura de la escoria
P3F	Filete "T"	Fisura	VT + PT	Elevado contenido de hidrogeno en la zona fundida, elevada velocidad de enfriamiento, tensión producida sobre el cordón por el enfriamiento
P3T	Filete "T"	Inclusión	VT + PT	Humedad excesiva en el electrodo o en los bordes de la plancha base, limpieza prematura de la escoria
P4	Tope	Fisura	UT + VT	Elevado contenido de hidrogeno en la zona fundida, elevada velocidad de enfriamiento, tensión producida sobre el cordón por el enfriamiento

P5	Tope	Inclusión	UT + VT	Humedad excesiva en el electrodo o en los bordes de la plancha base, limpieza prematura de la escoria
P6	Tope	Quemón	UT + VT	Exceso de amperaje, un manejo inadecuado, bajas en la velocidad del electrodo.

Elaborado por: Christian Rodrigo Pérez Paredes.

3.3.2. Defectos en la probeta tipo tanque

Tabla 6. Fallas inducidas en la soldadura de las juntas del tanque a escala y sus causas.

CONFIGURACIÓN	DEFECTOS INDUCIDOS	TÉCNICA UTILIZADA	CAUSAS
Filete "T"	Falta de fusión	VT + PT	Técnica deficiente del soldador
Filete "T"	Porosidad agrupada	VT + PT	provocadas por gases, agentes oxidantes o exceso de humedad en el revestimiento del electrodo o en el metal base
Filete "T"	Falta de penetración	VT + PT	Manejo defectuoso del electrodo, selección inadecuada del tipo de electrodo, corriente muy elevada.
Filete "T"	Fisura	VT + PT	Humedad excesiva en el electrodo o en los bordes de la plancha base, limpieza prematura de la escoria
Filete "T"	Falta de penetración en raíz	VT + PT	Elevado contenido de hidrogeno en

Filete "T"	Falta de fusión en el bisel	VT + PT	la zona fundida, elevada velocidad de enfriamiento, tensión producida sobre el cordón por el enfriamiento. Técnica deficiente del soldador, inadecuado diseño de la junta, contaminación excesiva.
Tope	Socavadura en raíz	UT + VT	Cuando la velocidad de aporte es muy rápida, cuando el amperaje del electrodo es muy alto, cuando diámetro del electrodo es muy grande.
Tope	Discontinuidad en raíz	UT + VT	Falta de material de aporte.
Filete "T"	Falta de fusión en raíz	VT + PT	Falta de abertura en la raíz, amperaje muy bajo, incorrecta alineación de los elementos al soldar, diferencia de espesores de las placas.
Tope	Socavadura externa	UT + VT	Mucha velocidad de aporte del material.
Tope	Falta de fusión por High low	UT + VT	Se produce por la mala alineación de las piezas a unir.
Filete "T"	Falta de soldadura	VT	Falta de material de aporte.

Elaborado por: Christian Rodrigo Pérez Paredes.

3.4. Identificación y evaluación de las discontinuidades

Para la identificación de cada discontinuidad se realizó tablas describiendo el tipo de defecto y su condición, siendo evaluadas bajo el criterio de aceptación o rechazo de la norma API 650.

3.4.1. Discontinuidades en la probeta tipo tanque

En la tabla 7, se detalla el tipo de discontinuidad, dimensionamiento y ubicación, encontrada en cada junta a tope de la probeta tipo tanque, mediante la técnica de ultrasonido con arreglo de fases.

En la tabla 7, se observa los diferentes defectos encontrados en cada una de las juntas, identificando que no cumplen con las condiciones y parámetros de aceptación establecidos en la norma API 650. Como ejemplo, la fisura encontrada en la junta 1 de la probeta tipo tanque, tiene una longitud de 11 mm, y no cumple con la longitud de falla aceptable (6 mm) para este tipo de defecto, (observar en la tabla 5) para un espesor de 6 mm y altura de 4 mm.

Tabla 7. Discontinuidades encontradas en la probeta tipo tanque, detectados por ultrasonido con arreglo de fases.

N°	Identificación de Soldadura	Dimensionamiento y Ubicación del Defecto			Condición	Observación
		Longitud (mm)	Profundidad (mm)	Localización (mm)		
1	J1	15,59	5,19	80,00	Rechazado	Falta de fusión
		24,00	5,11	159,00	Rechazado	Porosidad agrupada
		24,00	5,11	180,00	Rechazado	Falta de penetración
		50,00	5,11	201,00	Rechazado	Porosidad agrupada
		11,00	5,50	408,00	Rechazado	Fisura
		59,00	4,96	593,00	Rechazado	Falta de penetración en raíz

		24,00	5,50	846,00	Rechazado	Falta de fusión en raíz
		32,00	5,64	1010,00	Rechazado	Falta de fusión en raíz
		65,70	5,70	1058,00	Rechazado	Falta de penetración en raíz
		11,00	5,45	1153,00	Rechazado	Porosidad agrupada
		44,00	4,96	1252,00	Rechazado	Falta de fusión en bisel
		12,00	4,79	1508,00	Rechazado	Socavadura en raíz
2	J2	4,00	5,55	228,00	Rechazado	Discontinuidad en raíz
3	J3	7,00	5,47	81,00	Rechazado	Falta de fusión en raíz
		10,00	5,43	163,00	Rechazado	Falta de fusión en raíz
4	J4	234,00	0,17	171,00	Rechazado	Socavadura externa
5	J5	11,00	5,56	57,00	Rechazado	Fisura
6	J6	206,50	5,21	4,50	Rechazado	Falta de fusión por High low
		122,00	5,01	288,00	Rechazado	Falta de fusión por High low
		309,00	5,53	646,00	Rechazado	Falta de fusión por High low
		146,00	5,37	1164,00	Rechazado	Falta de fusión por High low

137,00	5,62	1387,00	Rechazado	Falta de fusión por High low
229,00	5,71	1771,00	Rechazado	Falta de fusión por High low
1000,00	5,00	2000,00	Rechazado	Falta de fusión por High low

Elaborado por: Christian Rodrigo Pérez Paredes.

En la tabla 8, se detalla el tipo de discontinuidad, dimensionamiento y ubicación, encontrada en la junta tipo T de la probeta tipo tanque, mediante la técnica de líquidos penetrantes.

Como resultado, en la tabla 8, se observa los diferentes defectos determinados en las juntas inspeccionadas, las cuales se encuentran fuera del rango de aceptación de la norma API 650, un claro ejemplo, un defecto múltiple (falta de fusión, inclusión y socavadura), encontrado en la junta 7 de la probeta tipo tanque, tiene una longitud de 45 mm, considerándose relevante debido a que su dimensión es superior a 1.5 mm (1/16 in) como se puede observar en la norma API 650.

Tabla 8. Discontinuidades encontradas en la probeta tipo tanque, detectados por líquidos penetrantes.

N°	Identificación de Soldadura	Dimensionamiento y Ubicación del Defecto		Condición	Observación
		Longitud (mm)	Localización (mm)		
		32,00	0,00	Rechazado	Falta de fusión + Socavadura
		45,00	57,00	Rechazado	Falta de fusión + Socavadura + inclusión
1	J7	22,00	174,00	Rechazado	Socavadura + inclusión
		11,00	219,00	Rechazado	Socavadura + inclusión
		4,00	268,00	Rechazado	Falta de soldadura
		20,00	280,00	Rechazado	Falta de soldadura

Elaborado por: Christian Rodrigo Pérez Paredes.

En la tabla 9, se detalla el tipo de discontinuidades, dimensionamiento y ubicación, encontradas en la probeta tipo tanque, mediante la técnica de inspección visual.

La tabla 9 muestra los diferentes defectos que contienen cada una de las juntas, determinando que la junta 7 sobrepasa los parámetros de aceptación de la norma API 650. Un defecto múltiple número 7 (falta de fusión y socavadura), encontrado en la junta 7 de la probeta tipo tanque, tiene una longitud de 32 mm, por lo que incumple con la condición de que, no debe haber grietas en la corona, otras grietas en la superficie o golpes de arco sobre o adyacentes a las juntas soldadas.

Tabla 9. Discontinuidades encontradas en la probeta tipo tanque, detectados por inspección visual.

N°	Identificación de Soldadura	Dimensionamiento y Ubicación del Defecto		Condición	Observación
		Longitud (mm)	Localización (mm)		
1	J 1	-	-	Aprobado	-
2	J 2	-	-	Aprobado	-
3	J 3	-	-	Aprobado	-
4	J 4	-	-	Aprobado	-
5	J 5	-	-	Aprobado	-
6	J 6	-	-	Aprobado	-
7	J 7	32,00	0,00	Rechazado	Falta de fusión + socavadura
8	J 7	45,00	570,00	Rechazado	Falta de fusión + socavadura + Inclusión
9	J 7	22,00	1740,00	Rechazado	Socavadura+ Inclusión
10	J 7	11,00	2190,00	Rechazado	Socavadura + Inclusión
11	J 7	4,00	2680,00		Falta de soldadura
12	J 7	20,00	2800,00	Rechazado	Falta de soldadura

Elaborado por: Christian Rodrigo Pérez Paredes.

3.4.2. Discontinuidades en la probeta tipo junta

En la tabla 10, se detalla el tipo de discontinuidades, dimensionamiento y ubicación, encontradas en las probetas de juntas tipo T, mediante la técnica de líquidos penetrantes.

En la tabla 10, se observa una serie de defectos en las juntas inspeccionadas P2F, P2T, P3F y P3T, los cuales sobrepasan los parámetros de aceptación de la norma API 650.

La fisura en la probeta 3 vista frontal (P3F), tiene una longitud de 167 mm, por lo que cumple con la condición de que todas las indicaciones que tengan cualquier dimensión superior a 1.5 mm (1/16 in), se consideran relevantes.

Tabla 10. Discontinuidades encontradas por líquidos penetrantes en las probetas tipo junta.

N°	Identificación de Soldadura	Dimensionamiento y Ubicación del Defecto		Condición	Observación
		Longitud (mm)	Localización (mm)		
1	P1F	-	-	Aprobado	N/A
2	P1T	-	-	Aprobado	N/A
3	P2F	8,81	12,24	Rechazado	Inclusión
		3,88	51,68	Rechazado	Socavadura
		6,62	13,66	Rechazado	Inclusión
		3,43	30,52	Rechazado	Inclusión
4	P2T	4,29	71,20	Rechazado	Inclusión
		10,38	109,08	Rechazado	Inclusión
		6,26	148,89	Rechazado	Inclusión
5	P3F	167,00	167,00	Rechazado	Fisura
6	P3T	-	-	Aprobado	N/A

Elaborado por: Christian Rodrigo Pérez Paredes.

En la tabla 11, se detalla el tipo de discontinuidades, dimensionamiento y ubicación, encontradas en las probetas de juntas a tope, mediante la técnica de ultrasonido con arreglo de fases.

Se observa en la tabla 11, una serie de defectos en cada junta de las probetas inspeccionadas, los cuales superan los parámetros de aceptación de la norma API 650. Como ejemplo encontramos la inclusión encontrada en la probeta 5 (P5), que tiene una longitud de 8 mm, e incumple con la falla aceptable de 3 mm (observar la tabla 5) para un espesor de 6 mm y altura de 3 mm.

Tabla 11. Discontinuidades encontradas por ultrasonido por arreglo de fases en las probetas tipo junta.

N°	Identificación de Soldadura	Dimensionamiento y Ubicación del Defecto			Condición	Observación
		Longitud (mm)	Profundidad (mm)	Localización (mm)		
1	P4	40,00	5,22	58,00	Rechazado	Fisura
		12,00	5,64	12,00	Rechazado	Inclusión
		16,00	5,57	40,00	Rechazado	Inclusión
2	P5	6,00	4,88	76,00	Rechazado	Inclusión
		8,00	2,44	104,00	Rechazado	Inclusión
		10,00	5,27	132,00	Rechazado	Inclusión
3	P6	6,00	0,25	76,00	Rechazado	Quemón

Elaborado por: Christian Rodrigo Pérez Paredes.

En la tabla 12, se detalla el tipo de discontinuidades, dimensionamiento y ubicación, encontradas en las probetas de juntas a tope y tipo T, mediante la técnica de ultrasonido con arreglo de fases.

En la tabla 12 se observa los defectos encontrados en cada junta, y se asevera que solo las juntas P1F y P1T cumplen con los parámetros de aceptación de la norma API 650, pero, las demás juntas incumplen dichos parámetros. Un ejemplo claro de este incumplimiento es la porosidad encontrada en la probeta 4 (P4), con una longitud de 3.03 mm, por lo que no cumple con la condición, de aceptación, ya que el diámetro no supera los 2.5 mm (3/32 in).

Tabla 12. Discontinuidades encontradas por inspección visual en las probetas tipo junta.

