



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

“APLICACIÓN DEL MÉTODO ULTRASONIDO ARREGLO DE FASES EN LUGAR DE RADIOGRAFÍA PARA INSPECCIÓN DE SOLDADURAS DE TUBERÍA DE PRESIÓN”

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
MAGISTER EN SISTEMAS DE TRANSPORTE DE PETRÓLEO Y DERIVADOS

YANCHAPAXI CAIZA OSCAR FABIAN
oscar.yanchapaxi@epn.edu.ec

DIRECTOR: Ing. CARLOS WIME DÍAZ CAMPOVERDE, Msc.
carlos.diaz@epn.edu.ec

QUITO, SEPTIEMBRE 2017

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **OSCAR FABIAN YANCHAPAXI CAIZA**, bajo mi supervisión.

Ing. Carlos Díaz Campoverde

DIRECTOR DE PROYECTO

DECLARACIÓN

Yo, **Oscar Fabián Yanchapaxi Caiza**, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Oscar Fabian Yanchapaxi Caiza

DEDICATORIA

La culminación de este trabajo va dedicado con todo el amor que llevo en mí ser:

A Dios por darme las fuerzas para seguir adelante y superar todas las difíciles pruebas que la vida nos pone.

A mis hijos Shirley y Matheo, por haberse convertido en el motor que mueve mi vida. Por ser la bendición más grande que Dios me dio.

A mi Padre, a mi Madre, a mis hermanos, a mis cuñadas, a mis sobrinas y a toda esa bella familia y amistades que llegue a conocer en esta etapa de mi vida, gracias de todo corazón por su comprensión y apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

Al Ing. Carlos Díaz Campoverde por su valiosa ayuda en el desarrollo y culminación del presente proyecto.

A la compañía SINDESECUADOR S.A por prestar todas las facilidades para el desarrollo de este proyecto.

1 ÍNDICE

1	ÍNDICE	v
	INTRODUCCIÓN	1
	Pregunta de Investigación	2
	Objetivo general	2
	Objetivos específicos	2
	Alcance	3
1	MARCO TEÓRICO	4
1.1	Radiografía Industrial.....	4
	Principios del método de Inspección radiográfica	4
	Características de Radiación	5
	Equipos de Rayos X	7
1.2	Gammagrafía Industrial	8
	Equipo de Gammagrafía Industrial.....	8
	Equipos de Inspección y protección radiológica.....	9
1.3	Ultrasonido arreglo de fases (Phased Array).	10
	Principios de ultrasonido.....	11
	Relación entre velocidad, longitud de onda y frecuencia.....	11
	Reflexiones ultrasónicas.....	12
	Refracción ultrasónica	13
	Formas de vibración ultrasónica (modos de onda).....	14
	Principios de funcionamiento del ultrasonido arreglo de fases.	14
	Características de las sondas (transductores) de Phased Array	16
	Pulsación en fase - Phased Pulsing.....	20
	Conformación y direccionamiento del haz.....	22
	Métodos de presentación de datos para Phased Array.....	23
	Elementos de inspección mediante ultrasonido arreglo de fases.	29

1.4	Ventajas y desventajas del uso del Método de Ultrasonido arreglo de fases en lugar de radiografía.	30
	Ventajas	30
	Desventajas.....	30
2	METODOLOGÍA.....	32
2.1	Bloques de calibración para tubería bajo el código ASME B31.3.....	32
	Requerimientos específicos para bloques curvos de calibración para tubería bajo el código ASME B31.3.....	34
2.2	Construcción de bloques curvos de calibración para tubería bajo el código ASME B31.3	36
2.3	Elaboración de procedimientos de soldadura para la obtención de defectos en juntas soldadas.	41
	Obtención de cupones de prueba simulando los diferentes tipos de defectos en soldaduras de producción.....	46
2.4	Inspección de cupones de prueba soldados mediante el método de ultrasonido arreglo de fases y método de radiografía industrial.	48
3	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	55
3.1	Resultados	55
	Resultados de inspección de cupones de prueba con los métodos de Radiografía Industrial y Ultrasonido con la técnica de Arreglo de Fases.	55
	Resultado de Evaluación de Costos.	67
	<i>Costo de equipos</i>	67
	<i>Costo de certificación de personal</i>	68
	<i>Costo de inspección</i>	70
3.2	Discusión.....	71
	Criterios de aceptación y rechazo para el método de Ultrasonido Arreglo de Fases bajo el código ASME B31.3.	71
	Criterios de aceptación y rechazo para el método de radiografía bajo el código ASME B31.3.	72
	Análisis de Resultados.....	74

4	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	82
4.1	Conclusiones	82
4.2	Recomendaciones	83
	Referencias Bibliográficas	85
	Anexos	86

RESUMEN

El presente documento tiene por objetivo aplicar el método de ultrasonido con la técnica arreglo de fases en lugar del método de radiografía industrial para evaluar discontinuidades de soldadura presentes en tuberías de presión, de acuerdo con los criterios de aceptación y rechazo del código ASME B31.3, que permita determinar los espesores y diámetros mínimos para los cuales el método de Ultrasonido con la técnica de arreglo de fases arroje resultados válidos, comparables con los encontrados con la aplicación del método de Radiografía.

El alcance del presente proyecto abarcó la fabricación de bloques curvos de calibración para la aplicación del método de ultrasonido, de acuerdo con lo estipulado en el ASME B31.3, la fabricación de cupones de prueba con defectos típicos que se encuentran en las soldaduras de juntas circunferenciales de tuberías a presión, la inspección, evaluación y comparación de los resultados de los cupones de prueba utilizando los métodos de ultrasonido con la técnica de arreglo de fases y radiografía industrial. Se realizó el análisis de los costos reales de los servicios de inspección tanto para el método de ultrasonido con la técnica de arreglo de fases y para el método de radiografía industrial con el fin de determinar que método es económica y técnicamente más viable.

Al comparar los barridos de inspección por el método de ultrasonido arreglo de fases con las películas radiográficas de los cupones de prueba, se pudo verificar que las discontinuidades encontradas con el método de radiografía son visualizados también con el método de ultrasonido arreglo de fases, y dependiendo del tipo de defecto se visualiza con diferentes contrastes de colores y niveles de amplitud en la pantalla del equipo.

Para una misma calibración del equipo de ultrasonido, se pudo verificar que discontinuidades con bordes lineales tienen una amplitud que sobrepasa el nivel de referencia establecido, y discontinuidades con bordes redondeados muestran una amplitud menor que las discontinuidades lineales.

Se llegó a concluir que el método de ultrasonido arreglo de fases es económicamente más rentable, debido a que se puede inspeccionar una mayor cantidad de juntas en una misma jornada de trabajo respecto al método de radiografía industrial. Además el método de ultrasonido no genera riesgos asociados a la seguridad del personal y medioambiente.

Palabras clave: Ultrasonido, Arreglo de Fases, Radiografía, Ensayos no Destructivos.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to apply the ultrasonic testing phased array in lieu of the industrial radiographic testing to evaluate weld discontinuities in pressure piping according to the acceptance and rejection criteria of ASME B31.3, which allows to determine the thicknesses and minimum diameters for which the ultrasonic testing phased array provide valid results, comparable with those found with the application of the Radiographic testing.

Scope project involved the manufacture of curved calibration blocks for the application of the ultrasonic testing, in accordance with ASME B31.3, the manufacture of test coupons with typical defects found in joint welds circumferential of pressure piping, inspection, evaluation and comparison of test coupon results using ultrasonic testing phased array and industrial radiographic testing. It was done the analysis of the actual costs of inspection services for both ultrasonic testing phased array and the industrial radiographic testing in order to determine which method is economically and technically more feasible.

When comparing the scan inspection by the ultrasonic testing phased array with the radiographic films of the test coupons, could be verified that the discontinuities found with the radiographic testing are also visualized using the ultrasonic testing phased array, and depending of the defect type is displayed with different color contrasts and amplitude levels on the equipment screen.

For the same calibration of the UT equipment, could be verified that discontinuities with linear edges have amplitude that exceeds the established reference level, and discontinuities with rounded edges show smaller amplitude than the linear discontinuities.

It was concluded that the ultrasonic testing phased array is economically more profitable, this because of can be inspected more weld joints than radiographic testing. In addition, the ultrasound method does not create risks associated with the safety of personnel and the environment.

Keywords: Ultrasonic, Phased Array, Radiography, Nondestructive Testing.

“APLICACIÓN DEL MÉTODO ULTRASONIDO ARREGLO DE FASES EN LUGAR DE RADIOGRAFÍA PARA INSPECCIÓN DE SOLDADURAS DE TUBERÍA DE PRESIÓN”

INTRODUCCIÓN

En años recientes se ha recurrido ampliamente al examen ultrasónico, el cual ha sido usado como parte de las evaluaciones de calidad que se aplican a una gran variedad de componentes como recipientes a presión, sistemas de tubería, estructuras de edificios, etc.; en general, en la industria de la energía, petroquímica, del transporte, de la construcción, etc. Con el paso de los años, el examen ultrasónico le ha tomado la delantera al examen radiográfico en variedad de aplicaciones, gracias a la serie de ventajas con las que cuenta, las cuales serán detalladas más adelante.

Dentro de la industria, existen diferentes organismos que desde hace muchos años se han dado a la tarea de establecer los requisitos con los que se debe cumplir en la fabricación, y en algunos casos en la operación, de esos componentes; por mencionar algunos se cita a: ASME (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos), AWS (Sociedad Americana de Soldadura), API (Instituto Americano del Petróleo). Dentro de esos requisitos y como medio de inspección y verificación se considera la aplicación del examen ultrasónico, como una alternativa al uso del examen radiográfico.

La Industria Petrolera Ecuatoriana ha manejado por años la técnica de Radiografía / Gammagrafía (RT) como único método aceptado para la evaluación de defectos de juntas circunferenciales soldadas, debido a la no existencia de personal certificado y con experiencia en el área de ultrasonido para evaluación de este tipo de juntas.

El ultrasonido industrial con la técnica de arreglo de fases es una nueva tecnología, que permite el control electrónico de los haces ultrasónicos de una serie de elementos transductores individuales colocados en un sensor multi-elementos, los cuales generan un haz ultrasónico focalizado que permite modificar dinámicamente los parámetros acústicos del haz, tal como el ángulo, distancia focal y tamaño del punto focal con la ayuda de un software.

Uno de los factores más importantes, que en nuestro medio ha promovido la utilización del método de ultrasonido arreglo de fases en lugar de radiografía ha sido el precautelar la salud y bienestar de las personas, tanto de inspectores, así como del personal de

producción, ya que prolongados tiempos de exposición con estas fuentes de radiación ionizante puede causar daños permanentes y hereditarios.

Pregunta de Investigación

Determinar los espesores y diámetros para los cuales el método de Ultrasonido con la técnica de arreglo de fases arroje resultados válidos, comparables con los encontrados con la aplicación del método de Radiografía industrial en soldaduras de juntas circunferenciales de tuberías de presión, de acuerdo con los criterios de aceptación y rechazo estipulados en el código ASME B31.3 "Process Piping".

Objetivo general

Aplicar el método de ultrasonido con la técnica arreglo de fases en lugar de radiografía industrial para evaluar defectos de soldadura presentes en tuberías de presión, de acuerdo con los criterios de aceptación y rechazo del código ASME B31.3 para los siguientes diámetros y espesores: 2" SCH STD, 2" SCH 80, 4" SCH STD, 4" SCH 80, 6" SCH STD, 12" SCH STD.

Nota: Se utiliza el término abreviado SCH para referirse a SCHEDULE o clasificación de espesor.

Objetivos específicos

- Fabricar bloques curvos de calibración de acuerdo con lo estipulado en el código ASME B31.3 para los diámetros y espesores que forman parte de este proyecto, con el fin de calibrar el equipo de ultrasonido que será empleado para la verificación de discontinuidades.
- Fabricar cupones de prueba con defectos típicos encontrados en soldaduras de tuberías de presión para los diámetros y espesores que forman parte de este proyecto, con el fin de realizar las inspecciones con los métodos de ultrasonido con la técnica de arreglo de fases y radiografía industrial.
- Realizar la inspección de los cupones de prueba con el método de ultrasonido con la técnica arreglo de fases y radiografía industrial, con el fin de verificar que los resultados obtenidos sean válidos y comparables con los encontrados con Radiografía en soldaduras de juntas circunferenciales, de acuerdo con los criterios de aceptación y rechazo del código ASME B31.3 "Piping Code".
- Comparar los costos del servicio de inspección entre los métodos de ultrasonido con la técnica de arreglo de fases y radiografía industrial (gammagrafía), con el fin

de determinar los precios reales del servicio en el ámbito laboral Ecuatoriano y definir que método es económicamente más favorable.

Alcance

El alcance del presente proyecto abarca la fabricación de bloques curvos de calibración para la aplicación del método de ultrasonido, de acuerdo con lo estipulado en el ASME B31.3, y la fabricación de cupones de prueba con defectos típicos que se encuentran en las soldaduras de juntas circunferenciales de tuberías a presión. Con los cupones de prueba listos se procederá a inspeccionar las juntas soldadas utilizando los métodos de ultrasonido con la técnica de arreglo de fases y radiografía, para posteriormente verificar que los resultados obtenidos con el método de ultrasonido con la técnica arreglo de fases arroje resultados válidos comparados con aquellos arrojados por el método de radiografía industrial. Adicionalmente se realizará el análisis de los costos reales de los servicios de inspección industrial tanto para el método de ultrasonido con la técnica de arreglo de fases y para el método de radiografía industrial.

