

Universidad Nacional
“José Faustino Sánchez Carrión”

FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y METALÚRGICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA METALÚRGICA



TESIS

Para Optar el Título de:
INGENIERO METALURGICO

EVALUACIÓN DE UNIONES SOLDADAS MEDIANTE
ULTRASONIDO EN TUBERÍAS FORZADAS PARA LA CENTRAL
HIDROELÉCTRICA CARHUAC SEGÚN EL CÓDIGO ASME
SECCIÓN V ARTÍCULO 4 – 2018

Autor

ALEJANDRO SOLORZANO FLORES

Asesor

Dr. JOSÉ VICENTE NUNJA GARCIA

CIP. 51874

Huacho - Perú

2018

DEDICATORIA

A mi madre Gladys Flores que es la luz de mi vida y a mi padre Alejandro Solorzano que gracias a sus consejos y apoyo supe conducir mi vida, a ustedes que me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, principios, carácter, mi empeño, perseverancia y coraje para conseguir mis objetivos.

A todos aquellos que suman a lo largo de mi vida.

Alejandro Solorzano Flores



AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida y guiarme por el mejor camino.

A mi familia por estar a mi lado brindándome su apoyo en todo momento y etapas de mi vida.

A mis amigos, por brindarme su compañía en los buenos como en los malos momentos.

Alejandro Solorzano Flores

INDICE GENERAL

Portada.	1
Agradecimiento.	2
Dedicatoria.	3
Índice general.	4
Índice de figuras.	8
Índice de tablas.	9
Índice de anexos.	10
Resumen.	11
Introducción.	12
CAPITULO I: Planteamiento del Problema.	
1.1. Descripción de la Realidad Problemática.	13
1.2. Formulación del Problema.	14
1.2.1. Problema general.	14
1.2.2. Problemas específicos.	14
1.3. Objetivos de la Investigación.	15
1.3.1. Objetivo general.	15
1.3.2. Objetivos específicos.	15
1.4. Justificación de la Investigación.	16
1.4.1. Justificación Técnica.	16
1.4.2. Justificación Económica.	16
1.4.3. Justificación Social.	16
1.5. Delimitación del Estudio.	17
1.5.1. Delimitación Temporal.	17
1.5.2. Delimitación Espacial.	17
1.5.3. Delimitación Académica.	17
1.6. Viabilidad del Estudio.	18
1.6.1. Viabilidad de recurso teorico.	18
1.6.2. Viabilidad de recurso humano.	18
1.6.3. Viabilidad de recurso temporal.	19

1.6.4. Viabilidad de recurso financiero	19
CAPITULO II: Marco Teórico.	
2.1. Antecedentes de la investigación.	20
2.1.1. Investigación relacionada con el estudio.	20
2.1.2. Otras publicaciones.	22
2.2. Bases Teóricas.	24
2.2.1. Tuberías forzadas.	24
2.2.1.1. Materiales empleados en las tuberías forzadas.	24
2.2.1.1.1. Aceros al carbono.	25
2.2.1.1.2. Policloruro de vinilo (PVC).	25
2.2.1.1.3. Hierro dúctil centrifugado.	26
2.2.1.2. Acero ASTM A517 Gr. B.	27
2.2.1.2.1. Composición química.	28
2.2.1.2.2. Propiedades mecánicas.	28
2.2.2. Soldadura de tuberías.	29
2.2.2.1. Procesos de soldadura usados en la unión de tuberías.	29
2.2.2.2. Geometría de la junta.	30
2.2.2.2.1. Geometría de borde recto.	31
2.2.2.2.2. Geometría de borde en V.	32
2.2.2.2.3. Geometría de borde en X.	32
2.2.2.2.4. Geometría de borde en U.	32
2.2.3. Ensayo por Ultrasonido.	32
2.2.3.1. Técnicas de ensayo por ultrasonido.	32
2.2.3.1.1. Técnica de pulso – eco.	33
2.2.3.1.2. Técnica de transmisión.	34
2.2.3.1.3. Técnica de resonancia.	35
2.2.3.2. Detección de defectos por ultrasonido.	35
2.2.3.3. Inspección de soldaduras por ultrasonido.	36
2.2.3.4. Equipo y componente de ultrasonido.	38
2.2.3.4.1. Transductor.	40
2.2.3.4.2. Tipos de transductores.	42

2.2.3.4.3. Partes del transductor.	45
2.2.3.4.4. Acoplantes.	46
2.2.4. Código ASME.	47
2.2.4.1. Sección V – Ensayo No Destructivo.	49
2.2.4.1.1. Artículo 4 - Métodos de Examen Ultrasónico para Soldaduras.	49
2.3. Definiciones conceptuales.	50
2.4. Formulación de hipótesis.	52
2.4.1. Hipótesis general.	52
2.4.2. Hipótesis específicas.	52
CAPITULO III: Metodología.	
3.1. Diseño metodológico.	54
3.1.1. Tipo de investigación.	54
3.1.1.1. Investigación Exploratoria.	54
3.1.1.2. Investigación Descriptiva.	55
3.2. Población y muestra.	55
3.2.1. Población.	55
3.2.2. Muestra.	56
3.3. Operacionalización de variables e indicadores.	56
3.4. Técnica e instrumentos de recolección de datos.	57
3.4.1. Técnicas a emplear.	58
3.4.2. Descripción de los instrumentos.	58
3.5. Técnicas para el procesamiento de la información.	59
CAPITULO IV: Resultados.	
4.1. Inspección por Ultrasonido y Evaluación de Uniones.	60
4.1.1. Datos generales de la evaluación.	60
4.1.1.1. Parámetros de evaluación.	61
4.1.1.2. Criterios de aceptación y rechazo.	62
4.1.2. Evaluación de uniones soldadas.	63



CAPITULO V: Discusión, Conclusiones y Recomendaciones.	
5.1. Discusión.	80
5.2. Conclusiones.	81
5.3. Recomendaciones.	82
CAPITULO VI: Fuentes de Información.	
6.1. Fuentes Bibliográficas.	83
Anexos.	86



INDICE DE FIGURAS

Figura 1:	Tubería forzada o de presión.	24
Figura 2:	Tubería forzada de acero al carbono.	25
Figura 3:	Tubería forzada de PVC.	26
Figura 4:	Tubería de hierro dúctil.	27
Figura 5:	Esquema de los parámetros para la preparación de bordes.	31
Figura 6:	Ensayo por ultrasonido.	33
Figura 7:	Inspección por medio de la técnica de pulso-eco.	34
Figura 8:	Técnica de transmisión.	34
Figura 9:	Detección de defecto por ultrasonido.	36
Figura 10:	Equipo de ultrasonido pulso-eco.	39
Figura 11:	Zonas que presenta el haz de ultrasonido.	40
Figura 12:	Transductor de haz angular.	42
Figura 13:	Transductor de contacto.	43
Figura 14:	Transductor de inmersión.	44
Figura 15:	Equipo de ultrasonido Phasor XS 16/16.	59
Figura 16:	Diagrama de inspección.	62

INDICE DE TABLAS

Tabla	1: Grado del material ASTM A517.	28
Tabla	2: Propiedades mecánicas del acero ASTM A517.	28
Tabla	3: Materiales piezoeléctricos y sus propiedades.	45
Tabla	4: Variables e Indicadores.	56
Tabla	5: Parámetros de evaluación usados.	60
Tabla	6: Descripción del elemento a inspeccionar.	62
Tabla	7: Resultado evaluación registro UT-CHC-112-17.	63
Tabla	8: Resultado evaluación registro UT-CHC-113-17.	64
Tabla	9: Resultado evaluación registro UT-CHC-114-17.	65
Tabla	10: Resultado evaluación registro UT-CHC-115-17.	66
Tabla	11: Resultado evaluación registro UT-CHC-116-17.	67
Tabla	12: Resultado evaluación registro UT-CHC-117-17.	68
Tabla	13: Resultado evaluación registro UT-CHC-118-17.	69
Tabla	14: Resultado evaluación registro UT-CHC-119-17.	70
Tabla	15: Resultado evaluación registro UT-CHC-120-17.	71
Tabla	16: Resultado evaluación registro UT-CHC-121-17.	72
Tabla	17: Resultado evaluación registro UT-CHC-122-17.	73
Tabla	18: Resultado evaluación registro UT-CHC-123-17.	74
Tabla	19: Resultado evaluación registro UT-CHC-124-17.	75
Tabla	20: Resultado evaluación registro UT-CHC-125-17.	76
Tabla	21: Resultado evaluación registro UT-CHC-126-17.	77
Tabla	22: Resultado evaluación registro UT-CHC-127-17.	78

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1:	Composición química del acero ASTM A517.	87
Anexo 2:	Tipos básicos de juntas y las soldaduras aplicables.	88
Anexo 3:	Geometría de borde de los componentes.	89
Anexo 4:	Extracto Código ASME Sección VIII Div.1 – Apéndice 12.	90
Anexo 5:	ASME Sección V Artículo 4.	91



RESUMEN

El presente trabajo de investigación presenta los parámetros que se deben de tener en cuenta durante las evaluaciones por ultrasonido de las uniones soldadas en las tuberías forzadas de la Central Hidroeléctrica de CARHUAC.

Se determina el problema general como la posible presencia de discontinuidades en las uniones producidas durante el proceso de soldadura en la etapa de fabricación de las tuberías, poniendo en riesgo la sanidad e integridad del sistema.

Los procedimientos aplicados durante la evaluación por ultrasonido de las juntas soldadas están regidos bajo el Código ASME Sección V Artículo 4, y los criterios de aceptación y rechazo bajo lo estipulado en el Código ASME Sección VIII Div.1.

Los resultados obtenidos nos permiten determinar el tipo de técnica para una evaluación eficiente en la detección de discontinuidades, y por ende la calidad de la unión soldada.

Como parte final se plasma las conclusiones y recomendaciones obtenidas en el desarrollo del proyecto de investigación con el propósito de determinar una metodología optima en las evaluaciones futuras mediante esta técnica y aplicación del código ASME.

Palabras clave: evaluación de uniones soldadas, ultrasonido, tuberías forzadas, ASME sección V artículo 4.

INTRODUCCION

Las tuberías forzadas utilizadas para la conducción de agua en las centrales hidroeléctricas, están expuestas a condiciones ambientales y operacionales que pueden llegar a ocasionarles daños en su estructura, y por ende llegan a perder las propiedades mecánicas que se requieren para el trabajo que están destinado, las partes mas vulnerables y propensas a sufrir deterioro son las uniones soldadas, las cuales pueden contener discontinuidades que lleguen a poner en riesgo la integridad de la tubería.

La evaluación de las juntas soldadas mediante ultrasonido nos permite detectar discontinuidades antes que puedan pasar a ser defectos con el tiempo y durante la entrada de servicio de la tubería y poner en riesgo todo el sistema.

La aplicación del código ASME Sección V Artículo 4, en la evaluación de las uniones soldadas garantiza la buena selección y desarrollo de los procedimientos para la aplicación de la técnica de ultrasonido en la inspección de las tuberías forzadas.

Con el desarrollo de presente trabajo de investigación se busca evaluar la aplicabilidad del ensayo por ultrasonido por eco-pulso con el propósito de determinar las posibles discontinuidades presentes en las uniones soldadas generadas por distintos factores durante su proceso de fabricación, como son los malos parámetros de soldeo, factor humano, factor ambiental, etc.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

La Central Hidroeléctrica de CARHUAC se encuentra ubicada en el distrito de Huanza, en la provincia de Huarochiri, departamento de Lima, y tendrá una capacidad de 20 MW, su fase de operación está prevista para el mes de noviembre del 2018 a cargo de la empresa Andean Power S.A. La Concesionaria ha iniciado todos los frentes de trabajo, tanto en las obras de Superficie y Subterráneas como la de fabricación de equipos y diseño el avance global de la construcción de Central Hidroeléctrica CARHUAC es del 80%.

Durante la etapa de fabricación de equipos y sistemas de ductos se realizan uniones mediante procesos de soldadura, siendo parte importante la unión de tuberías de aceros forzadas prevista para el transporte de agua hacia las turbinas generadoras de energía; estas deben de presentar propiedades específicas acorde al trabajo que son sometidos. Las uniones realizadas a las tuberías presentan cambios microestructurales producidas por los ciclos térmicos que se generan por el calor aportado por los procesos de soldadura, a la vez también presentan discontinuidades superficiales y volumétricas generadas por distintos factores que se presentan durante el proceso de unión de las tuberías, pudiendo afectar esto la calidad e integridad del elemento soldada.

El ensayo por ultrasonido aplicado a las uniones soldadas nos determinara la presencia de discontinuidades y las condiciones de las mismas, pudiendo estas ser evaluadas bajo las exigencias del Código ASME Sección V Artículo 4 y sus normas de referencias, y poder determinar su calidad antes de la puesta en servicio.

Los resultados obtenidos en el laboratorio nos permiten determinar cuál será su eficiencia de recuperación y así realizar los ajustes y mejoras correspondientes respecto al trabajo realizado en planta y la optimización de la misma.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general.

¿En qué medida las Evaluaciones de Uniones Soldadas mediante Ultrasonido en Tuberías Forzadas para la Central Hidroeléctrica CARHUAC determina el cumplimiento de los requerimientos de Calidad del Código ASME Sección V Artículo 4?

1.2.2. Problemas específicos.

- ¿En qué medida la determinación del tipo de técnica óptima para la evaluación por ultrasonidos en la detección de discontinuidades en las uniones soldadas?
- ¿En qué medida la detección de discontinuidades mediante la aplicación de ultrasonido determina la calidad de las juntas soldadas?

- ¿En qué medida la evaluación de los tipos de discontinuidades detectadas en las juntas soldadas cumple con los requisitos exigidos en el Código ASME Sección V Artículo 4?

1.3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Objetivo general.

Evaluar las Uniones Soldadas mediante Ultrasonido en Tuberías Forzadas para la Central Hidroeléctrica CARHUAC determinando el cumplimiento de los requerimientos de Calidad del Código ASME Sección V Artículo 4.

1.3.2. Objetivos específicos.

- Determinación del tipo de técnica óptima para la evaluación por ultrasonido en la detección de discontinuidades en las uniones soldadas.
- Detectar las discontinuidades mediante la aplicación de ultrasonido para determinar la calidad de la junta soldada.
- Evaluar los tipos de discontinuidades detectadas en las juntas soldadas de acuerdo a los requisitos exigidos en el Código ASME Sección V Artículo 4.

1.4. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Justificación técnica.

En la actualidad y dentro de los proyectos inmersos en la construcción de plantas y centrales hidroeléctricas, se exige la evaluación de las uniones soldadas realizadas, con la finalidad de determinar la calidad y el cumplimiento de los criterios de aceptación de los códigos aplicados al trabajo realizado.

1.4.2. Justificación económica.

La evaluación mediante ultrasonido de las uniones soldadas en las tuberías forzadas del proyecto CARHUAC, permitirá determinar la condición y calidad de las juntas soldadas, pudiendo prevenir accidentes futuros durante su entrada de servicio de la Central Hidroeléctrica evitando así pérdidas económicas.

1.4.3. Justificación social.

La evaluación mediante ensayo por ultrasonido nos va a permitir asegurar que las uniones soldadas del sistema de tuberías forzadas no presentan defectos y que durante su entrada en servicio de la central hidroeléctrica, permitirá garantizar su buen funcionamiento en beneficio de las comunidades que van a depender de ella, a la vez minimiza el impacto ambiental en el sector de CARHUAC lugar donde se encuentra el proyecto.

1.5. DELIMITACIÓN DEL ESTUDIO

1.5.1. Delimitación temporal.

Los datos que serán considerados para la realización del presente trabajo de investigación propuesto, están enmarcados dentro del periodo 2018, considerando únicamente las uniones soldadas de las tuberías forzadas, estos serán obtenidos a través de las evaluaciones y el análisis de las indicaciones detectadas por la técnica de Ultrasonido en base a los criterios de aceptación y rechazo del código aplicable en el proyecto.

1.5.2. Delimitación espacial.

El trabajo de investigación se encuentra dentro del Proyecto de la Central Hidroeléctrica de CARHUAC ubicada en distrito de Huanza, provincia de Huarochirí, departamento de Lima, sin embargo, para la toma de información será necesario ampliar el espectro a los talleres de las empresas encargadas de fabricar parte de las estructuras del proyecto, ubicadas en la ciudad de Lima

1.5.3. Delimitación académica.

El trabajo de investigación planteado cumple con lo exigido por la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión en referencia al grado de investigación y el esquema de presentación para el trabajo de tesis, para eso se sustenta bibliografías, textos, informes, reportes y estudios que proporcionan

conceptos y teorías sobre la evaluación de uniones soldadas en tuberías, adicionalmente esto se complementa con el desarrollo de aspectos técnicos entorno a materias como parámetros de procesos de soldaduras, calificación de personal, etc.

1.6. VIABILIDAD DEL ESTUDIO

1.6.1. Viabilidad de recurso teórico.

El tema de investigación *“EVALUACIÓN DE UNIONES SOLDADAS MEDIANTE ULTRASONIDO EN TUBERÍAS FORZADAS PARA LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA CARHUAC SEGÚN EL CÓDIGO ASME SECCIÓN V ARTÍCULO 4– 2018”*; cuenta con el suficiente acceso de información primaria tanto en libros, revistas, código, normas, internet, etc.

1.6.2. Viabilidad de recurso humano.

El estudio poblacional se realiza a los isométricos de las tuberías forzadas del proyecto Central Hidroeléctrica CARHUAC. Cada isométrica cuenta con un numero aproximado de 15 uniones soldadas. Con la ejecución de la muestra de investigación no se altera ni causara daño a las uniones soldadas, línea de tubería, accesorios, etc., mas bien tiene el objetico de conocer su integridad física de la unión.

El estudio cuenta con la viabilidad de recurso ya que será realizado por el tesista con apoyo de personal de las empresas prestadoras de servicio en Ensayos No Destructivo en el proyecto CARHUAC.

1.6.3. Viabilidad de recurso temporal.

El presente trabajo de investigación se realiza en un corto plazo de aproximadamente seis meses dentro del año 2018, por la ejecución de todos los procesos de investigación tales como: el planteamiento del problema, marco teórico, diseño de la investigación, tabulaciones y conclusiones.

Respecto a las evaluaciones de las uniones soldadas estas se realizan en tiempo breve de acuerdo a lo especificado en los ítems de los procedimientos de ejecución, de acuerdo con lo planteado el proyecto si cuenta con viabilidad respecto al recurso temporal.

1.6.4. Viabilidad de recurso financiero.

Si es viable, por medio de recursos monetarios propios del tesista de manera que el proyecto no requiere de un financiamiento mayor o ser auspiciado por alguna empresa o entidad.

CAPÍTULO II

MARCO TEORICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION.

2.1.1. Investigación relacionada con el estudio.

- a) Según Flores Mollinedo E. A. (2017), en el trabajo de investigación: ***Soldabilidad del Acero ASTM A-517 Gr. B para la aplicación en Tubería Forzada de la Central Hidroeléctrica Huanza - Lima***; concluye que el procedimiento de soldadura (WPS) para el acero ASTM A51 7 Gr. B, es obligatorio según la norma ASME IX, llegándose a elaborar según el material y la combinación de los procesos de soldadura GMAW Y SAW, ya que se aplicó en la fabricación de la tubería forzada de la central hidroeléctrica de Huanza - Lima, cumpliendo los estándares internacionales.

Los ensayos mecánicos de tracción, doblado guiado, dureza, impacto y análisis micrográfico, fueron aprobados aplicando las normas ASME IX, ASME VIII DIV.1 edición 2010, y las especificaciones que hizo el cliente. La calificación de los soldadores fue aprobada aplicando ASME IX edición 2010, en donde indica emplear dos tipos de ensayos: inspección visual y el ensayo de doblado. (Flores, 2017)

Se realizaron el deshidrogenado y el tratamiento térmico y se obtuvieron valores de dureza entre 224 HV y 332 HV, estando dentro del rango de las especificaciones del cliente. Para la estimación de los costos en soldadura se aplicó el método tradicional y el método del peso del metal depositado, siendo este último el adecuado para elaborar un presupuesto.

- b) Según Arce Rado J.C. (2016), en el trabajo de investigación: ***Control de Calidad de Soldaduras en Tuberías de Acero Al Carbono Para Refinerías Según ASME B31.3***; concluye que se implementó correctamente los procedimientos de ensayos no destructivos y homologación de soldadores para mejoramiento del control de calidad de soldaduras. Se implementó un plan de Calidad basado en la ISO 9001 para definir las responsabilidades del departamento de Control de Calidad. Los procedimientos y el plan de Calidad pueden servir de modelo para posteriores implementaciones.
- c) Según Carrasco Sánchez J. (2014), en el trabajo de investigación: ***Implementación y Monitoreo de un Sistema de Inspección No Destructiva de Soldadura en Tuberías y Estructuras en el Proyecto Las Bambas***; concluye que se ha podido implementar un sistema de inspección no destructiva de soldadura en la red de tuberías y estructuras en el proyecto Las Bambas con satisfacción, las cuales comprenden las técnicas de gammagrafía industrial, tintes penetrantes, ultrasonido y partículas magnéticas. Se establecieron los planes de calidad y procedimientos para la eficiente aplicación de los ensayos no destructivos en el proyecto Las Bambas. El sistema de inspección desarrollado, apoya al inspector en la

correcta ejecución de los ensayos no destructivos aplicables a soldadura, tomando en cuenta, regulaciones establecidas por normas, para así ofrecer de manera óptima un servicio de calidad.

En el monitoreo de soldaduras por ensayos no destructivos en el proyecto Las Bambas se atendieron 183 órdenes de trabajo, realizando en general 640 ensayos, del total 616 por gammagrafía industrial (96.25%), 13 por tintes penetrantes (2.03%), 10 por ultrasonido (1.56%) y 1 por partículas magnéticas (0.16%). Los resultados son 582 soldaduras aceptadas y 58 rechazadas. La mayor recurrencia de rechazos se evidenció por la técnica de gammagrafía industrial, 55 juntas soldadas de tuberías rechazadas, 2 soldaduras de estructuras rechazadas por la técnica de tintes penetrantes y 1 por partículas magnéticas. En el estudio se han encontrado 1040 indicaciones, 41.84% porosidades, 26.30% socavaciones, 13.46% inclusión de escorias, 10.29% penetración incompleta, 1.25% fusión incompleta, 0.48% otras indicaciones. Los resultados de las evaluaciones permitieron al constructor evaluar los puntos críticos, tomar decisiones y mejorar sus procesos a fin de asegurar la calidad de la soldadura de tuberías y estructuras en el proyecto Las Bambas.