N°	Identificación de Soldadura	Dimensionamiento y Ubicación del Defecto		Condición	Observación
		Longitud (mm)	Localización (mm)		
1	P1F	-	-	Aprobado	N/A
2	P1T	-	-	Aprobado	N/A
3	P2F	7,64	11,83	Rechazado	Inclusión
		115,63	52,76	Rechazado	Concavidad interna
4	P2T	6,04	14,64	Rechazado	Inclusión
		5,52	30,85	Rechazado	Inclusión
		3,35	70,66	Rechazado	Inclusión
		11,18	111,08	Rechazado	Inclusión
		6,56	150,80	Rechazado	Inclusión
5	P3F	-	167,00	Aprobado	N/A
6	P3T	-	167,00	Aprobado	N/A
7	P4	3,03	8,11	Rechazado	Porosidad
8	P5	9,68	90,70	Rechazado	Escoria
	P5	2,40	133,00	Rechazado	Porosidad
9	P6	-	167,00	Aprobado	N/A

Elaborado por: Christian Rodrigo Pérez Paredes.

3.5. Validación de los procedimientos de inspección

La validación de los procedimientos desarrollados en este proyecto de titulación se la realiza mediante la obtención del porcentaje de error en la detección de defectología en las probetas, tomando como 100% de precisión, en la detección defectológica, el procedimiento de una empresa externa.

Para encontrar el porcentaje de error que existe en el procedimiento, se utiliza la ecuación (2).

$$\% \text{ de error} = \frac{|\text{valor medido} - \text{valor de referencia}|}{\text{valor de referencia}} \times 100 \quad (2)$$

3.5.1. Validación del procedimiento de ultrasonido

Para la validación del procedimiento de ultrasonido, se realizó una comparación de los resultados de la inspección (resultados obtenidos) con el procedimiento antes descrito y el procedimiento realizado por una entidad externa certificada (valores referenciales), que se encuentran en los anexos 12 y 13, determinando si es válido o no el procedimiento; véase en la tabla 13 y tabla 14.

Tabla 13. Resultados de validación del método de inspección por ultrasonido.

N°	Resultados obtenidos			Valores de referencia			%Error
	Discontinuidad	Longitud (mm)	Profundidad (mm)	Discontinuidad	Longitud (mm)	Profundidad (mm)	
J1	Falta de fusión (80 mm de O´)	15,59	5,19	Falta de fusión (80 mm de O´)	15,12	5,19	0,52
J1	Porosidad agrupada (159 mm de O´)	24,00	5,11	Porosidad agrupada (159 mm de O´)	22,50	5,11	6,25
J1	Falta de penetración (180 mm de O´)	24,00	5,11	Falta de penetración (180 mm de O´)	25,00	5,11	4,16
J1	Porosidad agrupada (201 mm de O´)	50,00	5,11	Porosidad agrupada (201 mm de O´)	48,37	5,11	3,26
J1	Fisura (408 mm de O´)	11,00	5,50	Fisura (408 mm de O´)	10,54	5,50	4,18
J1	Falta de penetración en raíz (593 mm de O´)	59,00	4,96	Falta de penetración en raíz (593 mm de O´)	57,90	4,96	1,86
J1	Falta de fusión en raíz (846 mm de O´)	24,00	5,50	Falta de fusión en raíz (846 mm de O´)	23,60	5,50	1,66
J1	Falta de fusión en raíz (1010 mm de O´)	32,00	5,64	Falta de fusión en raíz (1010 mm de O´)	31,00	5,64	3,12
J1	Falta de penetración en raíz (1058 mm de O´)	65,70	5,70	Falta de penetración en raíz (1058 mm de O´)	64,30	5,70	2,13
J1	Porosidad agrupada (1153 mm de O´)	11,00	5,45	Porosidad agrupada (1153 mm de O´)	10,45	5,45	5,00
J1	Falta de fusión en visel (1252 mm de O´)	44,00	4,96	Falta de fusión en visel (1252 mm de O´)	42,90	4,96	2,50
J1	Socavadura en raíz (1508 mm de O´)	12,00	4,79	Socavadura en raíz (1508 mm de O´)	11,24	4,79	6,33

J2	Discontinuidad en raíz (228 mm de O´)	4,00	5,55	Discontinuidad en raíz (228 mm de O´)	4,00	5,55	0
J3	Falta de fusión en raíz (81 mm de O´)	7,00	5,47	Falta de fusión en raíz (81 mm de O´)	6,77	5,47	3,28
J3	Falta de fusión en raíz (163 mm de O´)	10,00	5,43	Falta de fusión en raíz (163 mm de O´)	9,73	5,43	2,70
J4	Socavadura externa (171 mm de O´)	234,00	0,17	Socavadura externa (171 mm de O´)	225,35	0,17	3,69
J5	Fisura (57 mm de O´)	11,00	5,56	Fisura (57 mm de O´)	11,00	5,56	0
J6	Falta de fusión por High low (4,50 mm de O´)	206,50	5,21	Falta de fusión por High low (4,50 mm de O´)	205,00	5,21	0,72
J6	Falta de fusión por High low (288 mm de O´)	122,00	5,01	Falta de fusión por High low (288 mm de O´)	121,80	5,01	0,16
J6	Falta de fusión por High low (646 mm de O´)	309,00	5,53	Falta de fusión por High low (646 mm de O´)	308,65	5,53	0,11
J6	Falta de fusión por High low (1164 mm de O´)	146,00	5,37	Falta de fusión por High low (1164 mm de O´)	144,90	5,37	0,75
J6	Falta de fusión por High low (1387 mm de O´)	137,00	5,62	Falta de fusión por High low (1387 mm de O´)	136,67	5,62	0,24
J6	Falta de fusión por High low (1771 mm de O´)	229,00	5,71	Falta de fusión por High low (1771 mm de O´)	228,00	5,71	0,43
J6	Falta de fusión por High low (2000 mm de O´)	1000,00	5,00	Falta de fusión por High low (2000 mm de O´)	1000,00	5,00	0

Elaborado por: Christian Rodrigo Pérez Paredes.

Tabla 14. Resultados de validación del método de inspección por ultrasonido en probetas tipo junta.

N°	Valores Obtenidos			Valor de Referencia			%Error
	Discontinuidad	Longitud (mm)	Profundidad (mm)	Discontinuidad	Longitud (mm)	Profundidad (mm)	
P4	Fisura (58 mm de O´)	40,00	5,22	Fisura (58 mm de O´)	38,63	5,22	3,50
P5	Inclusión (12 mm de O´)	12,00	5,64	Inclusión (12 mm de O´)	11,85	5,64	1,25
P5	Inclusión (40 mm de O´)	16,00	5,57	Inclusión (40 mm de O´)	15,50	5,57	3,12
P5	Inclusión (76 mm de O´)	6,00	4,88	Inclusión (76 mm de O´)	5,67	4,88	5,50
P5	Inclusión (104 mm de O´)	8,00	2,44	Inclusión (104 mm de O´)	7,77	2,44	2,87

P5	Inclusión (132 mm de O´)	10,00	5,27	Inclusión (132 mm de O´)	10,00	5,27	0
P6	Quemón (76 mm de O´)	6,00	0,25	Quemón (76 mm de O´)	5,75	0,25	4,16

Elaborado por: Christian Rodrigo Pérez Paredes.

Es válido el procedimiento debido a que se obtuvo un porcentaje de error máximo de 6.33% en la comparación de resultados, siendo menor al 10% establecido como valor máximo de error porcentual; esto se debe a la experiencia del inspector en lectura, interpretación de los valores entregados por el equipo de ultrasonido y la manipulación del mismo.

3.5.2. Validación del procedimiento de líquidos penetrantes

Para la validación del procedimiento de líquidos penetrantes, se realizó la comparación de los resultados de la inspección (resultados obtenidos) con el procedimiento antes descrito y el procedimiento realizado por una entidad externa certificada (valores referenciales), los mismos que se pueden observar en los anexos 10 y 11, determinando si es válido o no el procedimiento; observar las tablas 15 y 16.

Tabla 15. Resultados de validación del método de inspección por líquidos penetrantes en probetas tipo tanque.

Nº	Valor Obtenido		Valor de Referencia		%Error
	Discontinuidad	Longitud (mm)	Discontinuidad	Longitud (mm)	
J7	Falta de fusión + socavadura (0 mm de O´)	32,00	Falta de fusión + socavadura (0 mm de O´)	31,45	1,71
	Falta de fusión + socavadura + Inclusión (57 mm de O´)	45,00	Falta de fusión + socavadura + Inclusión (57 mm de O´)	44,40	1,33
	Socavadura+ Inclusión (174 mm de O´)	22,00	Socavadura+ Inclusión (174 mm de O´)	20,69	5,95
	Socavadura + Inclusión (219 mm de O´)	11,00	Socavadura + Inclusión (219 mm de O´)	10,50	4,54
	Falta de soldadura (268 mm de O´)	4,00	Falta de soldadura (268 mm de O´)	3,97	0,75
	Falta de soldadura (280 mm de O´)	20,00	Falta de soldadura (280 mm de O´)	20,00	0

Elaborado por: Christian Rodrigo Pérez Paredes.

Tabla 16. Resultados de validación del método de inspección por líquidos penetrantes en probetas tipo junta.

N°	Resultados Obtenidos		Valores de Referencia		%Error
	Discontinuidad	Longitud (mm)	Discontinuidad	Longitud (mm)	
P1F	N/A	167,00	N/A	167,00	0
P1T	N/A	167,00	N/A	167,00	0
P2F	Inclusión (12,24 mm de O´)	8,81	Inclusión (12,24 mm de O´)	8,70	1,24
	Socavadura (51,68 mm de O´)	3,88	Socavadura (51,68 mm de O´)	3,63	6,44
	Inclusión (13,66 mm de O´)	6,62	Inclusión (13,66 mm de O´)	6,23	5,89
P2T	Inclusión (30,56 mm de O´)	3,43	Inclusión (30,56 mm de O´)	3,28	4,37
	Inclusión (71,20 mm de O´)	4,29	Inclusión (71,20 mm de O´)	4,00	6,75
	Inclusión (109,08 mm de O´)	10,38	Inclusión (109,08 mm de O´)	9,92	4,43
	Quemón (148,89 mm de O´)	6,26	Quemón (148,89 mm de O´)	6,00	4,15
P3F	Fisura (167 mm de O´)	167,00	Fisura (167 mm de O´)	167,00	0
P3T	N/A	167,00	N/A	167,00	0

Elaborado por: Christian Rodrigo Pérez Paredes.

Es válido el procedimiento debido a que se obtuvo un porcentaje de error máximo de 6.75% en la comparación de resultados de inspección con líquidos penetrantes, siendo menor al 10% establecido como valor máximo de error porcentual; esto se debe a la experiencia del inspector en interpretación defectológica y metrología.

3.5.3. Validación del procedimiento de inspección visual

Para la validación del procedimiento de inspección visual, se realizó la comparación de los resultados de la inspección (resultados obtenidos) con el procedimiento antes descrito y el procedimiento realizado por una entidad externa certificada (valores referenciales), los mismos que se pueden observar en los anexos 8 y 9, determinando si es válido o no el procedimiento; observar la tabla 17 y tabla 18.

Tabla 17 .Resultados de validación del método de inspección visual en probetas tipo junta.

N°	Resultados Obtenidos		Valores de Referencia		%Error
	Discontinuidad	Longitud (mm)	Discontinuidad	Longitud (mm)	
P1F	N/A	167,00	N/A	167,00	0
P1T	N/A	167,00	N/A	167,00	0
P2F	Inclusión (11,83 mm de O´)	7,64	Inclusión (11,83 mm de O´)	7,60	0,52
	Concavidad interna (52,76 mm de O´)	115,63	Concavidad interna (52,76 mm de O´)	115,32	0,26
P2T	Inclusión (14,64 mm de O´)	6,04	Inclusión (14,64 mm de O´)	6,00	0,66
	Inclusión (30,85 mm de O´)	5,52	Inclusión (30,85 mm de O´)	5,25	4,89
	Inclusión (70,66 mm de O´)	3,35	Inclusión (70,66 mm de O´)	3,30	1,49
	Inclusión (111,08 mm de O´)	11,18	Inclusión (111,08 mm de O´)	11,02	1,43
	Inclusión (150,08 mm de O´)	6,56	Inclusión (150,08 mm de O´)	6,56	0
P3F	N/A	167,00	N/A	167,00	0
P3T	N/A	167,00	N/A	167,00	0
P4	Porosidad (8,11 mm de O´)	3,03	Porosidad (8,11 mm de O´)	2,95	2,64
P5	Escoria (90,70 mm de O´)	9,68	Escoria (90,70 mm de O´)	9,68	0
P5	Porosidad (133,00 mm de O´)	2,40	Porosidad (133,00 mm de O´)	2,32	3,33
P6	N/A	167	N/A	167	0

Elaborado por: Christian Rodrigo Pérez Paredes.

Tabla 18. Resultados de validación del método de inspección visual en la probeta tipo tanque.