Los diámetros y espesores de tuberías que forman parte de este alcance se detallan en la tabla 1.

Tabla 1: Diámetros nominales y espesores de tubería.

DIÁMETRO (pulg)	SCH STD (mm)	SCH 80 (mm)
2	3,91	5,54
4	6,02	8,56
6	7,11	
12	9,53	

(Fuente: ASME B36.10-2015)

1 MARCO TEÓRICO

El presente trabajo describe en forma general los fundamentos requeridos por los métodos de inspección no destructiva de Radiografía industrial (RT- Radiographic Test) y el Ultrasonido Arreglo de Fases (UTPA- Ultrasonic Test – Phased Array).

Para una mejor comprensión se profundizará más en el Método de Ultrasonido Arreglo de Fases, sus aplicaciones, ventajas y desventajas respecto a la Radiografía Industrial.

A nivel mundial el método de ultrasonido arreglo de fases está reemplazando al método de radiografía industrial de fuentes ionizantes (Rayos X o Gammagrafía) debido a que no genera ningún riesgo para las personas y es considerado como una tecnología limpia al no generar desechos químicos o radioactivos.

El avance de la tecnología ha permitido el desarrollo de equipos para inspección ultrasónica que cuentan con software y hardware más avanzados, lo cual ha permitido que las diferentes normativas internacionales incorporen estas tecnologías para la inspección de soldaduras y materiales en tuberías, tanques atmosféricos, recipientes de presión, etc, en lugar de la radiografía industrial.

1.1 Radiografía Industrial

Este capítulo proporcionará al lector una comprensión básica y general sobre el método de inspección no destructiva de radiografía industrial, de modo que todo el proceso de producción de radiografías con una fuente de radiación pueda ser comprendido.

Este método de inspección emplea radiación de alta energía, capaz de penetrar materiales sólidos, lo que en el área de inspección de soldaduras de tubería permite conocer la condición interna del mismo, es decir, se puede detectar discontinuidades internas. Con este método de inspección se puede obtener registros permanentes, lo cual permite evaluar las discontinuidades presentes en las juntas soldadas que serán aceptadas o rechazadas de acuerdo a un código o especificación aplicable.

Principios del método de Inspección radiográfica

El principio físico en la que se basa la radiografía es la interacción entre la materia y la radiación electromagnética, la cual es de alta energía y de longitud onda corta.

La energía de radiación ionizante de exposición de rayos X o gamma es absorbida o atenuada al atravesar un material. Esta atenuación de la radiación ionizante es

directamente proporcional a la densidad, espesor y configuración del material inspeccionado e inversamente proporcional a la energía del haz de radiación.

La radiación ionizante que logra traspasar un objeto puede ser registrada en una película radiográfica o pantalla fluorescente, obteniéndose una imagen de la estructura interna de cualquier elemento o componente, por ejemplo de una soldadura.

Los rayos X y gamma son radiaciones electromagnéticas similares a la luz visible, aunque de menor longitud de onda; por lo cual obedecen las leyes de la física ondulatoria.

Características de Radiación

Existen características que se deben comprender para darse cuenta de la física y las variables involucradas en la producción de una radiografía con el uso de una fuente de radiación. Estas características se aplican tanto a la radiación X así como para la radiación gamma. La diferencia entre la radiación X y la gamma radica en su origen. Mientras que los rayos X son generados por un alto potencial eléctrico, generados a través de dispositivos electrónicos; los rayos gamma se producen por desintegración atómica espontánea de un radioisótopo, que son fuentes radioactivas naturales o isótopos radioactivos artificiales producidos para fines específicos de Radiografía Industrial, tales como: Iridio 192, Cobalto 60, Cesio 137 y Tulio 170.

Las características a tomarse en cuenta son:

- La penetración de la Radiación y
- La energía de radiación que es absorbida y dispersada por un material.

Las variables relacionadas con la penetración son: La cantidad de energía emitida, el tipo de material que es función de la densidad material y el espesor del material.

Con respecto a las formas de interacción de la radiación con la materia, las más importantes son tres: el efecto fotoeléctrico, el efecto Compton y la producción de pares. En las figuras 1, 2, 3, se representan gráficamente estos efectos en su orden.

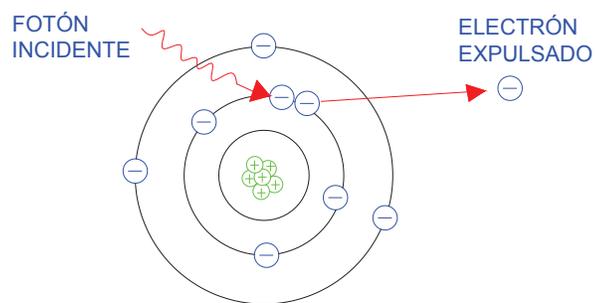


Figura 1. Efecto fotoeléctrico.
(Fuente: Oscar Yanchapaxi)

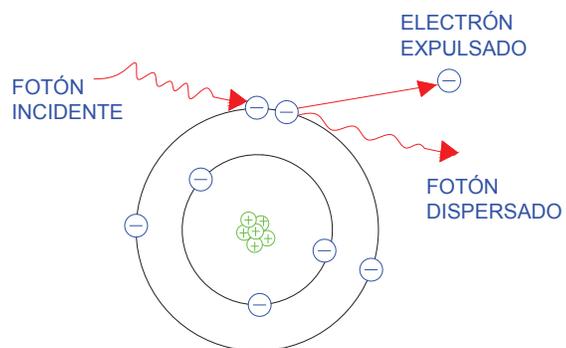


Figura 2. Efecto Compton.
(Fuente: Oscar Yanchapaxi)

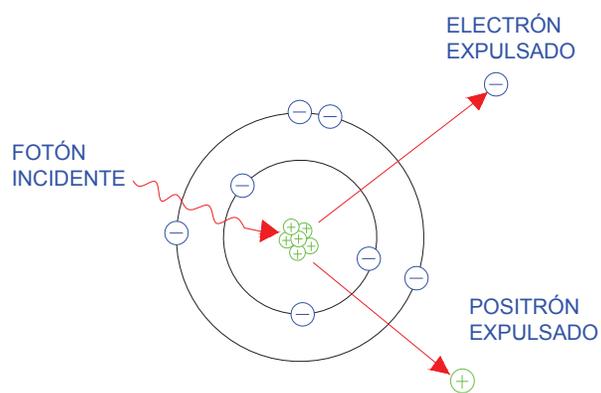


Figura 3. Producción de Pares.
(Fuente: Oscar Yanchapaxi)

Equipos de Rayos X

Un equipo de Rayos X proporciona una intensidad suficiente y controlada del flujo de electrones para producir un haz de rayos X con la cantidad y calidad deseada, y consta de tres partes principales:

- El tubo de rayos X (Figura 4)
- La consola de control y
- La sección de alta tensión o generador.

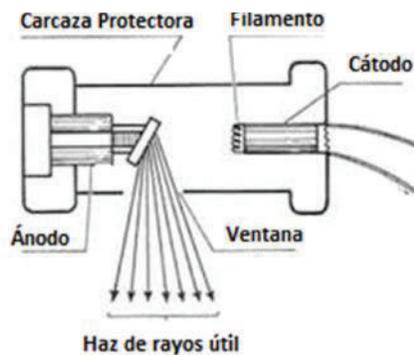


Figura 4. Tubos de Rayos X.
(Fuente: <https://www.ucm.es/museo/geo/tubos-de-Rx>)

La energía de rayos X viene expresada en unidades de kiloelectrón voltios (keV). Donde un kilovoltio es igual a mil voltios. La intensidad de la radiación se expresa en miliamperios (mA).

La mayoría de las técnicas radiográficas industriales usan un rango de energía de alrededor de 100 kV hasta 400 kV.

De manera general, la energía de la radiación se define como la "calidad" de la radiación y la intensidad como los "cantidad" de radiación.

La radiación con longitudes de onda cortas resulta en una mayor penetración.

1.2 Gammagrafía Industrial

La gammagrafía industrial es una técnica de ensayos no destructivos, que se utiliza para evaluar la integridad y calidad de soldaduras y del material en tuberías, taques, recipientes a presión, etc.

En la actualidad se utilizan fuentes radioactivas encapsuladas de iridio 192 y cobalto 60. Otras fuentes que se han utilizado en un grado limitado en la zona industrial son tulio 170, cesio 137, y radio 226. La tabla 2 contiene un resumen de estas fuentes con las características y los datos relacionados su vida media, la energía y las capacidades de penetración en acero.

Tabla 2. Características de Fuentes de Rayos Gamma

Fuente	Símbolo	Isótopo	Vida Media	Energía
Cesio	Cs	137	30 años	0.66 meV
Cobalto	Co	60	5.3 años	1.17 meV 1.33 meV
Iridio	Ir	192	75 días	0.61 meV 0.21 meV
Radio	Ra	226	1602 años	2.2 meV 0.24 meV

(Fuente: Charles Hellier, 2003)

Equipo de Gammagrafía Industrial.

Los principales componentes de un equipo de gammagrafía industrial son los siguientes:

Fuente. En Ecuador se ha venido utilizando el radioisótopo Iridio 192 como fuente emisora de radiación para los trabajos de inspección de juntas soldadas.

Proyector. Generalmente se ocupan fuentes selladas para alojar al radioisótopo, con una configuración interna de tubo en S, donde la fuente de iridio se mantiene en el interior de una cápsula de acero inoxidable y material de blindaje, la cual es segura bloquearla cuando no está en uso. Adicional se tienen accionadores manuales o por control remoto, mediante un arrancador con cable que permite sacar y guardar a la fuente mientras se realizan los trabajos de inspección (ver figura 5).

Actualmente el material de blindaje que se utiliza es de uranio empobrecido, a diferencia de cámaras anteriores que usaron el blindaje de plomo fundido. El uranio empobrecido es un poco más pesado que el plomo y tiene buenas capacidades aislantes.



Figura 5. Proyector- Marca comercial Sentinel 880 Delta.
(Fuente: <https://qsa-global.com/wp-content/uploads/2014/11/880-Brochure-October-2010.pdf>)

El blindaje de las fuentes varía de acuerdo al radioisótopo y al uso para el que fue construido. Puede ser portátil o estático.

La Energía de un radioisótopo es única para cada material radiactivo específico en particular, la cual decae con el tiempo produciéndose la reducción en la actividad. La vida media de radioactividad es la cantidad de tiempo que le toma a un isótopo radiactivo específico en decaer o ser reducido a la mitad de su actividad original. En la Tabla 2 se puede observar la vida media de varios isótopos.

Cabe indicar que con una fuente de rayos X, la intensidad o cantidad de radiación es una función de los miliamperios aplicados, en cambio en los radioisótopos depende de la actividad, la cual está definida como la cantidad de radiación que es emitida por una fuente y sus unidades se expresan en Curies (Ci).

Equipos de Inspección y protección radiológica.

En general, independientemente del origen de la energía de radiación los principales equipos que se emplea para la inspección son:

- Fuente de radiación (rayos X o rayos gamma).
- Controles de la fuente (manual o automático).
- Película radiográfica.

- Pantallas intensificadoras.
- Indicadores de calidad de la imagen.
- Densitómetros.
- Dosímetros personales.
- Detectores de radiación (Tipo Geiger Muller).

1.3 Ultrasonido arreglo de fases (Phased Array).

En la actualidad las aplicaciones del método de ultrasonido con la técnica de arreglo de fases no se limitan solo al diagnóstico médico. En los últimos años, el sistema de arreglo de fases (Phased Array) se ha ampliado al uso en los entornos industriales para proporcionar nuevos niveles de información y visualización en las pruebas ultrasónicas comunes que incluyen la inspección de soldaduras, pruebas de adhesión, medición de espesores, y detección de fisuras o grietas.

Las sondas para Phased Array consisten en un conjunto de transductores de 16 a un máximo de 256 elementos pequeños individuales cada uno de los cuales puede ser pulsado por separado (Ver figuras 6 y 7). Al igual que el caso de los transductores convencionales, las sondas para Phased Array pueden ser diseñados para uso en contacto directo como parte de un conjunto de haces angulares con una zapata, o por inmersión donde se usa agua como acoplante.

Un sistema Phased Array también incluye un sofisticado instrumento basado en computadora que es capaz de manejar la sonda con varios elementos, recibir y digitalizar los ecos de retorno, y trazar (dibujar) la información en los diversos formatos estándar. A diferencia de los detectores de falla convencionales, los sistemas de ultrasonido Phased Array pueden barrer un haz de sonido a través de una gama de ángulos refractados o a lo largo de una trayectoria lineal, o enfocarse dinámicamente a diferentes profundidades, lo que aumenta la flexibilidad y la capacidad de las configuraciones de inspección.



Figura 6. Conjunto de sondas Phased Array típicas.
Fuente: Olympus NDT, 2010

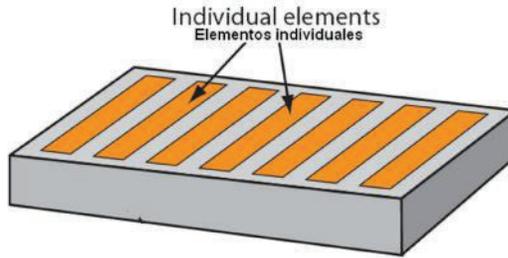


Figura 7. Construcción típica de un multielemento.
Fuente: Olympus NDT, 2010

Principios de ultrasonido

El ultrasonido es el nombre dado al estudio y aplicación de ondas sónicas que se transmiten a frecuencias mayores que las que pueden ser detectadas por el oído humano, arriba de 20000 Hz. En las pruebas ultrasónicas por contacto, el rango de frecuencias comúnmente usado es de 2 a 10 MHz (Megahertz o millones de ciclos/segundo). En algunos casos particulares se emplean frecuencias debajo de este rango, y para métodos de inmersión, las frecuencias pueden ser de hasta 30 MHz.