2.1.2. Otras publicaciones.

- a) Según Aguilar Pérez L. A., Pérez Medina G. Y., Miranda Pérez A. F., Hernández Rodríguez A., & Praga Alejo R. (2016); en la publicación del artículo titulado: ***Estudio de las Discontinuidades Generadas por Aplicación de Soldadura GMAW Mediante el Uso de la Prueba Ultrasonido: Arreglo de Fases***; concluyen que se determina que el ensayo

seleccionado (líquidos penetrantes) es el adecuado para cubrir el total del área donde pudiesen presentarse posibles indicaciones en la inspección superficial y subsuperficial. La aplicación del ensayo no destructivo en la inspección volumétrica mediante el uso de arreglo de fases provee la tecnología necesaria para realizar un estudio (más completo y rápido) de las discontinuidades presentes en un componente al que se le aplica soldadura GMAW, y a su vez obtener mediciones de penetración más precisas en comparación con el método convencional (ultrasonido). En el caso de los parámetros empleados en esta experimentación aplicando alimentación del alambre en rangos entre 8.5 y 9.5 m/min y voltajes entre 29 y 31 V permiten cumplir con la penetración demandada por la industria del transporte de carga.

- b) Según Araque de los Ríos O. J. (2015), en la publicación del artículo titulado: ***Caracterización de discontinuidades típicas en soldadura, utilizando la técnica de Ultrasonido Pulso Eco-Scan A***; concluye que La inspección por ultrasonido requiere de un conocimiento previo en la técnica y de condiciones operacionales que pueden diferir en función del material o las condiciones ambientales en las cuales se localiza la pieza a evaluar. Se identificó diferentes tipos de defecto, y se han comparado los haces ultrasónicos obtenidos por el equipo de ultrasonido con los encontrados en la literatura especializada para este tipo de ensayos. El ensayo de Rayos X, permite comparar los resultados obtenidos con los del equipo de ultrasonido, esto permite afirmar que el ensayo de ultrasonido es una técnica confiable y aceptada para la detección de defectos internos en soldaduras.

2.2. BASES TEORICAS.

2.2.1. Tuberías forzadas.

Las tuberías forzadas o también conocidas como tuberías de presión son conducciones forzadas, como consecuencia de las altas presiones en la totalidad de su superficie, por encontrarse repletas de agua, y desplazarse ésta por la acción de la presión y no por la pendiente. La función de las tuberías es la conducción del agua directamente desde el punto de alimentación hasta las turbinas ubicadas en la central. Las tuberías forzadas pueden originarse en una toma de agua, en una galería, un pozo de presión o en un colector. (Briceño, Pereda , Sanchez, & Ulloa , 2015)



Figura 1. Tubería forzada o de presión.

2.2.1.1. Materiales empleados en las tuberías forzadas.

Los materiales más comunes usados en la construcción de tuberías forzadas son:

2.2.1.1.1. Aceros al carbono.

Es uno de los aceros más usados en la fabricación de tuberías forzadas. Estas tuberías pueden ser fabricadas con maquinarias común en la mayoría de talleres de regular tamaño que trabajan con aceros. Sus diámetros y espesores varían de acuerdo a la aplicación que se requiera. Tienen un factor de pérdida por fricción regular y si están cubiertas por una capa de pintura u otra capa de protección pueden durar hasta 20 años. Además, son resistentes a impactos y relativamente pesadas, pero en caso de ser necesario pueden ser fabricados en longitudes adecuadas para su transporte e instalación. Las tuberías de presión de acero que son enterradas corren el riesgo de corroerse.



Figura 2. Tubería forzada de acero al carbono.

2.2.1.1.2. Policloruro de vinilo (PVC).

La tubería de PVC es una de las más empleadas en las micro centrales eléctricas. Es relativamente económica, se producen en diámetros que van hasta

cerca de 400 mm. y es adecuada para presiones elevadas (100 a 150 m). Al variar el espesor de la pared de la tubería se obtienen diferentes niveles de presión. Es liviana y fácil de transportar e instalar. Tiene un factor de pérdidas por fricción bajo y es resistente a la corrosión. No obstante, es relativamente frágil y puede ser dañada por golpes o impactos de rocas, en especial a bajas temperaturas. La principal desventaja radica en que el PVC se deteriora cuando se expone a la luz ultravioleta. Por ello, siempre debe estar protegida de la luz solar directa.



Figura 3. Tubería forzada de PVC.

2.2.1.1.3. Hierro dúctil centrifugado.

El hierro dúctil ha reemplazado en gran medida al hierro fundido, aunque este último todavía se utiliza en sistemas antiguos. En ocasiones, las tuberías de hierro dúctil están revestidas en su interior con cemento, lo que les da una protección contra la corrosión y de una baja pérdida por fricción, es un material pesado, de allí que sea difícil de instalar y sea más costoso.



Figura 4. Tubería de hierro dúctil.

2.2.1.2. Acero ASTM A517 Gr. B.

Los aceros ASTM A517 son utilizados para la construcción de las tuberías forzadas para hidroeléctricas por cumplir con las características mecánicas requeridas.

Esta especificación se refiere a chapas de acero de aleación templada y de alta resistencia destinadas a ser utilizadas en calderas de soldadura por fusión y otros recipientes a presión. Esta especificación incluye una serie de calidades fabricadas por diferentes productores, pero todas tienen las mismas propiedades mecánicas y características generales. El grosor máximo de las placas suministradas con arreglo a la presente especificación será el siguiente: (Flores, 2017, pág. 33)

Tabla 1
Grado del material ASTM A517

Grado	Espesor (mm)
A, B, C, J	32
H, K, M, S, T	50
P	100
F	65
E, Q	150

2.2.1.2.1. Composición química.

El acero se ajusta de acuerdo a los requisitos químicos requeridos por la norma ASTM A 517, en la tabla que se indica en el anexo 2.

2.2.1.2.2. Propiedades mecánicas.

Tabla 2
Propiedades mecánicas del acero ASTM A517

	< 65 mm	> 65 mm
Resistencia a la tracción Ksi (MPa)	115-135 (795-930)	105-135 (725-930)
Límite de elasticidad Ksi (MPa)	100 (690)	90 (620)
Alargamiento en 50 mm, min %	16	14
Reducción de área, min %		
Materiales rectangulares	35	-----
Materiales redondos	45	45

2.2.2. Soldadura de tuberías.

Podemos definir las soldaduras de tuberías como los métodos empleados para lograr la unión de piezas individuales de tuberías con la finalidad de lograr una sección continua con la finalidad de que esta sección así lograda, cumpla las funciones contempladas en su diseño. Esta sección puede contener solo tuberías, accesorios y tuberías, e inclusive equipos. (Carrasco, 2014, pág. 74)

2.2.2.1. Procesos de soldadura usados en la unión de tuberías.

Todos los procesos de soldadura se pueden aplicar para la unión de tuberías metálicas. Pero algunas características particulares a cada proceso, pueden limitar su uso a ciertas áreas controladas. Dentro de estas particularidades se pueden mencionar el tamaño y peso; la necesidad de ambientes controlados; la sensibilidad y complejidad de sus componentes; su maniobrabilidad, entre otras características. Más aun, las condiciones de trabajo impuestas durante el montaje de tuberías, en las diversas aplicaciones industriales que tienen estas, exigen que los procesos de soldadura a ser utilizados sean livianos, versátiles, maniobrables y que trabajen con una variedad de fuentes de energía o sean inclusive auto-energizados. Es debido a estas particularidades que para la soldadura de montaje de tuberías se prefiera utilizar los siguientes procesos, sea este manual, mecanizada o automatizada: (Carrasco, 2014, pág. 14)

- Soldadura con electrodos revestidos (SMAW).
- Soldadura con electrodo de núcleo fundente (FCAW).

- Soldadura con electrodo protegido por gas (GMAW).
- Soldadura con electrodo de tungsteno (GTAW).

2.2.2.2. Geometría de la junta.

Los bordes son utilizados como fuentes de calor para fundir y unir piezas en metal, hierro líquido y sobrecalentado que se obtiene de la reacción química. Para ejecutar de una forma correcta una soldadura es necesario realizar previamente una preparación de los bordes de las piezas a unir. (Segura, 2014, pág. 19)

Segura (2014) dice que “los tipos de preparaciones de bordes será función de”:

- El espesor de las piezas a unir.
- Del procedimiento de soldadura a utilizar.
- Posición de soldeo.
- De la forma y dimensiones de las piezas a unir.
- De las cualidades que requiera la unión.

Hay cinco juntas básicas usadas en soldadura de metales: a tope, en L, en T, solapada y en borde. Como se ilustra en las siguientes figuras. Se aplican símbolos y tipos precisos de soldadura a estas juntas. Un número de diferentes tipos de soldadura puede ser aplicado a cada tipo de junta dependiendo del diseño de la junta, y estos son mostrados al lado de cada tipo de junta. El diseño de la junta

identifica, la forma, las dimensiones y la configuración de la junta. (Mobilia & Burroni) (Anexo 3)

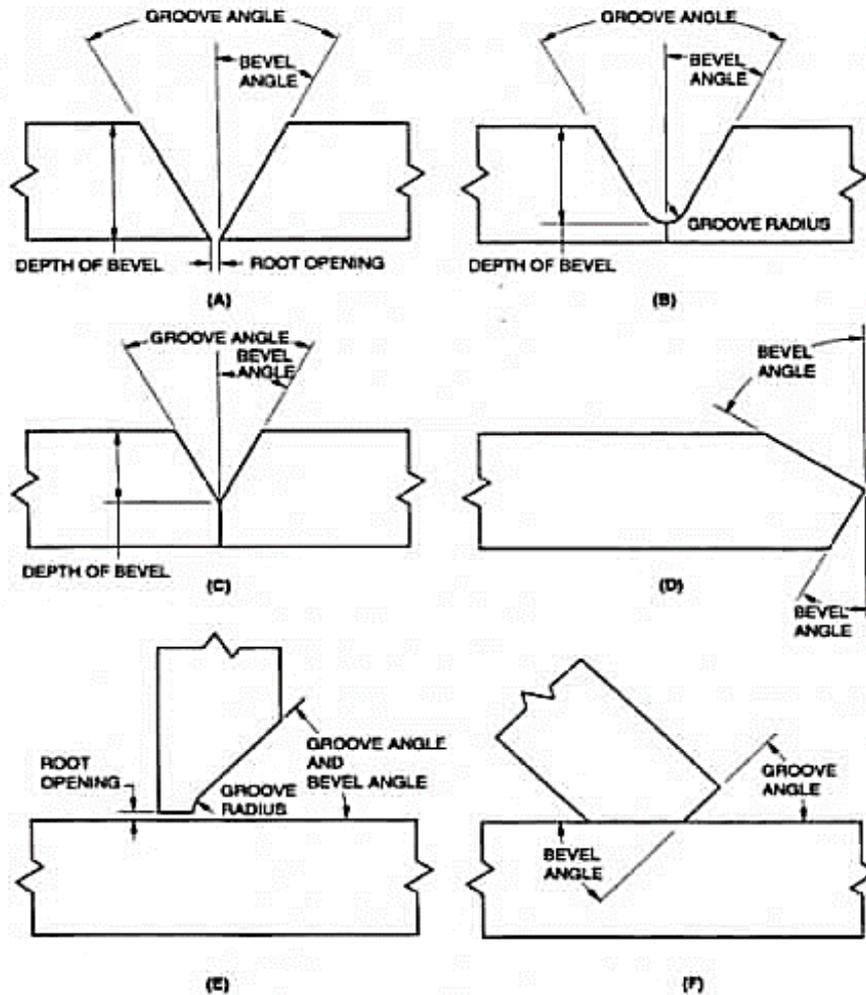


Figura 5. Esquema de los parámetros para la preparación de bordes.

2.2.2.2.1. Geometría de borde recto.

Para este tipo de unión no se realiza preparación alguna de los bordes. Solo es aplicable para piezas con espesores pequeños (< 5 mm). (Segura, 2014)(Anexo

4)

2.2.2.2.2. Geometría de borde en V.

Este tipo de preparación puede ser simétrico o no simétrico. Se emplea sobre todo en espesores entre 6 y 20 milímetros de las piezas a unir, y en soldaduras a una cara con placa de respaldo. (Segura, 2014)(Anexo 4)

2.2.2.2.3. Geometría de borde en X.

Este tipo de preparación puede ser simétrico o no simétrico. Se suele emplear para espesores mayores de 20 milímetros. Exige tener accesibilidad por ambas caras, con este tipo de preparación se economiza el material de aportación. (Segura, 2014)

2.2.2.2.4. Geometría de borde en U.

Aplicable solamente a uniones de piezas de gran espesor, donde este tipo de preparación además permite ahorrar material de aporte. No obstante, es un tipo de preparación difícil de ejecutar. (Segura, 2014)(Anexo 4)

2.2.3. Ensayo por Ultrasonido.

El método de inspección por ultrasonido se basa en la medición de la propagación del sonido en el material a analizar; su funcionamiento se basa en la impedancia acústica, que se manifiesta como el producto de la velocidad máxima del sonido y la densidad del material. (Jiménez & Bejarano, 2017, pág. 12)

Los equipos de ultrasonido que se utilizan actualmente permiten detectar discontinuidades superficiales, sub-superficiales e internas, dependiendo del tipo de palpador utilizado y de las frecuencias seleccionadas que están dentro de un rango que va desde 0.2 MHz hasta 25 MHz. (Jiménez & Bejarano, 2017, pág. 12)

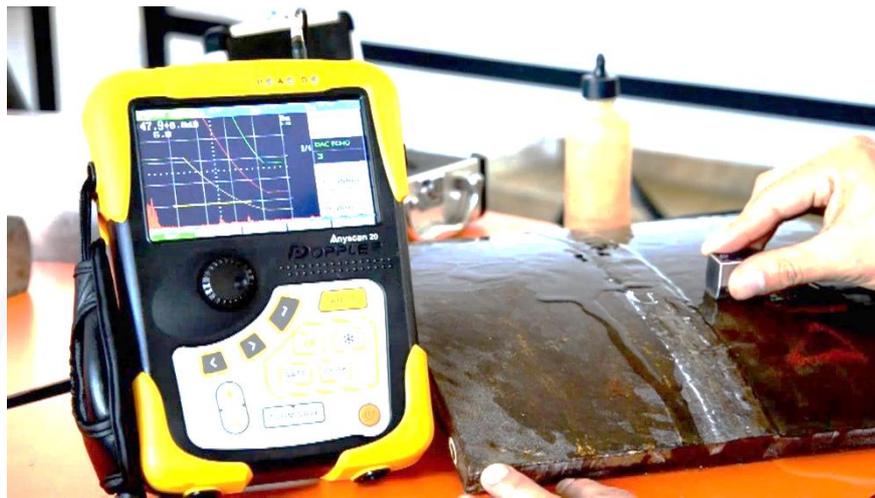


Figura 6. Ensayo por ultrasonido.

2.2.3.1. Técnicas de ensayo por ultrasonido.

Por lo general se aplican tres tipos de técnicas por ultrasonido:

2.2.3.1.1. Técnica de pulso – eco.

Esta técnica se basa en el principio de reflexión del haz ultrasónico incidente. La energía de excitación ultrasónica es aplicada al cristal en forma de pulsos cortos, repetidos con una frecuencia que permite al sistema detectar entre pulso y pulso la energía ultrasónica reflejada en cualquier interface existente en el interior de la

pieza metálica. La intensidad o altura del pico de la discontinuidad, así como su resolución será mayor cuanto más perpendicular sea el haz ultrasónico incidente con el plano mayor de la probable discontinuidad. Se utiliza un solo transductor que envía y recibe el pulso (transmisor y receptor), por lo que se requiere acceso a una sola superficie. Esta técnica también puede ser realizada por inmersión; esto es, pieza y palpador inmersos dentro del agua, por ejemplo. (Salazar, 2012, pág. 29)

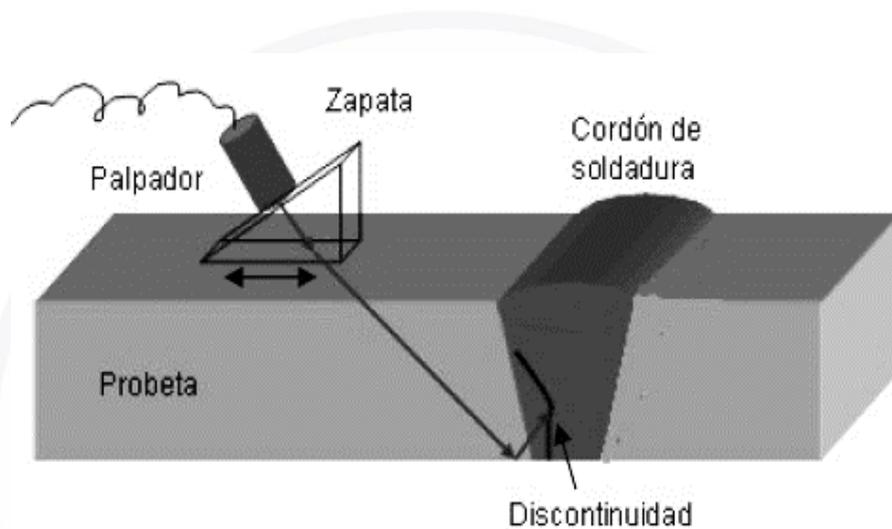


Figura 7. Inspección por medio de la técnica de pulso-eco.

2.2.3.1.2. Técnica de transmisión.

En esta técnica se utiliza un transductor transmisor y un transductor receptor, solo que en este caso se encuentran localizados en superficies opuestas. En este modo de inspección el pulso viaja a través de la pieza inspeccionada y es recibido en la superficie opuesta al transmisor. La alineación entre los transductores es crítica. La presencia de una discontinuidad es revelada por una disminución de la energía ultrasónica que llega al receptor. (Salazar, 2012, pág. 29)

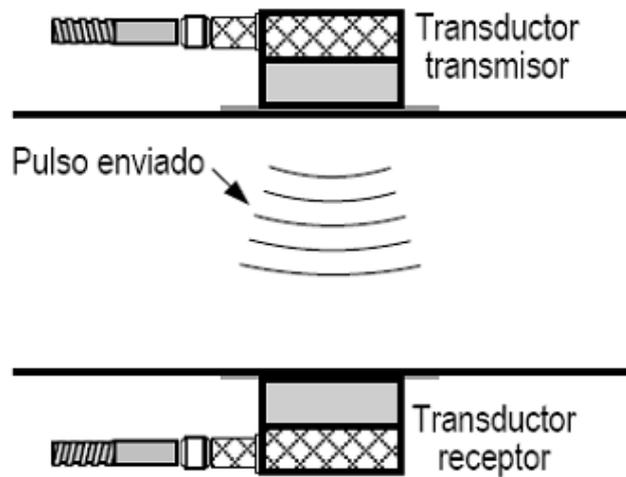


Figura 8. Técnica de transmisión.

2.2.3.1.3. Técnica de resonancia.

Esta técnica utiliza haz continuo de ondas longitudinales transmitido en materiales planos desde una de las caras. La frecuencia es variada en forma manual o automática hasta que una onda es reflejada dos veces y deja la primera cara o superficie del material en fase con otra onda que ingresa.

Entonces se instalan así ondas estacionarias en la pieza plana obligándolos a resonar o vibrar con mayor amplitud. Si el espesor de la pieza es de media longitud de onda entonces la placa entra en resonancia. La resonancia es indicada por su efecto de carga sobre el transductor ultrasónico acoplado al material.

2.2.3.2. Detección de defectos por ultrasonido.

El ensayo no destructivo por ultrasonido es utilizado para detectar fallas y discontinuidades en un material, este ensayo consiste en introducir un conjunto de ondas de alta frecuencia a dicho material, estas ondas se propagan a través del

material y cuando estas se encuentran con un medio de propagación distinto una parte de estas es reflejada; el grado de reflexión depende en gran parte del estado físico de los materiales que forman la interface, es decir que si el haz ultrasónico pasa de un medio solido a uno gaseoso la reflexión de este será prácticamente total facilitando la detección de grietas, laminaciones, poros, socavados y otras discontinuidades; en el caso de que la onda pase de un medio solido a otro en el mismo estado la reflexión de esta será parcial generando una respuesta de menor energía pero de igual manera detectable. (Jiménez & Bejarano, 2017, pág. 20)

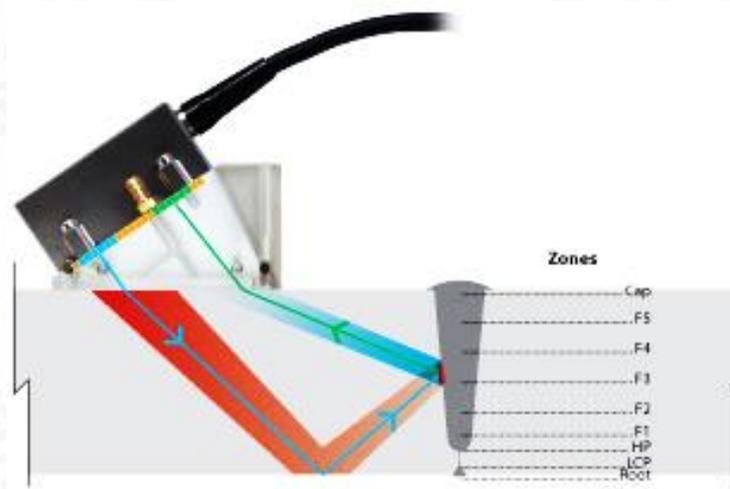


Figura 9. Detección de defecto por ultrasonido.