N°	Resultados Obtenidos		Valores de Referencia		%Error
	Discontinuidad	Longitud (mm)	Discontinuidad	Longitud (mm)	
J 1	N/A	3600,00	N/A	3600,00	0
J 2	N/A	300,00	N/A	300,00	0
J 3	N/A	300,00	N/A	300,00	0
J 4	N/A	300,00	N/A	300,00	0
J 5	N/A	300,00	N/A	300,00	0
J 6	N/A	3600,00	N/A	3600,00	0

J 7	Falta de fusión + socavadura (0 mm de O´)	32,00	Falta de fusión + socavadura (0 mm de O´)	31,20	2,50
	Falta de fusión + socavadura + Inclusión (570,00 mm de O´)	45,00	Falta de fusión + socavadura + Inclusión (570,00 mm de O´)	44,25	1,66
	Socavadura+ Inclusión (1740,00 mm de O´)	22,00	Socavadura+ Inclusión (1740,00 mm de O´)	21,78	1,00
	Socavadura + Inclusión (2190,00 mm de O´)	11,00	Socavadura + Inclusión (2190,00 mm de O´)	10,53	4,27
	Falta de soldadura (2680,00 mm de O´)	4,00	Falta de soldadura (2680,00 mm de O´)	3,83	4,25
	Falta de soldadura (2800,00 mm de O´)	20,00	Falta de soldadura (2800,00 mm de O´)	19,20	4,00

Elaborado por: Christian Rodrigo Pérez Paredes.

Es válido el procedimiento debido a que se obtuvo un porcentaje de error máximo de 4.89% en la comparación de resultados de inspección visual, siendo menor al 10% establecido como valor máximo de error porcentual; a la experiencia del inspector en interpretación defectológica y metrología.

3.6.Manual de procedimiento para inspección de soldadura

3.6.1. Manual de procedimiento para inspección visual

 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR	Procedimiento para Inspección Visual	Código: UPS-VT-01
		Nº Pagina: 05

PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN VISUAL

Elaboración: Christian Rodrigo Pérez Paredes	Fecha: 2019-11-29	Firma:
Revisión: Ing. Marcos Antonio Hechaverría Sánchez	Fecha: 2019-11-29	Firma:
Aprobación: Ing. Marcos Antonio Hechaverría Sánchez	Fecha: 2019-11-29	Firma:

1. Objetivo

Desarrollar un procedimiento para detección y evaluación de discontinuidades en uniones de soldadura tipo T y a tope, utilizando la técnica de ensayo no destructivo de inspección visual.

2. Alcance

Este procedimiento tiene como alcance la inspección en uniones de soldadura tipo T y a tope, aplicando la técnica de inspección visual, utilizada en tanques atmosféricos, con la finalidad de detectar discontinuidades en la soldadura abiertas a la superficie.

3. Personal

La persona que puede realizar la inspección y emitir un reporte, debe tener la certificación de inspector nivel II en inspección visual.

4. Normas y códigos de referencia

API 650, Tanques Soldados para Almacenamiento de Petróleo, Adendum 3, 2018.

5. Geometría de la junta

Soldadura en tanque de almacenamiento atmosférico, junta a tipo T.

Soldadura en tanque de almacenamiento atmosférico, junta a tope, bisel en V.

6. Equipo

- Escobilla de acero
- Linterna
- Calibrador pie de rey
- Solvente
- Marcador para metal
- Cinta métrica

7. Técnica a ser usada

La técnica a ser utilizada es la inspección visual directa.

8. Condición superficial

La zona a ser inspeccionada debe ser limpiada teniendo en cuenta que no se debe dañar ningún tratamiento colocado en la superficie. Cualquier tipo de contaminante que impida la inspección debe ser removido de la superficie.

9. Desarrollo de actividades

9.1. Inspección preliminar

Es necesario que el técnico certificado nivel II AST-SNT-TC1A, cumpla con el examen jaeger tipo 2 a una distancia no menor de 300 mm y examen de contraste como se indica en la norma API 650.

9.2. Preparación de la superficie

- Se debe utilizar una toalla absorbente impregnada con un poco de solvente, se debe limpiar el área que se va a inspeccionar, repetir el proceso si es necesario hasta que la toalla quede limpia después de ser pasada sobre el área a ser inspeccionada.

- La zona a ser inspeccionada debe ser limpiada utilizando una herramienta manual, se recomienda utilizar una moladora con disco de grata de 7 pul., eliminando cualquier rastro de oxido, escoria o salpicadura, sobre y en un rango de 2 pul. a cada lado del cordón de soldadura.

9.3. Método de examen visual

El método utilizado es el examen visual directo cumpliendo con las siguientes condiciones:

- Distancia máxima de la superficie a ser examinada hasta el ojo del observador es de 600 mm.
- El ángulo de observación con relación a la superficie a ser examinada no debe ser inferior a 30°.

9.4. Iluminación

- Para la iluminación se debe tener una intensidad de 100 fc (1076 lux) sobre la superficie.

- En el caso de ser necesario la utilización de luz artificial las condiciones mínimas deben ser de acuerdo a la tabla de fuentes luminosas del anexo 20.

10. Inspección

Para la inspección visual de la junta se debe observar el cordón de soldadura minuciosamente, tratando de detectar cualquier discontinuidad superficial en el cordón de soldadura, si se encuentra una discontinuidad se debe tomar los dimensionamientos de esta. Para determinar el tipo exacto de defecto encontrado se debe seguir la capacitación de inspector visual nivel I.

11. Registros

Los ítems a ser inspeccionados deben ser documentados en una libreta de campo o un registro de laboratorio, la cual tendrá como variables: calificaciones de soldador, material a inspeccionar, cantidades de luz, aceptación o rechazo del ítem, características de la discontinuidad y observaciones de ser el caso.

12. Criterios de aceptación y rechazo

Revisar la norma API650, para determina los parámetros de aceptación o rechazo de uniones soldadas en tanques de almacenamiento de petróleo.

13. Reporte

El reporte de los resultados deberá contemplar todos los ítems inspeccionados, sus hallazgos, las herramientas de ayuda para la inspección (galgas, medidores de luz, iluminación), conjuntamente con su sistema de trazabilidad, códigos de referencia y códigos de aceptación y rechazo. El formato del reporte se lo puede encontrar en el anexo 2.

13.1. Datos para llenar en el reporte

1. Probeta: se coloca el tipo de probeta que se va a inspeccionar.
2. Longitud total inspeccionada: se debe colocar la longitud total de las juntas a inspeccionar.
3. N°: se debe colocar la numeración para cada inspección.
4. Identificación soldadura: se debe colocar el identificativo asignado para cada junta, por ejemplo, para la junta 1: J1.

5. Soldador: este parámetro permanece constante ya que es la estampa del soldador.
6. Diámetro: es el diámetro del tanque de almacenamiento a escala.
7. Espesor: es el espesor de la plancha utilizada para la fabricación del tanque de almacenamiento.
8. Ubicación del defecto, longitud: es la longitud del defecto.
9. Ubicación del defecto, localización: es la distancia desde nuestro punto de inicio de inspección hasta que empieza el defecto.
10. Calificación: después de ser evaluados bajo los criterios de la norma, se determina si es aceptable o no.
11. Observación: se debe colocar el tipo de defecto que se evaluó.

Nota: los parámetros establecidos, no se modifican, ya que estos son datos que no van a variar.

3.6.2. Manual de procedimientos para inspección de soldaduras por líquidos penetrantes

	<p>Procedimiento para Inspección de Soldadura por Líquidos Penetrantes</p>	<p>Código: UPS-PT-01</p>
		<p>Nº Pagina: 05</p>

PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES

<p>Elaboración: Christian Rodrigo Pérez Paredes</p>	<p>Fecha: 2019-11-29</p>	<p>Firma:</p>
<p>Revisión: Ing. Marcos Antonio Hechavarría Sánchez</p>	<p>Fecha: 2019-11-29</p>	<p>Firma:</p>
<p>Aprobación: Ing. Marcos Antonio Hechavarría Sánchez</p>	<p>Fecha: 2019-11-29</p>	<p>Firma:</p>

1. Objetivo

Desarrollar un procedimiento para detección y evaluación de discontinuidades en uniones de soldadura tipo T, utilizando la técnica de ensayo no destructivo de líquidos penetrantes.

2. Alcance

Este procedimiento tiene como alcance la inspección en uniones de soldadura tipo T, con la aplicación de líquidos penetrantes visibles, aplicada a tanques atmosféricos.

3. Personal

La persona que puede realizar la inspección y emitir un reporte, debe tener la certificación de inspector nivel II en líquidos penetrantes.

4. Normas y códigos de referencia

API 650, Tanques Soldados para Almacenamiento de Petróleo, Adendum 2018.

5. Geometría de la junta

Soldadura en tanque de almacenamiento atmosférico, junta a tipo T, bisel en V.

6. Equipo

- Calibrador pie de rey
- Cinta métrica
- Toallas absorbentes
- Para el procedimiento se debe utilizar el kit de líquidos penetrantes visibles, removibles con solvente, lo cual se contempla en el método C – tipo II (ASTM E 165), que se puede observar en la tabla 19.

Tabla 19 Kit de líquidos penetrantes

Elemento	Designación del fabricante	Código de jaula	Prueba de referencia
Penetrante	SKL-SP2 AEROSOL	0JNN1	AFWAL/MLS 86-87
Revelador	SKD-S2 AEROSOL	0JNN1	AFWAL/MLS 86-87
Removedor	SKC-S AEROSOL	0JNN1	AFWAL/MLS 86-87

Fuente: Manual de Procedimientos de Inspección por Líquidos Penetrantes, Juan Gangotena, 2019.

Nota: antes de cada procedimiento de inspección por líquidos penetrantes se debe verificar la fecha de caducidad del kit, para evitar cualquier falla en la detección defectológica. Adicionalmente se puede realizar la verificación de la validez de los líquidos, mediante pruebas en bloque patrón

7. Técnica a ser usada

La técnica a ser utilizada es la de penetrantes visibles del tipo II, removibles con solventes y aplicación de revelador no acuoso.

8. Condición superficial

8.1. Condiciones ambientales

La temperatura en la que se debe encontrar los materiales penetrantes, así como la superficie de la parte a ser inspeccionada debe estar entre 4°C y 52°C [60].

Para la verificación de la temperatura de la superficie, se utiliza la temperatura que puede soportar la mano humana mediante un tiempo de contacto con la superficie no mayor a 10 s, aplicando temperatura de confort como se muestra en la figura 36.

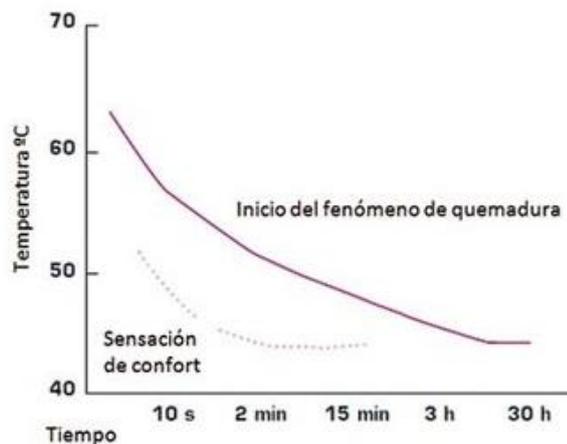


Figura 36. Temperatura límite de confort que soporta la mano humana

Fuente: Procedimiento de Inspección por Líquidos Penetrantes, Juan Gangotena, 2018.

8.2. Limpieza

El examen con tintes penetrantes depende de las condiciones de la superficie y de los contaminantes que existan en la superficie.

– **Desengrasado**

Se debe utilizar una toalla absorbente impregnada con un poco de solvente que viene en el kit de líquidos penetrantes, con esta se debe limpiar el cordón de soldadura que se va a inspeccionar, repetir el proceso si es necesario hasta que la toalla quede limpia después de ser pasada sobre el área a ser inspeccionada.

– **Desoxidación**

La zona a ser inspeccionada debe ser limpiada utilizando una herramienta manual, se recomienda utilizar una moladora con disco de grata de 7 in, eliminando cualquier rastro de óxido, escoria o salpicadura, sobre y en un rango de 2 in a cada lado del cordón de soldadura.

9. Desarrollo de actividades

9.1. Secado de las superficies de las piezas

Deben secarse las piezas mojadas antes de aplicar el penetrante con aire impulsado caliente, con aire natural o bien por medio de paños limpios que no dejen pelusa.

9.2. Aplicación del penetrante

Se debe aplicar el penetrante en la superficie de la pieza a inspeccionar, lo cual se lo realiza rociando el líquido sobre la zona a una distancia no mayor a 20cm, evitando el exceso de penetrante, se debe dejar el tiempo de 5min.

9.3. Eliminación del exceso de penetrante

El exceso de penetrante se debe eliminar de la superficie, con ayuda de toallas absorbentes impregnadas con solvente, se debe realizar la limpieza en un solo sentido, hasta quedar sin líquido penetrante visible.

9.4. Secado

El proceso de secado después de la remoción del penetrante, es de 5 minutos para cumplir con el secado del solvente.

9.5. Aplicación del revelador no acuoso

La aplicación del revelador es uniforme, una capa gruesa manteniéndose a una distancia aproximada de 30 cm (12 pulgadas) de la superficie.

9.6. Tiempos del revelado

El tiempo del revelado debe ser de 10 min, y se establece que como máximo el tiempo permitido sea de 1 horas para reveladores no acuosos.

9.7. Inspección de la superficie

Se debe observar la superficie, para detectar cualquier indicación en la soldadura, estas se tiñen de color rojo, por acción del líquido penetrante con el contraste del fondo blanco del revelador, haciendo visible cualquier discontinuidad; toda indicación relevante debe ser medida y documentada en el registro. Para determinar el tipo exacto de defecto encontrado se debe seguir la capacitación de inspector de líquidos penetrantes nivel I.