Por principio, el ultrasonido puede propagarse a través de todos los medios donde existe materia capaz de vibrar, por lo que se propaga a través de sólidos, líquidos y gases. Por el contrario, no puede propagarse en el vacío, por no existir materia que lo sustente. El movimiento que presente es extremadamente pequeño, el desplazamiento máximo de un átomo desde su posición original se conoce como amplitud. La prueba por ultrasonido emplea esfuerzos de baja amplitud los cuales no afectan permanentemente a los materiales.

El principio físico en el que se basa la inspección por ultrasonido es el hecho que los materiales diferentes presentan diferentes Impedancias Acústicas.

Relación entre velocidad, longitud de onda y frecuencia

La transmisión del ultrasonido se caracteriza por vibraciones periódicas representadas por un "movimiento ondulatorio". La figura 8 muestra un ciclo de vibración. La longitud de onda es la distancia de viaje de un ciclo, es decir, la distancia de un punto en un ciclo al mismo punto en el siguiente ciclo. La frecuencia es el número de ciclos completos que pasan en un punto en la unidad de tiempo, normalmente un segundo. Además, la distancia total de viaje por la unidad de tiempo, o rapidez de desplazamiento de la vibración de las partículas, o simplemente la velocidad

acústica, es igual al producto de la longitud de onda por la frecuencia. Lo anterior se expresa matemáticamente así:

$$v = \lambda \cdot f$$

Dónde:

V = Velocidad acústica (pulgadas / segundo o milímetros / segundo)

λ = Longitud de onda (pulgadas o milímetros)

f = Frecuencia (ciclos / segundo o Hertz)

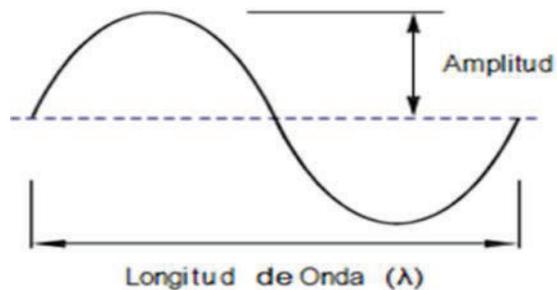


Figura 8. Ciclo de Vibración.
(Fuente: Oscar Yanchapaxi)

Reflexiones ultrasónicas

El haz ultrasónico tiene propiedades similares a las de la luz, por ejemplo cuando el haz ultrasónico golpea un objeto que interrumpe su paso, la superficie del objeto interruptor produce la reflexión o reflejo de la energía del haz. El ángulo de reflexión es igual al de incidencia. Si el ángulo de incidencia es “normal” con respecto a la superficie del objeto interruptor, el ángulo de reflexión es también normal. Si la incidencia es “angular” u “oblicua”, el ángulo de incidencia, con respecto a la línea normal imaginaria a la superficie del objeto interruptor, es igual al ángulo de reflexión, como se observa en la figura 9.

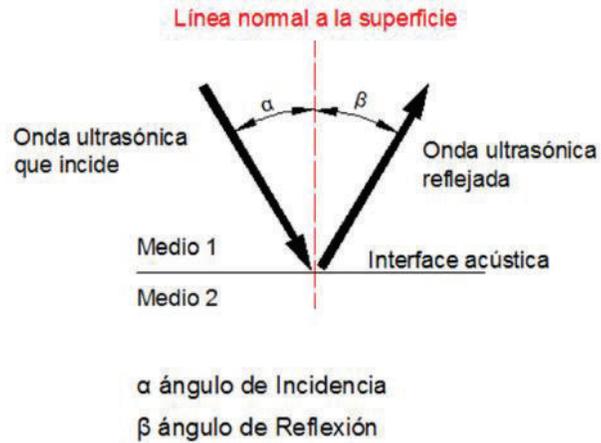


Figura 9. Reflexión ultrasónica en incidencia angular.
(Fuente: Oscar Yanchapaxi)

Entonces, la energía reflejada puede ser recibida por un transductor. Este transductor es normalmente el mismo transductor usado para generar el haz ultrasónico, pero puede ser un segundo transductor. El transductor convierte la energía ultrasónica recibida en energía eléctrica. La forma común de presentar la información en pantalla se conoce como Barrido Tipo A.

Refracción ultrasónica

Cuando un haz ultrasónico pasa de un medio a otro con diferente velocidad y además con un ángulo de incidencia que no sea normal con respecto a la interface que separa los dos medios, ocurre el fenómeno conocido como refracción, ver la figura 10.

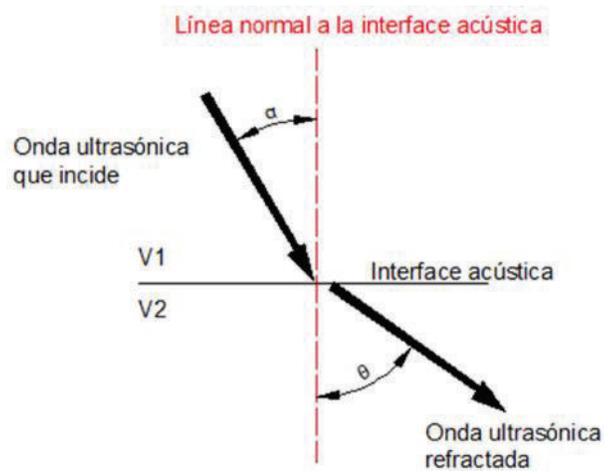


Figura 10. Refracción.
(Fuente: Oscar Yanchapaxi)

Formas de vibración ultrasónica (modos de onda)

La energía ultrasónica se propaga por medio de vibraciones de las partículas del material. La energía es transmitida de átomo a átomo por pequeños desplazamientos. La dirección en la que vibran las partículas (átomos), con respecto a la dirección de la propagación del haz ultrasónico, depende de la forma de vibración.

Los modos de vibración o de onda son:

- Ondas Longitudinales o de Compresión;
- Ondas de Corte o Transversales;
- Ondas Superficiales o de Rayleigh; y
- Ondas de Lamb o de Placa.

Los modos de onda más frecuentemente utilizados en la inspección por ultrasonido son las ondas longitudinales y las ondas de corte.

Principios de funcionamiento del ultrasonido arreglo de fases.

En el sentido básico, un sistema de arreglo de fases (Phased Array) utiliza el principio físico de ajuste ondas. Esto varía el tiempo entre una serie de impulsos ultrasónicos salientes de tal manera que los frentes de onda individuales generados por cada uno de los elementos en el arreglo (matriz) se combinan entre sí. Esta acción agrega o cancela la energía de forma predecible.

Con frecuencia, los elementos son pulsados en grupos de 4 a 32 con el fin de mejorar la sensibilidad efectiva mediante el aumento de la apertura, lo que reduce los haces no deseados y permite una difusión más nítida de enfoque.

Un software conocido como calculador de ley focal (Focal Law Calculator) establece tiempos específicos de retardo para disparar cada grupo de elementos con fin de generar la forma del haz deseado, teniendo en cuenta la sonda y las características de la zapata, así como la geometría y las propiedades acústicas del material de prueba. La secuencia de pulso programado seleccionado por el software de funcionamiento del instrumento, inicia una serie de ondas frontales individuales en el material de prueba. Estas ondas frontales, a su vez, se combinan de forma constructiva y destructiva para formar una única onda frontal primaria que viaja a través del material de ensayo y se refleja en grietas, discontinuidades, bordes, paredes y otros materiales, como los de una onda ultrasónica convencional. El haz se puede dirigir de forma dinámica a través de diversos

ángulos, distancias focales, y el tamaño del punto focal de tal manera que un solo conjunto de la sonda es capaz de examinar el material de prueba a través de una gama de diferentes perspectivas. Esta orientación de haz pasa muy rápidamente de manera que una exploración desde múltiples ángulos o con múltiples profundidades focales se puede realizar en una fracción de un segundo.

Los ecos que regresan son recibidos por los diversos elementos o grupos de elementos y desplazados en el tiempo que sea necesario para compensar la variación de retardo de la zapata, y luego se suman. A diferencia de un transductor de un solo elemento convencional, que combina eficazmente los efectos de todos los componentes del haz que golpean su área, una sonda Phased Array puede ordenar espacialmente la onda frontal de retorno de acuerdo con la hora de llegada y la amplitud en cada elemento. Cuando es procesado por el software de instrumentos, cada ley focal de retorno representa el reflejo de un componente particular del haz, un punto particular a lo largo de una trayectoria lineal, y / o una reflexión a partir de una profundidad focal en particular (ver figuras 11 y 12). La información de eco puede ser representada en varios formatos.

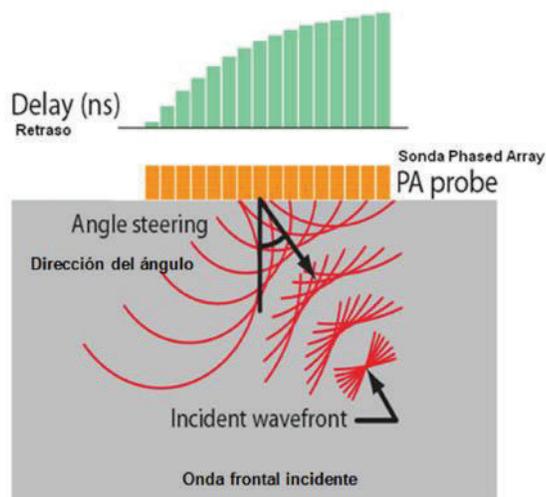


Figura 11. Ejemplo de un haz angular generado por una sonda plana mediante el retardo variable.

(Fuente: Olympus NDT, 2010)

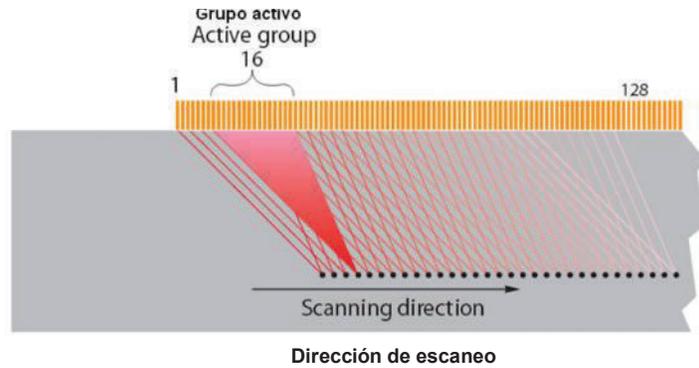


Figura 12. Ejemplo de un barrido con haz angular.

(Fuente: Olympus NDT, 2010)

Características de las sondas (transductores) de Phased Array

La forma más simple de una sonda de arreglo de fases es una serie de varios elementos transductores individuales dispuestos de manera tal que aumente la cobertura de la inspección y/o la velocidad de una inspección particular.

Estas inspecciones requieren alta velocidad, equipos de ultrasonidos multicanal con pulsadores adecuados, receptores, y una compuerta lógica para procesar cada canal, así como una cuidadosa fijación de cada transductor para configurar adecuadamente las zonas de inspección.

En su forma más simple, se puede describir una sonda de Phased Array como una serie de elementos individuales en un solo conjunto (Ver Figura 13). Mientras que los elementos en la realidad son mucho más pequeños que los transductores convencionales, estos elementos pueden ser pulsados como un grupo para generar frentes de onda direccionalmente controlables. Este haz electrónico formando permite que múltiples zonas de inspección sean programadas y analizadas a muy altas velocidades sin movimiento de la sonda.



Figura 13. Sondas Phased Array.

(Fuente: Olympus NDT, 2010)

Mientras las sondas Phased Array vienen en una amplia gama de tamaños, formas, frecuencias y número de elementos, lo que todos tienen en común es un elemento piezoeléctrico que se ha dividido en varios segmentos.

Segmentos de metal recubierto se utilizan para dividir la banda compuesta en una serie de elementos eléctricamente separados que se pueden pulsar individualmente. Este elemento se incorpora en un conjunto de sonda que incluye, una capa protectora, soporte, cables de conexión y una carcasa (ver figura 14).

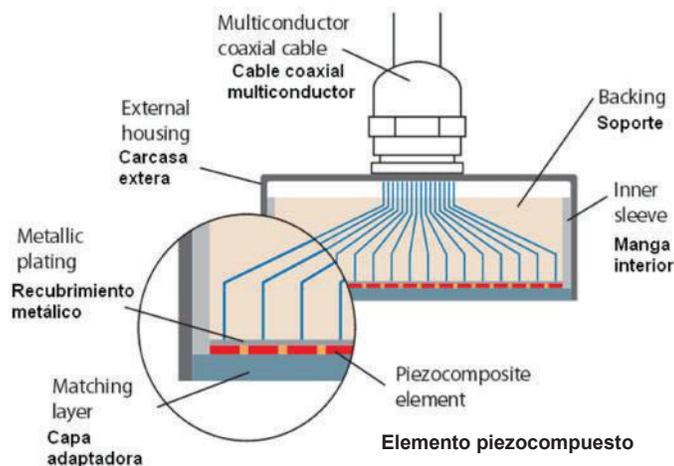


Figura 14. Corte transversal de una sonda Phased Array.