2.2.3.3. Inspección de soldaduras por ultrasonido.

Durante la inspección de uniones soldadas se debe de considerar ciertos factores que pueden ayudar a realizar una evaluación más certera:

- **Material a inspeccionar.** Conocer el tipo de material puede ayudar a saber si, en las zonas adyacentes al cordón, va a encontrarse estructura de grano grueso o fino, lo que podría determinar la frecuencia a emplear.
- **Espesor de placa.** Saber cuál es el espesor de la placa es siempre muy importante, pues, aparte de ayudar en la elección del ángulo del transductor a emplear, sirve para conocer las distancias de salto y de medio salto entre las cuales ha de desplazar el transductor durante la ejecución de la inspección.
- **Preparación de las uniones del cordón.** Conocer la preparación de la unión ayuda de forma muy considerable a la hora de interpretar las discontinuidades. Así, por ejemplo, si el cordón lleva preparación en “X” y la posible falta de penetración que pudiera tener este cordón, se encuentra en el centro del mismo, es decir, entre las pasadas de la raíz de uno y otro lado.
- **Procedimiento de soldadura utilizado.** El conocimiento de que procedimiento de soldadura se ha empleado es de gran importancia para determinar cuáles son las discontinuidades que, con mayor seguridad, se pueden encontrar. Así, el cordón se ha soldado con el procedimiento CO₂, se sabe de antemano que no va a encontrar inclusiones de escoria, pues el electrodo va protegido con gas y debe, en cambio, tener en cuenta que en este tipo de soldadura las discontinuidades más frecuentes son porosidad y faltas de fusión entre otras.

- ***Si la soldadura ha sufrido algún tratamiento térmico o no.*** A veces, en ciertos tipos de cordones, es necesario realizar tratamientos térmicos posteriores a la soldadura. Estos tratamientos pueden originar cambios en la estructura de grano del cordón, lo cual puede influir sobre la elección de la frecuencia del transductor.
- ***Existencia de respaldo de soporte en la raíz del cordón.*** Por último, en la raíz de algunos cordones, se sujeta con soportes de respaldo (por ejemplo, en ciertas uniones de tubos). El operario debe esperar, casi con seguridad, ecos debidos a reflexiones en los mencionados respaldos, lo que ha de tener en cuenta a la hora de dilucidar si un eco procedente de la raíz, es de una discontinuidad real, o bien de dichos respaldos.

2.2.3.4. Equipo y componente de ultrasonido.

Existen diversos equipos de generación de ultrasonido, la elección del uso de alguno de estos depende de las características del material y de las propiedades a medir al igual que el rendimiento que se desea obtener durante la medición. Para la generación de ultrasonido se requiere de unos elementos básicos que hagan posible los procesos mecánicos, así que el equipo completo se compone de: (Jiménez & Bejarano, 2017, pág. 20)

- Un generador electrónico de señales que produce pulsos eléctricos de corta duración.

- Un palpador (transductor) que emite el haz de ondas ultrasónicas cuando recibe los pulsos eléctricos y convierte las ondas de ultrasonido de la pieza de prueba a pulsos eléctricos.
- Un acoplante que transfiere las ondas del haz ultrasónico a la pieza de prueba y elimina el oxígeno que se encuentre entre el palpador y la probeta.
- Un dispositivo electrónico para amplificar y si es necesario, desmodular o de otra manera modificar las señales del transductor.
- Un dispositivo de despliegue para indicar las características o marcas de salida de la pieza de prueba, el dispositivo puede ser un tubo de rayos catódicos (TRC), pantalla electroluminiscente o de cuarzo líquido.
- Un reloj electrónico o contador para controlar la operación de los componentes del sistema, para servir como punto de referencia primario, y para proporcionar coordinación del sistema completo.

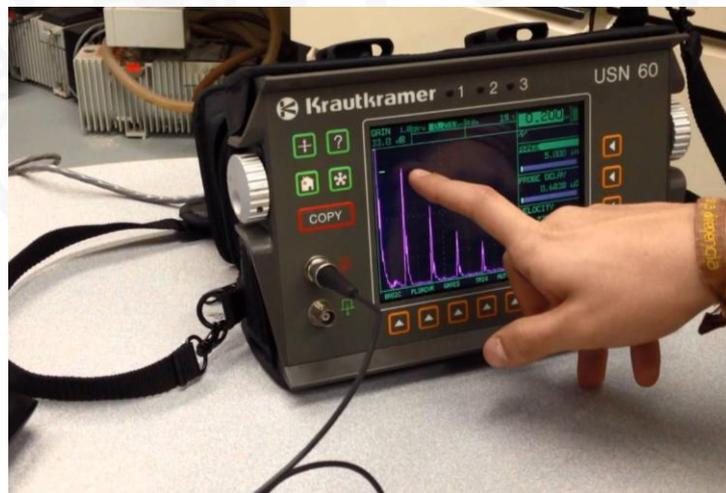


Figura 10. Equipo de ultrasonido pulso-eco.

2.2.3.4.1. Transductor.

Es la parte más importante del instrumento de ultrasonido, en este se da la transformación de energía eléctrica a mecánica y viceversa, existen diferentes tipos de transductores los cuales según su construcción obtendrán un comportamiento diferente. La elección de uno u otro depende de la frecuencia y ancho de banda utilizados, así como de la estructura a analizar. El haz ultrasónico generado por un transductor en forma de disco, es similar a un haz de luz, el cual es propagado en forma de cono. Generalmente este haz se considera constante en toda su longitud, pero al medir las intensidades a lo largo de éste podemos distinguir tres zonas. (Jiménez & Bejarano, 2017, pág. 22)

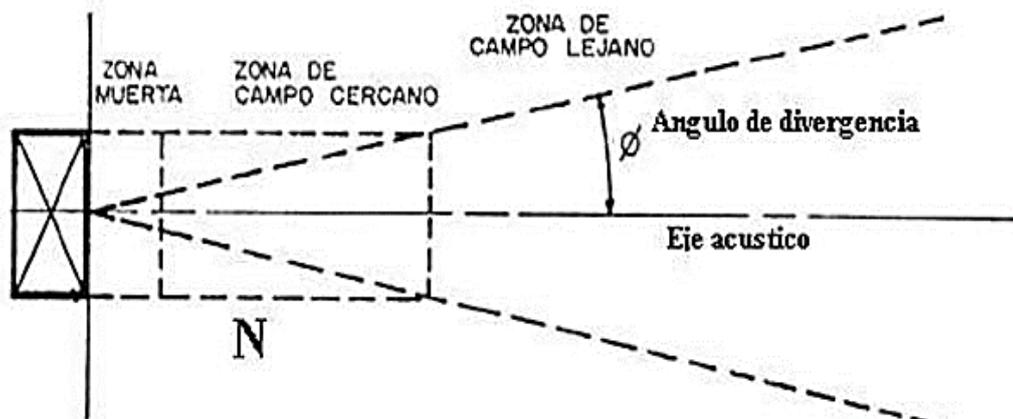


Figura 11. Zonas que presenta el haz de ultrasonido.

- **Zona muerta.** En esta zona se hace muy difícil encontrar discontinuidades o defectos en el material, esto se debe a las interferencias producidas por las vibraciones del cristal ya que las ondas de ultrasonido se generan desde numerosos puntos en el plano del elemento piezoeléctrico. Debido a la zona

muerta se produce el primer pico en el escáner de la probeta, con el fin de eliminar esta zona se utilizan elementos separadores en los transductores que aleja la fuente de ultrasonido de la superficie de la pieza eliminando dicha zona. (Jiménez & Bejarano, 2017, pág. 22)

- **Zona de campo cercano.** También conocida como zona de Fresnal, en esta zona están las variaciones que presenta el haz ultrasónico debido a los máximos y mínimos que se dan por la presión acústica. Se detectan indicaciones múltiples y con grandes variaciones es por ello que el efecto producido por un haz ultrasónico en esta zona es ignorado o desconocido. Es una zona de fluctuaciones de la intensidad producidas por efectos de los bordes del cristal. Las ondas de presión se convierten en uniformes hacia el final del campo cercano, la distancia del campo cercano está relacionada con el diámetro del transductor y con la longitud de onda del haz ultrasónico. (Jiménez & Bejarano, 2017, pág. 22)
- **Zona de campo lejano.** también conocida como zona de Fraunhofer, en esta zona, la intensidad o presión acústica se estabiliza, teniendo mayor magnitud alrededor del eje imaginario del haz, y va disminuyendo hacia los límites del mismo. El ángulo de divergencia depende de varios factores como son el diámetro y frecuencia del palpador, así como de la velocidad acústica del medio transmisor. (Jiménez & Bejarano, 2017, pág. 22)

2.2.3.4.2. Tipos de transductores.

- **Transductor de haz angular.** Utilizan una interface en forma de cuña la cual genera un ángulo entre el haz emitido y la normal a la superficie analizada. Esto introduce ondas refractadas de corte en el material al mismo tiempo que dichas ondas son reflejadas en las paredes de la pieza mejorando la detección de imperfecciones. También son utilizados para generar ondas de superficie que permiten encontrar defectos superficiales o subsuperficiales. Pueden ser adquiridos con diferentes ángulos, fijos o en versiones ajustables, hay que prestar especial atención con los que poseen ángulos fijos debido a que el ángulo de refracción de la onda cambiará según el material utilizado. Pueden ser de dos tipos: como una unidad integral o desmontable (transductor de haz recto y zapata). (Jiménez & Bejarano, 2017, pág. 22)



Figura 12. Transductor de haz angular.

- **Transductor de contacto.** Los transductores de contacto son los transductores comunes de 0° y resultan idóneos para inspeccionar materiales

grandes de geometría sencilla, el transductor de contacto se sitúa verticalmente sobre la superficie para detectar fallas en el material sometido a la inspección, utilizando un medio de acople para que puedan ser transmitidas las ondas ultrasónicas. Este consta de un elemento de cristal sencillo alojado dentro de una carcasa, el mismo cristal transmite y recibe la energía sonora. Estos transductores generan un retardo de tiempo entre la generación de la onda de sonido y la llegada de la onda reflejada mejorando la lectura en las zonas cercanas a la superficie del material. Esto los hace especiales para el uso en medición de espesores con gran precisión y verificación de laminación en materiales compuestos. Los transductores se seleccionan por frecuencia y tamaño del cristal, la frecuencia del transductor adecuado se determina por el tipo de material y por la gama de espesores esperada. Las opciones de tamaño del cristal y de ángulo de la cuña se determinan por el acceso, la forma y el acabado de la superficie del objeto sometido a medición. (Jiménez & Bejarano, 2017, pág. 23)



Figura 13. Transductor de contacto.

- **Transductor de inmersión.** La transmisión del ultrasonido desde el transductor a la pieza que se encuentra en modo de prueba se realiza a través de una columna de líquido, es decir, sin que exista contacto directo, presión no rozamiento entre el transductor y la pieza. Se puede adquirir con un haz plano o un foco cilíndrico dependiendo de la utilidad o la ventaja que poseen los cabezales con focos que mejoran la sensibilidad y la resolución axial al concentrar la energía del sonido en una pequeña área. Estos transductores se utilizan especialmente cuando se requiere analizar probetas de gran volumen, examinar lotes de gran número de muestras o de formas complejas. Se permite emplear frecuencias más altas, cristales con espesores más finos que las utilizadas con palpadores de contacto directo. (Jiménez & Bejarano, 2017, pág. 23)



Figura 14. Transductor de inmersión.

- **Transductor normal de un solo cristal.** Este tipo de transductor contiene un solo cristal piezoeléctrico que realiza las funciones de emisor y receptor, sus características son similares a los transductores de contacto mencionados

anteriormente. También podemos encontrar transductores tipo dual o de doble cristal. (Jiménez & Bejarano, 2017, pág. 23)

2.2.3.4.3. Partes del transductor.

El transductor consta de varias partes que hacen posible la emisión y recepción de las ondas ultrasónicas. El transductor se compone de: (Jiménez & Bejarano, 2017, pág. 24)

- **Material piezoeléctrico.** Es el elemento activo, el cristal, este puede ser de diferentes tipos según el tipo de análisis que se vaya a realizar. Para obtener la mayor energía de salida posible se coloca una lámina de $\frac{1}{4}$ de la longitud de onda con una impedancia determinada entre la cara del cabezal y el cristal piezoeléctrico. Esta lámina genera que todas las ondas que salen del cabezal lo hagan en fase. Los cabezales de contacto incluyen una lámina que protege los elementos internos de ralladuras. (Jiménez & Bejarano, 2017, pág. 24)

Tabla 3
Materiales piezoeléctricos y sus propiedades

Material	Densidad Kg/m ³	Velocidad Acústica cm/seg	Impedancia Acústica Kg/seg.cm ²
Cuarzo	2650	57.60	152.64
Sulfato de litio	2060	47020	97.23
Titanato de bario	5070	44.00	223.08
Metaniobato de plomo	5800	28.00	162.40

- **Electrodos.** Conductor eléctrico a través del cual puede entrar o salir una corriente eléctrica en contacto con el material piezoeléctrico. (Jiménez & Bejarano, 2017, pág. 24)
- **Material de apoyo de amortiguación.** Este material tiene gran influencia en el amortiguamiento del transductor, debe tener una impedancia similar a la del material piezoeléctrico para producir un amortiguamiento lo más eficiente posible, por lo que el cabezal tendrá un ancho de banda de trabajo más amplio y una mejor sensibilidad. Cuando la diferencia de impedancia entre ambos materiales aumenta, la penetración aumenta, pero la sensibilidad disminuye. Los cabezales están contruidos para soportar cierto maltrato, pero se recomienda manipularlos con cuidado ya que un mal uso como golpes pueden quebrar la lámina de protección o el material de apoyo, y ante cualquier daño de estos dos últimos elementos se puede presentar una lectura errónea en el análisis de ultrasonido. (Jiménez & Bejarano, 2017, pág. 24)

2.2.3.4.4. Acoplantes.

Cuando la inspección es por contacto directo se requiere del uso de acoplantes especiales necesarios para transmitir las ondas ultrasónicas desde el transductor a las superficies del material en estudio, además de eliminar el oxígeno entre la pieza y el transductor. Todos los acoplantes deben cumplir una serie de requisitos, como son: (Jiménez & Bejarano, 2017, pág. 24)

- Proporcionar un acoplamiento acústico positivo para una prueba confiable.

- Lubricar la superficie de la pieza y la cara del transductor, excluyendo el aire entre ellas.
- Que pueda ser fácilmente aplicado.

2.2.4. Código ASME.

ASME es el acrónimo de American Society of Mechanical Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos). Es una asociación de profesionales, que ha generado un código de diseño, construcción, inspección y pruebas para equipos, entre otros, calderas y recipientes sujetos a presión. Este código tiene aceptación mundial y es usado en todo el mundo.

El Código ASME establece criterios que rigen la construcción de calderas, recipientes a presión, tanques de transporte y componentes nucleares, así como la inspección en servicio de los componentes nucleares y tanques de transporte. (Segura, 2014, pág. 9)

El código ASME consta de 12 secciones:

- Sección I: calderas de potencia.
- Sección II: especificaciones de materiales.
 - Parte A: materiales ferrosos.
 - Parte B: materiales no ferrosos.
 - Parte C: materiales para soldaduras.

- Parte D: consideraciones de tensiones de fluencia y rotura de materiales, gráficos sobre presiones externas e información requerida para la aprobación de materiales.
- Sección III: componentes para centrales nucleares.
- Sección IV: calderas de calefacción.
- Sección V: ensayos no destructivos.
- Sección VI: reglas recomendadas para el cuidado y operación de calderas de calefacción.
- Sección VII: lineamientos recomendados para el cuidado de calderas de potencia.
- Sección VIII: recipientes a presión.
 - División 1: reglas para construir para recipientes a presión.
 - División 2: reglas alternativas de construcción para recipientes a presión.
 - División 3: reglas alternativas para la construcción de recipientes a muy alta presión (mayor a 700 Kg/cm²).
- Sección IX: calificación de procedimientos de soldadura y uniones fuertes, soldadores, brazer y de operadores de soldadura y uniones fuertes.
- Sección X: recipientes a presión de plásticos reforzados con fibra.
- Sección XI: inspección de servicios en centrales nucleares.
- Sección XII: reglas para la construcción y servicio continuo de tanques de transporte.

2.2.4.1. Sección V – Ensayo No Destructivo.

La presente sección contiene los requisitos y métodos de Ensayos No Destructivos (END), que son aceptados para el código. Estos procedimientos de evaluación tienen por objeto detectar las imperfecciones internas y de superficie en los materiales, soldaduras, piezas fabricadas, y otros componentes. Ellos incluyen el examen radiográfico, examen por ultrasonido, el examen de líquidos penetrantes, partículas magnéticas, el examen de Foucault, el examen visual, prueba de fugas, y el examen de emisión acústica. (Segura, 2014, pág. 9)

2.2.4.1.1. Artículo 4 - Métodos de Examen Ultrasonico para Soldaduras.

Este artículo proporciona o hace referencia a los requisitos para los exámenes de soldadura, que se utilizarán para seleccionar y desarrollar procedimientos de examen ultrasonico cuando el examen de cualquier parte de este artículo es un requisito de una sección de código de referencia. Estos procedimientos se deben utilizar para el examen ultrasonico de soldaduras y el dimensionamiento de las indicaciones para la comparación con las normas de aceptación cuando lo requiera la sección del Código de referencia; la sección de código de referencia debe ser consultada para los requisitos específicos para lo siguiente: (ASME Boiler & Pressure Vessel Code, 2015, pág. 69)

- a. Requisitos de calificación / certificación del personal.
- b. Requisitos de procedimiento / demostración, calificación, aceptación.
- c. Características del sistema de examen.

- d. Retención y control de bloques de calibración.
- e. Extensión del examen y / o volumen a escanear.
- f. Estándares de aceptación.
- g. Retención de registros.
- h. Informe los requisitos

2.3. DEFINICIONES CONCEPTUALES.

Las definiciones conceptuales se han tomado de las siguientes referencias bibliográficas Jiménez & Bejarano (2017), ASME Boiler & Pressure Vessel Code (2017) y ASME Boiler & Pressure Vessel Code (2015)

- **Amplitud (A).** Es la máxima desviación de oscilación, si esta es constante en el tiempo la oscilación se considera sin amortiguamiento (para materiales perfectamente elásticos), en cambio si esta decrece con el tiempo, la oscilación se considera como amortiguada en este caso la disminución de dicha amplitud se debe a la disipación de energía (materiales que no son perfectamente elásticos).
- **Amortiguación.** Es la disminución de la amplitud de una onda con el tiempo.
- **ASME.** American Society of Mechanical Engineers o Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos, es la asociación de profesionales de la ingeniería que ha generado un código de diseño, construcción, inspección y pruebas para diversos equipos como: calderas, recipientes a presión, materiales, entre otros.

- **Difracción.** Es el fenómeno por el cual una onda que incide en un cuerpo pequeño o una abertura se distorsiona y se propaga en todas las direcciones detrás de dicho orificio.
- **Discontinuidad.** Falta de continuidad; falta de cohesión (de unión); interrupción en la estructura física normal del material o producto.
- **Defecto.** Discontinuidad cuyo tamaño, forma, orientación, ubicación o propiedad son inadmisibles para alguna norma específica. En particular, al realiza un Ensayo No Destructivo (END) se cataloga como defecto a toda discontinuidad o grupo de discontinuidades, cuyas indicaciones no se encuentran dentro de los criterios de aceptación especificados por la norma aplicable.
- **Ducto.** Tramo de tubería de gran diámetro, obtenido de empalmada con soldadura.
- **END.** Ensayo No Destructivo.
- **Frecuencia (f).** Es la inversa del periodo y representa el número de ciclos efectuados en un segundo.
- **Frente de onda.** Es el lugar geométrico en que los puntos del medio de propagación son alcanzados en un mismo instante por una determinada onda ya sea que una onda este propagándose por el espacio o sobre una superficie, pueden visualizarse como líneas que se desplazan a través del tiempo alejándose de la fuente sin tocarse.
- **Onda.** Es la propagación de una oscilación provocada por la vibración de las moléculas que constituyen un material.
- **Oscilación.** Es el cambio periódico de la condición o el comportamiento de un cuerpo.

- **Periodo (T).** Es el tiempo empleado para llevar a cabo un ciclo completo.
- **PQR.** Procedure Qualification Record o registro de calificación de procedimiento de soldadura.
- **Velocidad de propagación.** Es la velocidad a la que se propagan las ondas sonoras a través de un medio, esta depende de las propiedades del material o del medio en el que se desplaza la onda.
- **WPQ.** Welder Performance Qualification o Clasificación del Rendimiento del Soldador.
- **WPS.** Welding Procedure Specification o Especificación de Procedimiento de soldadura.

2.4. FORMULACION DE HIPOTESIS.

2.4.1. Hipótesis general.

La Evaluación de las Uniones Soldadas mediante Ultrasonido en Tuberías Forzadas para la Central Hidroeléctrica CARHUAC determinara el cumplimiento de los requerimientos de Calidad del Código ASME Sección V Artículo 4.

2.4.2. Hipótesis específicas.

- La determinación del tipo de técnica óptima para la evaluación por ultrasonido nos permitirá una detección de discontinuidades en las uniones soldadas.

- La detección de discontinuidades mediante la aplicación de ultrasonido nos determinara la calidad de la junta soldada.
- La evaluación de los tipos de discontinuidades detectadas en las juntas soldadas nos determinara el cumplimiento de los requisitos exigidos en el Código ASME Sección V Artículo 4.



CAPÍTULO III

METODOLOGIA

3.1. DISEÑO METODOLOGICO.

La presente investigación se enfocó en el análisis Cualitativo, este método consiste en la evaluación de los resultados obtenidos mediante el ensayo por ultrasonido de las juntas soldadas realizadas en las tuberías forzadas de acero ASTM A517 correspondiente a al proyecto Central Hidroeléctrica CARHUAC para poder determinar las condiciones físicas que presentan en base a la corrección y modificación de parámetros aplicados durante el ensayo. Durante la evaluación, se debe considerar los procedimientos normalizados, normas que gobiernan la obra, criterios de aceptación y rechazo, así como el análisis de datos y de resultados. Se debe tomar en cuenta que para cada junta soldada evaluada arrojará datos distintos, dependiendo de las condiciones de estas.

3.1.1. Tipo de investigación.

En el presente trabajo se utilizó la investigación exploratoria y descriptiva.

3.1.1.1. Investigación Exploratoria.

Se investigó todos y cada uno de los detalles del proyecto, tanto en su diseño como su funcionamiento. Para esto se indagará cada una de las variables del análisis, generando hipótesis y reconociendo las variables de interés investigativo.