10. Criterios de aceptación y rechazo

Revisar la norma API650, para determina los parámetros de aceptación o rechazo de uniones soldadas en tanques para almacenamiento de petróleo.

11. Limpieza final

Cuando se utiliza reveladores no acuosos, en la limpieza final estos deben ser removidos, este proceso puede ser con un roció de agua, desengrasantes o solvente.

12. Reporte

El reporte de los resultados deberá contemplar todos los ítems inspeccionados, sus hallazgos, las herramientas de ayuda para la inspección (medidores de luz, iluminación), conjuntamente con su sistema de trazabilidad, códigos de referencia y códigos de aceptación y rechazo. El formato del reporte para inspección visual se lo puede visualizar en el anexo 3.

12.1. Datos para llenar en el reporte

1. Probeta: se coloca el tipo de probeta que se va a inspeccionar.
2. Longitud total inspeccionada: se debe colocar la longitud total de las juntas a inspeccionar.
3. Set de líquidos penetrantes: se coloca la marca y el tipo de kit que se va a utilizar.
4. Tiempo de limpieza: se coloca el tiempo de limpieza que transcurrió durante la inspección.

5. Tiempo de penetración: se coloca el tiempo que se dejó actuar el penetrante durante la inspección.
6. Tiempo de revelado: se coloca el tiempo que se dejó actuar el revelador durante la inspección.
7. N°: se debe colocar la numeración para cada inspección.
8. Identificación soldadura: se debe colocar el identificativo asignado para cada junta, por ejemplo, para la junta 1: J1.
9. Soldador: este parámetro permanece constante ya que es la estampa del soldador.
10. Diámetro: es el diámetro del tanque de almacenamiento a escala.
11. Ubicación del defecto, longitud: es la longitud del defecto.
12. Ubicación del defecto, localización: es la distancia desde nuestro punto de inicio de inspección hasta que empieza el defecto.
13. Calificación: después de ser evaluados bajo los criterios de la Norma, se determina si es aceptable o no.
14. Observación: se debe colocar el tipo de defecto que se evaluó.

Nota: los parámetros establecidos, no se modifican, ya que estos son datos que no van a variar.

3.6.3. Manual de procedimiento para inspección de soldadura por ultrasonido por arreglo de fases

	<p>Procedimiento para Inspección de Soldadura por Ultrasonido por Arreglo de Fases</p>	<p>Código: UPS-UT-01</p>
		<p>Nº Pagina: 06</p>

PROCEDIMIENTO DE ULTRASONIDO MEDIANTE LA TÉCNICA DE ARREGLO DE FASES

<p>Elaboración: Christian Rodrigo Pérez Paredes</p>	<p>Fecha: 2019-11-29</p>	<p>Firma:</p>
<p>Revisión: Ing. Marcos Antonio Hechaverría Sánchez</p>	<p>Fecha: 2019-11-29</p>	<p>Firma:</p>
<p>Aprobación: Ing. Marcos Antonio Hechaverría Sánchez</p>	<p>Fecha: 2019-11-29</p>	<p>Firma:</p>

1. Objetivo

Desarrollar un procedimiento para detección y evaluación de discontinuidades en uniones de soldadura a tope, utilizando la técnica de ensayo no destructivo de ultrasonido con arreglo de fases.

2. Alcance

Este procedimiento tiene como alcance la inspección en uniones de soldadura a tope, el espesor de estas más delgado de los miembros de la junta debe ser de 6mm (1/4in), aplicando la técnica de ultrasonido con arreglo de fases.

3. Personal

– Nivel II en ultrasonido

Encargado de realizar la inspección bajo este procedimiento

Supervisar nivel I en ultrasonido

– Nivel I

Realizar la inspección sujetándose a este procedimiento, bajo la supervisión del nivel II en ultrasonido.

4. Normas y códigos de referencia

API 650, Tanques soldados para Almacenamiento de Petróleo, Adendum 2018.

5. Material y características de referencia

– Material de la estructura. – ASTM A36

– Espesor de la plancha. - 1/4"

6. Geometría de la junta

Soldadura en tanque de almacenamiento atmosférico, junta a tope, bisel en V.

7. Equipo

7.1. Instrumento ultrasónico

Para el desarrollo del ensayo ultrasónico se debe utilizar un equipo pulso – eco con capacidad de trabajar con frecuencias comprendidas entre al menos 1 a 6 MHz que se puedan seleccionar de acuerdo a las características del material, condiciones

geométricas, tamaño y ubicación de discontinuidades. El equipo que cumple con estos parámetros necesarios para el procedimiento de inspección es el modelo OMNISCAN MX2 por arreglo de fases.

7.2. Transductores (palpadores)

Se debe utilizar palpadores de 1 a 5MHz modelo 5L16-9.6X 10-A10-P-2.5-OM, si el tamaño del grano del material a examinarse requiere el uso de palpadores de otras frecuencias se puede utilizar para asegurar una adecuada penetración o resolución. Es posible además utilizar palpadores con zapatas curvas modelo SA10- N55S-AOD, que permitan un mejor acoplamiento con la superficie de la parte, pieza o tubería a ser examinada.

7.3. Elemento acoplante

Se utilizará como acoplante carboximetil celulósico (CMC), producto totalmente biodegradable o cualquier otro producto que asegure un correcto acoplamiento acústico. En caso de no contar con el producto CMC, se utilizará como remplazo: aceite, glicerina o grasa liviana.

8. Técnica a ser usada

La técnica a ser utilizada en el procedimiento de ultrasonido por arreglo de fases, el cual utiliza ondas transversales.

9. Método de calibración

Se utiliza el bloque de calibración IIW tipo I, como se observa en la figura 31.

9.1. Calibración con transductor de haz angular

La calibración con haz angular descrito a continuación es llevada a cabo utilizando un transductor Olympus 5L16-9.6X10-A10-P-2.5-OM, con una frecuencia de 5 MHz, para el caso de inspección bajo Norma API.

Para calibrar el equipo se debe seguir estos pasos:

- Conectar el transductor al equipo Omniscan MX2.
- Introduzca el código correcto de la zapata y permita que el equipo reconozca el transductor por medio del software y bibliotecas disponibles.

- Introduzca el valor teórico de la velocidad de onda de corte del material que será inspeccionado.
- Introduzca un rango apropiado para el bloque de prueba que está siendo utilizado.
- Introduzca la geometría de la junta, ángulo de bisel, talón, altura del talón, etc.
- Calibración por sensibilidad
- Calibración por velocidad
- Calibración por retardo de zapata

El proceso de calibración se realiza con la función de rechazo apagada y con el fin de calibrar los siguientes tres parámetros de manera ordenada:

- Sensibilidad. - con la ayuda de reflectores de 1/16in a una profundidad de 15mm para el caso de los bloques II W Tipo I y II, se determina el número de decibeles necesarios para que este tipo de indicaciones pequeñas alcancen amplitudes, visualizadas en el Scan A entre un 40% y 60% en todas las leyes focales utilizadas en la inspección, la ganancia utilizada para este fin será usada como el factor B, en la determinación del escalafón de la indicación, factor D.
- Velocidad del sonido del material. - mediante la ayuda de dos radios de distancia conocida ubicados en los bloques IIW tipo I o tipo II, se realiza la calibración de la velocidad del sonido o tiempo de vuelo de la onda sónica transversal en el acero al carbono, que en este caso debe permanecer cercana a los 3240 m/s.
- Retardo de la zapata. - debido a que la zapata angular utilizada en esta inspección genera que los múltiples cristales emisores del tren de ondas se encuentren a distancias diferentes del metal base, es necesario que el equipo genere una secuencia de disparos de la onda de los diferentes elementos para de esta manera generar un tren de ondas refractado coherente con la inspección.
- Curvas de medición (ajuste de sensibilidad). - se debe utilizar un bloque de referencia correspondiente AWS.

10. Condición superficial

Se debe preparar la superficie a inspeccionar, esta debe tener un acabado que permita un acople adecuado entre la zapata y la superficie del elemento, debe estar libre de suciedad, salpicadura o pintura.

La zona a ser inspeccionada debe ser limpiada utilizando una herramienta manual, se recomienda utilizar una moladora con disco de grata de 7 in, eliminando cualquier rastro de oxido, escoria o salpicadura, sobre y en un rango de 2 in a cada lado del cordón de soldadura.

11. Técnica de barrido

Para el barrido se debe desplazar en forma paralela al cordón de soldadura, colocando el transductor a una distancia de 10 mm del centro del cordón de soldadura, examinando toda la longitud de este. Es recomendable realizar una rotación de 5° a 7° con el transductor, de esta manera se puede detectar defectos de orientación. Se debe colocar durante el barrido constantemente una capa de acoplante.

12. Registro e identificación

Las discontinuidades que sobrepasen el 50% de la altura máxima que debe tener el eco en la pantalla, así como indicaciones que se visualicen en las demás pantallas del ultrasonido, se las debe registrar en el archivo creado en el equipo, para posteriormente ser evaluadas. Para determinar el tipo exacto de defecto encontrado se debe seguir la capacitación de inspector por ultrasonido nivel I.

13. Criterios de aceptación

Revisar la norma API650, para determina los parámetros de aceptación o rechazo de uniones soldadas en tanques de almacenamiento de petróleo.

14. Reportes

El reporte de los resultados deberá contemplar todos los ítems inspeccionados, sus hallazgos, conjuntamente con su sistema de trazabilidad, códigos de referencia y códigos de aceptación y rechazo. El formato del reporte se lo puede ver en el anexo 4.

14.1.Datos para llenar en el reporte

1. Probeta: se coloca el tipo de probeta que se va a inspeccionar.
2. Longitud total inspeccionada: se debe colocar la longitud total de las juntas a inspeccionar.
3. Angulo de transductor: se coloca el valor del ángulo en el que se calibra el transductor.
4. N°: se debe colocar la numeración para cada inspección.
5. Identificación soldadura: se debe colocar el identificativo asignado para cada junta, por ejemplo, para la junta 1: J1.
6. Soldador: este parámetro permanece constante ya que es la estampa del soldador.
7. Longitud inspección: es la longitud de la junta a inspeccionar.
8. Espesor: es el espesor de la plancha con la cual fue fabricada la probeta.
9. Diámetro: es el diámetro del tanque de almacenamiento a escala.
10. Ubicación del defecto, longitud: es la longitud del defecto.
11. Ubicación del defecto, profundidad: es la profundidad en la que se encuentra el defecto detectado, este valor nos entrega el equipo de ultrasonido.
12. Ubicación del defecto, localización: es la distancia desde nuestro punto de inicio de inspección hasta que empieza el defecto.
13. Calificación: después de ser evaluados bajo los criterios de la norma, se determina si es aceptable o no.
14. Observación: se debe colocar el tipo de defecto que se evaluó.

Nota: los parámetros establecidos, no se modifican, ya que estos son datos que no van a variar.

CAPÍTULO IV

COSTO

4.1. Costos directos

Son los costos directamente relacionados con la construcción de las probetas.

4.1.1. Mano de obra

Son los costos de mano de obra, que fue utilizada para la elaboración de las probetas con defectología.

Tabla 20. Costo mano de obra

Cargo	Costo construcción probetas		
	Tiempo (h)	Valor hora (USD)	Valor Total (USD)
Soldador	40	10.00	400.00
Barolado	14	9.00	126.00
		TOTAL	\$ 526.00

Elaborado por: Christian Rodrigo Pérez Paredes.

4.1.2. Material y equipo

Son los costos de la materia prima y materiales que se utilizaron para la construcción e inspección de las probetas.

Tabla 21. Costo materiales y equipo

Descripción	Cantidad	Valor (USD)	Valor Total (USD)
Planchas ASTM A-36 de 1220x2440x 6mm	3	100.00	300.00
Disco de desbaste 7"x5/8	2	3.20	6.40
Disco de corte 7"x1/16	5	2.00	10.00
Grata 7"	1	10.50	10.50
Grata 4"	1	7.73	7.73
Guantes para soldador	1	5.36	5.36
Polifan 4"	2	5.02	10.04
Electrodo E 6010	3(lb)	7.55	22.65
Electrodo E 6013	8(lb)	6.20	31.02
Kit Líquidos Penetrantes	1	64.00	64.00
Paños absorbentes	5	1.80	9.00
Regla metálica	1	3.50	3.50
Gel CMC	2.2(lb)	5.00	11.00
Glicerina	1	1.50	1.50
Cinzel	1	3.50	3.50
Tapa toriesférico diámetro 1000mm	1	280.00	280.00
		TOTAL	\$ 776.20

Elaborado por: Christian Rodrigo Pérez Paredes.

4.2. Gastos generales

Son los costos de materiales, mano de obra, capacitación, alquiler de equipos, gastos varios e imprevistos, que se hicieron para la elaboración de las probetas e inspecciones de las mismas.

Tabla 22. Gastos generales

Descripción	Valor (USD)
Útiles de Oficina	45.00
Transporte	172.00
Impresiones	60.00
Alquiler de Equipo de Ultrasonido	450.00
Capacitación	1000.00
Inspección visual	180.00
Inspección líquidos penetrantes	190.00
Inspección ultrasonido con arreglo de fases	450.00
Varios	300.00
TOTAL	\$ 2847.00

Elaborado por: Christian Rodrigo Pérez Paredes.