(Fuente: Olympus NDT, 2010)

Las sondas Phased Array se clasifican funcionalmente de acuerdo con los siguientes parámetros básicos:

Tipo. La mayor gama de sondas Phased Array son del tipo de haz angular, diseñado para su uso, con una cuña de plástico o de una zapata de plástico recta (cuña de cero grados), o línea de retardo. Las sondas de contacto directo y de inmersión también están disponibles.

Frecuencia. La mayor parte de detección de fallas por ultrasonido se realiza entre 2 MHz y 10 MHz, de modo que la mayoría de sondas Phased Array caen dentro de ese rango. Al igual que con los transductores convencionales, la penetración aumenta con la frecuencia más baja, mientras que mejor resolución y nitidez focal se obtiene con mayor frecuencia.

Número de elementos. Las sondas Phased Array más comúnmente utilizadas tienen de 16 a 128 elementos, y pueden tener tantos como 256. Un número mayor de elementos

incrementa el enfoque y la capacidad de direccionamiento, lo que también aumenta el área de cobertura, pero esto aumenta también los costos de la sonda y de la instrumentación. Cada uno de estos elementos se pulsa individualmente para crear el frente de onda de interés. Por lo tanto la dimensión de un lado al otro de estos elementos se refiere a menudo como la *dirección activa* (active steering direction).

Tamaño de los elementos. Como la anchura del elemento se hace más pequeña, la capacidad de dirección del haz aumenta, pero la cobertura de área grande requiere más elementos a un costo más alto.

Los parámetros dimensionales de una sonda Phased Array habitualmente se define de la siguiente manera y se muestra en la figura 15.

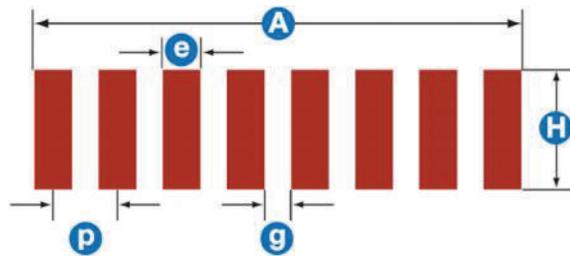


Figura 15. Parámetros dimensionales de una sonda Phased Array.

(Fuente: Olympus NDT, 2010)

Dónde:

A: Apertura total en dirección activa y la onda ultrasónica que incide en el medio 1

H: altura del elemento o elevación.

p: Paso, distancia centro a centro de dos elementos sucesivos

e: ancho de un elemento individual

g: espacio entre elementos activos

Esta información es utilizada por el software de instrumento para generar la forma del haz deseada. Si esto no es enteramente automatizado por el software de reconocimiento de sonda, entonces debe ser introducido por el usuario durante el arranque y calibración (set up).

Cuñas para Phased Array. Ensamble de sondas para Phased Array suelen incluir una zapata de plástico. Las zapatas son utilizadas tanto para aplicaciones de onda de corte como para ondas longitudinales, incluyendo barrido lineal con haz recto. Estas zapatas realizan básicamente la misma función en los sistemas de ultrasonidos Phased Array como en los sistemas convencionales para detección de fallas de un solo elemento, acoplan la energía del sonido desde la sonda a la pieza de ensayo de tal manera que se convierte y/o refracta en un ángulo deseado de acuerdo con la ley de Snell. Mientras los sistemas Phased array utilizan el direccionamiento de haz para crear haces a múltiples ángulos a partir de una sola zapata, este efecto de refracción es también parte del proceso de generación del haz. Las zapatas de onda de corte tienen un aspecto muy similar a aquellas utilizadas con transductores convencionales, y al igual que las zapatas convencionales vienen en muchos tamaños y estilos. Algunas zapatas típicas de sondas Phased Array se muestran en la figura 16.



Figura 16. Cuñas / Zapatas.

(Fuente: Olympus NDT, 2010)

Las zapatas de cero grados son básicamente bloques de plástico plano que se utilizan para el acoplamiento de la energía del sonido y para proteger la cara de la sonda de desgaste o abrasión en barridos lineales rectos y en barridos angulados de onda longitudinal de bajo ángulo (ver figura 17).



Figura 17. Zapatas 0°.

(Fuente: Olympus NDT, 2010)

Pulsación en fase - Phased Pulsing

Siempre que las ondas se originen de dos o más fuentes, interactúan unas con otras, hay efectos de fase que conducen a un aumento o disminución en la energía de onda en el punto de combinación. Cuando las ondas elásticas de la misma frecuencia se encuentran de tal manera que sus desplazamientos son sincronizados con precisión (en fase, o ángulo de fase cero grados), las energías de ondas se suman para crear una onda de amplitud más grande (ver figura 18a). Si ellas se encuentran de tal forma que sus desplazamientos son exactamente opuestos (180 grados fuera de fase), entonces las energías de onda se anulan entre sí (ver figura 18c). En ángulos de fase entre 0 grados y 180 grados, hay una gama de etapas intermedias entre la adición total y la cancelación total (ver figura 18b). Variando el tiempo de las ondas de un gran número de fuentes, es posible utilizar estos efectos tanto para direccionar y enfocar el frente de onda combinada resultante. Este es el principio esencial detrás de la prueba Phased Array.

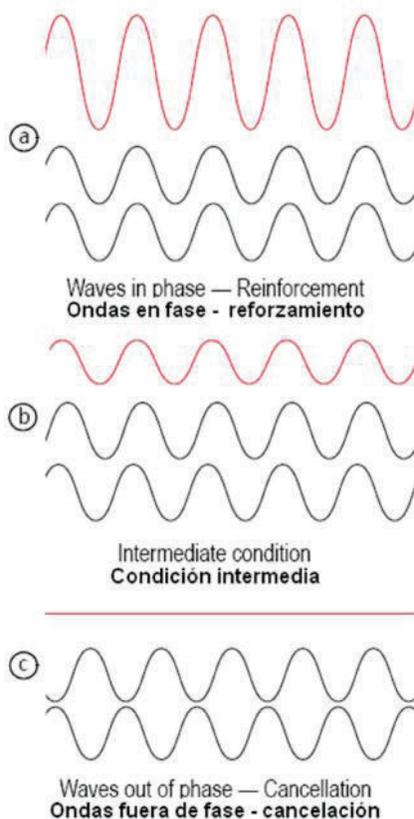


Figura 18. Efectos de fase: combinación y cancelación

(Fuente: Olympus NDT, 2010)

En las pruebas de Phased Array, los efectos predecibles de suma y cancelación causados por el faseo se utilizan para dar forma y dirigir el haz ultrasónico. La pulsación de elementos individuales o grupos de elementos con diferentes retardos crean una serie de ondas de fuente puntual que se combinan en un solo frente de onda que viaja en un ángulo seleccionado (ver figura 19). Este efecto electrónico es similar al retardo mecánico generada por una cuña convencional, pero puede ser direccionado más lejos, cambiando el patrón de retardo. A través de la interferencia constructiva, la amplitud de esta onda combinada puede ser considerablemente mayor que la amplitud de cualquiera de las ondas individuales que la producen. Del mismo modo, retardos variables se aplican a los ecos recibidos por cada elemento del arreglo. Los ecos se suman para representar un solo componente angular y / o focal del haz total. Además de alterar la dirección del frente de onda primario, esta combinación de componentes del haz individual, permite enfocar el haz en cualquier punto en el campo cercano.

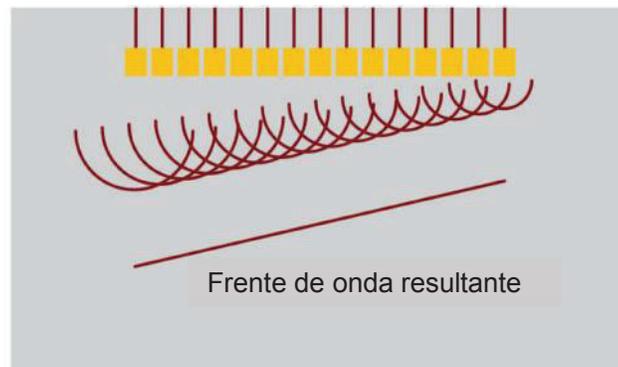


Figura 19. Ángulo de la forma de onda

(Fuente: Olympus NDT, 2010)

Los elementos son generalmente pulsados en grupos de 4 a 32 con el fin de mejorar la efectividad sensitiva mediante el aumento de la apertura, lo que reduce la difusión del haz no deseado y permite un enfoque más nítido.

Los ecos de retorno son recibidos por los diversos elementos o grupos de elementos y cambiados en el tiempo como sea necesario para compensar la variación de los retardos de zapata y luego se suman. A diferencia de un transductor convencional de un solo elemento, que efectivamente fusiona los efectos de todos los componentes del haz que golpean su área, una sonda Phased Array puede ordenar espacialmente el frente de onda de retorno de acuerdo con el tiempo de llegada y la amplitud en cada elemento.

Cuando es procesada por el software del equipo, cada ley focal de retorno representa la reflexión desde un componente angular particular, desde un punto particular a lo largo de una trayectoria lineal, y / o una reflexión de una profundidad focal particular. La información de eco se puede visualizar en cualquiera de los diversos formatos estándar.

El software conocido como calculadora de ley focal (focal law calculator) establece tiempos de retardo específicos para cada encendido de cada grupo de elementos con el fin de generar la forma del haz deseada a través de la interacción de la onda, tomando en cuenta las características de la sonda y zapata, así como la geometría y las propiedades acústicas del material de prueba. La secuencia de pulsación programada es seleccionada por el software de funcionamiento del instrumento, la cual lanza una serie de frentes de onda individuales en el material de prueba. Estos frentes de onda a su vez se combinan de manera constructiva y destructiva para formar un solo frente de onda primario que viaja a través del material de prueba y se refleja en las grietas, discontinuidades, a paredes posteriores y otros bordes (interfaces) del material de igual manera a una onda ultrasónica convencional. El haz se puede dirigir de forma dinámica a través de diversos ángulos, distancias focales, y tamaños de punto focal en una forma tal que una sola sonda es capaz de examinar el material de prueba a través de una gama de diferentes perspectivas. Esta dirección de haz ocurre muy rápidamente, de modo que un barrido desde múltiples ángulos o con múltiples profundidades focales se puede realizar en una fracción de un segundo.

Conformación y direccionamiento del haz.

La respuesta de cualquier sistema de prueba de ultrasonidos depende de una combinación de factores: el transductor utilizado, el tipo de instrumento utilizado y su configuración, y las propiedades acústicas del material de prueba. Las respuestas producidas por sondas Phased Array, como aquellas producidas por otros transductores ultrasónicos, se relacionan con los parámetros de diseño del transductor (tales como la frecuencia, el tamaño y la amortiguación mecánica), y con los parámetros del pulso de excitación que se utiliza para manejar la sonda.

Cuatro parámetros importantes de la sonda tienen un número de efectos interrelacionados sobre el funcionamiento.

Actualmente los equipos para Phased Array pueden soportar comúnmente leyes de hasta aperturas de 16 elementos. Sistemas más avanzados permiten hasta 32 o incluso aperturas de 64 elementos.

Los conceptos para una comprensión general del haz Phased Array se pueden resumir de la siguiente manera: Un grupo de elementos es encendido con una ley focal programada. Esto construye la apertura de la sonda deseada y las características del haz.

La esencia de las pruebas Phased Array consiste en un haz de ultrasonidos cuya dirección (ángulo refractado) y enfoque puede ser dirigido electrónicamente mediante la variación del retardo de excitación de elementos individuales o grupos de elementos. Este direccionamiento del haz permite múltiples ángulos y/o múltiples puntos de inspección desde una única sonda y una sola posición de la sonda (ver Figura 20).

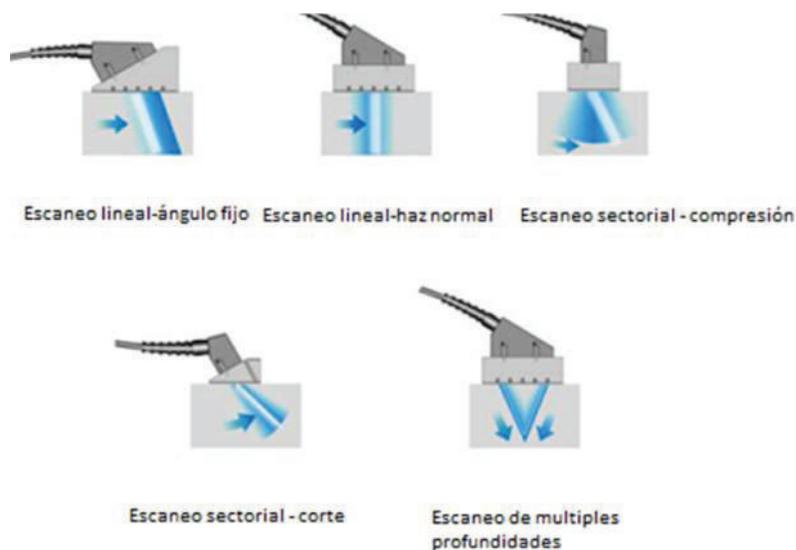


Figura 20. Secuencia de leyes focales

(Fuente: Olympus NDT, 2010)

Métodos de presentación de datos para Phased Array

Existen varios métodos de presentación de datos utilizados en la inspección ultrasónica, las mismas se describen a continuación.