3.1.1.2. Investigación Descriptiva.

Permite predicciones rudimentarias de medición precisa que requiere de conocimientos suficiente para muchas investigaciones de este nivel tienen interés de acción social. Con la finalidad clasificar elementos y estructuras, modelos de comportamiento, según ciertos criterios. (Herrera, Medina, & Naranjo, 2010)

Las investigaciones descriptivas constituyen el punto de partida de las líneas de investigación, su objetivo es determinar la situación de las variables involucradas en el estudio en un momento dado con 45 relación a su presencia o ausencia, la frecuencia con que se presenta un fenómeno (incidencia o prevalencia), características de las personas, lugar y periodo donde ocurre. El nivel de investigación descrito con anterioridad fue el que se utilizó para el desarrollo, estudio, análisis e investigación del problema planteado ya que este vinculó a todos los actores objetos de estudio. (Herrera, Medina, & Naranjo, 2010)

3.2. POBLACION Y MUESTRA.

3.2.1. Población.

La población sobre la cual se basa la investigación está constituida por el sistema de tuberías forzadas instaladas en el proyecto Central Hidroeléctrica CARHUAC con el objeto de obtener datos acerca las condiciones de las uniones soldadas.

3.2.2. Muestra.

La muestra es una parte de la población seleccionada de acuerdo con una regla o plan, debe ser representativa, y además ofrecer la ventaja de ser la más práctica, la más económica y la más eficiente en su aplicación. (Herrera, Medina, & Naranjo, 2010)

La muestra de nuestra investigación se basa en las uniones o juntas soldadas de las tuberías forzadas.

3.3. OPERACIONALIZACION DE VARIABLES E INDICADORES.

Evaluación de Uniones Soldadas Mediante Ultrasonido en Tuberías Forzadas para la Central Hidroeléctrica CARHUAC Según El Código ASME Sección V Artículo 4 – 2018

Tabla 4
Variabes e Indicadores.

Variable Independiente	Indicador
Uniones Soldadas en Tuberías Forzadas	- Composición de material.
	- Características mecánicas y físicas del material.
	- Geometría de las uniones soldadas.
	- Parámetros del proceso de soldadura.
Variable Dependiente	Indicador
Evaluación mediante ultrasonido según el código ASME Sección V Artículo 4	- Técnica de ensayo de ultrasonidos en tuberías soldadas.
	- Tipos de discontinuidades.
	- Requisitos del código ASME Sección V Artículo 4.

3.4. TECNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE DATOS.

De acuerdo con el número de muestras tomas y de los datos obtenidos se elaborará un informe el mismo que debe de cumplir con los parámetros de ensayo realizados. La recolección de la información se realizará mediante formatos que se adjuntaran a los informes emitidos para su posterior análisis.

3.4.1. Técnicas a emplear.

La técnica que se aplicará es una técnica descriptiva, debido a que la evaluación y recolección de datos se realiza en las juntas soldadas, para poder determinar sus condiciones y su posterior aceptación y/o rechazo de acuerdo a la norma que rige.

3.4.2. Descripción de los instrumentos.

- Consulta a expertos.
- Revisión de archivos y documentos.
- Revisión de literatura.
- Trabajo de campo.
- Internet.
- Captación de información directa de la fuente
- Informes técnicos.
- Normas.
- Escalas libreta de notas.
- Filmadora.
- Cámara fotográfica y grabadora.

3.5. TECNICAS PARA EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACION.

De acuerdo con los datos observados y de los resultados que se obtendrán en las pruebas y ensayos de laboratorio, su procesamiento se ejecutará:

- De acuerdo con la técnica de ensayo se verificará la validez del formato dispuesto de acuerdo con la norma correspondiente.
- De acuerdo con el propósito específico, estas serán recolectadas y analizadas según el requerimiento previsto.
- Se verificará la correcta disposición de los puntos de toma de muestra y los instrumentos y aparatos requeridos.
- Se llevará por escrito, un control de las observaciones, en el formato referido para prueba realizada, incluyendo fotografías si así se requiere y detalles específicos.
- De acuerdo a los informes, estos serán analizados e interpretados de acuerdo con los requerimientos bajo su respectiva normalización.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. INSPECCION POR ULTRASONIDO Y EVALUACION DE UNIONES

4.1.1. Datos generales de la evaluación.

- Norma de calificación: ASME Sección VIII División 1. Diseño, construcción e inspección de tanques y recipientes de presión. Anexo 4.
- Equipo de Ultrasonido.
 - Marca : General Electric.
 - Modelo : PHASOR XS 16/16
 - Serie : 14K00DWJ
 - Frecuencia : 5 MHz.



Figura 15. Equipo de ultrasonido Phasor XS 16/16.

- Transductor.
 - Tipo : General Electric.
 - Dimensiones : 0.625" x 0.625"
 - Frecuencia : 5 MHz.
- Zapatas.
 - Marca : General Electric.
- Bloque de calibración.
 - Marca : General Electric.
 - Tipo : IIW.
 - Serie : 37137
- Gel acoplante.
 - Marca : Sonotech.
 - Composición : Agua.
 - Densidad : 0.9 g/cc.

4.1.1.1. Parámetros de evaluación.

Tabla 5
Parámetros de evaluación usados.

Representación del escaneo	A – SCAN
Tipo Haz	Angular
Técnica de inspección	Pulso – Eco
Configuración del equipo	Velocidad: 3226 m/s
	Ganancia ref.: 67 dB
	Angulo de refrac.: 70°

4.1.1.2. Criterios de aceptación y rechazo.

Estas Normas se aplicarán a menos que se especifiquen otras normas para aplicaciones específicas dentro de esta División. Las imperfecciones que producen una respuesta superior al 20% del nivel de referencia se investigarán en la medida en que el operador pueda determinar la forma, identidad y ubicación de todas esas imperfecciones y evaluarlas en términos de los estándares de aceptación dados en (a) y (b) a continuación. (ASME Boiler & Pressure Vessel Code, 2017, pág. 435)

- a) Las indicaciones caracterizadas como grietas, falta de fusión o penetración incompleta son inaceptables independientemente de la longitud.
- b) Otras imperfecciones son inaceptables si los indicadores exceden la amplitud del nivel de referencia y tienen longitudes que exceden:
 - (1) 1/4 in. (6 mm) para t hasta 3/4 in. (19 mm);
 - (2) 1/3t para t de 3/4 pulg. a 2 1/4 pulg. (19 mm a 57 mm);
 - (3) 3/4 in. (19 mm) para t sobre 2 1/4 in. (57 mm).

Donde t es el espesor de la soldadura excluyendo cualquier refuerzo permitido. Para una soldadura a tope que une dos miembros que tienen espesores diferentes en la soldadura, t es el más delgado de estos dos grosores. Si una soldadura de penetración completa incluye una soldadura de filete, el espesor de la garganta del filete se incluirá en t . (ASME Boiler & Pressure Vessel Code, 2017, pág. 435)

4.1.2. Evaluación de uniones soldadas.

Tabla 6
Descripción del elemento a inspeccionar

Elemento evaluado	Tubería Forzada
Identificación	T-114-12.18
Material base	P460 NL1 / P460 NL1
Espesor	12 mm
Tipo de junta	A Tope
Geometría	En V
Proceso de soldeo	FCAW / SAW

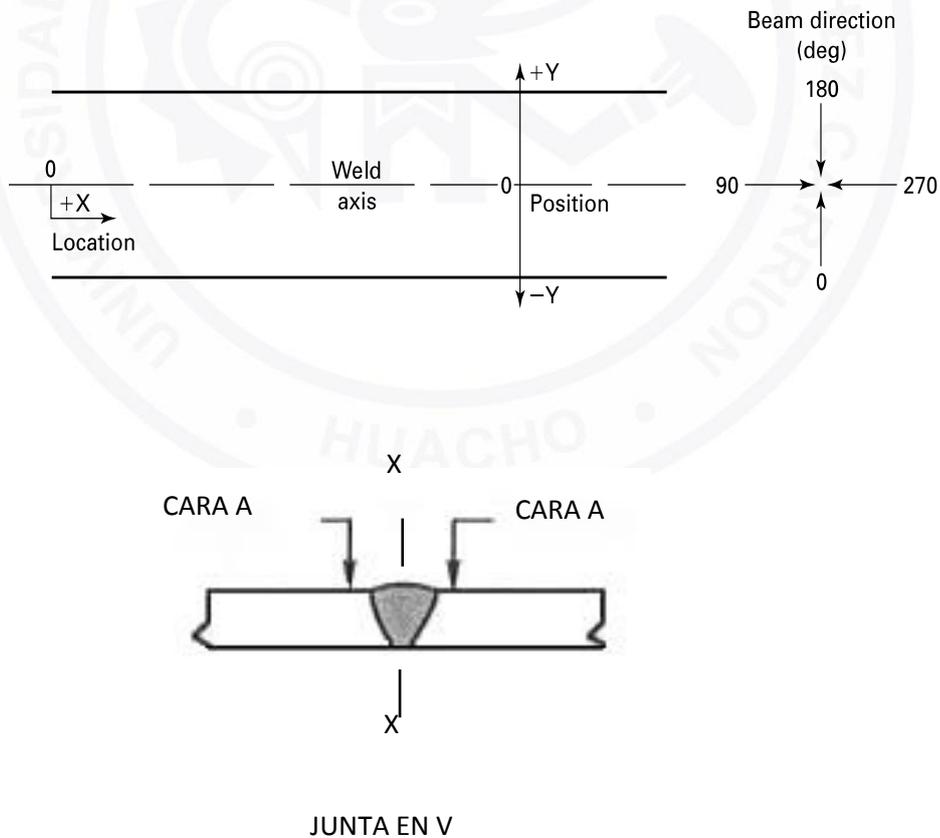


Figura 16. Diagrama de inspección.

• Resultado evaluación registro UT-CHC-112-17.

La evaluación de la zona ZAT de la tubería T-114.12.18 se realizó conforme al procedimiento establecido, de acuerdo con los parámetros establecidos en la tabla N° 5, se obtiene los pulso-eco referente al espesor de las tuberías, se concluye que en la unión J-101 no presenta discontinuidad en la dirección 70°/90°, mientras que en la dirección 70°/270° se observa la presencia de una discontinuidad como se detalla en la tabla 7.

Tabla 7
Resultado evaluación registro UT-CHC-112-17

N°	Código	Cara de Inspección	N° de Indicación	Max DAC, %	Recorrido Sonico (mm)	Dimensión de la Discontinuidad (mm)				Angulo del Haz / Dirección	Condición	Comentarios
						Loc. (X)	Long. (L)	Pos. (Y)	Prof.			
1	J-101	A	-	-	-	-	-	-	-	70°/90°	AC	Circunferencial
2	J-101	A	1	60	63.11	320	10	-10	3	70°/270°	RJ	Circunferencial

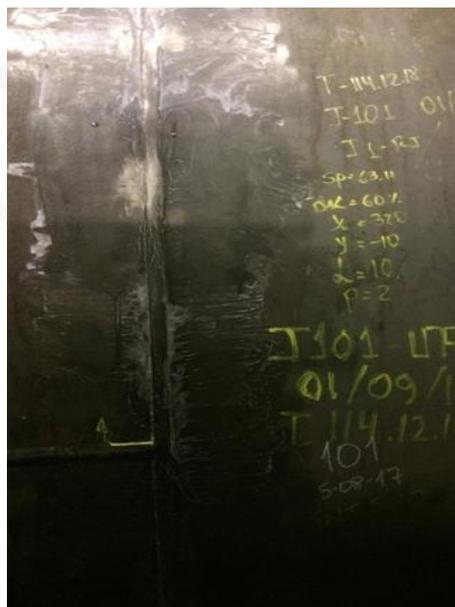


- **Resultado evaluación registro UT-CHC-113-17.**

La unión J-101 de la tubería T-114.12.18 se volvió a reinspeccionar luego de haberse realizado una reparación de acuerdo a los procedimientos establecidos para el caso, posteriormente se volvió a evaluarla de acuerdo con los parámetros establecidos en la tabla N° 5, no se volvieron a detectar discontinuidades en ninguna de las direcciones evaluadas de la unión soldada.

Tabla 8
Resultado evaluación registro UT-CHC-113-17

N°	Código	Cara de Inspección	N° de Indicación	Max DAC, %	Recorrido Sonico (mm)	Dimensión de la Discontinuidad (mm)				Angulo del Haz / Dirección	Condición	Comentarios
						Loc. (X)	Long. (L)	Pos. (Y)	Prof.			
1	J-101R	A	-	-	-	-	-	-	-	70°/90°	AC	Circunferencial
2	J-101R	A	-	-	-	-	-	-	-	70°/270°	RJ	Circunferencial



- **Resultado evaluación registro UT-CHC-114-17.**

La evaluación de las uniones de la tubería T-114.12.19 se realizó conforme al procedimiento establecido, se obtiene los pulso-eco referente al espesor de las tuberías, en las uniones J-101 no presenta discontinuidad en la dirección 70°/90°, mientras que en la dirección 70°/270° se observa la presencia de una discontinuidad como se detalla en la tabla 9.

Tabla 9
Resultado evaluación registro UT-CHC-114-17

N°	Código	Cara de Inspección	N° de Indicación	Max DAC, %	Recorrido Sonico (mm)	Dimensión de la Discontinuidad (mm)				Angulo del Haz / Dirección	Condición	Comentarios
						Loc. (X)	Long. (L)	Pos. (Y)	Prof.			
1	J-101	A	-	-	-	-	-	-	-	70°/90°	AC	Circunferencial
2	J-101	A	1	92	51	950	50	17	6	70°/270°	RJ	Circunferencial
3	J-101	A	2	94	52	1091	30	-6	7	70°/270°	RJ	Circunferencial
4	J-101	A	3	83	52	3410	25	8	6	70°/270°	RJ	Circunferencial



- **Resultado evaluación registro UT-CHC-115-17.**

Luego de la reparación de la tubería T-114.12.19 en las uniones rechazadas se realizó una reinspección conforme al procedimiento establecido, se obtiene los pulso-eco referente al espesor de las tuberías, en las uniones J-101R observando que estas ya no presentan discontinuidad en la dirección 70°/270°, se detalla en la tabla 10.

Tabla 10
Resultado evaluación registro UT-CHC-115-17

N°	Código	Cara de Inspección	N° de Indicación	Max DAC, %	Recorrido Sonico (mm)	Dimensión de la Discontinuidad (mm)				Angulo del Haz / Dirección	Condición	Comentarios
						Loc. (X)	Long. (L)	Pos. (Y)	Prof.			
1	J-101R	A	-	-	-	-	-	-	-	70°/90°	AC	Circunferencial
2	J-101R	A	-	-	-	-	-	-	-	70°/270°	AC	Circunferencial



- **Resultado evaluación registro UT-CHC-116-17.**

La evaluación de las uniones de la tubería T-114.12.20 se realiza conforme al procedimiento establecido, se obtiene los pulso-eco referente de las tuberías, en las uniones J-101 en la dirección 70°/90° no presenta discontinuidad, mientras que en la dirección 70°/270° se observa la presencia de una discontinuidad como se detalla en la tabla 11.

Tabla 11
Resultado evaluación registro UT-CHC-116-17

N°	Código	Cara de Inspección	N° de Indicación	Max DAC, %	Recorrido Sonico (mm)	Dimensión de la Discontinuidad (mm)				Angulo del Haz / Dirección	Condición	Comentarios
						Loc. (X)	Long. (L)	Pos. (Y)	Prof.			
1	J-101	A	-	-	-	-	-	-	-	70°/90°	AC	Circunferencial
2	J-101	A	1	78	46	2350	25	-15	8	70°/270°	RJ	Circunferencial



- **Resultado evaluación registro UT-CHC-117-17.**

Luego de la reparación de las discontinuidades observadas en la tubería T-114.12.20 de las uniones rechazadas se realizó una reinspección conforme al procedimiento establecido, se obtiene los pulso-eco referente al espesor de las tuberías, en las uniones J-101R observando que estas ya no presentan discontinuidad en la dirección 70°/270°, se detalla en la tabla 12.

Tabla 12
Resultado evaluación registro UT-CHC-117-17

N°	Código	Cara de Inspección	N° de Indicación	Max DAC, %	Recorrido Sonico (mm)	Dimensión de la Discontinuidad (mm)				Angulo del Haz / Dirección	Condición	Comentarios
						Loc. (X)	Long. (L)	Pos. (Y)	Prof.			
1	J-101R	A	-	-	-	-	-	-	-	70°/90°	AC	Circunferencial
2	J-101R	A	-	-	-	-	-	-	-	70°/270°	AC	Circunferencial



- **Resultado evaluación registro UT-CHC-118-17.**

La evaluación de las uniones de la tubería T-114.12.20 se realiza conforme al procedimiento establecido, se obtiene los pulso-eco referente de las tuberías, en las uniones longitudinales J-102 en la dirección 70°/90° no presentan discontinuidades.

Tabla 13
Resultado evaluación registro UT-CHC-118-17

N°	Código	Cara de Inspección	N° de Indicación	Max DAC, %	Recorrido Sonico (mm)	Dimensión de la Discontinuidad (mm)				Angulo del Haz / Dirección	Condición	Comentarios
						Loc. (X)	Long. (L)	Pos. (Y)	Prof.			
1	J-102	A	-	-	-	-	-	-	-	70°/90°	AC	Longitudinal
2	J-102	A	-	-	-	-	-	-	-	70°/270°	AC	Longitudinal



- **Resultado evaluación registro UT-CHC-119-17.**

La evaluación de las uniones de la tubería T-114.12.22 se realiza conforme al procedimiento establecido, se obtiene los pulso-eco referente de las tuberías, en las uniones longitudinales J-102 y J-103 en la dirección 70°/90°, 70°/270°, 90°/270° y 90°/270° no presentan discontinuidades.

Tabla 14
Resultado evaluación registro UT-CHC-119-17

N°	Código	Cara de Inspección	N° de Indicación	Max DAC, %	Recorrido Sonico (mm)	Dimensión de la Discontinuidad (mm)				Angulo del Haz / Dirección	Condición	Comentarios
						Loc. (X)	Long. (L)	Pos. (Y)	Prof.			
1	J-102	A	-	-	-	-	-	-	-	70°/90°	AC	Longitudinal
2	J-102	A	-	-	-	-	-	-	-	70°/270°	AC	Longitudinal
3	J-103	A	-	-	-	-	-	-	-	90°/270°	AC	Longitudinal
4	J-103	A	-	-	-	-	-	-	-	70°/270°	AC	Longitudinal



- **Resultado evaluación registro UT-CHC-120-17.**

La evaluación de las uniones de la tubería T-114.12.23 se realiza conforme al procedimiento establecido, se obtiene los pulso-eco referente de las tuberías, en las uniones longitudinales J-102 en la dirección 70°/90° y 70°/270°, no presentan discontinuidades.

Tabla 15
Resultado evaluación registro UT-CHC-120-17

N°	Código	Cara de Inspección	N° de Indicación	Max DAC, %	Recorrido Sonico (mm)	Dimensión de la Discontinuidad (mm)				Angulo del Haz / Dirección	Condición	Comentarios
						Loc. (X)	Long. (L)	Pos. (Y)	Prof.			
1	J-102	A	-	-	-	-	-	-	-	70°/90°	AC	Longitudinal
2	J-102	A	-	-	-	-	-	-	-	70°/270°	AC	Longitudinal

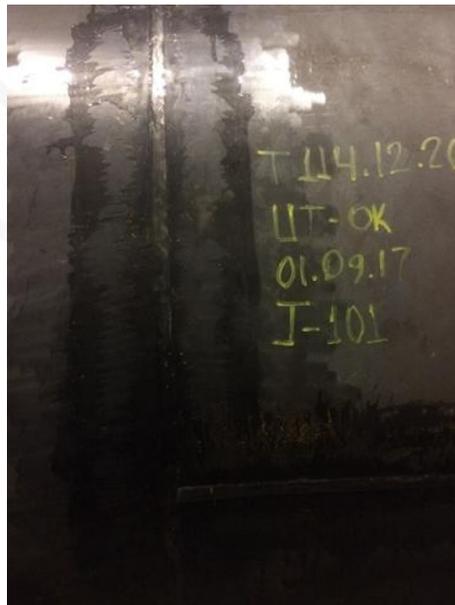


• **Resultado evaluación registro UT-CHC-121-17.**

La evaluación de las uniones de la tubería T-114.12.26 se realiza conforme al procedimiento establecido, se obtiene los pulso-eco referente de las tuberías, en las uniones longitudinales J-102 en la dirección 70°/90° y 70°/270°, no presentan discontinuidades.

Tabla 16
Resultado evaluación registro UT-CHC-121-17

N°	Código	Cara de Inspección	N° de Indicación	Max DAC, %	Recorrido Sonico (mm)	Dimensión de la Discontinuidad (mm)				Angulo del Haz / Dirección	Condición	Comentarios
						Loc. (X)	Long. (L)	Pos. (Y)	Prof.			
1	J-101	A	-	-	-	-	-	-	-	70°/90°	AC	Longitudinal
2	J-101	A	-	-	-	-	-	-	-	70°/270°	AC	Longitudinal

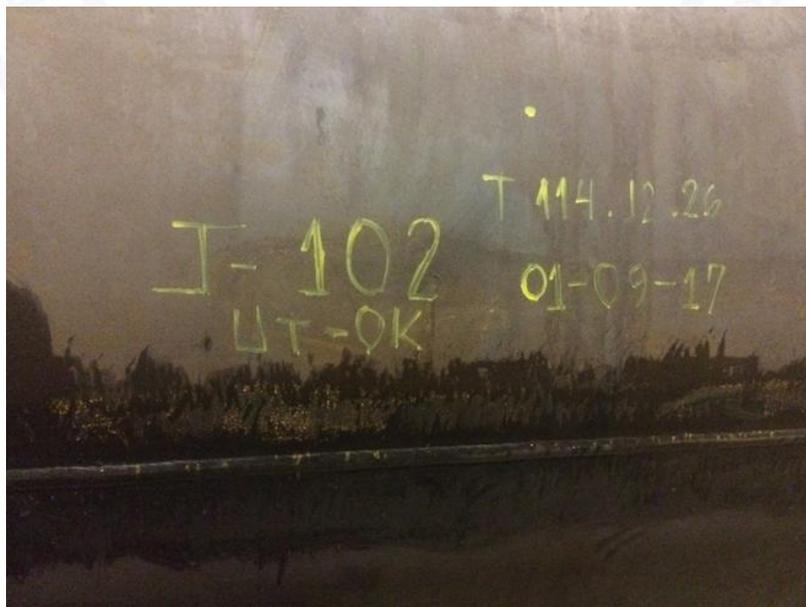


- **Resultado evaluación registro UT-CHC-122-17.**

La evaluación de las uniones de la tubería T-114.12.26 se realiza conforme al procedimiento establecido, se obtiene los pulso-eco referente de las tuberías, en las uniones longitudinales J-102 y J-103 en la dirección 70°/90°, 70°/270°, 90°/270° y 90°/270° no presentan discontinuidades por tanto son aceptables.