4.3. Costo total del proyecto

Es el valor total de los gastos en material, mano de obra y gastos generales del proyecto.

Tabla 23. Costo total del proyecto

Descripción	Valor (USD)
Mano de obra	526.00
Materiales y Equipo directos	776.20
Gastos Generales	2847.00
TOTAL	4149.20

Elaborado por: Christian Rodrigo Pérez Paredes.

CONCLUSIONES

- A los resultados obtenidos en las inspecciones de las probetas, los mismos que se puede observar en las tablas 7, 8, 9, 10, 11 y 12, se los evaluó bajo los criterios de aceptación y rechazo de la norma API650, los cuales, determinaron que ninguna discontinuidad cumple con los parámetros de aceptación y valida la eficiencia de esta, para evaluar discontinuidades.
- Los defectos obtenidos por las diferentes técnicas de inspección, aplicadas a las juntas de las 7 probetas fabricadas, los cuales se pueden observar en las tablas 7, 8, 9, 10, 11 y 12, siendo las más concurrentes, la inclusión con una altura de 6 mm, la cual fue detectada por el método de ultrasonido con arreglo de fases, y rechazada por tener una longitud de falla aceptable superior al límite de 4 mm para un espesor de 6 mm, y la falta de fusión con una longitud de 32 mm, la cual fue detectada por el método de líquidos penetrantes, y rechazada por tener una longitud superior al límite de 1.5 mm para indicaciones lineales relevantes.
- La validaciones mediante porcentaje de error de detección para cada procedimiento de ensayo no destructivo, se las puede observar en las tablas 13, 14, 15, 16, 17 y 18, de las cuales, los porcentajes de error más altos de cada técnica obtenidos fueron, 6.75% para el método de líquidos penetrantes, 6.33% en ultrasonido por arreglo de fases y 4.89% para inspección visual, los mismos que se encuentra por debajo del límite de 10% de error porcentual permitido en la toma de datos, lo que permite validar los procedimientos descritos anteriormente.
- Se desarrolló un manual de procedimientos de inspección de uniones soldadas a tope y tipo T, para cada técnica de ensayos no destructivos en inspección visual, líquidos penetrantes y ultrasonido con arreglo de fases, en el que se detallan la información necesaria que debe contener un manual de procedimientos, así como un correcto procedimiento de inspección y evaluación de juntas en tanques de almacenamiento de petróleo.

RECOMENDACIONES

- Al existir otras normas y códigos de construcción de tanques, se recomienda la investigación de los requerimientos de estas, para validar si los criterios de aceptación y rechazo de la norma API 650 son los más adecuados para la inspección de tanques de almacenamiento.
- Se recomienda continuar con la investigación sobre el análisis defectológico del tanque probeta y las probetas tipo junta, aplicando otros tipos de ensayos no destructivos, como radiografía industrial y partículas magnéticas, para determinar cuál técnica es la más eficiente en este tipo de detección defectológica y si se encuentran los mismos defectos en las probetas.
- Para una correcta validación, se recomienda contar con una capacitación previa a la inspección, ya que tales conocimientos permiten una mejor identificación de los tipos de defectos, realizar una medición adecuada; es decir, ejecutar un trabajo más eficaz. Caso contrario, se puede obtener un error porcentual mayor al permitido y se tendrá que repetir la inspección en esa junta.
- En este proyecto de titulación se estudia un tipo de tanque de almacenamiento a presión atmosférica, se recomienda desarrollar el estudio de otros tipos de estructuras como los tanques a presiones altas o de baja presión, existentes en la industria, para determinar si el manual de procedimientos, desarrollado en este proyecto de titulación, es válido.

LISTA DE REFERENCIAS

- [1] W. E. Deming, Calidad, productividad y competitividad: la salida de la crisis, Ediciones Díaz de Santos ed., Madrid, Es, 1989.
- [2] I. S. Worldwide, Ingeniería y Normas ASTM, 2016.
- [3] L. B. Sanango Tacuri y J. V. Bacuilima Brito, EVALUACIÓN Y CONTROL DE CABEZOTES EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVOS “M.C.I.A” MEDIANTE EL USO DE TECNICAS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS, Cuenca, 2014.
- [4] E. y. S. Tecsud Tecnología, Curso Ultrasonido Industrial Nivel II, Quito, 2010.
- [5] J. G. Pérez Paredes y D. A. Sucuzhañay Amendaño, Elaboración de un Manual de procedimientos para la inspección en uniones a Tope para tubería de acuerdo a la Norma API 1104 y código ASME B31.3, con el equipo de Ultrasonido OLYMPUS EPOCH 1000i, Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas, ESPE, 2015.
- [6] J. F. Gangotena, Proceso de Inspección por Líquidos Penetrantes, Quito: ECI Pruebas e Inspección, 2018.
- [7] J. F. Gangotena, Procedimiento de Ultrasonido Phased Array con haz Angular, Quito: ECI Procedimientos, 2019.
- [8] T. N. CUALICONTROL, «TUV NORD CUALICONTROL,» 12 08 2019. [En línea]. Available: <https://www.tuv-nord.com/es/es/inspeccion-industrial/ensayos-no-destructivos/>.
- [9] «Gestión Calidad,» 04 09 2016. [En línea]. Available: <http://gestion-calidad.com/trazabilidad-en-calidad>.
- [10] A. Saavedra, «Construcciones Soldadas,» 26 02 2012. [En línea]. Available: <http://www.alexandersaavedra.com/2012/02/agrietamiento-en-soldaduras.html>.
- [11] L. Jeffus, Soldadura principios y aplicaciones, Madrid: Paraninfo S.A., 2009.
- [12] G. A. Mantilla, E. Trujillo, M. Valera, C. Torres , V. Olivella, M. Correa, C. Blanco y E. Neira, MANUAL DE INSPECCION, MANTENIMIENTO Y REPARACION DE TANQUES ATMOSFERICOS API 653, Bogota, 2011.

- [13] D. A. Castro Montalvo, Diseño de procedimientos radiográfico y tintas penetrantes para control de calidad de las soldaduras en las construcciones de estaciones de bombeo de petróleo, Quito: Universidad Politécnica Salesiana, 2015.
- [14] A. P. Institute, Welded Tanks for Oil Storage, Washington, DC: API Publishing Services, 2018.
- [15] J. Zambrano, Guía de inspección de soldadura y calificación de soldadores aplicado a las Normas ASME BPVC y API 1104, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2015.
- [16] S. EUSKAL FORGING, «euskalforing,» [En línea]. Available: <https://euskalforing.com/es/calidad/certificaciones-personal>.
- [17] A. Balvantín, Ensayos y Propiedades Mecánicas de los Materiales, Salamanca, 2016.
- [18] C. Engineering, 2020. [En línea]. Available: https://www.cobanengineering.com/Tolerancias/Tolerancias_Definicioness.asp.
- [19] C. Chen, «Significados,» 21 05 2019. [En línea]. Available: <https://www.significados.com/heterogeneidad/>.
- [20] M. Andrade, «Definición ABC,» 09 2014. [En línea]. Available: <https://www.definicionabc.com/ciencia/hidrocarburos.php>.
- [21] J. Pérez Porto, «Definición.DE,» 2008. [En línea]. Available: <https://definicion.de/lineamiento/>.
- [22] J. Vallejo, «Course Hero, Inc.,» [En línea]. Available: <https://www.coursehero.com/file/p617ism4/314-TIPOS-DE-LUZ-Las-fuentes-de-luz-para-inspecci%C3%B3n-visual-y-%C3%B3ptica-pueden-ser/>.
- [23] R. A. Española, «Real Academia Española,» [En línea]. Available: <https://dle.rae.es/incidencia>.
- [24] J. Arrieta, A. Hernandez y D. Londoño, «Identificación de salpicaduras en uniones soldadas mediante visión artificial,» *Conference Paper*, p. 408, 2014.
- [25] A. Arequipa, «CONCREMAX,» [En línea]. Available: http://www.concremax.com.pe/noticia/concretips_traslapes_empalmes.

- [26] J. M. Parrales Gallardo, *Prevención de Incendios en Tanques de Almacenamiento de Petróleo Crudo*, México D.F., 2011.
- [27] R. I. Cabezas Félix y W. P. Núñez Arguello, *Diseño y Simulación de un Tanque de techo fijo para almacenar Petróleo de 3000 BLS de capacidad en plataforma del pozo Sacha 192, ubicado en la Provincia de Orellana*, Quito: Universidad Politécnica Salesiana, 2011.
- [28] M. D. MATEUS HERRERA y D. A. VIVAS PASPUEL, *MANTENIMIENTO DE TANQUES HIDROSTÁTICOS DE TECHO FIJO PARA LA INDUSTRIA PETROLERA*, Quito, 2007.
- [29] Javier Tirenti, *API 650 - TANQUES DE ALMACENAMIENTO*, Parte III, 2015.
- [30] F. Díaz del Castillo Rodríguez, *RECIPIENTES A PRESIÓN, CUAUTITLÁN IZCALLI*, 2018.
- [31] C. A. Llerena Nuñez, *Desarrollo de un sistema de control y aseguramiento de la calidad para tanques en servicio, utilizados por petroproducción, aplicando ensayos no destructivos*, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2006.
- [32] J. Tirenti, *API650 - Tanques de Almacenamiento, Código, Materiales, Diseño, Pared, Fondo, Placa Anular*, Madrid: arvens training & engineering, 2014.
- [33] C. E. Flores, *SOLDADURA AL ARCO ELÉCTRICO SMAW*, Guatemala: Universidad Rafael Landívar, 2015.
- [34] F. d. E. d. C. d. Andalucía, «*ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS END*,» *Temas para la Educación*, vol. 01, 2011.
- [35] A. Edison J., *Inspección Visual*, Quito: ICCAEND Ensayos No Destructivos Inspección, Capacitación y Certificación, 2018.
- [36] A. Ruiz Rubio y J. Serrano Sanchez, *Aplicación de los métodos de Ensayos No Destructivos al examen de Las Uniones Soldadas*, Bilbao: URMO, S.A., 2015.
- [37] J. Cembrero Cil, C. Ferrer Giménez, M. Pascual Guillamón y M. Á. Pérez Puig, *CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE MATERIALES Problemas y Cuestiones*, Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A., 2005.
- [38] P. F. MOSQUERA ÁVILA y M. F. SÁNCHEZ ESPINOZA, *DETECCIÓN DE FALLAS SUPERFICIALES E INTERNAS EN TUBERÍAS DE ALTA*

PRESIÓN PARA MOTORES ESTACIONARIOS POR EL MÉTODO DE ULTRASONIDO, Cuenca, 2015.