A-SCAN. Todos los instrumentos ultrasónicos registran típicamente dos parámetros fundamentales de un eco: cuán grande es este (amplitud) y donde ocurre este en tiempo con respecto a un punto cero (tiempo de tránsito del pulso). El tiempo de tránsito, a su vez, está generalmente correlacionado con la profundidad o distancia del reflector, basado en la velocidad del sonido del material de prueba y la siguiente relación simple.

Distancia = Velocidad x Tiempo

La presentación más básica de los datos de la forma de onda ultrasónica es en la forma de un A-scan, o visualización de forma de onda en la cual la amplitud de eco y tiempo de tránsito se trazan en una cuadrícula sencilla donde el eje vertical que representa la amplitud y el eje horizontal representan el tiempo. En la Figura 21. La barra roja en la pantalla es una compuerta que selecciona una porción de las ondas para el análisis, típicamente la medición de la amplitud y / o la profundidad de eco.

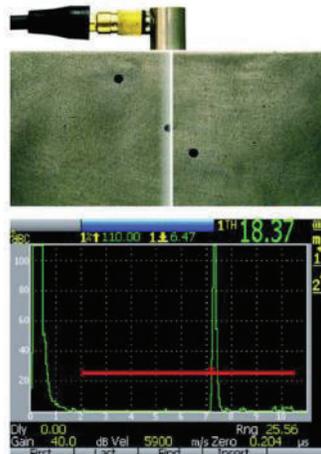


Figura 21. Barrido Tipo A (A-SCAN)

(Fuente: Olympus NDT, 2010)

B-SCAN. Otra forma de presentar los datos de un A-SCAN es un B-SCAN, valor simple.

Este formato se utiliza comúnmente con detectores de fallas convencionales y medidores de espesor por corrosión, traza (dibuja) la profundidad de reflectores con respecto a su posición lineal. El espesor se representará gráficamente como una función del tiempo o posición, mientras que el transductor barre a lo largo de la parte, para proporcionar el perfil de profundidad. La correlación de los datos ultrasónicos con la posición real del transductor permite graficar una vista proporcional y permite la habilidad para correlacionar y rastrear los datos en áreas específicas de la pieza que se está inspeccionado. Este seguimiento de posición es típicamente hecho a través del uso de accesorios electromecánicos conocidos como encoders.

En el caso mostrado en la Figura 22, el B-SCAN muestra dos reflectores profundos y un reflector superficial, correspondiente a las posiciones de los agujeros perforados lateralmente en el bloque de prueba.

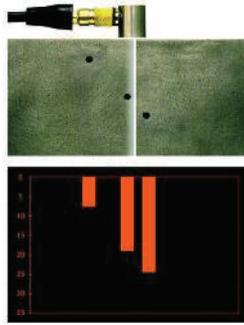


Figura 22. Barrido Tipo B- simple (B-SCAN)

(Fuente: Olympus NDT, 2010)

B-SCAN – Sección transversal. Un B-SCAN de sección transversal proporciona una vista detallada de fondo de una pieza de prueba a lo largo de un solo eje. Esto proporciona más información que B-SCAN simple presentado anteriormente. En lugar de graficar un solo valor medido dentro de una región acotada, toda la forma de onda del A-SCAN se digitaliza en cada ubicación del transductor. Sucesivos A-SCAN son graficados sobre el tiempo transcurrido o la posición real del transductor codificado con el fin de elaborar las secciones transversales de la línea escaneada. Esto permite al usuario visualizar los reflectores lejanos y cercanos a la superficie dentro de la muestra. Con esta técnica, los datos de la forma de onda completa se almacena en cada locación, y la imagen puede ser revisada posteriormente para su evaluación o verificación.

Para lograr esto, cada punto digitalizado de la onda se grafica de modo que la señal de color que representa la amplitud aparece en la profundidad adecuada.

Sucesivos A-SCAN se digitalizan, se relacionan con un color, y "se agrupan" a intervalos definidos por el usuario (tiempo transcurrido o posición) para formar una imagen transversal verdadera (véase la Figura 23).

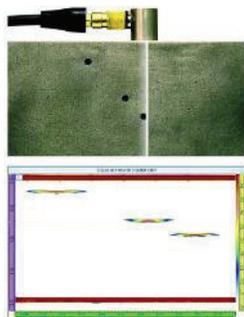


Figura 23. Barrido Tipo B- transversal (B-SCAN)

(Fuente: Olympus NDT, 2010)

LINEAR SCAN - Barrido lineal. Un sistema Phased Array utiliza un barrido electrónico a lo largo de la longitud de una sonda de arreglo lineal para crear un perfil de sección transversal sin mover la sonda. Como cada ley focal es secuenciada, el A-SCAN asociado es digitalizado y graficado. Las aperturas sucesivas se agrupan creando una vista en sección transversal en tiempo real. La figura 24 es una imagen hecha con una sonda Phased Array lineal de 64 elementos.

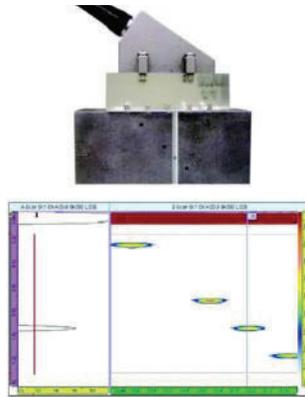


Figura 24. Barrido Lineal (LINEAR-SCAN)

(Fuente: Olympus NDT, 2010)

También es posible escanear elementos transversales a un ángulo fijo (Figura 25), la cual es muy útil para inspecciones automatizadas de soldadura. Con la apertura secuenciada a través de la longitud de la sonda, datos volumétricos de la soldadura completa pueden recogerse sin incrementar físicamente la distancia a la línea central de la soldadura durante el barrido. Esto genera una inspección de una sola pasada a lo largo de la longitud de la soldadura.

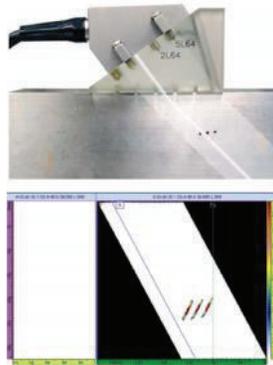


Figura 25. Barrido Lineal (LINEAR-SCAN)

(Fuente: Olympus NDT, 2010)

C-SCAN. Un C-scan es una presentación de datos en dos dimensiones que se muestran como una vista de planta de una pieza de prueba. Es similar en su perspectiva gráfica a una imagen de rayos x, donde el color representa la amplitud de la señal seleccionada o la profundidad en cada punto de la pieza de ensayo graficada en su posición. Un C-SCAN de un sistema Phased Array es muy similar a uno de sonda convencional. Con sistemas Phased Array, sin embargo, la sonda es típicamente movida físicamente a lo largo de un eje mientras que el haz electrónicamente barre, de acuerdo con la secuencia de la ley focal. La amplitud de la señal o datos de profundidad es recogido en la región cerrada (compuerta) de interés igual que los C-scan convencionales. En el caso de Phased Array, los datos se grafican con cada progresión de ley focal, usando la apertura de haz programada (figura 26).

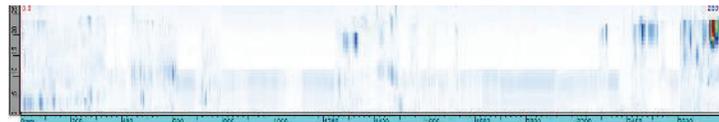


Figura 26. Barrido Tipo C (C-SCAN)

(Fuente: Oscar Yanchapaxi, 2016)

S-SCAN. El S-scan es exclusivo de equipos Phased Array, llamado también barrido sectorial. Este método de visualización usa aperturas fijas y se direcciona a través de una secuencia de ángulos.

Para inspección de juntas soldadas se utiliza una zapata de plástico para aumentar el ángulo del haz incidente para generar ondas de corte, más comúnmente en el rango de ángulo refractado de 30 a 70 grados. Esta técnica es similar a una inspección haz angular convencional, excepto que el haz barre a través de una gama de ángulos en lugar de un único ángulo fijo determinado por una zapata. La presentación de la imagen es una

imagen de la sección transversal de la zona inspeccionada de la pieza de ensayo (ver figura 27).

El usuario define el ángulo de inicio, el final y la resolución de paso para generar la imagen S-SCAN. La respuesta de forma de onda de cada ángulo (ley focal) es digitalizada, codificado por color y se grafica en el ángulo apropiado correspondiente, generando una imagen en sección transversal.

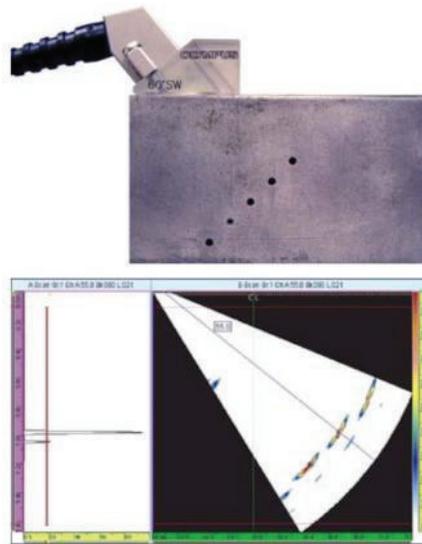


Figura 27. Barrido Sectorial Tipo S (S-SCAN)

(Fuente: Olympus NDT, 2010)

Formatos de imagen combinada. Imágenes de Phased Array proporcionan una visualización en tiempo real de datos volumétricos. Mediante el proceso de barrido electrónico, las imágenes se generan en tiempo real; con la utilización de ambos sistemas, manuales y automatizados para aumentar la probabilidad de detección. Especialmente en instrumentos Phased Array automatizados y con más capacidad, la habilidad para mostrar varios tipos de imagen y almacenar información completa de la totalidad de la inspección, permite el análisis post-escaneo de los resultados de la inspección. Debido a que todos los datos de forma ultrasónica se recogen, este post-análisis permite la reconstrucción de escaneos sectoriales S-SCAN, A-SCAN, C-SCAN en cualquier posición de inspección (Ver figura 28).

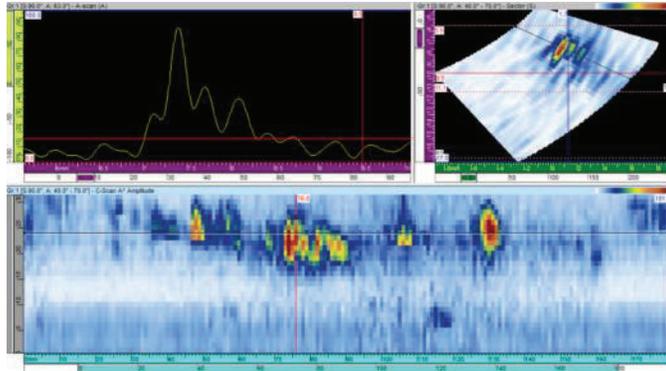


Figura 28. Imágenes combinadas mostradas por el equipo
(Fuente: Oscar Yanchapaxi, 2016)

Elementos de inspección mediante ultrasonido arreglo de fases.

Cuando se lleva a cabo una inspección por ultrasonido industrial se requiere de un sistema de inspección ultrasónica que consiste de los siguientes componentes básicos:

- a) Un generador de señal eléctrica - instrumento ultrasónico,
- b) Un conductor de señal eléctrica - un cable coaxial,
- c) El accesorio que convierte la señal eléctrica en mecánica y/o viceversa - transductor ultrasónico,
- d) Un medio para transferir la energía acústica a la pieza y viceversa, el acoplante acústico,
- e) La pieza inspeccionada.



Figura 29. Sistema de inspección ultrasónica
(Fuente: Oscar Yanchapaxi, 2016)

1.4 Ventajas y desventajas del uso del Método de Ultrasonido arreglo de fases en lugar de radiografía.

Ventajas

- No se requiere zonas de exclusión, debido a que no existe peligro de radiación para el personal que trabaja alrededor del área de inspección.
- La inspección de juntas soldadas es completada en tiempos más cortos utilizando ultrasonido arreglo de fases para la misma cantidad de juntas soldadas e inspeccionadas con radiografía.
- La aplicación del ultrasonido con la técnica arreglo de fases (UTPA) provee información de profundidad y posición del defecto encontrado, a diferencia del método de radiografía industrial que no proporciona la profundidad.
- La aplicación del método de ultrasonido (UTPA) permite llevar un mejor control de la calidad de soldadura de inicio a fin de proyecto, debido a que las inspecciones y los resultados se obtienen en tiempo real.
- Suprime trámites obligatorios que se presentan al importar, exportar, desaduanizar y legalizar fuentes radioactivas y operadores, y que por niveles de seguridad radiológica cada vez son más estrictos a nivel mundial.
- No desecha al ambiente residuos químicos ni radioactivos, por lo cual es considerado como una tecnología limpia.
- Dependiendo del equipo utilizado permite registrar el 100% del volumen de una soldadura inspeccionada para el análisis y evaluación en diferentes presentaciones (SCAN-A, SCAN C, SCAN S).
- Permite guardar el 100% de la información en formato digital, el mismo que puede ser auditable, reproducible, y comparable con datos futuros.

Desventajas

- Requiere de personal competente que cuente con mayor entrenamiento, experiencia y conocimiento, en el manejo de equipos de última tecnología e interpretación de resultados.
- Ciertas características geométricas presentan restricciones para ultrasonido tales como: Boquillas (nozzles), refuerzos de soporte (skirts) adyacentes a las soldaduras en los casos de recipientes a presión, o accesorios en los casos de sistemas de tuberías.