Tabla 17
Resultado evaluación registro UT-CHC-122-17

N°	Código	Cara de Inspección	N° de Indicación	Max DAC, %	Recorrido Sonico (mm)	Dimensión de la Discontinuidad (mm)				Angulo del Haz / Dirección	Condición	Comentarios
						Loc. (X)	Long. (L)	Pos. (Y)	Prof.			
1	J-102	A	-	-	-	-	-	-	-	70°/90°	AC	Longitudinal
2	J-102	A	-	-	-	-	-	-	-	70°/270°	AC	Longitudinal
3	J-103	A	-	-	-	-	-	-	-	70°/90°	AC	Longitudinal
4	J-104	A	-	-	-	-	-	-	-	70°/270°	AC	Longitudinal

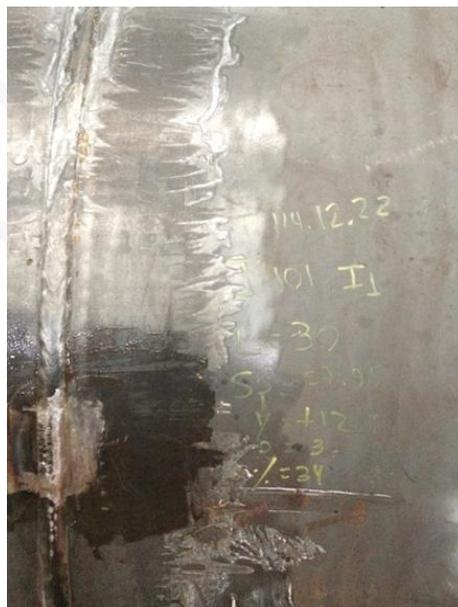


• Resultado evaluación registro UT-CHC-123-17.

La evaluación de las uniones de la tubería T-114.12.22 se realiza conforme al procedimiento establecido, se obtiene los pulso-eco referente de las tuberías, en la unión circunferencial J-101 en la dirección 70°/90°, se detecta discontinuidad mientras que en la dirección 70°/270° no presentan discontinuidades.

Tabla 18
Resultado evaluación registro UT-CHC-122-17

N°	Código	Cara de Inspección	N° de Indicación	Max DAC, %	Recorrido Sonico (mm)	Dimensión de la Discontinuidad (mm)				Angulo del Haz / Dirección	Condición	Comentarios
						Loc. (X)	Long. (L)	Pos. (Y)	Prof.			
1	J-101	A	1	34	57.95	1250	30	12	3	70°/90°	RJ	Circunferencial
2	J-101	A	-	-	-	-	-	-	-	70°/270°	AC	Circunferencial



- **Resultado evaluación registro UT-CHC-124-17.**

Luego de la reparación de las discontinuidades observadas en la tubería T-114.12.22 de la unión rechazada se realizó una reinspección conforme al procedimiento establecido para tal caso, se obtiene los pulso-eco referente al espesor de las tuberías, en las uniones J-101R observando que estas ya no presentan discontinuidad en la dirección 70°/270°, se detalla en la tabla 19.

Tabla 19
Resultado evaluación registro UT-CHC-124-17

N°	Código	Cara de Inspección	N° de Indicación	Max DAC, %	Recorrido Sonico (mm)	Dimensión de la Discontinuidad (mm)				Angulo del Haz / Dirección	Condición	Comentarios
						Loc. (X)	Long. (L)	Pos. (Y)	Prof.			
1	J-101R	A	-	-	-	-	-	-	-	70°/90°	AC	Circunferencial
2	J-101R	A	-	-	-	-	-	-	-	70°/270°	AC	Circunferencial



- **Resultado evaluación registro UT-CHC-125-17.**

La evaluación de las uniones de la tubería T-114.12.30 se realiza conforme al procedimiento establecido, se obtiene los pulso-eco referente de las tuberías, en la unión longitudinal J-102 en la dirección 70°/90° y 70°/270°, no presentan discontinuidades por tanto son aceptables.

Tabla 20
Resultado evaluación registro UT-CHC-125-17

N°	Código	Cara de Inspección	N° de Indicación	Max DAC, %	Recorrido Sonico (mm)	Dimensión de la Discontinuidad (mm)				Angulo del Haz / Dirección	Condición	Comentarios
						Loc. (X)	Long. (L)	Pos. (Y)	Prof.			
1	J-102	A	-	-	-	-	-	-	-	70°/90°	AC	Longitudinal
2	J-102	A	-	-	-	-	-	-	-	70°/270°	AC	Longitudinal

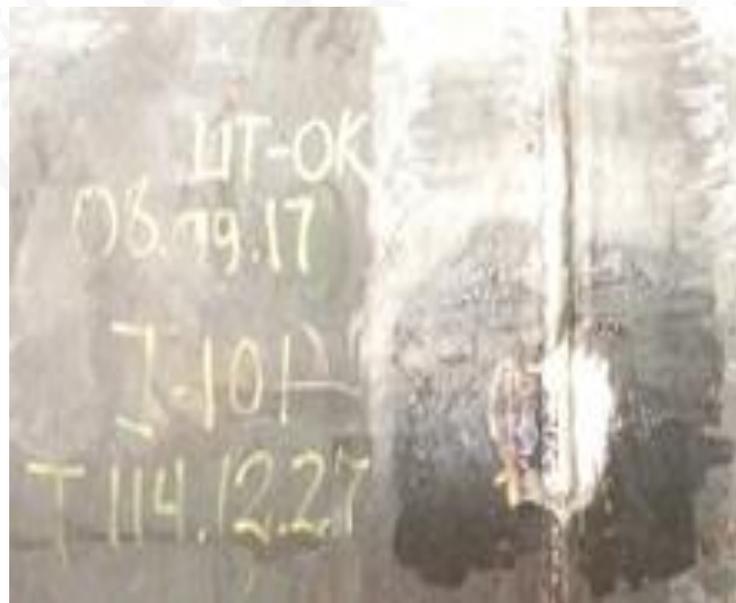


- **Resultado evaluación registro UT-CHC-126-17.**

La evaluación de las uniones de la tubería T-114.12.27 se realiza conforme al procedimiento establecido, se obtiene los pulso-eco referente de las tuberías, en la unión longitudinal J-101 en la dirección 70°/90° y 70°/270°, no presentan discontinuidades por tanto son aceptables.

Tabla 21
Resultado evaluación registro UT-CHC-126-17

N°	Código	Cara de Inspección	N° de Indicación	Max DAC, %	Recorrido Sonico (mm)	Dimensión de la Discontinuidad (mm)				Angulo del Haz / Dirección	Condición	Comentarios
						Loc. (X)	Long. (L)	Pos. (Y)	Prof.			
1	J-101	A	-	-	-	-	-	-	-	70°/90°	AC	Circunferencial
2	J-101	A	-	-	-	-	-	-	-	70°/270°	AC	Circunferencial

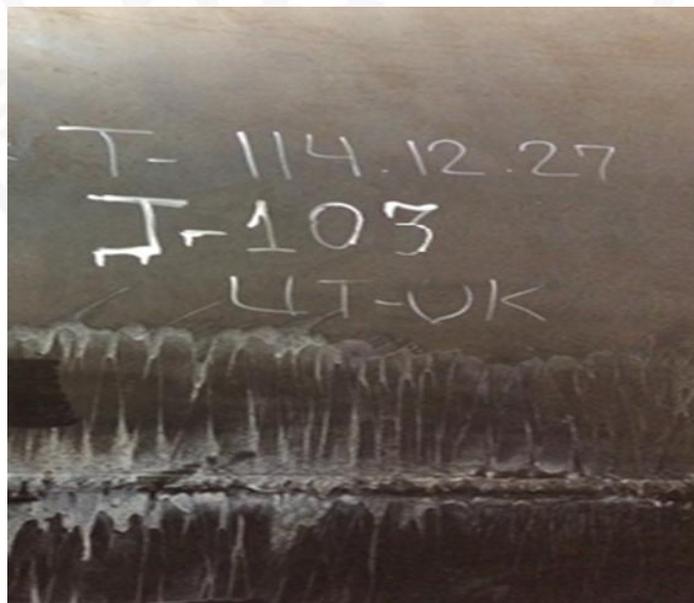


• **Resultado evaluación registro UT-CHC-127-17.**

La evaluación de las uniones de la tubería T-114.12.27 se realiza conforme al procedimiento establecido, se obtiene los pulso-eco referente de las tuberías, en la unión longitudinal J-103 en la dirección 70°/90° y 70°/270°, no presentan discontinuidades por tanto son aceptables.

Tabla 22
Resultado evaluación registro UT-CHC-127-17

N°	Código	Cara de Inspección	N° de Indicación	Max DAC, %	Recorrido Sonico (mm)	Dimensión de la Discontinuidad (mm)				Angulo del Haz / Dirección	Condición	Comentarios
						Loc. (X)	Long. (L)	Pos. (Y)	Prof.			
1	J-103	A	-	-	-	-	-	-	-	70°/90°	AC	Longitudinal
2	J-103	A	-	-	-	-	-	-	-	70°/270°	AC	Longitudinal



CAPÍTULO V

DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. DISCUSIÓN

- De los resultados obtenidos en los diferentes reportes de las evaluaciones por ultrasonido de las uniones soldadas de la tubería forzada, se puede observar la detección de discontinuidades en el metal depositado, siendo esto catalogado como defecto de acuerdo a lo estipulado en los criterios de aceptación y rechazo del código ASME Sección VIII Div.1. (Anexo 4) donde no permite ningún tipo de discontinuidades volumétricas, aceptando solamente ciertos tipos de discontinuidades superficiales con dimensiones determinadas por el criterio de aceptación y rechazo.
- La influencia en el resultado final de las evaluaciones muchas veces depende de la técnica a emplear, para la evaluación en esta investigación se empleó el Pulso-Eco, la cual tiene ventajas significativas en relación al Eco-Eco, ya que la primera no necesita un receptor adicional haciéndolo mucho más simple el uso y el ángulo del transductor ayuda en gran medida la realización de un barrido mucho más eficiente.
- De las discontinuidades detectadas, las que se encontraron fueron cuando se examinaban a la dirección de 270° , las cuales fueron reparadas siguiendo los protocolos estipulados para estos casos, y se volvieron a evaluarlos, codificando a la junta con su designación original y se le agrega una R.

5.2. CONCLUSIONES

- La experiencia realizada en la evaluación mediante ultrasonido a las uniones soldadas de las tuberías forzadas nos ayudó a obtener información fundamental que nos permite avanzar con la comprensión de las potencialidades de esta técnica de ensayo en la detección de discontinuidades volumétricas presentes en los cordones de soldadura.
- Es posible que no se pueda obtener todos los requisitos de inspección exigidos por los códigos establecidos en el proyecto con una sola técnica de ultrasonido, por lo tanto, varias técnicas pueden ser necesarias para cumplir las exigencias de inspección en algunos casos.
- La aplicación de códigos internacionales durante las evaluaciones de las tuberías nos exige los requerimientos mínimos en las cuales nos garantiza la certeza de los resultados de la inspección mediante ultrasonido.
- Una buena técnica durante la aplicación del ensayo por ultrasonido, el Angulo del Haz aplicado y dirección del mismo, deben considerarse como parámetros esenciales durante la evaluación; una mala elección muchas veces nos permite detectar ciertos tipos de discontinuidades afectando así una elaboración certera del informe final.

5.3. RECOMENDACIONES

- la aplicación del código ASME nos permite cumplir con los requisitos exigidos por el cliente, no obstante, se puede variar de código siempre en cuando nos garantice un mejor resultado y bajo el consentimiento del cliente.
- Se debe de realizar una buena elaboración de los procedimientos de trabajo o su revisión en caso contrario para poder asegurar la afectividad y eficiencia en detección de discontinuidades de la técnica a aplicar.
- Parte fundamental para la obtención de resultados certeros es que el personal debe estar calificado, por tal motivo la capacitación y evaluación ante de cada evaluación se debe de aplicar.
- Las buenas condiciones y calibraciones de los equipos a emplearse deben ser prioridad por el personal encargado, para la obtención de buenos resultados.
- La aplicación de otro tipo de Ensayo No Destructivo para la detección de discontinuidades volumétricas se debe de considerar como ensayo auxiliar.

CAPÍTULO VI FUENTES DE INFORMACION

6.1. FUENTES BIBLIOGRAFICAS.

Aguilar Pérez, L. A., Pérez Medina, G. Y., Miranda Pérez, A. F., Hernández Rodríguez, A., & Praga Alejo, R. (2016). Estudio de las Discontinuidades generadas por Aplicación de Soldadura GMAW mediante el uso de la Prueba Ultrasonido: Arreglo de Fases. *Foro de Ingeniería e Investigación en Materiales*, 13(1), 509-515.

Araque de los Rios, O. J. (2015). Caracterización de Discontinuidades Típicas en Soldadura, utilizando la Técnica de Ultrasonido Pulso Eco-Scan A. *Scientia et Technica*, 20(4), 335-340.

Arce, J. C. (2016). *Control de Calidad de Soldaduras en Tuberías de Acero al Carbono para Refinerías ASME B31.3*. Tesis Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.

ASME Boiler & Pressure Vessel Code. (2015). *Seccion V Nondestructive Examination*. Código, American Society of Mechanical Engineers, New York, USA.

ASME Boiler & Pressure Vessel Code. (2017). *Sección VIII Rules For Construction Of Pressure Vessels Division 1*. Codigo, American Society of Mechanical Engineers, New York, USA.

Briceño, E., Pereda , A., Sanchez, A., & Ulloa , C. (2015). *Estructuras Hidraulicas*. Recuperado el Agosto de 2018, de <https://es.scribd.com>

Carrasco, J. (2014). *Implementación y Monitoreo de un Sistema de Inspección No Destructiva de Soldadura en Tuberías y Estructuras en el Proyecto Las Bambas*. Tesis Pregrado, Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga, Ayacucho, Perú.

Flores, E. A. (2017). *Soldabilidad del Acero ASTM A-517 Gr. B para la aplicación en Tubería Forzada de la Central Hidroeléctrica Huanza – Lima*. Tesis Pregrado, Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.

Herrera, L., Medina, A., & Naranjo, G. (2010). *Tutoria de la Investigación Científica*. Ambato, Ecuador: Graficas Corona Quito.

Jiménez, D., & Bejarano, D. (2017). *Inspección de Uniones Soldadas Mediante Ensayo No Destructivo de Ultrasonido con el Equipo VEO 16-64 SONATEST*. Tesis Pregrado, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, Colombia.

Mobilia , M., & Burroni, J. (s.f.). *Tecnología de Inspección de Soldadura*.

Recuperado el Agosto de 2018, de DOCPLAYER: <http://docplayer.es>

Salazar, A. H. (2012). *Ensayo de Ultrasonido Aplicado en la Determinación de la Calidad de Uniones Soldadas según el Código AWS D1.1 En El Proyecto Expansión Antamina*. Tesis Pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

Segura, F. A. (2014). *Aplicación de Ensayos No Destructivos por la Empresa PSMI, S. A. para determinar la Calidad de Fabricación, Armado y Aplicaciones de Soldadura en Tubería de Vapor de Escape Según Norma ASME B31.3*. Tesis Pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, Guatemala.



ANEXOS



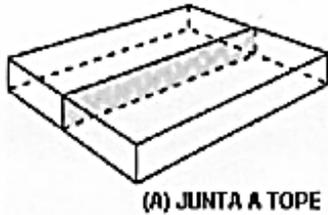
Anexo 01

Composición química del acero ASTM A517

Elementos	Composición %																			
	Grado A	Grado B	Grado C	Grado E	Grado F	Grado H	Grado J	Grado K	Grado M	Grado P	Grado Q	Grado S	Grado T							
Carbono:																				
Análisis en la colada	0.15	0.15	0.10	0.12	0.10	0.12	0.12	0.10	0.12	0.12	0.14	0.10	0.08							
Análisis al producto	-0.21	-0.21	-0.20	-0.20	-0.20	-0.21	-0.21	-0.20	-0.21	-0.21	-0.21	-0.20	-0.14							
Análisis en la colada:																				
Análisis al producto	0.13	0.13	0.08	0.10	0.08	0.10	0.10	0.08	0.10	0.10	0.12	0.10	0.05							
Manganeso:																				
Análisis en la colada	0.80	0.70	1.10	0.40	0.60	0.95	0.45	1.10	0.45	0.45	0.95	1.10	1.20							
Análisis al producto	-1.10	-1.00	-1.50	-0.70	-1.00	-1.30	-0.70	-1.50	-0.70	-0.70	-1.30	-1.50	-1.50							
Fósforo, max.																				
Análisis al producto	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035	0.035							
Sulfuro, max.																				
Análisis en la colada	0.40	0.15	0.15	0.10	0.15	0.15	0.20	0.15	0.20	0.20	0.15	0.15	0.40							
Análisis al producto	-0.80	-0.35	-0.30	-0.40	-0.35	-0.35	-0.35	-0.30	-0.35	-0.35	-0.35	-0.40	-0.60							
Níquel:																				
Análisis en la colada	0.34	0.13	0.13	0.08	0.13	0.13	0.18	0.13	0.18	0.18	0.13	0.13	0.34							
Análisis al producto	-0.86	-0.37	-0.32	-0.45	-0.37	-0.37	-0.37	-0.32	-0.37	-0.37	-0.37	-0.45	-0.66							
Cromo:																				
Análisis en la colada	...	...	...	...	0.70	0.90	...	...	1.20	1.20	1.20	...	...					
Análisis al producto	...	...	...	...	-1.00	-0.70	...	...	-1.50	-1.50	-1.50	...	...					
Vanadio:																				
Análisis en la colada	0.50	0.40	...	1.40	0.40	0.40	...	...	...	0.85	1.00	...	...					
Análisis al producto	-0.80	-0.65	...	-2.00	-0.65	-0.65	...	...	-1.20	-1.50	-1.50	...	...					
Molibdeno:																				
Análisis en la colada	0.46	0.36	...	1.34	0.36	0.36	...	...	...	0.79	0.94	...	...					
Análisis al producto	-0.84	-0.69	...	-2.06	-0.69	-0.69	...	...	-1.26	-1.56	-1.56	...	...					
Titanio:																				
Análisis en la colada	0.18	0.15	0.20	0.40	0.40	0.20	0.50	0.45	0.45	0.45	0.40	0.10	0.45							
Análisis al producto	-0.28	-0.25	-0.30	-0.60	-0.30	-0.30	-0.65	-0.25	-0.60	-0.60	-0.60	-0.35	-0.60							
Boro	0.15	0.12	0.17	0.36	0.36	0.17	0.46	0.42	0.41	0.41	0.36	0.10	0.41							
Análisis en la colada	-0.31	-0.28	-0.33	-0.64	-0.64	-0.33	-0.69	-0.50	-0.64	-0.64	-0.64	-0.38	-0.64							
Análisis al producto	0.0025	0.0005	0.001	0.0005	0.0005	0.0005	0.001	0.001	0.001	0.001	...	...	0.001					
Zincario	max	-0.005	-0.005	-0.005	-0.008	min	-0.005	-0.005	-0.005	-0.005	...	...	-0.005					
Trámulo:																				
Análisis en la colada	...	0.03	...	a	0.03	0.03	...	...	...	...	0.03	...	0.03			
Análisis al producto	...	-0.06	...	-0.08	-0.08	-0.08	...	...	-0.08	-0.08	-0.08	...	-0.08					
Cobrec:																				
Análisis en la colada	...	0.01	...	0.01	...	...	...	...	...	...	...	0.08	...
Análisis al producto	...	-0.03	...	-0.10	...	...	...	...	...	...	-0.09	...	-0.09	
Níobio, max	...	-0.04	...	-0.11	...	...	...	...	...	...	...	0.07	...
Analisis en la colada																				
Análisis al producto	0.05 ^c	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Analisis al producto	-0.15	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Analisis en la colada	0.04	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Analisis al producto	-0.16	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Analisis en la colada	...	...	...	...	0.15	...	...	...	...	...	...	...	...
Analisis al producto	...	...	...	...	-0.50	...	...	...	...	...	...	...	...
Analisis en la colada	...	...	...	...	0.12	...	...	...	...	...	...	...	...
Analisis al producto	...	...	...	...	-0.53	...	...	...	...	...	...	...	...
Analisis en la colada	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	0.06	...
Analisis al producto	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	0.07	...