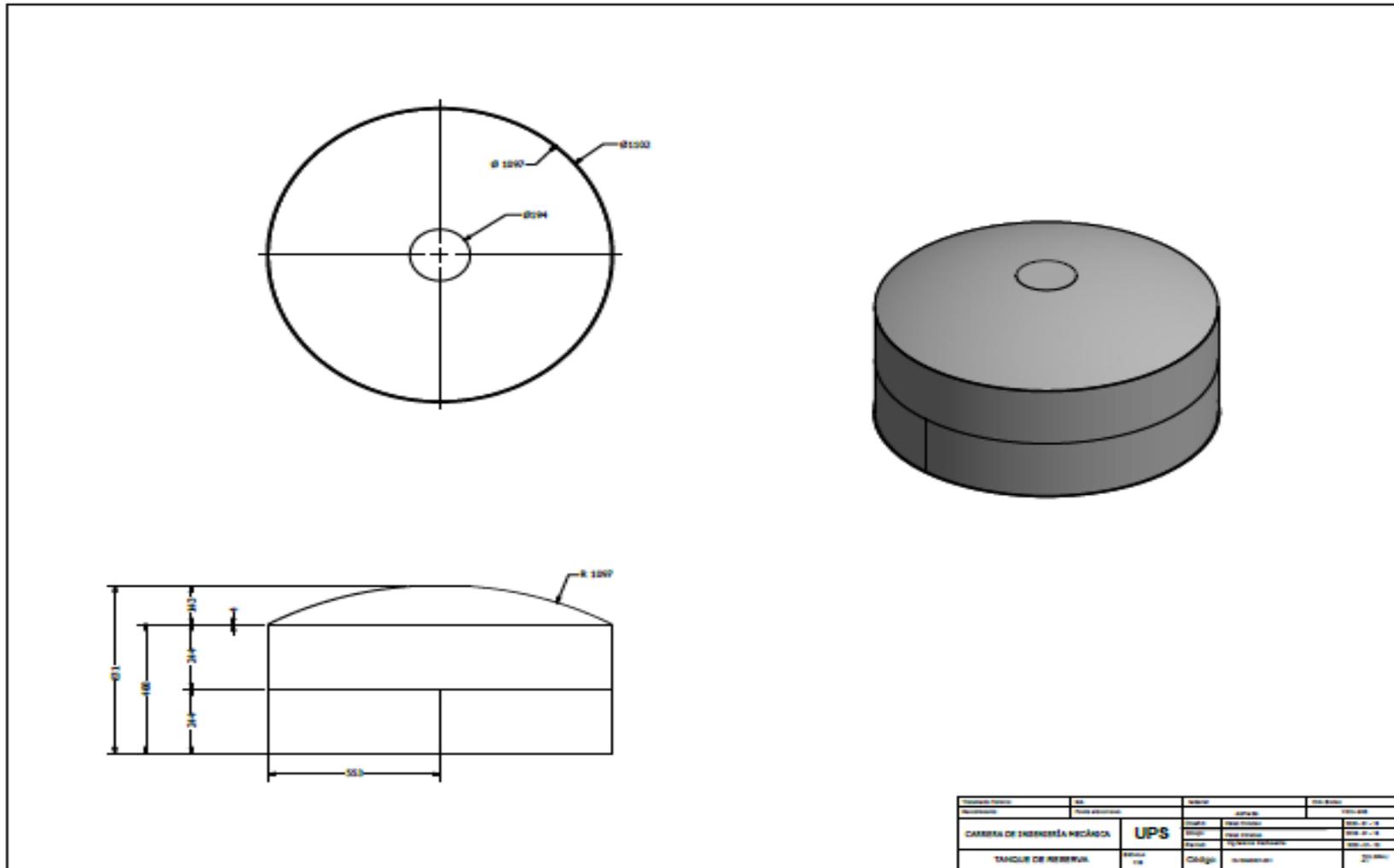
- [39] G. F. Recalde , Ensayos No Destructivos, Comahue, 2009.
- [40] R. Maldonado, Ultrasonido, Quito, 1994.
- [41] C. I. Ortiz Dávila, Implementación y aplicación del procedimiento de ultrasonido para control de calidad de la soldadura en tuberías de presión, mediante la técnica difracción por tiempo de vuelo, Quito, 2017.
- [42] E. Aillón, Líquidos Penetrantes, Quito, 2018.
- [43] R. OSPINA LOPEZ, C. HERNANDO TRUJILLO y H. PARRAL, «APLICACIÓN Y SELECCIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA LA EVALUACION DE UNIONES SOLDADAS,» *Scientia Et Technica*, vol. 16, nº 48, p. 199, 2011.
- [44] E. S. AGUILAR VASQUEZ, DISEÑO DE LOS ORGANISMOS DE CAPACITACION, CALIFICACION Y CERTIFICACION DE PERSONAL PARA REALIZAR ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS DE APLICACIÓN NACIONAL, Sangolquí, 2012.
- [45] C. F. VALBERDE AMAGUA, ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE CAPACITACIÓN DE NDI PARA LOS MÉTODOS: TINTES PENETRANTES Y PARTÍCULAS MAGNÉTICAS E IMPLEMENTACIÓN DE UN KIT FOTÓMETRO, INDICADOR DE FLUJO MAGNÉTICO Y PIE GAGE, Latacunga, 2012.
- [46] E. E. NARANJO ARCOS, ELABORACIÓN DE UN CD INTERACTIVO PARA LA UTILIZACIÓN DEL MÉTODO DE LÍQUIDOS PENETRANTES DE NDT APLICADO A LA AVIACIÓN, Latacunga, 2012.
- [47] R. Echevarria, Líquidos Penetrantes, Neuquén, 2003.
- [48] L. E. Norzagaray Castillo, Propuestas para uso del método de líquidos penetrantes, para la identificación de daños en materiales compuestos, MÉXICO D.F., 2015.
- [49] D. A. ROJAS RODRÍGUEZ, DESARROLLO Y ELABORACION DEL MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE INSPECCION PARA TALLERES AERONAUTICOS DE REPARACION DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS, BOGOTÁ , 2016.

- [50] E. A. Encarnación Franco, Implementación de inspección no destructiva de soldadura en la empresa INDIMA S.A., Quito, 2010.
- [51] Society American Welding, «Standard Welding Terms and Definition,» de *Standard Welding Terms and Definition*, AWS A3.0, 2010, p. 25.
- [52] Inccer, «SMAW,» de *Soldadura de raíz abierta con ranura en V*, 2016, p. 12.
- [53] G. Ortiz, Defectos y discontinuidades de la soldadura, Cabudare: Universidad Fermin Toro, 2018.
- [54] C. T. d. Oriente, Memoria de calculo Mecanico - Crude Storage Tank T-40401A, Quito: PETROAMAZONAS EP, 2019.
- [55] R. E. Montalván Moreno y C. E. Urbina Cornavaca, Diseño de una Roladora para el Laboratorio de Conformación de Metales, Managua: Universidad Nacional de Ingenieria , 2012.
- [56] F. P. Cuichán Ponce y J. E. Malte Malte, Diseño y construcción de una máquina Prototipo para Rebordear fondos toriesfericos de tanques de almacenamiento, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2012.
- [57] A. Comparin, «The Fabricator,» 06 06 2018. [En línea]. Available: <https://www.thefabricator.com/thefabricator/article/bending/dished-end-manufacturing-for-beginners>.
- [58] J. F. Gangotena Santamaria, Procedimiento de Inspección Visual, Quito: SNAPPIPE S.A., 2016.
- [59] T. A. S. o. M. Engineers, ASME Boiler and Pressure Vessel Code An International Code, Section V, New York: The American Society of Mechanical Engineers, 2018.
- [60] A. E. 1. / . E. 165M, Standard Practice for Liquid Penetrant Testing for General Industry, ASTM International, 2018.
- [61] J. San Martin, LIQUIDOS PENETRANTES, Concepción, 2017.
- [62] D. T. S. S.A., Procedimeinto de Inspección por Ultrasonido, Quito: SNAPPIPE S.A., 2019.
- [63] J. P. Iriarte, «Blog I.D.E.A.,» WP, 13 Enero 2018. [En línea]. Available: <https://iriarte.com.co/volumen-tapas-fondos-bombeados/>.

- [64] G. Aguais, Especificación del Procedimiento de Soldadura - WPS, Quito: Prinamec, 2019.
- [65] A. Uriarte, «Welding from Perú,» [En línea]. Available: <https://weldingfromperu.wordpress.com/2018/05/04/como-soldar-tuberia-con-proceso-smaw/>.

ANEXOS

Anexo 1. Planos de tanque de almacenamiento de petróleo a escala 1:25



Anexo 2. Formato de reporte para inspección visual

		REGISTRO DE INSPECCIÓN VISUAL						Página		
								UPS-VT-001-RG-01		
CLIENTE:										
FECHA:										
Procedimiento		Norma:		Probeta:		Longitud total Inspeccionada (m):		Distancia de Visión		
Material		Instrumentos Utilizados			Proceso de Soldadura		Angulo de Incidencia			
Temperatura permitida:		Condición Superficial:			Intensidad de la Luz (lux)					
							Equipo de Medición de Temperatura			
Temperatura de la pieza:		Tipo de Iluminación			Modelo	Número de Serie o Código		Fecha de Calibración:		
N°	Identificación Soldadura N°	Soldador	Diámetro (mm)	Espesor (mm)	Longitud de inspección (mm)	Ubicación del defecto (mm)		Calificación		OBSERVACIONES
						Longitud	Localización	SI	NO	

Anexo 3. Formato de reporte para inspección por líquidos penetrantes

		REGISTRO DE INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES						Página	
								UPS-PT-001-RG-01	
CLIENTE:						FECHA:			
Procedimiento:		Probeta:			Longitud total inspeccionada (mm):		Tiempo de limpieza:		
Técnica:		Material:			Kit de Líquidos Penetrantes		Tiempo de penetración:		
					Limpiador (Cleaner):				
Temperatura permitida:		Condición superficial:			Penetrante (Penetrant):		Tiempo de revelado:		
					Revelador (Developer):				
N°	Identificación Soldadura N°	SOLDADOR	Diámetro (mm)	Longitud de inspección (mm)	Ubicación del defecto (mm)		Calificación		UBICACIÓN DE DEFECTOS Y OBSERVACIONES
					Longitud	Localización	SI	NO	

Anexo 4. Formato de reporte para inspección por ultrasonido con arreglo de fases

		REPORTE DE INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO					Página				
							UPS-UT-001-RG-01				
CLIENTE:						FECHA:					
Procedimiento:		Probeta:			Material:			Acoplante:			
Técnica:		Equipo:		Fecha de calibración:		Proceso de soldadura:		Longitud total inspeccionada (metros):			
Transductor:		Frecuencia:		Instrumento de medición:		Ángulos del transductor:		Condicion superficial:			
N°	Identificación soldadura	Soldadores	Longitud de inspección (mm)	Diámetro (mm)	Espesor (mm)	Ubicación del defecto (mm)			Calificación		OBSERVACIONES
						Longitud	Profundidad	Localización	SI	NO	

Anexo 5. Registro de calificación de soldadores y operadores (WPQ)

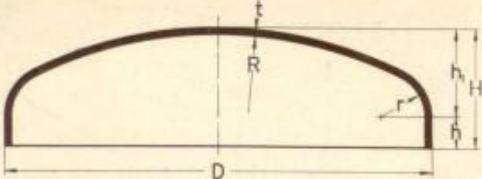
		Registro de Calificación de Soldadores y Operadores- WPQ Welder Performance Qualification		Elaborado Por: 				
Vigente desde: Agosto /2019		Rev: 01		Pág: 1 de 1				
1. IDENTIFICACION DEL SOLDADOR								
NOMBRE: Luis Oswaldo Chulca Cecado CEDULA N°: 1714749510 ESTAMPA: W01 Proceso de soldadura: SMAW Norma de Referencia: ASME SEC IX		Cliente: Cristian Rodrigo Perez Paredes WPS de referencia: ec-wps-001-ASME Material Base soldado: ASTM A36 Fecha: 07 de agosto 2019						
VARIABLES ESENCIALES		VARIABLES USADAS		RANGOS DE CALIFICACIÓN				
Material base		ASTM A36		Grupo I / Grupo II				
ESPEORES	TUBO	ranura	1/16"	0.874"				
		filete	N/A	N/A				
	PLACA	ranura	1/16"	CJP: mínimo 1/8" Máximo 0.874"				
		filete	N/A	N/A				
DIAMETRO		2-7/8 Inch		líbrado				
RESPALDO		NO		con placa de respaldo o pase de respaldo.				
POSICION DE SOLDADURA		6G		TODAS				
PROGRESION		ASCENDENTE		ASCENDENTE				
TIPO DE CORRIENTE / POLARIDAD		DC +		DC +				
MATERIAL DE APORTE	ESPECIFICACION		AWS A5.5 / AWS A5.1		AWS A5.5 / AWS A5.1			
	CLASIFICACION		E6010 / E7018		Electrodo Clasificación AWS A 5.20			
	F N°		3 / 4		3 / 4			
	GAS DE PROTECCION		N/A		N/A			
2. PARAMETROS DE SOLDADURA								
No. De pase	Proceso	Material de aporte		Corriente		Vel. Alm. Electrodo (mm/min)	Voltaje (volios)	Vel. de Avance (mm/min)
		Clase	Dímetro (mm)	Amperaje (amp)	Tipo y polaridad			
Raiz	SMAW	E6010	3.2	80-100	DC+	N/A	11-14 V	8/12
Pase Caliente		E6010	3.2	105-115	DC+	N/A	11-14 V	8/11
Relleno		E7018	3.2	100-120	DC+	N/A	21-22 V	10/15
Capa		E7018	3.2	100-120	DC+	N/A	21-22V	11/13
3. ENSAYOS DESTRUCTIVOS Y NO DESTRUCTIVOS								
ENSAYOS DE DOBLADO								
LATERAL (DL) / CARA (DC) / RAZA (DR)			LATERAL (DL) / CARA (DC) / RAZA (DR)					
DL 1: Aprobado		DL2: Aprobado		DC1: N/A				
DC2: N/A		Observaciones: Aprobado según informe PRINAMEC 2019-06-07-D-W01-ASME						
ENSAYOS DE TRACCIÓN								
Observaciones: NO APLICA								
ENSAYO DE NICK BREAK								
Observaciones: NO APLICA								
EXAMEN VISUAL								
VISUAL	Norma de referencia: ASME SEC IX	Calificado	81	Decalificado				
EXAMEN ULTRASONIDO								
Ultrasoni	Norma de referencia:	Calificado		Decalificado				
Observaciones: Opcional / Ensayo No realizado								
Resultado de prueba de Calificación			CALIFICADO: SI					
Las juntas fueron preparadas y ensayadas bajo requerimientos del código aplicable. Este WPQR no garantiza la soldadura de producción pues la capacidad de fabricación del personal también son factores que influyen en los resultados. Este documento contiene información confidencial, propiedad del cliente. Queda expresamente prohibida su difusión, copia o uso sin autorización escrita. Este documento no es válido sin firmas de responsabilidad.								
Realizado por:			Autorizado por:					
 Franklin Giovanni Aguila Guachamin CWI 16122351 CC1 / EXP: 12/1/2019 Ing. Giovanni Aguila CWI 16122351 07 de agosto 2019			Ing. Juan Francisco Gangolena SERVCOIN 07 de agosto 2019					

Anexo 6. Especificaciones del procedimiento de soldadura (WPS)