- Ciertos tipos de defectos son difíciles de detectar con ultrasonido arreglo de fases (por ejemplo exceso de penetración, indicaciones superficiales).
- Ciertos materiales no son adecuados para inspección por ultrasonido, especialmente aceros inoxidable austeníticos de grano grueso.

2 METODOLOGÍA

Para dar cumplimiento con los objetivos planteados la metodología a utilizarse será la siguiente:

- Se fabricará los bloques curvos de calibración de acuerdo con lo estipulado en el código ASME B31.3 para los diámetros y espesores que forman parte de este proyecto, con el fin de calibrar el equipo de ultrasonido que será empleado para la verificación de discontinuidades.
- Se fabricará los cupones de prueba, con defectos típicos encontrados en soldaduras de tuberías de presión para los diámetros y espesores que forman parte de este proyecto, con el fin de realizar las inspecciones con los métodos de ultrasonido con la técnica de arreglo de fases y radiografía industrial.
- Se realizará la inspección de los cupones de prueba con el método de ultrasonido con la técnica arreglo de fases y radiografía industrial, con el fin de verificar que los resultados obtenidos sean válidos y comparables con los encontrados con Radiografía en soldaduras de juntas circunferenciales, de acuerdo con los criterios de aceptación y rechazo del código ASME B31.3 "Piping Code".
- Se realizará la comparación de los costos del servicio de inspección entre los métodos de ultrasonido con la técnica de arreglo de fases y radiografía industrial (gammagrafía), con el fin de determinar los precios reales del servicio en el ámbito laboral Ecuatoriano y definir que método es económicamente más favorable.

2.1 Bloques de calibración para tubería bajo el código ASME B31.3.

De acuerdo a lo establecido en el código ASME B31.3 la examinación de soldaduras deberá ser realizado en concordancia con el Código ASME BPVC, Sección V, Artículo 4, para lo cual, los bloques curvos de calibración deberán cumplir con los requerimientos que se especifican a continuación:

- El material para la fabricación de los bloques de calibración deberá ser de la misma especificación del material o grupo equivalente de las tuberías a ser inspeccionadas.

- Antes de la fabricación, el material del bloque deberá ser completamente examinado con ultrasonido haz recto para verificar la calidad del material.
- De acuerdo a lo establecido en el ASME Sección V Artículo 4, para las examinaciones de juntas soldadas en tubería donde el diámetro nominal es mayor de 20", un bloque de calibración plano puede ser utilizado de manera alternativa a un bloque de calibración realizado en tubería del mismo diámetro.
- Para examinaciones de juntas soldadas en tubería con diámetros nominales iguales o menores a 20", se deberá utilizar un bloque de calibración curvado de una sección del tubo del mismo tamaño nominal y espesor. Se podrá utilizar un solo bloque de calibración básico curvado para exámenes siempre y cuando este dentro del rango de curvatura de 0.9 a 1.5 veces el diámetro nominal del bloque de calibración básico que se disponga (ver figura 30).

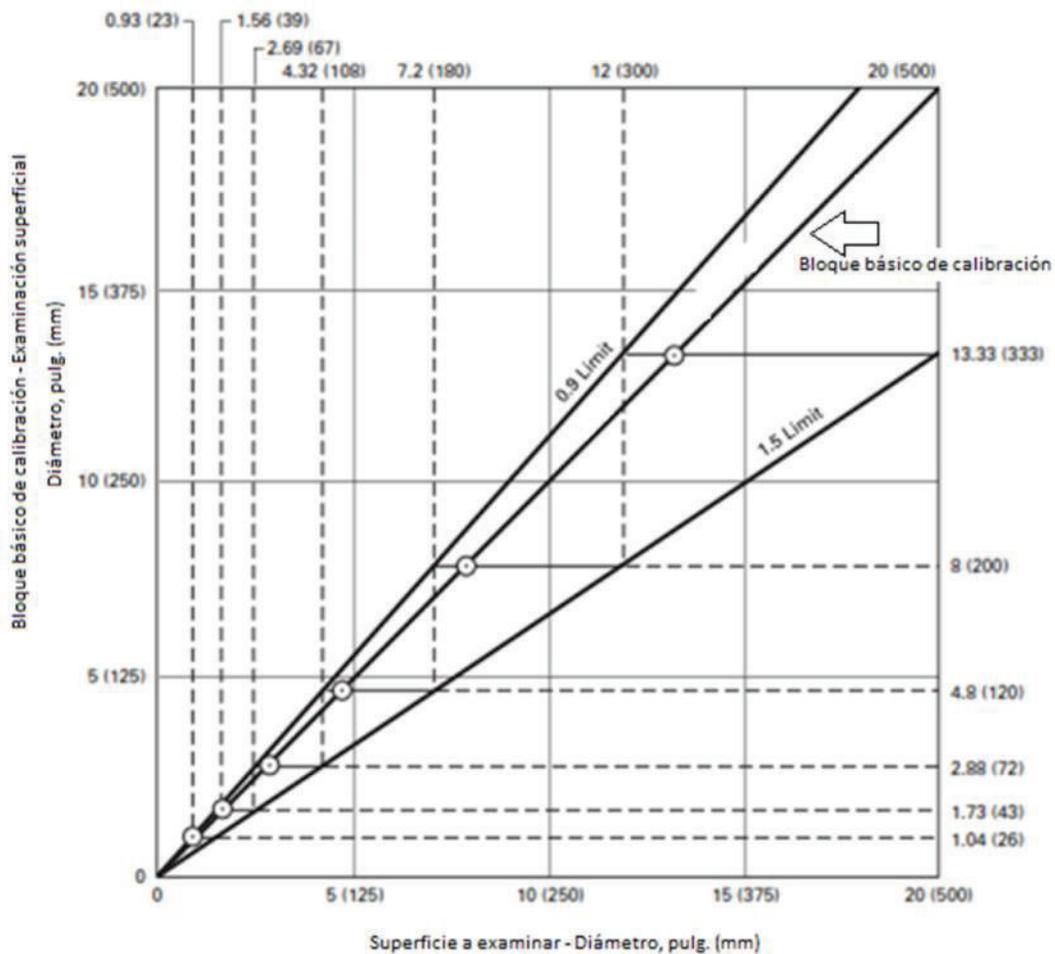


Figura 30. Rango límite para superficies curvas

(Fuente: ASME BPVC V, 2015)

- Un bloque de calibración estándar IIW podrá ser utilizado para verificación de la calibración. (Figura 31)

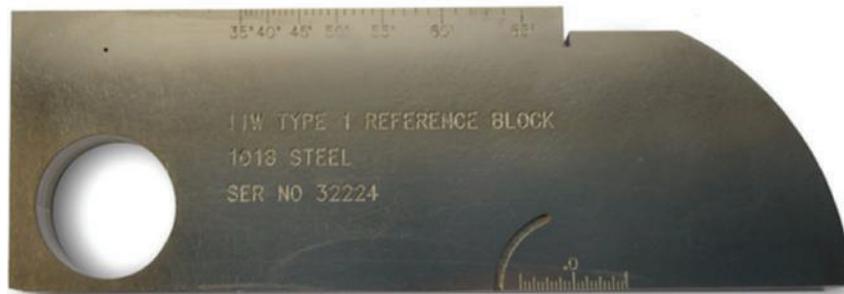


Figura 31. Bloque de calibración tipo IIW

(Fuente: Oscar Yanchapaxi, 2016)

- El bloque curvo de calibración deberá cumplir con la configuración que se muestra en la figura 32, según lo estipulado en el ASME Sección V, Artículo 4.
- El espesor del bloque básico de calibración para tubería deberá ser +/- 25% del espesor nominal del componente a ser examinado. El tamaño del bloque y ubicación de los reflectores deberán ser los adecuados para realizar la calibración del haz angular y rango de distancia a ser usados.

Requerimientos específicos para bloques curvos de calibración para tubería bajo el código ASME B31.3

A continuación se describe los requerimientos específicos para la fabricación de bloques curvos de calibración para tubería de diámetro nominal menor o igual a 20" NPS.

- La longitud mínima de los bloques de calibración (L), deberá ser de 200mm (8") u ocho espesores (8T), cualquiera que sea mayor.
- Para tuberías de diámetro externo de 200mm (4") o menores, la longitud de arco mínima deberá ser el 75% de la circunferencia. Para tuberías de diámetro externo mayor a 100mm (4"), la longitud de arco mínima deberá ser 200mm (8") o tres espesores (3T), cualquiera que sea mayor.
- Las profundidades de las muescas deberán estar entre el 8% del espesor (8%T) como mínimo y 11% del espesor (11%T) como máximo. La longitud mínima de la muesca deberá ser 25mm (1").

- El ancho máximo de la muesca no es crítico. Sin embargo por facilidad de fabricación y utilización un ancho de 6mm es adecuado.
- La longitud de la muesca deberá ser lo suficiente para proporcionar para calibración con una relación mínima señal/ruido de 3 a 1.
- Dos bloques de calibración deberán ser usados cuando una junta soldada tenga dos espesores diferentes de material a ser inspeccionado y un solo bloque no cumple con el +/- 25% del espesor.
- (Nota 1). Las muescas deberán ser ubicadas separadas como mínimo $1/2T$ o 12,7mm ($1/2''$), cualquiera que sea mayor, donde T es el espesor de la tubería.

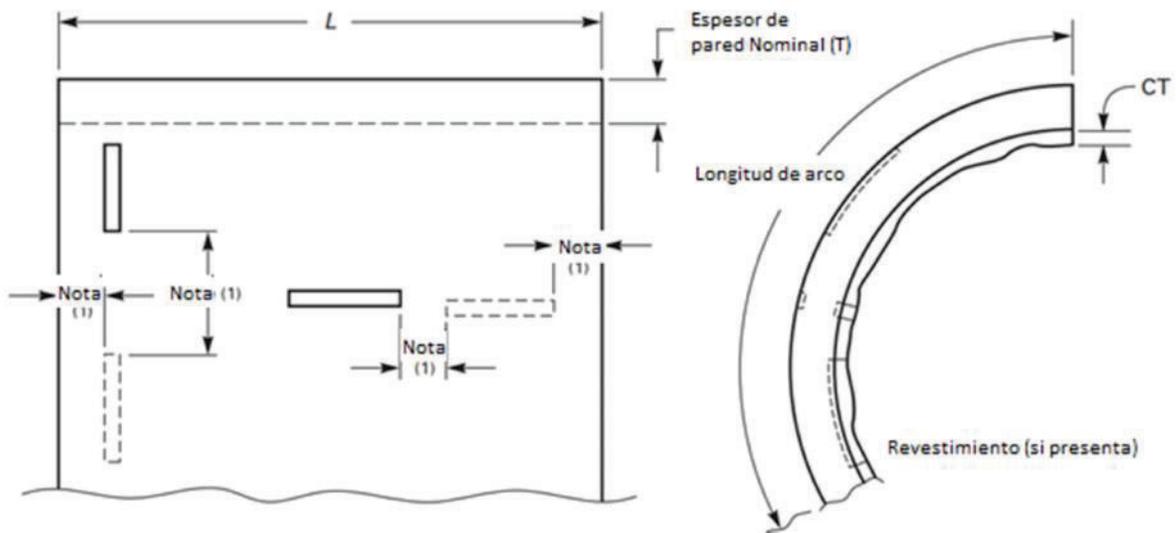


Figura 32. Bloque curvo de calibración para Tubería.

(Fuente: ASME BPVC V, 2015)

- Respecto a la superficie de calibración; las calibraciones deberán realizarse desde la cara (convexa o cóncava) correspondiente a la cara del componente a examinarse.

2.2 Construcción de bloques curvos de calibración para tubería bajo el código ASME B31.3

La construcción de las muescas de cada bloque de calibración se realizará mediante el proceso de electroerosión, que es un método de acabado de superficies metálicas mediante desgaste producido por medios eléctricos; se utiliza especialmente en piezas que por su forma hacen difícil el uso de fresas (mecanizado mecánico).

De acuerdo a lo estipulado en la sección 2.1 de este documento, para la construcción de los bloques curvos de calibración se utilizarán tramos de tuberías de los diámetros nominales y espesores presentados en la tabla 1, cuyas dimensiones están de acuerdo a los diámetros nominales y espesores (schedule) presentadas en el código ASME B36.10 (ver Anexo I).

Los diámetros y espesores mostrados en la tabla 1, corresponden a probetas que son parte del alcance de este proyecto.

En la tabla 3 y tabla 4 se muestran los espesores y profundidad de muesca para diferentes diámetros y espesores (Schedule) de tubería utilizados de acuerdo con los requerimientos específicos del código ASME B31.3, los mismos que son los que más se utilizan en la construcción de las facilidades petroleras en nuestro medio y son parte del alcance de este trabajo.

Tabla 3. Profundidad de muesca para schedule estándar (SCH STD)

DIÁMETRO (pulg)	SCH STD (mm)	8%T (mm)	11%T (mm)	PROFUNDIDAD DE MUESCA (mm)
2	3,91	0,31	0,43	0,4
4	6,02	0,48	0,66	0,6
6	7,11	0,57	0,78	0,7
12	9,53	0,76	1,05	1

(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2016)

Tabla 4. Profundidad de muesca para schedule 80 (SCH 80)

DIÁMETRO (pulg)	SCH 80 (mm)	8% T (mm)	11% T (mm)	PROFUNDIDAD DE MUESCA (mm)
2	5,54	0,44	0,61	0,5
4	8,56	0,68	0,94	0,8

(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2016)

El Anexo II, muestra los planos de fabricación de los bloques curvos, descritos en la tabla 3 y tabla 4, en cumplimiento con los requerimientos específicos del código ASME B31.3 y ASME BPVC V.