Anexo 02

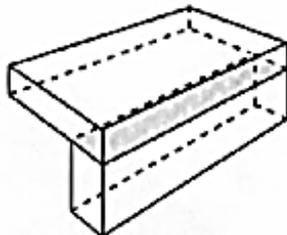
Tipos básicos de juntas y las soldaduras aplicables



SOLDADURAS APLICABLES Y SIMBOLO DE SOLDADURA

	Filete		Bisel en U
	Bisel en 1/2V ensancho		Bisel en V en borde con componente curvo
	Bisel en V ensanchado		Bisel inclinado
	Bisel en J		
	Bisel recto		

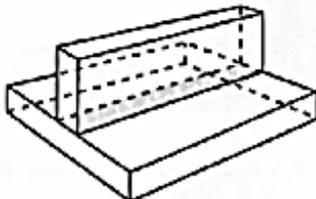
(A) JUNTA A TOPE



SOLDADURAS APLICABLES Y SIMBOLOS DE SOLDADURA

	Filete		en L con componente curvo
	Bisel en 1/2V		en borde con componente curvo
	Bisel en 1/2V ensanchado		en botón
	Bisel en V ensanchado		en ojal
	Bisel en J		Punto
	Bisel recto		Costura
	Bisel en U		Proyección
	Bisel en V		

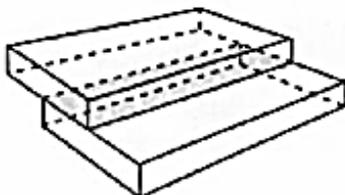
(B) JUNTA EN L



SOLDADURAS APLICABLES Y SIMBOLO DE SOLDADURA

	Filete		En tapón
	Bisel en 1/2V		Punto
	Bisel en V ensanchado		Costura
	Bisel en J		Proyección
	Bisel recto		
	en botón		

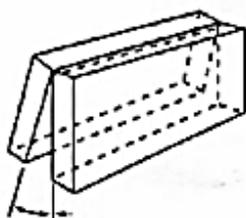
(C) JUNTA EN T



SOLDADURAS APLICABLES Y SIMBOLO DE SOLDADURA

	Filete		En ojal
	Bisel en 1/2V		Punto
	Bisel en V ensanchado		Costura
	Bisel en J		Proyección
	Bisel recto		*Braze
	En botón		

(D) JUNTA SOLAPADA



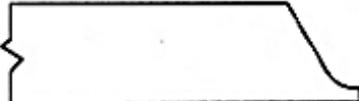
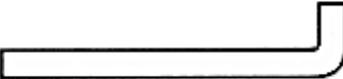
SOLDADURAS APLICABLES Y SIMBOLO DE SOLDADURA

	Bisel en 1/2V		Bisel en V
	Bisel en 1/2V ensanchado		Bisel recto
	Bisel en V ensanchado		En L con componentes curvos
	Bisel en J		En borde con componentes curvos
	Bisel recto		Costura
	Bisel en U		

(E) JUNTA EN BORDE

Anexo 03

Geometría de borde de los componentes

 <p>(A) GEOMETRÍA DE BORDE RECTO</p>	<p>SOLDADURAS APLICABLES Bisel en K</p> <p>Bisel en 1/2V Bisel en 1/2V ensanchado</p>	<p>Bisel en J Bisel recto En borde Filete</p>
 <p>(B) GEOMETRÍA DE BORDE EN 1/2V</p>	<p>SOLDADURAS APLICABLES Bisel en 1/2V ensanchado Bisel en V</p>	
 <p>(C) GEOMETRÍA DE BORDE EN DOBLE 1/2V</p>	<p>SOLDADURAS APLICABLES Bisel en K Bisel en V</p>	
 <p>(D) GEOMETRÍA DE BORDE EN J</p>	<p>SOLDADURAS APLICABLES Bisel en J Bisel en U</p>	
 <p>(E) GEOMETRÍA DE BORDE EN DOBLE J</p>	<p>SOLDADURAS APLICABLES Doble bisel en J Doble bisel en U</p>	
 <p>(F) GEOMETRÍA DE BORDE CURVO</p>	<p>SOLDADURAS APLICABLES Doble bisel en 1/2V ensanchado Bisel en 1/2V ensanchado En borde Filete</p>	<p>Proyección Costura Punto</p>
 <p>(G) GEOMETRÍA DE BORDE REDONDO</p>	<p>SOLDADURAS APLICABLES Doble bisel en 1/2V ensanchado Doble bisel en V ensanchado</p>	

Anexo 04

Extracto Código ASME Sección VIII Div.1 – Apéndice 12

ASME BPVC.VIII.1-2017

12-1 – 12-4

**MANDATORY APPENDIX 12
ULTRASONIC EXAMINATION OF WELDS (UT)****12-1 SCOPE**

(a) This Appendix describes methods which shall be employed when ultrasonic examination of welds is specified in this Division.

(b) Section V, Article 4 shall be applied for detail requirements in methods and procedures, unless otherwise specified in this Appendix.

(c) Ultrasonic examination shall be performed in accordance with a written procedure, certified by the Manufacturer to be in accordance with the requirements of Section V, Article 1, T-150.

12-2 CERTIFICATION OF COMPETENCE OF NONDESTRUCTIVE EXAMINER

Personnel performing and evaluating ultrasonic examinations required by this Division shall meet the requirements of UW-54.

12-3 ACCEPTANCE-REJECTION STANDARDS

These Standards shall apply unless other standards are specified for specific applications within this Division.

Imperfections which produce a response greater than 20% of the reference level shall be investigated to the extent that the operator can determine the shape, identity, and location of all such imperfections and evaluate them in terms of the acceptance standards given in (a) and (b) below.

(a) Indications characterized as cracks, lack of fusion, or incomplete penetration are unacceptable regardless of length.

(b) Other imperfections are unacceptable if the indications exceed the reference level amplitude and have lengths which exceed:

- (1) $\frac{1}{4}$ in. (6 mm) for t up to $\frac{3}{4}$ in. (19 mm);
- (2) $\frac{1}{3}t$ for t from $\frac{3}{4}$ in. to $2\frac{1}{4}$ in. (19 mm to 57 mm);
- (3) $\frac{3}{4}$ in. (19 mm) for t over $2\frac{1}{4}$ in. (57 mm).

where t is the thickness of the weld excluding any allowable reinforcement. For a butt weld joining two members having different thicknesses at the weld, t is the thinner of these two thicknesses. If a full penetration weld includes a fillet weld, the thickness of the throat of the fillet shall be included in t .

12-4 REPORT OF EXAMINATION

The Manufacturer shall prepare a report of the ultrasonic examination and a copy of this report shall be retained by the Manufacturer as required by this Division (10-13). The report shall contain the information required by Section V. In addition, a record of repaired areas shall be noted as well as the results of the reexamination of the repaired areas. The Manufacturer shall also maintain a record of all reflections from uncorrected areas having responses that exceed 50% of the reference level. This record shall locate each area, the response level, the dimensions, the depth below the surface, and the classification.

Anexo 05

ASME Sección V Artículo 4

2013 SECTION V

ARTICLE 4

**ARTICLE 4
ULTRASONIC EXAMINATION METHODS FOR WELDS****T-410 SCOPE**

This Article provides or references requirements for weld examinations, which are to be used in selecting and developing ultrasonic examination procedures when examination to any part of this Article is a requirement of a referencing Code Section. These procedures are to be used for the ultrasonic examination of welds and the dimensioning of indications for comparison with acceptance standards when required by the referencing Code Section; the referencing Code Section shall be consulted for specific requirements for the following:

- (a) personnel qualification/certification requirements
- (b) procedure requirements/demonstration, qualification, acceptance
- (c) examination system characteristics
- (d) retention and control of calibration blocks
- (e) extent of examination and/or volume to be scanned
- (f) acceptance standards
- (g) retention of records
- (h) report requirements

Definitions of terms used in this Article are contained in [Mandatory Appendix III of Article 5](#).

T-420 GENERAL

The requirements of this Article shall be used together with [Article 1](#), General Requirements. Refer to:

- (a) special provisions for coarse grain materials and welds in [T-451](#);
- (b) special provisions for computerized imaging techniques in [T-452](#);
- (c) [Mandatory Appendix III](#) for Time of Flight Diffraction (TOFD) techniques;
- (d) [Mandatory Appendix IV](#) for phased array manual rastering techniques.

T-421 WRITTEN PROCEDURE REQUIREMENTS

T-421.1 Requirements. Ultrasonic examination shall be performed in accordance with a written procedure which shall, as a minimum, contain the requirements listed in [Table T-421](#). The written procedure shall establish a single value, or range of values, for each requirement.

T-421.2 Procedure Qualification. When procedure qualification is specified by the referencing Code Section, a change of a requirement in [Table T-421](#) identified as an *essential variable* from the specified value, or range of

values, shall require requalification of the written procedure. A change of a requirement identified as a *nonessential variable* from the specified value, or range of values, does not require requalification of the written procedure. All changes of essential or nonessential variables from the value, or range of values, specified by the written procedure shall require revision of, or an addendum to, the written procedure.

T-430 EQUIPMENT**T-431 INSTRUMENT REQUIREMENTS**

A pulse-echo-type of ultrasonic instrument shall be used. The instrument shall be capable of operation at frequencies over the range of at least 1 MHz to 5 MHz and shall be equipped with a stepped gain control in units of 2.0 dB or less. If the instrument has a damping control, it may be used if it does not reduce the sensitivity of the examination. The reject control shall be in the "off" position for all examinations, unless it can be demonstrated that it does not affect the linearity of the examination.

The instrument, when required because of the technique being used, shall have both send and receive jacks for operation of dual search units or a single search unit with send and receive transducers.

T-432 SEARCH UNITS

T-432.1 General. The nominal frequency shall be from 1 MHz to 5 MHz unless variables, such as production material grain structure, require the use of other frequencies to assure adequate penetration or better resolution. Search units with contoured contact wedges may be used to aid ultrasonic coupling.

T-432.2 Weld Metal Overlay Cladding — Search Unit.⁹ Dual element, straight beam search units using an angled pitch-catch technique shall be used. The included angle between the search unit's elements shall be such that the effective focal spot distance is centered in the area of interest. (13)

T-433 COUPLANT

T-433.1 General. The couplant, including additives, shall not be detrimental to the material being examined.

T-433.2 Control of Contaminants.

(a) Couplants used on nickel base alloys shall not contain more than 250 ppm of sulfur.

**Table T-421
Requirements of an Ultrasonic Examination Procedure**

Requirement	Essential Variable	Nonessential Variable
Weld configurations to be examined, including thickness dimensions and base material product form (pipe, plate, etc.)	X	...
The surfaces from which the examination shall be performed	X	...
Technique(s) (straight beam, angle beam, contact, and/or immersion)	X	...
Angle(s) and mode(s) of wave propagation in the material	X	...
Search unit type(s), frequency(ies), and element size(s)/shape(s)	X	...
Special search units, wedges, shoes, or saddles, when used	X	...
Ultrasonic instrument(s)	X	...
Calibration [calibration block(s) and technique(s)]	X	...
Directions and extent of scanning	X	...
Scanning (manual vs. automatic)	X	...
Method for discriminating geometric from flaw indications	X	...
Method for sizing indications	X	...
Computer enhanced data acquisition, when used	X	...
Scan overlap (decrease only)	X	...
Personnel performance requirements, when required	X	...
Personnel qualification requirements	...	X
Surface condition (examination surface, calibration block)	...	X
Couplant: brand name or type	...	X
Post examination cleaning technique	...	X
Automatic alarm and/or recording equipment, when applicable	...	X
Records, including minimum calibration data to be recorded (e.g., instrument settings)	...	X

(b) Couplants used on austenitic stainless steel or titanium shall not contain more than 250 ppm of halides (chlorides plus fluorides).

T-434 CALIBRATION BLOCKS

T-434.1 General.

T-434.1.1 Reflectors. Specified reflectors (i.e., side-drilled holes, flat bottom holes, notches, etc.) shall be used to establish primary reference responses of the equipment. An alternative reflector(s) may be used provided that the alternative reflector(s) produces a sensitivity equal to or greater than the specified reflector(s) (e.g., side-drilled holes in lieu of notches, flat bottom holes in lieu of side-drilled holes).

T-434.1.2 Material.

(a) *Similar Metal Welds.* The material from which the block is fabricated shall be of the same product form and material specification or equivalent P-Number grouping as one of the materials being examined. For the purposes of this paragraph, P-Nos. 1, 3, 4, 5A through 5C, and 15A through 15F materials are considered equivalent.

(b) *Dissimilar Metal Welds.* The material selection shall be based on the material on the side of the weld from which the examination will be conducted. If the examination will be conducted from both sides, calibration reflectors shall be provided in both materials.

T-434.1.3 Quality. Prior to fabrication, the block material shall be completely examined with a straight beam search unit. Areas that contain an indication

exceeding the remaining back-wall reflection shall be excluded from the beam paths required to reach the various calibration reflectors.

T-434.1.4 Cladding.

(13)

(a) *Block Selection.* The material from which the block is fabricated shall be from one of the following:

- (1) nozzle dropout from the component
- (2) a component prolongation
- (3) material of the same material specification, product form, and heat treatment condition as the material to which the search unit is applied during the examination

(b) *Clad.* Where the component material is clad and the cladding is a factor during examination, the block shall be clad to the component clad nominal thickness $\pm \frac{1}{8}$ in. (3 mm). Deposition of clad shall be by the same method (i.e., roll-bonded, manual weld deposited, automatic wire deposited, or automatic strip deposited) as used to clad the component to be examined. When the cladding method is not known or the method of cladding used on the component is impractical for block cladding, deposition of clad may be by the manual method.

When the parent materials on opposite sides of a weld are clad by either different P-, A-, or F-numbers or material designations or methods, the calibration block shall be clad with the same P-, A-, or F-numbers or material designations using the same method used on the side of the weld from which the examination will be conducted. When the examination is conducted from both sides of the weld, the calibration block shall provide for calibration for both

materials and methods of cladding. For welds clad with a different material or method than the adjoining parent materials, and it is a factor during the examination, the calibration block shall be designed to be representative of this combination.

T-434.1.5 Heat Treatment. The calibration block shall receive at least the minimum tempering treatment required by the material specification for the type and grade. If the calibration block contains welds other than cladding, and the component weld at the time of the examination has been heat treated, the block shall receive the same heat treatment.

T-434.1.6 Surface Finish. The finish on the scanning surfaces of the block shall be representative of the scanning surface finishes on the component to be examined.

T-434.1.7 Block Curvature.

T-434.1.7.1 Materials With Diameters Greater Than 20 in. (500 mm). For examinations in materials where the examination surface diameter is greater than 20 in. (500 mm), a block of essentially the same curvature, or alternatively, a flat basic calibration block, may be used.

T-434.1.7.2 Materials With Diameters 20 in. (500 mm) and Less. For examinations in materials where the examination surface diameter is equal to or less than 20 in. (500 mm), a curved block shall be used. Except where otherwise stated in this Article, a single curved basic calibration block may be used for examinations in the range of curvature from 0.9 to 1.5 times the basic calibration block diameter. For example, an 8 in. (200 mm) diameter block may be used to calibrate for examinations on surfaces in the range of curvature from 7.2 in. to 12 in. (180 mm to 300 mm) in diameter. The curvature range from 0.94 in. to 20 in. (24 mm to 500 mm) in diameter requires 6 curved blocks as shown in Figure T-434.1.7.2 for any thickness range.

T-434.1.7.3 Alternative for Convex Surface. As an alternative to the requirements in T-434.1.7.1 when examining from the convex surface by the straight beam contact technique, Nonmandatory Appendix G may be used.

T-434.2 Non-Piping Calibration Blocks.

T-434.2.1 Basic Calibration Block. The basic calibration block configuration and reflectors shall be as shown in Figure T-434.2.1. The block size and reflector locations shall be adequate to perform calibrations for the beam angle(s) and distance range(s) to be used.

T-434.2.2 Block Thickness. The block thickness (T) shall be per Figure T-434.2.1.

T-434.2.3 Block Range of Use. When the block thickness ± 1 in. (25 mm) spans two weld thickness ranges as shown in Figure T-434.2.1, the block's use shall be acceptable in those portions of each thickness range covered by 1 in. (25 mm) of the calibration block's thickness. As an

example, a calibration block with a thickness of $1\frac{1}{2}$ in. (38 mm) could be used for weld thicknesses of 0.5 in. (13 mm) to 2.5 in. (64 mm).

T-434.2.4 Alternate Block. Alternatively, the block may be constructed as shown in Nonmandatory Appendix J, Figure J-431.

T-434.3 Piping Calibration Blocks. The basic calibration block configuration and reflectors shall be as shown in Figure T-434.3-1 or the alternate provided in Figure T-434.3-2 where curvature and/or wall thickness permits. The basic calibration block curvature shall be in accordance with. Thickness, T , shall be $\pm 25\%$ of the nominal thickness of the component to be examined. The block size and reflector locations shall be adequate to perform calibrations for the beam angle(s) and distance range(s) to be used. (13)

T-434.4 Weld Metal Overlay Cladding Calibration Blocks.¹⁰ (13)

T-434.4.1 Calibration Blocks for Technique One. The basic calibration block configuration and reflectors shall be as shown in Figure T-434.4.1. Either a side-drilled hole or flat bottom hole may be used. The thickness of the weld metal overlay cladding shall be at least as thick as that to be examined. The thickness of the base material shall be at least twice the thickness of the weld metal overlay cladding.

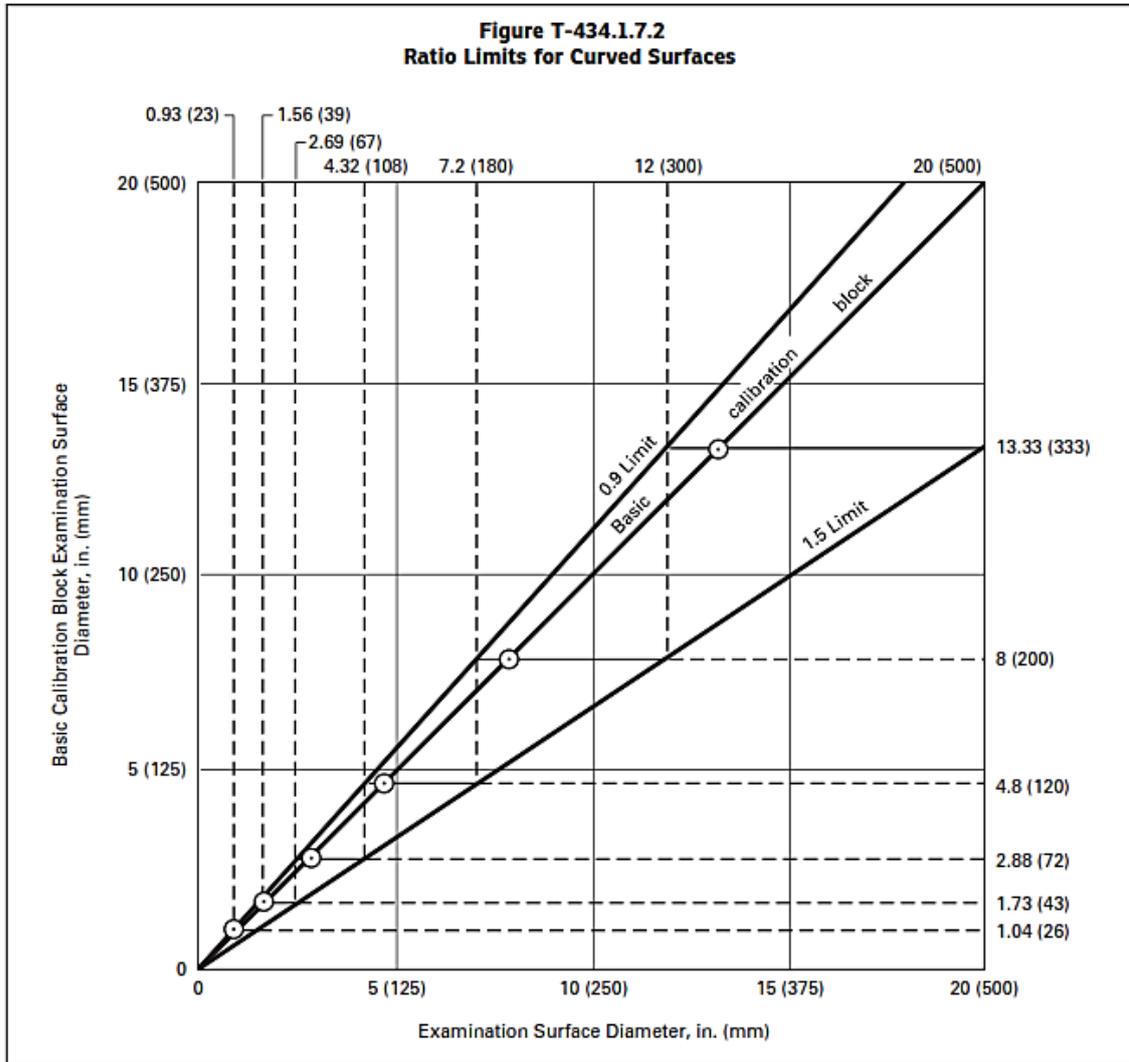
T-434.4.2 Alternate Calibration Blocks for Technique One. Alternately, calibration blocks as shown in Figure T-434.4.2.1 or Figure T-434.4.2.2 may be used. The thickness of the weld metal overlay cladding shall be at least as thick as that to be examined. The thickness of the base material shall be at least twice the thickness of the weld metal overlay cladding.

T-434.4.3 Calibration Block for Technique Two. The basic calibration block configuration and reflectors shall be as shown in Figure T-434.4.3. A flat bottom hole drilled to the weld/base metal interface shall be used. This hole may be drilled from the base material or weld metal overlay cladding side. The thickness of the weld metal overlay cladding shall be at least as thick as that to be examined. The thickness of the base metal shall be within 1 in. (25 mm) of the calibration block thickness when the examination is performed from the base material surface. The thickness of the base material on the calibration block shall be at least twice the thickness of the weld metal overlay cladding when the examination is performed from the weld metal overlay cladding surface.

T-434.5 Nozzle Side Weld Fusion Zone and/or Adjacent Nozzle Parent Metal Calibration Blocks.

T-434.5.1 Calibration Block. (13)

(a) *Configuration.* The calibration block configuration shall be as shown in Figure T-434.5.1. The block size and reflector locations shall be adequate to perform calibrations to cover the nozzle side weld fusion zone and/



or the adjacent nozzle parent metal. If the internal surface of the nozzle is clad before the examination, the ID surface of the calibration block shall be clad.

(b) *Block Thickness.* The calibration block shall be the maximum thickness of the nozzle wall adjacent to the nozzle weld plus $\frac{3}{4}$ in. (19 mm).

(c) *Curvature.* For examinations of nozzles with an inside diameter (ID) equal to or less than 20 in. (500 mm), the contact surface of the calibration block shall have the same curvature or be within the range of 0.9 to 1.5 times the diameter as detailed in Figure T-434.1.7.2.

(d) *Calibration Reflectors.* The calibration reflectors shall be side-drilled hole(s) that are in accordance with the requirements of Figure T-434.2.1 for the nozzle wall thickness.

(e) *Alternative Blocks*

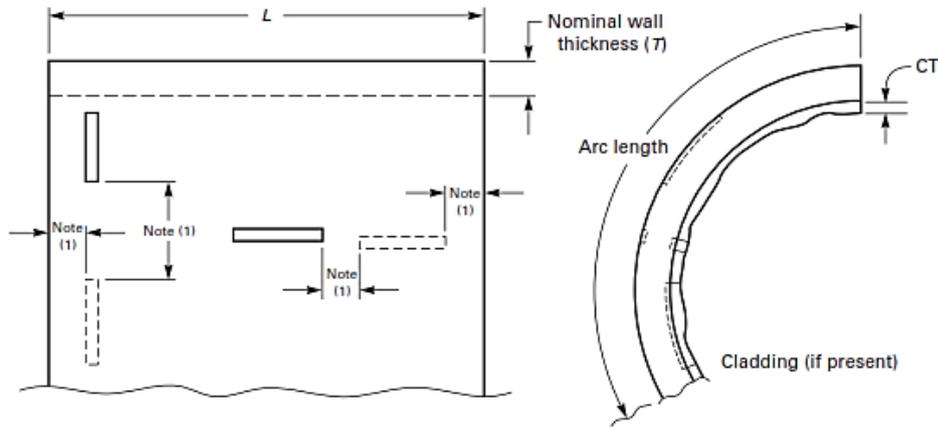
Alternative calibration blocks may be used for similar types of examinations provided the sound path distance (s) to the block's reflector(s) is (are) within $\frac{1}{4}$ in. (6 mm) of what is required and the side drilled hole(s) is (are) the same or a smaller diameter than what is required.