Prinamec		ESPECIFICACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA - WPS		SERVCOIN	
		Rev:01	Vigente desde: Agosto/2019		
Pág. 1 de 2					
1. IDENTIFICACION					
No. PQR:	N/A	Cilente:	Cristian Rodrigo Perez Paredes		
No. WPS:	ec-wps-001-ASME	Proyecto:	TANQUE API 650		
Norma de referencia:	ASME IX	Elaborado:	Ing. Giovanni Aguais		
Proceso de soldadura:	SMAW (manual)	Revisión:	05 de Agosto de 2019		
2. VARIABLES DE SODALDURA					
DISEÑO DE JUNTA (QW-402)			TECNICA (QW-410)		
Tipo	Junta a Tope, Ranura; (ver gráfico)		Técnica	Recto	Oscilado X
Preparar junta	SI	X No	Pases por lado	Simple	Múltiple X
Soldadura a	Un lado	X Dos lados	Angulo de torcha	N/A	
Placa de respaldo	SI	No X	Boquilla	N/A	
Backgouging	N/A		Grapa de Alineacion	Externa, por punteado	
weld tabs			LIMPIEZA		
MATERIAL BASE (QW-403)			Entre pases Grata de alambre		
Especificación	ASTM A 106 Gr. B		Backgouging N/A		
N° Grupo	Grupo N° 1	N° P	POSICIÓN DE SOLDADURA (QW-406)		
Diametro	4" NPS		Posición	6G Filete: N/A	
Espesor (t)	Cédula 40 / 0,237" / 6,02 mm		Progresión	VERTICAL ASCENDENTE	
MATERIAL DE APORTE (QW-404)			NOTAS GENERALES		
	SMAW	SMAW	- PUNTEADO. Punteados deben cumplir con los mismos requerimientos de calidad que las soldaduras finales. Punteados que son incorporados dentro de la soldadura final, deben ser realizados con electrodos que cumplen los requerimientos de las soldaduras finales y deben ser limpiados vigorosamente. Punteados de multipase deben terminar en "cascada" - CONDICIONES AMBIENTALES. No soldar si: Superficies están mojadas, existen altas velocidades de viento o personal de soldadura esta expuesto a dichas condiciones. Velocidad del viento. - LIMITACIONES DE ANCHO/ESPESOR PASE. Máximo espesor de la sección de soldadura (t) no debe exceder el ancho del cordón de soldadura en su superficie para cada pase (pases fileteados).		
Especificación	AWS A5.5	AWS A5.1			
Clasificación	E6010	E7018			
Diametro electrodo	3/32 "	3/32 " / 2,38 mm			
Diametro del Alambre	N/A	N/A			
F. N°	3	4			
A. N°	1	1			
PRECALENTAMIENTO (QW-405)					
T° precalentamiento	t< 20mm Incl: 0°C min.				
T° Interpase (máx.)	n/a				
Nota	Si el material base se encuentra por debajo de 0°C precalentar a 20°C. Flamear junta para eliminar humedad.				
GAS DE PROTECCION PARA GTAW (QW-408)			TRATAMIENTO TERMICO POST-SOLDADURA (QW-407)		
Tipo:	N/A		Rango de Temp.:	°C N/A	
Flujo:	N/A		Incremento de Temp.:	°C/h N/A	
Observaciones:	N/A		Tiempo de Espera:	h N/A	
			Disminución Temp.:	°C/h N/A	
3. DETALLE DE JUNTA (QW-402)			RANGO DE ESPESOR DE MATERIAL BASE (QW 451.1)		
			Ranura:	Min: 1/16 "	Max: 0,674 "
			Filete:	N/A	
			RANGO DE TUBERÍA (QW 452.3)		
			Ranura:	2-7/8 y mayores.	
			Filete:	N/A	

4. PARAMETROS DE SOLDADURA (QW-409)							Pág. 2 de 2	
No. De pase	Proceso	Material de aporte		Corriente		Vel. Alim. Electrodo (mm/min)	Voltaje (voltios)	Vel. de Avance (Pulg/min)
		Clase	Diametro (mm)	Amperaje (amp)	Tipo y polaridad			
Raiz	SMAW	E6010	2.38	60-120	DC +	N/A	10 - 14 V	8-12
Pase Caliente	SMAW	E6010	2.38	60-120	DC +	N/A	11 - 14 V	9-13
Relleno	SMAW	E7018	2.38	100-120	DC+	N/A	19 - 25 V	11-15
Acabado	SMAW	E7018	2.38	100-120	DC+	N/A	20 - 25 V	11-15
Acabado	SMAW	E7018	2.38	100-120	DC+	N/A	20 - 25 V	11-15
NOTA: La información que contiene este documento es de propiedad intelectual de SERVCOIN S.A. Y de PRINAMEC CIA. LTDA. Y esta sujeta a leyes de protección intelectual registradas en SENADI. Cualquier cambio, modificación o uso no autorizado por escrito será sancionado bajo leyes civiles y penales del código organico mencionado.								
Realizado por: Giovanni Aguais Guadamín CWI 10122351 GC1 EXP. 12/1/2010 Ing. Giovanni Aguais CWI 16122351 05 de Agosto de 2019						Autorizado por: Ing. Franlisco Gangofena SERVCOIN 05 de Agosto de 2019		

Anexo 7. Tabla KOPPERFORM



KLÖPPERFORM

Form factor $y = 2.1$
 Spherical radius $R = D$
 Corner radius $r = 0.10 D$
 Total height without flange $h_1 = 0.194 D$

Flange length h					35 mm		50 mm					65 mm		
Plate thickness t mm					12	13	14	15	16	17	18	19	20	
D	R	r	h_1	Volume litres	Theoretical weight in kg									
200	200	20	40	0,8	5,4	6,8	7,2	7,7	8,1	8,6	10,3	10,9	11,4	
225	225	23	45	1,1	6,7	8,3	8,9	9,4	10,0	10,7	12,6	13,2	13,8	
250	250	25	50	1,6	8,0	9,8	10,5	11,2	11,9	12,6	14,8	15,5	16,3	
275	275	28	55	2,1	9,4	11,5	12,3	13,1	13,9	14,7	17,3	18,1	19,0	
300	300	30	60	2,7	11,1	13,4	14,3	15,3	16,3	17,3	20,1	21,1	22,1	
350	350	35	70	4,3	14,6	17,5	18,7	20,0	21,2	22,5	26,0	27,4	28,6	
400	400	40	80	6,4	18,4	21,8	23,4	25,0	26,6	28,1	32,3	34,0	35,6	
450	450	45	90	9,1	23,9	26,9	28,9	30,8	32,8	34,8	39,6	41,7	43,8	
500	500	50	100	13,0	27,8	32,5	34,9	37,2	39,7	42,0	47,7	50,2	52,6	
550	550	55	110	17,0	33,3	38,7	41,5	44,3	47,2	50,0	56,5	59,5	62,5	
600	600	60	120	22	39,2	45,3	48,6	51,9	55,4	58,6	65,9	69,5	73,0	
650	650	65	130	27	45,2	51,9	55,9	59,7	63,6	67,5	75,6	79,6	83,7	
700	700	70	140	34	52,0	59,7	64,1	68,6	73,0	77,4	86,5	91,1	95,8	
750	750	75	150	42	59,3	67,8	73,0	78,0	83,1	88,0	98,0	104,0	109,0	
800	800	80	160	51	67,3	76,6	82,4	88,0	93,8	99,5	110,0	117,0	123,0	
850	850	85	170	61	75,6	85,8	92,4	98,7	106	112	124	130	137	
900	900	90	180	73	83,7	95,0	103,0	110,0	117	124	137	144	151	
950	950	95	190	86	93,0	106,0	114,0	121,0	129	137	151	160	168	
1000	1000	100	195	100	103,0	116,0	125,0	134,0	142	151	167	176	185	
1100	1100	110	220	135	124,0	139,0	149,0	160,0	171	181	199	210	220	
1200	1200	120	240	175	145	163	176	188	201	213	234	246	259	
1300	1300	130	260	220	171	191	205	219	234	249	271	286	301	
1400	1400	140	280	275	196	219	236	253	269	285	312	328	345	
1500	1500	150	300	340	224	251	269	288	308	327	355	374	394	
1600	1600	160	320	410	255	284	305	327	348	369	402	425	446	
1700	1700	170	330	490	286	318	342	366	391	414	450	475	499	
1800	1800	180	350	585	321	355	383	410	436	463	502	530	558	
1900	1900	190	370	685	355	394	425	453	483	513	556	586	617	
2000	2000	200	390	800	393	435	469	501	534	567	614	648	682	
2100	2100	210	410	925	433	479	516	552	588	625	675	712	749	
2200	2200	220	430	1065	474	523	563	603	643	683	737	777	818	
2300	2300	230	450	1215	516	572	615	658	701	745	803	849	893	
2400	2400	240	470	1380	561	619	667	713	760	808	871	920	967	
2500	2500	250	490	1565	608	671	722	773	825	875	944	995	1049	
2600	2600	260	500	1760	657	724	780	835	890	945	1020	1074	1130	
2700	2700	270	520	1970	706	777	837	898	956	1015	1093	1156	1213	
2800	2800	280	540	2195	759	835	899	963	1027	1091	1173	1237	1302	
2900	2900	290	560	2440	813	894	962	1030	1099	1167	1255	1325	1393	
3000	3000	300	580	2700	870	956	1030	1103	1176	1249	1343	1416	1491	
3100	3100	310	600	2980	928	1020	1099	1177	1257	1335	1429	1507	1587	
3200	3200	320	620	3280	986	1085	1168	1253	1336	1418	1519	1604	1688	
3300	3300	330	640	3595	1049	1154	1242	1332	1419	1508	1618	1710	1800	
3400	3400	340	660	3930	1114	1221	1316	1410	1504	1598	1715	1811	1906	

Anexo 8. Reporte inspección visual en probeta tipo tanque por la Empresa ECI Pruebas & Inspecciones.

	Título: REGISTRO DE INSPECCIÓN VISUAL								
	Código: ECI-TEC-PDO-009-REG-002								
	Tipo de Documento:	Técnico	Revisión:	001					
	Fecha de Elaboración:	2020-01-06	N° de Página:	1 DE 1					
RAZÓN SOCIAL:	Sr. Christian Pérez								
DIRECCIÓN:	N/A								
RUC:	N/A								
TELÉFONOS:	0984402757								
PROYECTO:	Proyecto de Tarea "MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA INSPECCIÓN EN UNIONES DE SOLDADURA A TOPE Y TIPO T EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO FABRICADOS DE ACERO ASTM A36								
Procedimiento:	Código del Proyecto:	Longitud total inspeccionada (m):		Distancia de vista:					
ECI-TEC-PDO-009	N/A	12000.00		60 cm					
Intensidad de luz (lux):	Material:	Proceso de soldadura:	Acabado superficial:	Ángulo de iluminación:					
2123	ASTM A 36	SMAW	SSPC SP3	30°					
N°	IDENTIFICACIÓN DE LA SOLDADURA	SOLDADOR	DIÁMETRO (mm)	LONGITUD DE INSPECCIÓN (mm)	UBICACIÓN DEL DEFECTO		CALIFICACIÓN		OBSERVACIONES
					Longitud (mm)	Localización (mm)	SI	NO	
1	J 1	W01	3600	3600.00	-		✓		-
2	J2	W01	3600	300.00	-		✓		
3	J3	W01	3600	300.00	-		✓		
4	J4	W01	3600	300.00	-		✓		
5	J5	W01	3600	300.00	-		✓		
6	J6	W01	3600	3600.00	-		✓		
7	J7	W01	3600	3600.00	32.00	0.00		X	Falta de fusión + socavadura
		W01			45.00	570.00		X	Falta de fusión + socavadura + inclusión
		W01			22.00	1740.00		X	Socavadura + inclusión
		W01			11.00	2190.00		X	Socavadura + inclusión
		W01			4.00	2680.00		X	Falta de soldadura
		W01			20.00	2800.00		X	Falta de soldadura
LONGITUD TOTAL INSPECCIONADA:				12000.00					
OBSERVACIONES:									
Fecha:	2020-01-06	Lugar:	Estación:	<input type="checkbox"/>	Línea:	<input type="checkbox"/>	Informe N°: VT-002		
N° de identificación:	7	Código de Aceptación:	API 650			Código de Referencia:	ASME V		
									
Fecha:	2020-01-06	Fecha:	2020-01-06	Fecha:	2020-01-06				
IF = Inspección Visual IV = Indicación Volumétrica C = Cracks o Fissuras				1 Pulgada = 25.4 milímetros 1 PSI = 6.9 Kpa					

Anexo 9. Reporte inspección visual en probeta tipo junta por la Empresa ECI Pruebas & Inspecciones.