Las figuras 33 a la 39 muestran los bloques curvos fabricados, de acuerdo a los planos de fabricación presentados en el Anexo II.



Figura 33. Bloques de calibración de acuerdo al ASME V.

(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)



Figura 34. Bloque de calibración para Tubería 2" NPS-SCH STD
(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)



Figura 35. Bloque de calibración para Tubería 2" NPS-SCH 80
(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)



Figura 36. Bloque de calibración para Tubería 4"NPS-SCH STD
(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)



Figura 37. Bloque de calibración para Tubería 4"NPS-SCH 80
(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)



Figura 38. Bloque de calibración para Tubería 6" NPS-SCH STD
(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

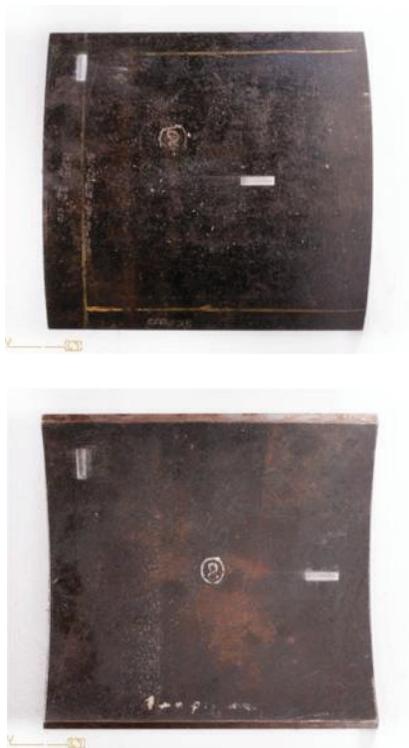


Figura 39. Bloque de calibración para Tubería 12" NPS-SCH STD
(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

2.3 Elaboración de procedimientos de soldadura para la obtención de defectos en juntas soldadas.

Con el fin de obtener los diferentes tipos de defectos que se encuentran en las juntas soldadas de tubería, se realizó la calificación de los procedimientos de soldadura (PQR) así como la elaboración de las especificaciones de soldadura (WPS) aplicables para cada diámetro y que se utiliza generalmente para la soldadura de producción en la industria petrolera ecuatoriana y que son parte de este estudio.

Se calificó dos procedimientos de soldadura bajo el código ASME Sección IX, aplicable para soldaduras de tubería que se rigen bajo el código ASME B31.3 (Piping Code).

En el primer procedimiento calificado (OY-PQR-17-001 / OY-WPS-17-001) utilizando el proceso de soldadura GTAW (Gas Tungsten Arc Welding), será empleado para la soldadura de los cupones de prueba de diámetro NPS 2" schedule estándar, 80 y 4" schedule estándar (Ver figuras 40 y 41).

En el segundo procedimiento calificado (OY-PQR-17-002 / OY-WPS-17-002) se utilizará el proceso SMAW (Shield Metal Arc Welding), el mismo será empleado en la soldadura de los cupones de prueba de diámetro NPS 4" schedule 80, 6" schedule estándar y 12" schedule estándar (Ver figuras 42 y 43).

Los cupones de prueba obtenidos en los diferentes diámetros y espesores de tubería serán radiografiados y evaluados de acuerdo con los criterios de aceptación y rechazo estipulados en el código ASME B31.3. Estas mismas juntas serán evaluadas mediante el método de ultrasonido con la técnica arreglo de fases, bajo los criterios de aceptación y rechazo del mismo código. Esto con el fin de obtener la caracterización de curvas patrón asociadas a cada defecto de soldadura.

PROYECTO TITULACIÓN		PROCEDURE QUALIFICATION RECORD (PQR) - ASME IX						
		OY-PQR-17-001		Rev. Nº	0	Fecha:	07/04/2017	
		Califica al WPS Nº OY-WPS-17-001		Rev. Nº		Fecha:		
Realizado por:		O.Y		FO-IN-08 | REV. 0				
Nombre Soldador:		QUIZHPI MARCO		Cedula Nº:	0602822454		Estampe Nº:	W-454
PROCESO DE SOLDADURA		<input checked="" type="checkbox"/> MANUAL		<input type="checkbox"/> SEMIAUTOMATICO		<input type="checkbox"/> AUTOMATICO		
		<input type="checkbox"/> SMAW		<input type="checkbox"/> GMAW		<input type="checkbox"/> SAW		<input type="checkbox"/> FCAW <input checked="" type="checkbox"/> GTAW <input type="checkbox"/> OTRO:
DISEÑO DE JUNTA (QW - 402)		GAS (QW - 408)						
Tipo de Junta:		A tope, V groove 60°						
Respaldo:		No aplica						
Material Respaldo:		No aplica						
Espacio de Raíz:		5 mm						
MATERIAL BASE (QW - 403)		CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW - 409)						
No. P y No. Grupo:		P-No 1, Grupo No. 1 a P-No 1, Grupo No. 1						
Especificación:		ASTM A106 a ASTM A106						
Tipo / Grado:		Gr. B Gr. B						
Espesor de la Junta Soldada:		5,54 mm						
Diámetro de la Junta Soldada:		NPS 2						
		Tipo de Corriente: Corriente Continua						
		Polaridad: (DC-)						
		Amperaje: 100 - 180 amp Voltaje: 10 - 14 V.						
		Tamaño de Electrodo de Tungsteno: EWTh-2 (AWS A5.12)						
		Modo Trasl.: Cortocircuito <input type="checkbox"/> Globular <input type="checkbox"/> Aspersión <input type="checkbox"/> N/A <input checked="" type="checkbox"/>						
		Heat Input (máx): KJ/cm						
		Otros: Ninguno						
MATERIAL DE APORTE (QW - 404)		TECNICA (QW - 410)						
AWS: ER70S6		Velocidad de avance: 2 - 6 pulg/min						
F. No.: 6		Cordón con oscilación: <input checked="" type="checkbox"/> Cordón sin oscilación: <input type="checkbox"/>						
A. No.: 1		Oscilación: Ancho máx (mm) 12 Frecuencia (Osc./min) N/A						
SFA: A 5.18		Pases por lado: Simple <input type="checkbox"/> Múltiples <input checked="" type="checkbox"/>						
Tipo: LINCOLN		Electrodos: Único <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/>						
Espesor de Soldadura: 2 mm		Otros: Ninguno						
POSICION (QW - 405)		DISEÑO DE JUNTA (QW - 402)						
Posiciones de ranura (groove): 6G								
Posiciones de filete (filete): No Aplica								
Dirección: Vertical Descendente <input type="checkbox"/> Vertical Ascendente <input checked="" type="checkbox"/>								
PRECALENTAMIENTO (QW - 406)		TRATAMIENTO TÉRMICOS POST - SOLDADURA (QW-407)						
Temp. de Pre calentamiento: 17° C (temperatura ambiente)		Rango de Temp.: °C: N/A Incremento Temp.: °C/h: N/A						
Temperatura de Entrepases: Min. 120 °C Máx. 200 °C		Tiempo de Espera: h: N/A Disminución Temp.: °C/h: N/A						
Temp. Secado para eliminar humedad en bisel: No realizado								
ENSAYOS DESTRUCTIVOS Y NO DESTRUCTIVOS								
ENSAYOS DE TRACCIÓN (QW-150)								
Probeta Nº	W-454-T1	W-454-T2	No Aplica	No Aplica				
Espesor - mm.	5,58	5,33	-	-				
Ancho - mm.	20,11	19,91	-	-				
Carga máxima registrada - (KN)	55,91	53,73	-	-				
Resistencia a la tracción - ksi (Mpa)	72,14 (497)	73,37 (505)	-	-				
Lugar de rotura	Metal de Soldadura							
Resistencia a la tracción Metal Base (Tabla QW/QB 422):	60 Ksi		Nota: Ninguna					
W-454-T1	APROBADO	W-454-T2	APROBADO	...	...	...	...
Observaciones sobre ensayos de tracción: APROBADO; Ver informe								
ENSAYOS DE DOBLADO (QW-160)								
RAÍZ (R)				CARA (C)				
W-454 C1	APROBADO	W-454 C2	APROBADO	W-454 R1	APROBADO	W-454 R2	APROBADO	
Observaciones sobre ensayos de doblado: APROBADO; Ver informe								
EXAMEN VISUAL								
VISUAL (QW-194):								
CALIFICADO <input checked="" type="checkbox"/>				DESCALIFICADO <input type="checkbox"/>				
Se certifica que los datos consignados en este documento son verdaderos y que las muestras de soldadura fueron preparadas, soldadas y ensayadas de acuerdo a los requerimientos del código aplicable. Este documento tiene información confidencial propiedad del CLIENTE, queda expresamente prohibida su difusión total o parcial, copia o uso sin autorización. Este documento no es válido sin firmas de responsabilidad.								
REALIZADO POR:		REVISADO POR:		APROBADO POR:				
Nombre:	Ing. Oscar Yanchapaxi	Nombre:	Ing. Carlos Díaz	Nombre:				
Cargo:	AWS-CWI 16083231	Cargo:	Director	Fecha:				
Fecha:	07/04/17	Fecha:	07/04/17	Firma:				

Figura 40. Calificación de procedimiento de soldadura (PQR)- Proceso GTAW (Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

PROYECTO TITULACIÓN		WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS) - ASME IX											
		OY-WPS-17-001		Rev. Nº: 0	Fecha: 07/04/2017								
Realizado por:		O.Y.		Rev. Nº:	Fecha:								
		Soportado por el PQR Nº: OY-PQR-17-001		Rev. Nº:	Fecha:								
				FO-IN-07 | REV. 0									
GTAW (Soldadura de Arco de Tungsteno y Gas)													
PROCESO DE SOLDADURA: <input checked="" type="checkbox"/> MANUAL <input type="checkbox"/> SEMIAUTOMATICO <input type="checkbox"/> AUTOMATICO <input type="checkbox"/> SMAW <input type="checkbox"/> GMAW <input type="checkbox"/> SAW <input type="checkbox"/> FCAW <input checked="" type="checkbox"/> GTAW <input type="checkbox"/> OTRO:													
DISEÑO DE JUNTA (QW - 402)			GAS (QW - 408)										
Tipo de Junta: <input checked="" type="checkbox"/> A tope, V groove (55° - 65°) Espacio de Raíz: 4 mm a 5 mm Respaldo: <input type="checkbox"/> Si <input checked="" type="checkbox"/> No Material Respaldo: <input type="checkbox"/> No aplica <input type="checkbox"/> Metal <input type="checkbox"/> Metal No fusible <input type="checkbox"/> Otro: ...			Protección: 100 % Ar Flujo 14 - 20 lt/min Respaldo (purga): No aplica % ... Flujo ... Otros: No aplica										
MATERIAL BASE (QW - 403)			CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW - 409)										
P-No. 1 Grupo No. 1 A P-No. 1 Grupo No. 1 Especificación: ASTMA106 A ASTMA106 Tipo / Grado: Gr.B Gr.B Espesor de la Junta Soldada [T]: 5,54 mm Diámetro de la Junta Soldada: NPS 2 Rango de Espesores Calificados: Ranura: 1,5 - 11 mm Filete: Ilimitado Máximo espesor por pase ≤ 13 mm. <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO			Corriente pulsante: No Aplica Heat Input (máx): No aplica Electrodo de Tungsteno (tipo y tamaño): EWT-2 (AWS A5.12) Modo Trasl.: Cortocircuito <input type="checkbox"/> Globular <input type="checkbox"/> Aspersión <input type="checkbox"/> N/A <input checked="" type="checkbox"/> Otros: Ninguno										
MATERIAL DE APORTE (QW - 404)			TÉCNICA (QW - 410)										
AWS: ER70S6 F. No.: 6 A. No.: 1 SFA: A5.18 Tipo: No aplica Espesor de soldadura máx.: 11 mm			Cordon con oscilación: <input checked="" type="checkbox"/> Cordon sin oscilación: <input type="checkbox"/> Tamaño de boquilla: No aplica Limpieza inicial / entrapases: <input type="checkbox"/> Herramientas Manuales ... <input checked="" type="checkbox"/> Herramientas eléctricas Cepillos metálicos y/o piedra de amolar Método de repelado: No aplica Oscilación: Ancho (máx) 16 mm Frecuencia (Osc/min) N/A CTWD (mm): No aplica Pases por lado: Simple <input type="checkbox"/> Múltiples <input checked="" type="checkbox"/> Electrodo: Único <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Espacio entre electrodos: No aplica Peening: No realizar Otros: Ninguno										
POSICION (QW - 405)			DISEÑO DE JUNTA (QW - 402)										
Posiciones de ranura (groove): Todas Posiciones de filete (filete): Todas Dirección: Vertical Descendente <input type="checkbox"/> Vertical Ascendente <input checked="" type="checkbox"/>													
PRECALENTAMIENTO (QW - 406)													
Temp. Pre calentamiento: T ≤ 25mm Min. 10°C Temperatura Entrepases: T ≤ 25mm Máx. 250°C Temp. de secado de humedad de biselados (donde aplique): 90°C													
TRATAMIENTO TÉRMICOS POST - SOLDADURA (QW - 407)													
Rango de Temp.: °C: No aplica Incremento Temp.: °C/h: No aplica Tiempo de Espera: h: No aplica Disminución Temp.: °C/h: No aplica													
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW - 409)													
PASE	Nº	PROCESO	AWS DESIGNACION	DIAMETRO mm (Pulg)	CORRIENTE Amperios	WFS (Pulg/min)	VOLTAJE Voltios	AC	DC		DIRECCION		VELOC (Pulg/min)
									DIR	INV	ASC	DESC	
Raíz	1º	GTAW	ER70S6	2,4(3/32")	100 - 140	n/a	10 - 15		-		X		2 - 5
Caliente	2º	GTAW	ER70S6	2,4(3/32")	140 - 200	n/a	13 - 18		-		X		3 - 6
Relleno	n-1	GTAW	ER70S6	2,4(3/32")	140 - 170	n/a	12 - 16		-		X		2 - 5
Capa	n	GTAW	ER70S6	2,4(3/32")	140 - 170	n/a	12 - 16		-		X		2 - 5
MATERIAL: P-No.1			POSICIÓN: Todas										
ESPESOR Soldadura de Ranura: 1,5 - 11 mm			TAMAÑO Filete: Todos los tamaños en todos los espesores de Metal Base.										
OBSERVACIONES: a) Documento aplicable a soldaduras con o sin pase de respaldo (resanado). b) Cada proceso de soldadura establecido en este documento podrá ser utilizado individualmente de acuerdo a QW-200.4 ASME SEC. IX/2015. c) Donde aplique, este documento podrá ser utilizado sin restricción de diámetros.													
REALIZADO POR:				REVISADO POR:				APROBADO POR:					
Nombre: Ing. Oscar Yanchapaxi		Nombre: Ing. Carlos Díaz		Nombre:		Carga: Director		Carga:		Fecha:		Firma:	
Carga: AWS-CWI 16083231		Fecha: 07/04/17		Firma:		Fecha:		Firma:		Fecha:		Firma:	
07/04/17		Firma:		07/04/17		Firma:		Fecha:		Firma:		Fecha:	