ARTICLE 4

2013 SECTION V

(13)

**Figure T-434.3-1
Calibration Block for Piping**



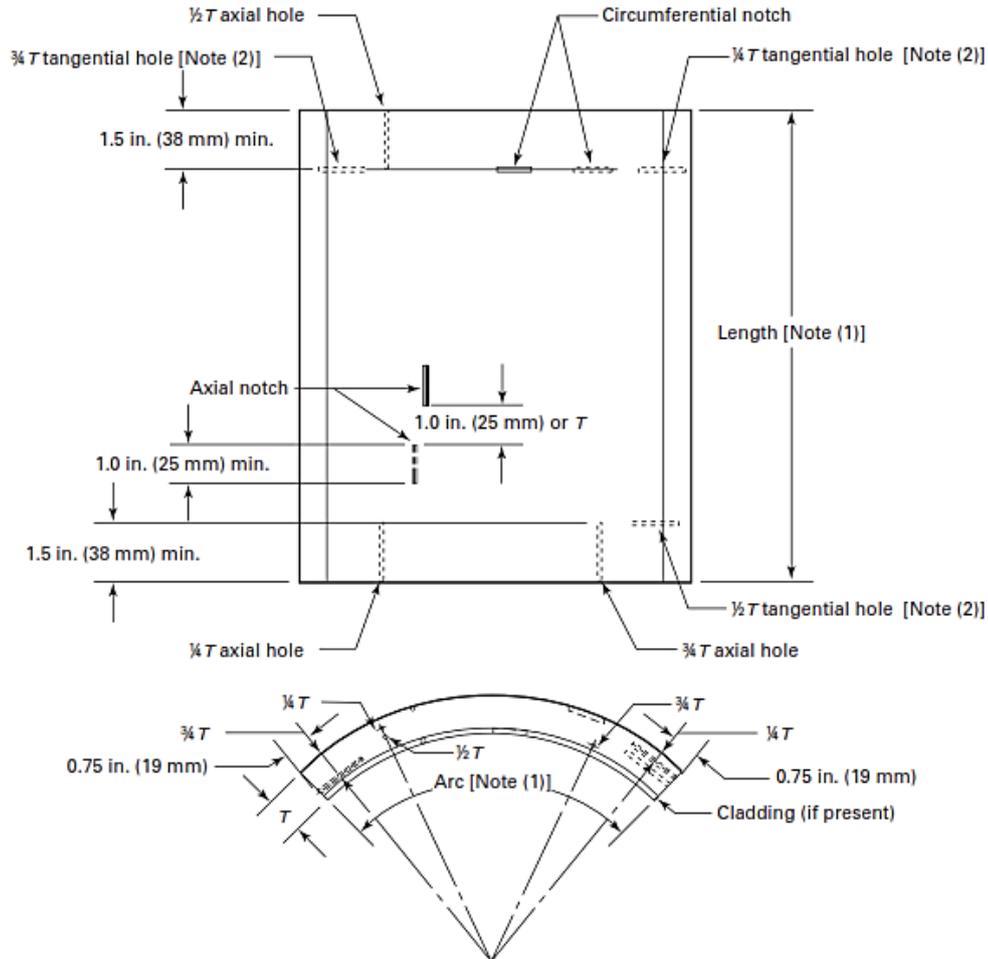
GENERAL NOTES:

- (a) The minimum calibration block length, L , shall be 8 in. (200 mm) or $8T$, whichever is greater.
- (b) For OD 4 in. (100 mm) or less, the minimum arc length shall be 270 deg. For OD greater than 4 in. (100 mm), the minimum arc length shall be 8 in. (200 mm) or $3T$, whichever is greater.
- (c) Notch depths shall be from $8\% T$ minimum to $11\% T$ maximum. When cladding is present, notch depths on the cladding side of the block shall be increased by the cladding thickness, CT (i.e., $8\% T + CT$ minimum to $11\% T + CT$ maximum). Notch widths shall be $\frac{1}{4}$ in. (6 mm) maximum. Notch lengths shall be 1 in. (25 mm) minimum.
- (d) Maximum notch width is not critical. Notches may be made with EDM or with end mills up to $\frac{1}{4}$ in. (6 mm) in diameter.
- (e) Notch lengths shall be sufficient to provide for calibration with a minimum 3 to 1 signal to noise ratio.
- (f) Two blocks shall be used when a weld joining two different thicknesses of material is examined and a single block does not satisfy the requirements of T 434.3.
- (g) When a flat block is used as permitted by T 434.1.7.1, the two axial notches may be omitted and the block width may be reduced to 4 in. (100 mm) provided the I.D. and O.D. notches are placed on opposite examination surfaces of the block. When cladding is not present, only one notch is required provided each examination surface is accessible during calibrations.

NOTE:

- (1) Notches shall be located not closer than $\frac{1}{2}T$ or $\frac{1}{2}$ in. (13 mm), whichever is greater, to any block edge or to other notches.

**Figure T-434.3-2
Alternate Calibration Block for Piping**



GENERAL NOTES:

- (a) For blocks less than $\frac{3}{4}$ in. (19 mm) in thickness, only the $\frac{1}{2}T$ side drilled hole is required.
- (b) Inclusion of notches is optional. Notches as shown in Figure T 434.3 1 may be utilized in conjunction with this calibration block.
- (c) Notch depths shall be from $8\% T$ minimum to $11\% T$ maximum. Notch widths shall be $\frac{1}{4}$ in. (6 mm) maximum. Notch lengths shall be 1 in. (25 mm) minimum.
- (d) Notches may be made with EDM or with end mills up to $\frac{1}{4}$ in. (6 mm) in diameter.
- (e) Notch lengths shall be sufficient to provide for calibration with a minimum 3 to 1 signal to noise ratio.
- (f) Notches shall be located not closer than T or $\frac{1}{2}$ in. (38 mm), whichever is greater, to any block edge or to other notches.

NOTES:

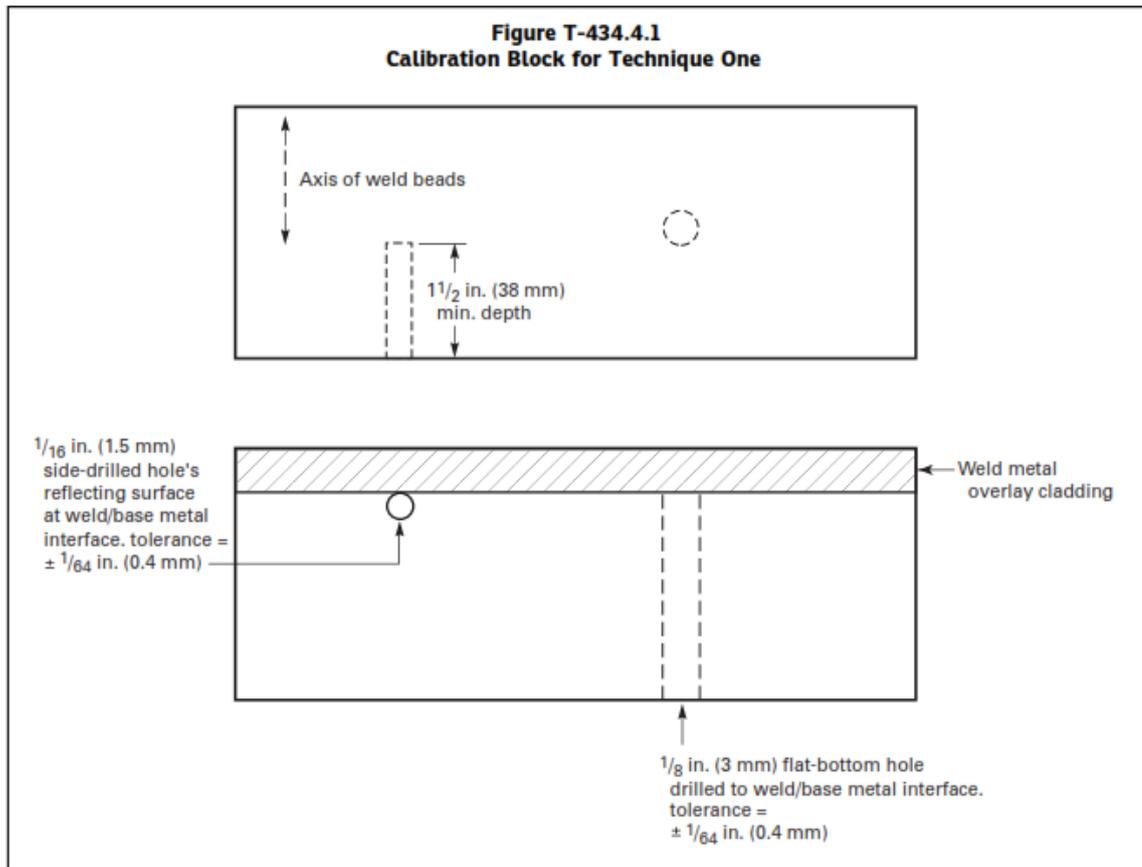
- (1) Length and arc shall be adequate to provide required angle beam calibration.
- (2) Side drilled hole diameter, length, and tolerance shall be in accordance with T 434.2.1, as permitted by T 464.1.2. Tangential side drilled holes at $\frac{1}{4}T$, $\frac{1}{2}T$, and $\frac{3}{4}T$ positions or locations are to have the depth confirmed at one half of their length. The radius of the side drilled hole shall be added to the measured depth to ensure the correct depth. Where thickness does not permit, the required depth of the side drilled hole and the location of the tangential position shall be indicated on the block surface.

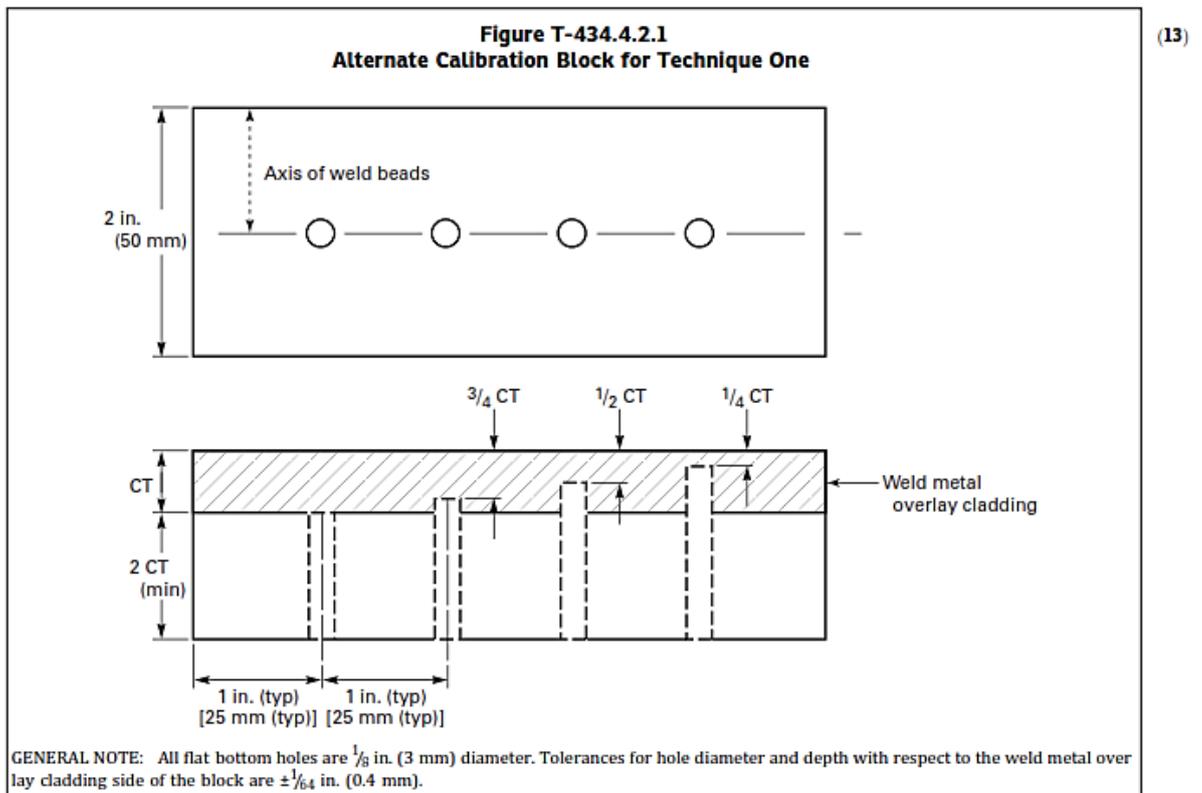
ARTICLE 4

2013 SECTION V

(13)

Figure T-434.4.1
Calibration Block for Technique One



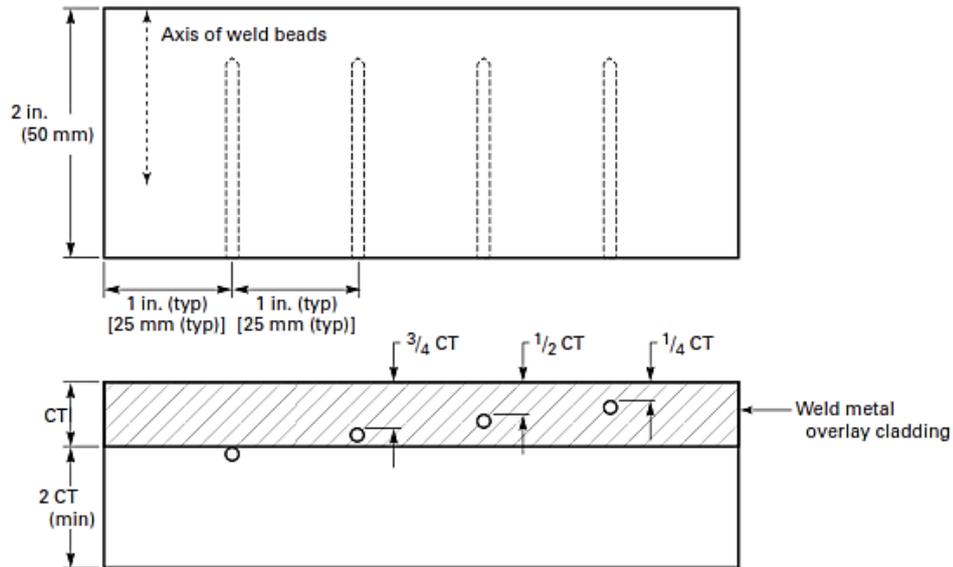


ARTICLE 4

2013 SECTION V

(13)

Figure T-434.4.2.2
Alternate Calibration Block for Technique One



GENERAL NOTE: All side drilled holes are $\frac{1}{16}$ in. (1.5 mm) diameter. Tolerances for hole diameter and depth with respect to the weld metal overlay cladding side of the block are $\pm \frac{1}{64}$ in. (0.4 mm). All holes drilled to a minimum depth of 1.5 in. (38 mm).

(13)

Figure T-434.4.3
Calibration Block for Technique Two

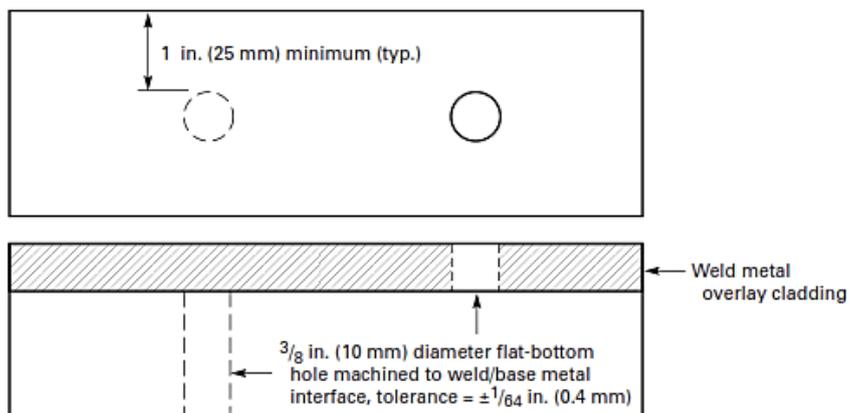
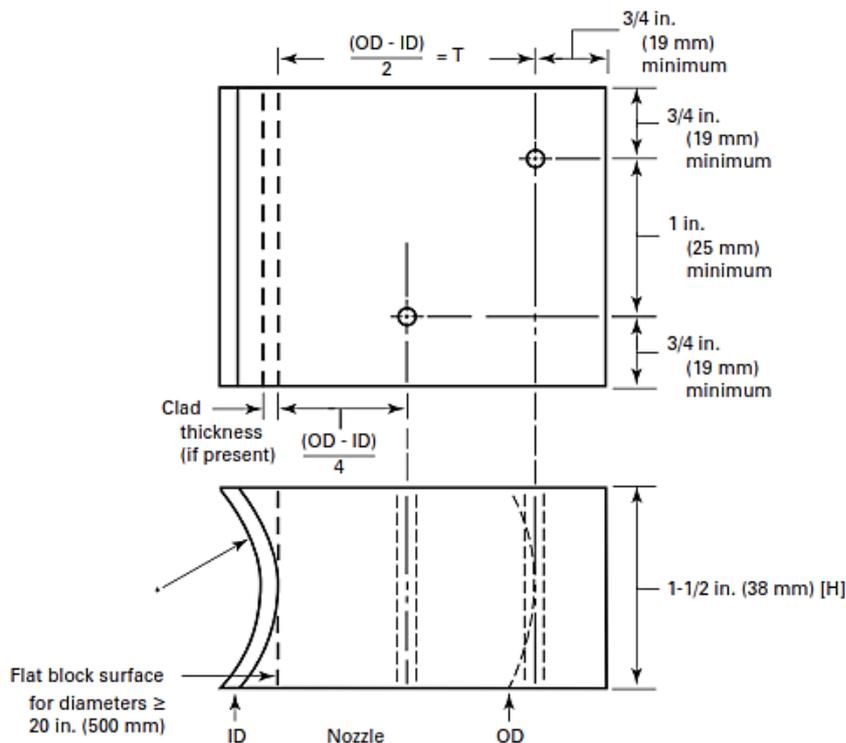


Figure T-434.5.1
Calibration Block for Straight Beam Examination of Nozzle Side Weld Fusion Zone and/or Adjacent Nozzle Parent Metal



GENERAL NOTES:

- (a) The thickness (T) of the calibration block $(OD - ID)/2$ shall be selected for the maximum nozzle wall thickness under the nozzle attachment weld.
- (b) Side drilled holes shall be drilled and reamed the full height $[H]$ of the block.
- (c) The diameter of the side drilled holes shall be selected for the maximum nozzle wall thickness per (a) above and [Figure T 434.2.1](#).
- (d) For nozzle side examinations, when the wall thickness of the calibration block exceeds 2 in. (50 mm), additional side drilled holes shall be placed in the block as required in the table below.

Calibration Block Wall Thickness, in. (mm)	Hole Location, $\frac{5}{8} T$	Hole Location, $\frac{3}{4} T$	Hole Location, $\frac{7}{8} T$
> 2 (50) through 3 (75)		X	
> 3 (75)	X	X	X

T-440 MISCELLANEOUS REQUIREMENTS**T-441 IDENTIFICATION OF WELD EXAMINATION AREAS**

(a) *Weld Locations.* Weld locations and their identification shall be recorded on a weld map or in an identification plan.

(b) *Marking.* If welds are to be permanently marked, low stress stamps and/or vibratooling may be used. Markings applied after final stress relief of the component shall not be any deeper than $\frac{3}{64}$ in. (1.2 mm).

(c) *Reference System.* Each weld shall be located and identified by a system of reference points. The system shall permit identification of each weld center line and designation of regular intervals along the length of the weld. A general system for layout of vessel welds is described in Article 4, Nonmandatory Appendix A; however, a different system may be utilized provided it meets the above requirements.

T-450 TECHNIQUES

The techniques described in this Article are intended for applications where either single or dual element search units are used to produce:

(a) normal incident longitudinal wave beams for what are generally termed *straight beam* examinations or

(b) angle beam longitudinal waves, where both refracted longitudinal and shear waves are present in the material under examination. When used for thickness measurement or clad examination, these examinations are generally considered to be straight beam examinations. When used for weld examinations, they are generally termed *angle beam* examinations or

(c) angle beam shear waves, where incident angles in wedges produce only refracted shear waves in the material under examination are generally termed *angle beam* examinations.

Contact or immersion techniques may be used. Base materials and/or welds with metallurgical structures producing variable attenuations may require that longitudinal angle beams are used instead of shear waves. Additionally, computerized imaging techniques may enhance the detectability and evaluation of indications.

Other techniques or technology which can be demonstrated to produce equivalent or better examination sensitivity and detectability using search units with more than two transducer elements may be used. The demonstration shall be in accordance with Article 1, T-150(a).

T-451 COARSE GRAIN MATERIALS

Ultrasonic examinations of high alloy steels and high nickel alloy weld deposits and dissimilar metal welds between carbon steels and high alloy steels and high nickel alloys are usually more difficult than ferritic weld examinations. Difficulties with ultrasonic examinations can be caused by an inherent coarse-grained and/or a

directionally-oriented structure, which can cause marked variations in attenuation, reflection, and refraction at grain boundaries and velocity changes within the grains. It usually is necessary to modify and/or supplement the provisions of this Article in accordance with T-150(a) when examining such welds in these materials. Additional items, which may be necessary, are weld mockups with reference reflectors in the weld deposit and single or dual element angle beam longitudinal wave transducers.

T-452 COMPUTERIZED IMAGING TECHNIQUES

The major attribute of Computerized Imaging Techniques (CITs) is their effectiveness when used to characterize and evaluate indications; however, CITs may also be used to perform the basic scanning functions required for flaw detection. Computer-processed data analysis and display techniques are used in conjunction with automatic or semi-automatic scanning mechanisms to produce two and three-dimensional images of flaws, which provides an enhanced capability for examining critical components and structures. Computer processes may be used to quantitatively evaluate the type, size, shape, location, and orientation of flaws detected by ultrasonic examination or other NDE methods. Descriptions for some CITs that may be used are provided in Nonmandatory Appendix E.