		Título: REGISTRO DE INSPECCIÓN VISUAL							
		Código: ECI-TEC-PDO-009-REG-002							
		Tipo de Documento: Técnico		Revisión: 001					
		Fecha de Elaboración: 2019-01-05		N° de Página: 1 DE 3					
RAZÓN SOCIAL:		Sr. Christian Pérez							
DIRECCIÓN:		N/A							
RUC:		N/A							
TELÉFONOS:		0984402757							
PROYECTO:		Proyecto de Tesis "MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA INSPECCIÓN EN LINEAS DE SOLDADURA A TOPE Y TIPO T EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO FABRICADOS DE ACERO ASTM A36"							
Procedimiento:		Código del Proyecto:		Longitud total inspeccionada (mm):		Distancia de visión:			
ECI-TEC-PDO-009		N/A				60 cm			
Intensidad de luz (lux):		Material:		Proceso de soldadura:		Acabado superficial:			
2123		ASTM A 36		SMAW		SSPC SP1			
Angulo de incidencia:		30°							
N°	IDENTIFICACIÓN DE LA SOLDADURA	SOLDADOR	PLACA (mm)	LONGITUD DE INSPECCIÓN (mm)	UBICACIÓN DEL DEFECTO		CALIFICACIÓN		OBSERVACIONES
					Longitud (mm)	Localización (mm)	SI	NO	
1	P 1F	W01	167.00	167.00	-	-	✓		-
2	P 1T	W01	167.00	167.00	-	-	✓		
3	P 2F	W01	167.00	167.00	7.64	11.83		X	Inclusión
		W01	167.00	167.00	115.63	52.76		X	Concavidad interna
4	P 2T	W01	167.00	167.00	6.04	14.64		X	Inclusión
		W01	167.00	167.00	5.52	30.85		X	Inclusión
		W01	167.00	167.00	3.35	70.66		X	Inclusión
		W01	167.00	167.00	11.18	111.08		X	Inclusión
5	P 3F	W01	167.00	167.00	-	-	✓		
6	P 3T	W01	167.00	167.00	-	-	✓		
7	P 4	W01	167.00	167.00	3.03	8.11		X	Porosidad
8	P 5	W01	167.00	167.00	9.68	90.70		X	Escoria
		W01			2.40	133.00		X	Porosidad
9	P 6	W01	167.00	167.00	-	-	✓		
LONGITUD TOTAL INSPECCIONADA:				2338.00					
OBSERVACIONES:									
									
Fecha: 2019-01-05		Lugar: Estación: <input checked="" type="checkbox"/> Línea: <input type="checkbox"/>		Informe N°: VT-001					
Código de Inspección: 9		Código de Aceptación: APE650		Código de Referencia: ASME V					
RUC: 17929112200001		Sr. Juan Pablo Argentea		Fecha: 2019-01-05					
Calle: C. 10 de Agosto		Fecha: 2019-01-05		Fecha: 2019-01-05					
I.P. - Inspección Visual		IV - Indicación Volumétrica		I Palgada = 25,4 milímetros		I PSI = 6,9 Kpa			

Anexo 10. Reporte inspección por líquidos penetrantes en probeta tipo tanque por la Empresa ECI Pruebas & Inspecciones.

	Título:	REGISTRO DE INSPECCIÓN POR LÍQUIDOS PENETRANTES							
	Código:	ED-ECI-PSO 033 REG 002							
	Tipo de Documento:	TÉCNICO	Revisión:	001					
	Fecha de Elaboración:	2020-11-08	N° de Página:	1 DE 2					
INFORMACIÓN DEL CLIENTE									
Razón Social:	Sr. Christian Pérez			Fecha de Inspección:	Julio-11-08				
Dirección:	NEA								
RUC:	NEA								
Teléfono:	08442797								
Proyecto:	Proyecto de Tarea "SERVICIO DE PROCEDIMIENTOS PARA INSPECCIÓN EN UNIONES DE SOLDADURA A TOPE Y TOPO Y EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO FABRICADOS DE ACERO ASTM A36"								
INFORMACIÓN DE TÉCNICA UTILIZADA									
TIEMPO DE ESPERA DE SECADO		PROCEDIMIENTO		TÉCNICA	SET DE TRITAN Max-Q Chem				
COMPONENTE	TIEMPO	UNIDAD	ECO-LEC-PSO-033	VISIBLES	<input checked="" type="checkbox"/>				
LIPIADOR	3	MINUTOS	TIPO DE EMULSIÓN	FLUORESCENTES	<input type="checkbox"/>				
PENETRANTE	30	MINUTOS	BLANCA						
REVELADOR	7	MINUTOS	TIPO DE EMULSIÓN						
			BLANCA						
			TIPO DE EMULSIÓN						
			NATURAL						
INFORMACIÓN DE LA PEDA A INSPECCIONAR									
SET DE LÍQUIDOS PENETRANTES		TIPO DE EMULSIÓN		FECHA DE CALIBRACIÓN					
		N/A		N/A					
MARCA		MAGNOLUX		N/A					
DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO A INSPECCIONAR			APROBACIÓN						
ITEM	IDENTIFICACIÓN DEL ELEMENTO	SOLDADOR	UNIDADES INSPECCIONADAS	ESPESOR (mm)	LOCALIZACIÓN DEL DEFECTO	LOCALIZACIÓN (mm)	SI	NO	OBSERVACIONES
1	J7	W01	2080.00	2080.00	5.72	820.00	0.00		Falta de fusión + socavadura
		W01			5.72	400.00	570.00		Falta de fusión + socavadura + inclusiones
		W01			5.72	220.00	1740.00		Socavadura + inclusiones
		W01			5.72	210.00	2180.00		Socavadura + inclusiones
		W01			5.72	40.00	2680.00		Falta de soldadura
		W01			5.72	200.00	2800.00		Falta de soldadura
REGISTRO FOTOGRÁFICO									
CANTIDAD TOTAL INSPECCIONADA (N°)				2080.00					
INFORMACIÓN ADICIONAL EVALUACIÓN									
LUGAR		ZONA DE INSPECCIÓN		DESCRIPCIÓN			BARRIDOS		
OFICINAS ECI PRUEBAS & INSPECCIONES		ESTACIÓN		PISO DE TANQUE			0		
CÓDIGO DE ACEPTACIÓN		APR 010		CÓDIGO DE REFERENCIA			AGNE V		
REGISTRADO POR:					APROBADO POR:				
NOMBRE					NOMBRE				
CARGO					CARGO				
EMPRESA					EMPRESA				
FECHA					FECHA				
2020-11-08					2020-11-08				
LUGAR DE FIRMAS					LUGAR DE FIRMAS				
LUGAR DE FIRMAS					LUGAR DE FIRMAS				

Anexo 12. Reporte inspección por ultrasonido con arreglo de fases en probeta tipo tanque por la Empresa ECI Pruebas & Inspecciones.

ECI		REGISTRO DE INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO									
Código: FO-TEC-PCO-008-FES-002		Fecha de Emisión: 2023-01-04									
Tipo de Documento: TÉCNICO		Revisión: 001	N° de Páginas: 3 DE 3								
Fecha de Elaboración: 2023-01-04		N° de Inspección: 1 DE 1									
INFORMACIÓN DEL CLIENTE											
Razón Social:	M. Christian Pérez			Fecha de Inspección:							
Dirección:	N/A										
TEL:	N/A										
Teléfono:	098462157										
Proyecto:	Proyecto de Tesis "MANUAL DE PROCEDIMIENTOS PARA INSPECCIÓN DE UNIONES DE SOLDADURA A TOPE Y TIPO T EN TANQUES DE ALMACENAMIENTO FABRICADOS DE ACERO ASTM A36"										
INFORMACIÓN DE TÉCNICA UTILIZADA											
PROYECTO:	TECNICA:	PRECISION:	FECHA DE CALIBRACIÓN DEL EQUIPO:	FECHA DE VERIFICACIÓN DEL EQUIPO:							
ECI-TEC-PCO-008	ARREGLO DE FASES	5.0 MHz	2023-01-19	N/A							
EQUIPO DE VERIFICACIÓN DE CALIBRACIÓN:	BUCLE 9W 4MHz	CÓDIGO INSTRUMENTO:	FECHA DE CALIBRACIÓN:	FECHA DE VERIFICACIÓN:							
TECNOLOGÍA:	TRANSLECTOR	ECI-95-LTP-001	2023-04-18	N/A							
TECNOLOGÍA:	TRANSLECTOR	UNIDAD MEDIDA DE VERIFICACIÓN [mm]:	CLASIFICACIÓN DE DEFECTOS:	ACORDANTE UTILIZADO:							
			SI [] NO []	ASNT SNT-TC-1B							
INFORMACIÓN DE LA PRUEBA A INSPECCIONAR											
MATERIAL:		SISTEMA DE REFERENCIA:		INDICACIONES:							
SAW		ASNT SNT-TC-1B		ASTM A 36							
SISTEMA DE REFERENCIA:		LONGITUD INSPECCIONADA [m]:									
Tanque atmosférico		5400.00									
DESERCIÓN DE LA PRUEBA A INSPECCIONAR											
N°	IDENTIFICACIÓN DE SOLDADURA	SOLDADOR	LARGITUD DE INSPECCIÓN [mm]	ESPESOR [mm]	INDICACIONES (Indicaciones de Superficie)			APROBACIÓN		OBSERVACIONES	
					Indicaciones de Superficie	Indicaciones Volumétricas	Indicaciones de Línea	SI	NO		
1	J1	W01	3000.00	993	5.72	13.59	5.19	80.00		X	Falta de fusión en raíz
		W02				24.00	5.11	109.00		X	Porosidad agrupada
		W03				24.00	5.11	180.00		X	Falta de penetración
		W04				50.00	5.11	2418.00		X	Porosidad agrupada
		W05				11.00	5.30	486.00		X	Fleura
		W06				59.00	4.96	191.00		X	Falta de Penetración en raíz
		W07				24.00	5.58	846.00		X	Falta de fusión en raíz
		W08				32.00	5.64	1020.00		X	Falta de fusión en raíz
		W09				45.70	5.30	1058.00		X	Falta de Penetración en raíz
		W10				11.00	5.46	1155.00		X	Porosidad agrupada
2	J2	W01	300.00	993	5.72	4.00	5.51	218.00		X	Discontinuidad en raíz
		W02	500.00	993	5.72	7.00	5.47	81.00		X	Falta de fusión en raíz
3	J3	W01	100.00	993	5.72	18.00	5.41	162.00		X	Falta de fusión en raíz
		W02	300.00	993	5.72	254.00	8.17	171.00		X	Soldadura externa
4	J5	W01	300.00	993	5.72	11.00	5.56	57.00		X	Fleura
		W02	300.00	993	5.72	206.50	5.21	4.50		X	
4	J6	W01	300	993	5.72	112.00	5.01	268.00		X	Falta de fusión por 90 los
		W02	300	993	5.72	309.00	5.51	846.00		X	
		W03	300	993	5.72	146.00	5.27	1164.00		X	
		W04	300	993	5.72	117.00	5.63	1387.00		X	
		W05	300	993	5.72	229.00	5.71	1771.00		X	
		W06	300	993	5.72	1006.00	5.00	2000.00		X	
LONGITUD TOTAL INSPECCIONADA [m]:			5400.00		OBSERVACIONES:						
INFORMACIÓN ADICIONAL Y JURISDICCION											
LUGAR:		ZONA DE INSPECCIÓN:		DESCRIPCIÓN:		ANEXOS:					
CÓDIGO DE PROBABILIDAD:		ESTACIÓN / LÍNEA:		INSPECCIÓN DE TANQUE PROTOTIPO		4					
CÓDIGO DE ACEPTACIÓN:		NIVEL:		CÓDIGO DE REFERENCIA:		ASME V					
REGISTRO DE FIRMAS											
REVISADO POR:		REVISADO POR:		APROBADO POR:							
FIRMA:		FIRMA:		FIRMA:							
FECHA:		FECHA:		FECHA:							
2023-01-04		2023-01-04		2023-01-04							
CÓDIGO DEL REGISTRO:		179257428001		N/A							

Anexo 14. Probeta tipo tanque de almacenamiento a escala 1:25



Anexo 15. Aplicación de Líquidos Penetrantes en la probeta tipo tanque



Anexo 16. Aplicación de líquidos Penetrantes en las probetas tipo Junta.



Anexo 17. Inspección de la probeta tipo tanque usando Ultrasonido con arreglo de fases



Anexo 18. Inspección de la probeta tipo tanque usando Ultrasonido con arreglo de fases



Anexo 19. Medición de la longitud de los defectos encontrados en las probetas.



Anexo 20. Fuentes Luminosas

FUENTE LUMINOSA		ILUMINACIÓN (lux)	ANGULO DE INCIDENCIA	DISTANCIA MÁXIMA (mm)			
Watts	Volts			Bulbo lechoso	Bulbo claro		
40 W	127 V	300	90	340	390		
		350		320	360		
		500		270	300		
		540		250	270		
		300	30	220	230		
		350		200	210		
		500		150	160		
		540		140	140		
		300		370	460		
		350		340	410		
40 W	220 V	500	90°	270	320		
		540		250	300		
		300	30°	230	270		
		350		210	260		
		500		160	200		
		540		150	180		
		300		550	440		
		350		510	380		
		60 W	127 V	500	90°	410	340
				540		400	320
300	30°			340	310		
350				310	260		
500				250	230		
540				220	220		
300				600			
350				600			
LINTERNA DE 3 PILAS GRANDES				500	90°	600	
				540		520	
		300	30°	600			
		350		470			
		500		400			
540	300						

Fuente: Procedimiento Inspección Visual, Juan Francisco Gangotena, 2016.