T-460 CALIBRATION**T-461 INSTRUMENT LINEARITY CHECKS**

The requirements of T-461.1 and T-461.2 shall be met at intervals not to exceed three months for analog type instruments and one year for digital type instruments, or prior to first use thereafter.

T-461.1 Screen Height Linearity. The ultrasonic instrument's screen height linearity shall be evaluated in accordance with Mandatory Appendix I.

T-461.2 Amplitude Control Linearity. The ultrasonic instrument's amplitude control linearity shall be evaluated in accordance with Mandatory Appendix II.

T-462 GENERAL CALIBRATION REQUIREMENTS

T-462.1 Ultrasonic System. Calibrations shall include the complete ultrasonic system and shall be performed prior to use of the system in the thickness range under examination.

T-462.2 Calibration Surface. Calibrations shall be performed from the surface (clad or unclad; convex or concave) corresponding to the surface of the component from which the examination will be performed.

T-462.3 Couplant. The same couplant to be used during the examination shall be used for calibration.

T-462.4 Contact Wedges. The same contact wedges to be used during the examination shall be used for calibration.

T-462.5 Instrument Controls. Any control which affects instrument linearity (e.g., filters, reject, or clipping) shall be in the same position for calibration, calibration checks, instrument linearity checks, and examination.

T-462.6 Temperature. For contact examination, the temperature differential between the calibration block and examination surfaces shall be within 25°F (14°C). For immersion examination, the couplant temperature for calibration shall be within 25°F (14°C) of the couplant temperature for examination.

T-463 CALIBRATION FOR NON-PIPING

T-463.1 System Calibration for Distance Amplitude Techniques.

- (13) **T-463.1.1 Calibration Block(s).** Calibrations shall be performed utilizing the calibration block shown in Figure T-434.2.1.

In cases such as single sided access welds (see T-472.2), the calibration block detailed in Figure T-434.2.1 may not provide the necessary sound path distances to the reference reflectors to provide distance-amplitude correction (DAC) that will fully cover the area of interest for the straight beam technique. In these cases, a second calibration block is required whose thickness (T) and reference reflector locations are based on the sound path distance that provides for coverage of the area of interest.

T-463.1.2 Techniques. Nonmandatory Appendices B and C provide general techniques for both angle beam shear wave and straight beam calibrations. Other techniques may be used.

The angle beam shall be directed toward the calibration reflector that yields the maximum response in the area of interest. The gain control shall be set so that this response is $80\% \pm 5\%$ of full screen height. This shall be the primary reference level. The search unit shall then be manipulated, without changing instrument settings, to obtain the maximum responses from the other calibration reflectors at their beam paths to generate the distance-amplitude correction (DAC) curve. These calibrations shall establish both the distance range calibration and the distance amplitude correction.

T-463.1.3 Angle Beam Calibration. As applicable, the calibration shall provide the following measurements (Nonmandatory Appendices B and M contain general techniques):

- (a) distance range calibration;
- (b) distance-amplitude;
- (c) echo amplitude measurement from the surface notch in the basic calibration block.

When an electronic distance-amplitude correction device is used, the primary reference responses from the basic calibration block shall be equalized over the distance range to be employed in the examination. The response equalization line shall be at a screen height of 40% to 80% of full screen height.

T-463.1.4 Alternative Angle Beam Calibration. When a vessel or other component is made with a thickness of $\frac{1}{2}$ in. (13 mm) or less and a diameter equal to or less than 20 in. (500 mm), the angle beam system calibrations for distance-amplitude techniques may be performed using the requirements of T-464.1.1 and T-464.1.2.

T-463.1.5 Straight Beam Calibration. The calibration shall provide the following measurements (Nonmandatory Appendix C gives a general technique):

- (a) distance range calibration; and
- (b) distance-amplitude correction in the area of interest.

When an electronic distance-amplitude correction device is used, the primary reference responses from the basic calibration block shall be equalized over the distance range to be employed in the examination. The response equalization line shall be at a screen height of 40% to 80% of full screen height.

T-463.2 System Calibration for Non-Distance Amplitude Techniques. Calibration includes all those actions required to assure that the sensitivity and accuracy of the signal amplitude and time outputs of the examination system (whether displayed, recorded, or automatically processed) are repeated from examination to examination. Calibration may be by use of basic calibration blocks with artificial or discontinuity reflectors. Methods are provided in Nonmandatory Appendices B and C. Other methods of calibration may include sensitivity adjustment based on the examination material, etc.

T-464 CALIBRATION FOR PIPING

T-464.1 System Calibration for Distance Amplitude Techniques. (13)

T-464.1.1 Calibration Block(s). Calibrations shall be performed utilizing the calibration block shown in Figure T-434.3-1 or the alternate provided in Figure T-434.3-2.

T-464.1.2 Angle Beam Calibration With Notches (Figure T-434.3-1). The angle beam shall be directed toward the notch that yields the maximum response. The gain control shall be set so that this response is $80\% \pm 5\%$ of full screen height. This shall be the primary reference level. The search unit shall then be manipulated, without changing instrument settings, to obtain the maximum responses from the calibration reflectors at the distance increments necessary to generate a three-point distance-amplitude correction (DAC) curve. Separate calibrations shall be established for both the axial and circumferential notches. These calibrations shall establish both the distance range calibration and the distance amplitude correction.

T-464.1.3 Calibration With Side-Drilled Holes (Figure T-434.3-2). The angle beam shall be directed toward the side-drilled hole that yields the maximum response. The gain control shall be set so that this

response is $80\% \pm 5\%$ of full screen height. This shall be the primary reference level. The search unit shall then be manipulated, without changing the instrument settings, to obtain the maximum responses from the calibration reflectors at the distance increments necessary to generate up to a $3T$ distance-amplitude correction (DAC) curve, where T is the thickness of the calibration block. Next, position the search unit for the maximum response for the surface notch positions and mark the peaks on the screen for consideration when evaluating surface reflectors. Separate calibrations shall be established for both the axial and circumferential scans. These calibrations shall establish both the distance range calibration and the distance-amplitude correction.

T-464.1.4 Straight Beam Calibration. When required, straight beam calibrations shall be performed to the requirements of [Nonmandatory Appendix C](#) using the side-drilled hole alternate calibration reflectors of [T-434.1.1](#). This calibration shall establish both the distance range calibration and the distance amplitude correction.

T-464.2 System Calibration for Non-Distance Amplitude Techniques. Calibration includes all those actions required to assure that the sensitivity and accuracy of the signal amplitude and time outputs of the examination system (whether displayed, recorded, or automatically processed) are repeated from examination to examination. Calibration may be by use of basic calibration blocks with artificial or discontinuity reflectors. Methods are provided in [Nonmandatory Appendices B and C](#). Other methods of calibration may include sensitivity adjustment based on the examination material, etc.

(13) **T-465 CALIBRATION FOR WELD METAL OVERLAY CLADDING**

T-465.1 Calibration for Technique One. Calibrations shall be performed utilizing the calibration block shown in [Figure T-434.4.1](#). The search unit shall be positioned for the maximum response from the calibration reflector. When a side-drilled hole is used for calibration, the plane separating the elements of the dual element search unit shall be positioned parallel to the axis of the hole. The gain control shall be set so that this response is $80\% \pm 5\%$ of full screen height. This shall be the primary reference level.

T-465.2 Calibration for Technique Two. Calibrations shall be performed utilizing the calibration block shown in [Figure T-434.4.3](#). The search unit shall be positioned for the maximum response of the first resolvable indication from the bottom of the calibration reflector. The gain shall be set so that this response is $80\% \pm 5\%$ of full screen height. This shall be the primary reference level.

T-465.3 Alternate Calibration for Technique One. Calibrations shall be performed utilizing the calibration blocks shown in [Figure T-434.4.2.1](#) or [T-434.4.2.2](#). The calibration shall be performed as follows:

(a) The search unit shall be positioned for maximum response from the reflector, which gives the highest amplitude.

(b) When the block shown in [Figure T-434.4.2.2](#) is used, the plane separating the elements of the dual element search unit shall be positioned parallel to the axis of the holes.

(c) The gain shall be set so that this response is $80\% \pm 5\%$ of full screen height. This shall be the primary reference level. Mark the peak of the indication on the screen.

(d) Without changing the instrument settings, position the search unit for maximum response from each of the other reflectors and mark their peaks on the screen.

(e) Connect the screen marks for each reflector to provide a DAC curve.

T-466 CALIBRATION FOR NOZZLE SIDE WELD FUSION ZONE AND/OR ADJACENT NOZZLE PARENT METAL

The number of calibration holes used depends upon the requirements for the examination. If only the nozzle side fusion zone is to be examined, then only a single side-drilled hole at the nozzle wall thickness needs to be used.

(a) *Single Hole.* The response from a single side drilled hole shall be set at $80\% \pm 5\%$ of full screen height. This is the primary reference level.

(b) *Multiple Holes.* The straight beam shall be directed toward the calibration reflector that yields the maximum response. The gain control shall be set so that this response is $80\% \pm 5\%$ of full screen height. This shall be the primary reference level. The search unit shall then be manipulated, without changing instrument settings, to obtain the maximum responses from the other hole position(s) to generate a distance-amplitude correction (DAC) curve.

T-467 CALIBRATION CONFIRMATION

T-467.1 System Changes. When any part of the examination system is changed, a calibration check shall be made on the basic calibration block to verify that distance range points and sensitivity setting(s) satisfy the requirements of [T-467.3](#).

T-467.2 Calibration Checks. A calibration check on at least one of the reflectors in the basic calibration block or a check using a simulator shall be performed at the completion of each examination or series of similar examinations, and when examination personnel (except for automated equipment) are changed. The distance range and sensitivity values recorded shall satisfy the requirements [T-467.3](#).

NOTE: Interim calibration checks between the required initial calibration and the final calibration check may be performed. The decision to perform interim calibration checks should be based on ultrasonic

instrument stability (analog vs. digital), the risk of having to conduct reexaminations, and the benefit of not performing interim calibration checks.

T-467.2.1 Simulator Checks. Any simulator checks that are used shall be correlated with the original calibration on the basic calibration block during the original calibration. The simulator checks may use different types of calibration reflectors or blocks (such as IIW) and/or electronic simulation. However, the simulation used shall be identifiable on the calibration sheet(s). The simulator check shall be made on the entire examination system. The entire system does not have to be checked in one operation; however, for its check, the search unit shall be connected to the ultrasonic instrument and checked against a calibration reflector. Accuracy of the simulator checks shall be confirmed, using the basic calibration block, at the conclusion of each period of extended use, or every three months, whichever is less.

T-467.3 Confirmation Acceptance Values.

T-467.3.1 Distance Range Points. If any distance range point has moved on the sweep line by more than 10% of the distance reading or 5% of full sweep, whichever is greater, correct the distance range calibration and note the correction in the examination record. All recorded indications since the last valid calibration or calibration check shall be reexamined and their values shall be changed on the data sheets or re-recorded.

T-467.3.2 Sensitivity Settings. If any sensitivity setting has changed by more than 20% or 2 dB of its amplitude, correct the sensitivity calibration and note the correction in the examination record. If the sensitivity setting has decreased, all data sheets since the last valid calibration check shall be marked void and the area covered by the voided data shall be reexamined. If the sensitivity setting has increased, all recorded indications since the last valid calibration or calibration check shall be reexamined and their values shall be changed on the data sheets or re-recorded.

T-470 EXAMINATION

T-471 GENERAL EXAMINATION REQUIREMENTS

T-471.1 Examination Coverage. The volume to be scanned shall be examined by moving the search unit over the scanning surface so as to scan the entire examination volume for each required search unit.

(a) Each pass of the search unit shall overlap a minimum of 10% of the transducer (piezoelectric element) dimension parallel to the direction of scan indexing. As an alternative, if the sound beam dimension parallel to the direction of scan indexing is measured in accordance with [Nonmandatory Appendix B, B-466](#), Beam Spread measurement rules, each pass of the search unit may provide overlap of the minimum beam dimension determined.

(b) Oscillation of the search unit is permitted if it can be demonstrated that overlapping coverage is provided.

T-471.2 Pulse Repetition Rate. The pulse repetition rate shall be small enough to assure that a signal from a reflector located at the maximum distance in the examination volume will arrive back at the search unit before the next pulse is placed on the transducer.

T-471.3 Rate of Search Unit Movement. The rate of search unit movement (scanning speed) shall not exceed 6 in./s (150 mm/s), unless: (13)

(a) the ultrasonic instrument pulse repetition rate is sufficient to pulse the search unit at least six times within the time necessary to move one-half the transducer (piezoelectric element) dimension parallel to the direction of the scan at maximum scanning speed; or,

(b) a dynamic calibration is performed on multiple reflectors, which are within 2 dB of a static calibration and the pulse repetition rate meets the requirements of T-471.2.

T-471.4 Scanning Sensitivity Level.

T-471.4.1 Distance Amplitude Techniques. The scanning sensitivity level shall be set a minimum¹¹ of 6 dB higher than the reference level gain setting.

T-471.4.2 Non-Distance Amplitude Techniques. The level of gain used for scanning shall be appropriate for the configuration being examined and shall be capable of detecting the calibration reflectors at the maximum scanning speed.

T-471.5 Surface Preparation. When the base material or weld surface interferes with the examination, the base material or weld shall be prepared as needed to permit the examination.

T-472 WELD JOINT DISTANCE AMPLITUDE TECHNIQUE

When the referencing Code Section specifies a distance amplitude technique, weld joints shall be scanned with an angle beam search unit in both parallel and transverse directions (4 scans) to the weld axis. Before performing the angle beam examinations, a straight beam examination shall be performed on the volume of base material through which the angle beams will travel to locate any reflectors that can limit the ability of the angle beam to examine the weld volume. [Nonmandatory Appendix I](#) describes a method of examination using multiple angle beam search units.

T-472.1 Angle Beam Technique.

T-472.1.1 Beam Angle. The search unit and beam angle selected shall be 45 deg or an angle appropriate for the configuration being examined and shall be capable of detecting the calibration reflectors, over the required angle beam path.

T-472.1.2 Reflectors Parallel to the Weld Seam. The angle beam shall be directed at approximate right angles to the weld axis from both sides of the weld (i.e., from

ARTICLE 4

2013 SECTION V

two directions) on the same surface when possible. The search unit shall be manipulated so that the ultrasonic energy passes through the required volume of weld and adjacent base material.

(13) **T-472.1.3 Reflectors Transverse to the Weld Seam.**

(a) Scanning With Weld Reinforcement. If the weld cap is not machined or ground flat, the examination shall be performed from the base material on both sides of the weld cap. While scanning parallel to the weld axis, the angle beam shall be directed from 0 deg to 60 deg with respect to the weld axis in both axial directions, with the angle beam passing through the required examination volume.

(b) Scanning Without Weld Reinforcement. If the weld cap is machined or ground flat, the examination shall be performed on the weld. While scanning, the angle beam shall be directed essentially parallel to the weld axis in both axial directions. The search unit shall be manipulated so that the angle beam passes through the required examination volume.

(13) **T-472.2 Single-Sided Access Welds.** Welds that cannot be fully examined from two directions per T-472.1.2 using the angle beam technique shall also be examined to the maximum extent possible with a straight beam technique applied from an adjacent base material surface. This may be applicable to vessel corner and tee joints, nozzle and manway neck to shell or head joints, pipe to fittings, or branch connections. The area(s) of single-sided access and, if applicable, the extent of the limit coverage shall be noted in the examination report.

T-472.3 Inaccessible Welds. Welds that cannot be examined from at least one side (edge) using the angle beam technique shall be noted in the examination report. For flange welds, the weld may be examined with a straight beam or low angle longitudinal waves from the flange face provided the examination volume can be covered.

(13) **T-473 WELD METAL OVERLAY CLADDING TECHNIQUES**

The techniques described in these paragraphs shall be used when examinations of weld metal overlay cladding are required by the referencing Code Section. When examination for lack of bond and weld metal overlay cladding flaw indications is required, Technique One shall be used. When examination for lack of bond only is required, Technique Two may be used.

T-473.1 Technique One. The examination shall be performed from the weld metal overlay clad surface with the plane separating the elements of the dual element search unit positioned parallel to the axis of the weld bead. The search unit shall be moved perpendicular to the weld direction.

T-473.2 Technique Two. The examination may be performed from either the weld metal overlay clad or unclad surface and the search unit may be moved either perpendicular or parallel to the weld direction.

T-474 NONDISTANCE AMPLITUDE TECHNIQUES

The number of angles and directions of the scans, for reflectors both parallel and transverse to the weld axis, shall demonstrate the ability to detect the minimum size rejectable discontinuities in the referencing Code Section acceptance standards. The detailed techniques shall be in conformance with the requirements of the referencing Code Section.

T-475 NOZZLE SIDE WELD FUSION ZONE AND/OR ADJACENT NOZZLE PARENT METAL

T-475.1 Search Unit Location. When the referencing Code Section specifies that an ultrasonic examination be performed to examine either the nozzle side weld fusion zone and/or the adjacent nozzle parent metal, a straight beam examination shall be conducted from the inside nozzle surface.

T-475.2 Examination. The general examination requirements of T-471 are applicable. The full circumference of the nozzle shall be scanned to cover the entire nozzle side fusion zone of the weld plus 1 in. (25 mm) beyond the weld toes. The search unit may be moved either circumferentially around or axially across the examination zone. The screen range shall cover as a minimum, 1.1 times the full thickness of the nozzle wall. Nozzles that cannot be fully examined (e.g., restricted access that prevents hand placement of the search unit) shall be noted in the examination report.

T-477 POST-EXAMINATION CLEANING

When post-examination cleaning is required by the procedure, it should be conducted as soon as practical after evaluation and documentation using a process that does not adversely affect the part.

T-480 EVALUATION

T-481 GENERAL

It is recognized that not all ultrasonic reflectors indicate flaws, since certain metallurgical discontinuities and geometric conditions may produce indications that are not relevant. Included in this category are plate segregates in the heat-affected zone that become reflective after fabrication. Under straight beam examination, these may appear as spot or line indications. Under angle beam examination, indications that are determined to originate from surface conditions (such as weld root geometry) or variations in metallurgical structure in austenitic materials (such as the automatic-to-manual weld clad interface) may be classified as geometric indications. The identity, maximum amplitude, location, and extent of reflector causing a

geometric indication shall be recorded. [For example: internal attachment, 200% DAC, 1 in. (25 mm) above weld center line, on the inside surface, from 90 deg to 95 deg] The following steps shall be taken to classify an indication as geometric:

(a) Interpret the area containing the reflector in accordance with the applicable examination procedure.

(b) Plot and verify the reflector coordinates. Prepare a cross-sectional sketch showing the reflector position and surface discontinuities such as root and counterbore.

(c) Review fabrication or weld preparation drawings. Other ultrasonic techniques or nondestructive examination methods may be helpful in determining a reflector's true position, size, and orientation.

T-482 EVALUATION LEVEL

T-482.1 Distance Amplitude Techniques. All indications greater than 20% of the reference level shall be investigated to the extent that they can be evaluated in terms of the acceptance criteria of the referencing Code Section.

T-482.2 Non-Distance Amplitude Techniques. All indications longer than 40% of the rejectable flaw size shall be investigated to the extent that they can be evaluated in terms of the acceptance criteria of the referencing Code Section.

T-483 EVALUATION OF LAMINAR REFLECTORS

Reflectors evaluated as laminar reflectors in base material which interfere with the scanning of examination volumes shall require the angle beam examination technique to be modified such that the maximum feasible volume is examined, and shall be noted in the record of the examination (T-493).

T-484 ALTERNATIVE EVALUATIONS

Reflector dimensions exceeding the referencing Code Section requirements may be evaluated to any alternative standards provided by the referencing Code Section.

T-490 DOCUMENTATION

T-491 RECORDING INDICATIONS

T-491.1 Nonrejectable Indications. Nonrejectable indications shall be recorded as specified by the referencing Code Section.

T-491.2 Rejectable Indications. Rejectable indications shall be recorded. As a minimum, the type of indication (i.e., crack, nonfusion, slag, etc.), location, and extent (i.e., length) shall be recorded. Nonmandatory [Appendices D](#) and [K](#) provide general recording examples for angle and straight beam search units. Other techniques may be used.

T-492 EXAMINATION RECORDS

For each ultrasonic examination, the following information shall be recorded:

(a) procedure identification and revision;
(b) ultrasonic instrument identification (including manufacturer's serial number);

(c) search unit(s) identification (including manufacturer's serial number, frequency, and size);

(d) beam angle(s) used;

(e) couplant used, brand name or type;

(f) search unit cable(s) used, type and length;

(g) special equipment when used (search units, wedges, shoes, automatic scanning equipment, recording equipment, etc.);

(h) computerized program identification and revision when used;

(i) calibration block identification;

(j) simulation block(s) and electronic simulator(s) identification when used;

(k) instrument reference level gain and, if used, damping and reject setting(s);

(l) calibration data [including reference reflector(s), indication amplitude(s), and distance reading(s)];

(m) data correlating simulation block(s) and electronic simulator(s), when used, with initial calibration;

(n) identification and location of weld or volume scanned;

(o) surface(s) from which examination was conducted, including surface condition;

(p) map or record of rejectable indications detected or areas cleared;

(q) areas of restricted access or inaccessible welds;

(r) examination personnel identity and, when required by referencing Code Section, qualification level;

(s) date of examination.

Items (b) through (m) may be included in a separate calibration record provided the calibration record identification is included in the examination record.

T-493 REPORT

A report of the examinations shall be made. The report shall include those records indicated in T-491 and T-492. The report shall be filed and maintained in accordance with the referencing Code Section.

T-494 STORAGE MEDIA

Storage media for computerized scanning data and viewing software shall be capable of securely storing and retrieving data for the time period specified by the referencing Code Section.

TESIS

EVALUACIÓN DE UNIONES SOLDADAS MEDIANTE ULTRASONIDO EN
TUBERÍAS FORZADAS PARA LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA CARHUAC
SEGÚN EL CÓDIGO ASME SECCIÓN V ARTÍCULO 4 – 2018

JURADO DE TESIS

Dr. RUIZ SANCHEZ, Berardo Beder
CIP. 26627
PRESIDENTE

Dr. SALCEDO MEZA, Máximo Tomas
CIP. 15140
SECRETARIO

Ing. ABARCA RODRIGUEZ, Joaquín José
CIP: 108833
VOCAL

Ing. NUNJA GARCIA, José Vicente
CIP. 51874
ASESOR