Figura 41. Especificación de procedimiento de soldadura (WPS)- Proceso GTAW (Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

PROCEDURE QUALIFICATION RECORD (PQR) - ASME IX					
PROYECTO TITULACIÓN		OY-PQR-17-002		Rev. Nº	0
		Califica al WPS Nº OY-WPS-17-002		Rev. Nº	
Realizado por:		O.Y		FO-IN-08 | REV. 0	
Nombre Soldador:		CORONADO JIMÉNEZ ANGEL PATRICIO		Cedula Nº:	1718874645
				Estampe Nº:	W- 645
PROCESO DE SOLDADURA		<input checked="" type="checkbox"/> MANUAL <input checked="" type="checkbox"/> SMAW <input type="checkbox"/> GMAW <input type="checkbox"/> SAW		<input type="checkbox"/> SEMIAUTOMÁTICO <input type="checkbox"/> FCAW <input type="checkbox"/> GTAW <input type="checkbox"/> AUTOMÁTICO <input type="checkbox"/> OTRO:	
DISEÑO DE JUNTA (QW - 402)		GAS (QW - 408)			
Tipo de Junta:	A tope, V groove 60°		Protección:	No aplica % ... Flujo ...	
Respaldo:	No aplica		Respaldo (purga):	No Aplica % ... Flujo ...	
Material Respaldo:	No aplica		CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW - 409)		
Espacio de Raíz:	1,6 mm		Tipo de Corriente:	Corriente Continua	
MATERIAL BASE (QW - 403)			Polaridad:	(DC-) Pase de raíz / (DC+) Resto de pases	
No. P y No. Grupo:	P-No 1, Grupo No. 1 a P-No 1, Grupo No. 1		Amperaje:	80 - 115 amp Voltaje: 22 - 32 V.	
Especificación:	ASTMA106 a ASTM A106		Tamaño de Electrodo de Tungsteno:	No Aplica	
Tipo / Grado:	Gr. B Gr. B		Modo Trasf.:	<input type="checkbox"/> Cortocircuito <input type="checkbox"/> Globular <input type="checkbox"/> Aspersión <input type="checkbox"/> N/A <input checked="" type="checkbox"/>	
Espesor de la Junta Soldada:	7,11 mm		Heat Input (máx):	8,3 KJ/cm	
Diámetro de la Junta Soldada:	NPS 6		Otros:	Ninguno	
MATERIAL DE APORTE (QW - 404)			TECNICA (QW - 410)		
AWS:	E6010 E7018		Velocidad de avance:	4,0 - 13,0 pulg/min	
F. No.:	3 4		Cordón con oscilación:	<input checked="" type="checkbox"/>	
A. No.:	1 1		Cordón sin oscilación:	<input type="checkbox"/>	
SFA:	A5.1 A5.1		Oscilación:	Ancho máx (mm) 9 Frecuencia (Osc/min) N/A	
Tipo:	WEST ARCO ZIP 10T WEST ARCO WIZ 18S		Pases por lado:	Simple <input type="checkbox"/> Múltiples <input checked="" type="checkbox"/>	
Espesor de Soldadura:	2,5 mm 4,5 mm		Electrodos:	Único <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/>	
POSICION (QW - 405)			DISEÑO DE JUNTA (QW - 402)		
Posiciones de ranura (groove):	6G				
Posiciones de filete (filete):	No Aplica				
Dirección:	Vertical Descendente <input checked="" type="checkbox"/> Vertical Ascendente: <input checked="" type="checkbox"/> Con electrodo E6010 Con electrodo E7018				
PRECALENTAMIENTO (QW - 406)					
Temp. de Precalentamiento:	17° C (temperatura ambiente)				
Temperatura de Entrepases:	Min. 120 °C Máx. 200 °C				
Temp. Secado para eliminar humedad en bisel:	No realizado				
TRATAMIENTO TÉRMICOS POST - SOLDADURA (QW-407)					
Rango de Temp.:	°C: N/A Incremento Temp.: °C/h: N/A				
Tiempo de Espera:	h: N/A Disminución Temp.: °C/h: N/A				
ENSAYOS DESTRUCTIVOS Y NO DESTRUCTIVOS					
ENSAYOS DE TRACCIÓN (QW-150)					
Probeta Nº	W-645-T1		W-645-T2		No Aplica
Espesor - mm.	5,10		5,19		-
Ancho - mm.	20,21		22,32		-
Carga máxima registrada - (KN)	56,8		65,3		-
Resistencia a la tracción - ksi (Mpa)	78,79 (551)		81,76 (564)		-
Lugar de rotura	Metal de Soldadura		-		-
Resistencia a la tracción Metal Base (Tabla QW/QB 422):	60 Ksi		Nota: Ninguna		-
W-645-T1	APROBADO		W-645-T2	APROBADO	
Observaciones sobre ensayos de tracción: APROBADO; Ver informe ILPM 2017-133-T					
ENSAYOS DE DOBLADO (QW-160)					
RAÍZ (R)			CARA (C)		
W-645 C1	APROBADO		W-645 C2	APROBADO	
W-645 R1	APROBADO		W-645 R2	APROBADO	
Observaciones sobre ensayos de doblado: APROBADO; Ver informe ILPM 2017-133 W-645					
EXAMEN VISUAL					
VISUAL (QW-194):		Calificado		SI	
		DESCALIFICADO		NO	
CALIFICADO		<input checked="" type="checkbox"/>		DESCALIFICADO	
Se certifica que los datos consignados en este documento son verdaderos y que las muestras de soldadura fueron preparadas, soldadas y ensayadas de acuerdo a los requerimientos del código aplicable. Este documento tiene información confidencial propiedad del CLIENTE, queda expresamente prohibida su difusión total o parcial, copia o uso sin autorización. Este documento no es válido sin firmas de responsabilidad.					
REALIZADO POR:		REVISADO POR:		APROBADO POR:	
Nombre:	Ing. Oscar Yanchapaxi		Nombre:	Ing. Carlos Díaz	
Cargo:	AWS CWI 16083231		Cargo:	Director	
Fecha:	07/04/17		Fecha:	07/04/17	
Firma:			Firma:		

Figura 42. Calificación de procedimiento de soldadura (PQR)- Proceso SMAW (Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

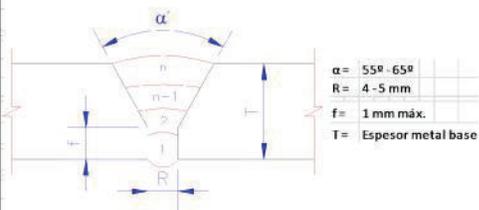
PROYECTO TITULACIÓN		WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS) - ASME IX											
		OY-WPS-17-001		Rev. Nº: 0	Fecha: 07/04/2017								
Realizado por:		O.Y.		Rev. Nº:	Fecha:								
		Soportado por el PQR Nº: OY-PQR-17-001											
				FO-IN-07 | REV. 0									
GTAW (Soldadura de Arco de Tungsteno y Gas)													
PROCESO DE SOLDADURA <input checked="" type="checkbox"/> MANUAL <input type="checkbox"/> SEMIAUTOMÁTICO <input type="checkbox"/> AUTOMÁTICO <input type="checkbox"/> SMAW <input type="checkbox"/> GMAW <input type="checkbox"/> SAW <input type="checkbox"/> FCAW <input checked="" type="checkbox"/> GTAW <input type="checkbox"/> OTRO:													
DISEÑO DE JUNTA (QW - 402) Tipo de Junta: <input checked="" type="checkbox"/> A tope, V groove (55° - 65°) Espacio de Raíz: 4 mm a 5 mm Respaldo: <input type="checkbox"/> Sí <input checked="" type="checkbox"/> No Material Respaldo: <input type="checkbox"/> No aplica <input type="checkbox"/> Metal <input type="checkbox"/> No Metal <input type="checkbox"/> Metal No fusible <input type="checkbox"/> Otro: ...			GAS (QW - 408) Protección: 100 % Ar Flujo: 14 - 20 lt/min Respaldo (purga): No aplica % ... Flujo: ... Otros: No aplica										
MATERIAL BASE (QW - 403) P-No. 1 Grupo No. 1 A P-No. 1 Grupo No. 1 Especificación: ASTM A106 A ASTM A106 Tipo / Grado: Gr.B Gr.B Espesor de la Junta Soldada [T]: 5,54 mm Diámetro de la Junta Soldada: NPS 2 Rango de Espesores Calificados: Ranura: 1,5 - 11 mm Filete: Ilimitado Máximo espesor por pase ≤ 13 mm. Sí <input checked="" type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>			CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW - 409) [Ver cuadro "CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS"] Corriente pulsante: No Aplica Heat Input (máx): No aplica Electrodo de Tungsteno (tipo y tamaño): EWT-2 (AWS A5.12) Modo Trasl.: Cortocircuito <input type="checkbox"/> Globular <input type="checkbox"/> Aspersión <input type="checkbox"/> N/A <input checked="" type="checkbox"/> Otros: Ninguno										
MATERIAL DE APORTE (QW - 404) AWS: ER70S6 6 F. No.: 6 0 A. No.: 1 0 SFA: A5.18 0 Tipo: No aplica No aplica Espesor de soldadura máx.: 11 mm 8 mm			TÉCNICA (QW - 410) Cordón con oscilación: <input checked="" type="checkbox"/> Cordón sin oscilación: <input type="checkbox"/> Tamaño de boquilla: No aplica Limpieza inicial / entrepases: <input type="checkbox"/> Herramientas Manuales ... <input checked="" type="checkbox"/> Herramientas eléctricas Cepillos metálicos y/o piedra de amolar Método de repelado: No aplica Oscilación: Ancho (máx) 16 mm Frecuencia (Osc/min) N/A CTWD (mm): No aplica Pases por lado: Simple <input type="checkbox"/> Múltiples <input checked="" type="checkbox"/> Electrodo: Único <input checked="" type="checkbox"/> Múltiples <input type="checkbox"/> Espacio entre electrodos: No aplica Peening: No realizar Otros: Ninguno										
POSICIÓN (QW - 405) Posiciones de ranura (groove): Todas Posiciones de filete (filete): Todas Dirección: Vertical Descendente <input type="checkbox"/> Vertical Ascendente <input checked="" type="checkbox"/>			DISEÑO DE JUNTA (QW - 402) 										
PRECALENTAMIENTO (QW - 406) Temp. Pre calentamiento: T ≤ 25mm Min. 10°C Temperatura Entrepases: T ≤ 25mm Máx. 250°C Temp. de secado de humedad de biselés (donde aplique): 90°C													
TRATAMIENTO TÉRMICOS POST - SOLDADURA (QW - 407) Rango de Temp.: °C: No aplica Incremento Temp.: °C/h: No aplica Tiempo de Espera: h: No aplica Disminución Temp.: °C/h: No aplica													
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS (QW - 409)													
PASE	Nº	PROCESO	AWS DESIGNACION	DIAMETRO mm (Pulg)	CORRIENTE Amperios	WFS (Pulg/min)	VOLTAJE Voltios	AC	DC DIR	DIRECCION INV	ASC	DESC	VELOC (Pulg/min)
Raíz	1º	GTAW	ER70S6	2,4(3/32")	100 - 140	n/a	10 - 15	-	-	-	X	-	2 - 5
Caliente	2º	GTAW	ER70S6	2,4(3/32")	140 - 200	n/a	13 - 18	-	-	-	X	-	3 - 6
Relleno	n-1	GTAW	ER70S6	2,4(3/32")	140 - 170	n/a	12 - 16	-	-	-	X	-	2 - 5
Capa	n	GTAW	ER70S6	2,4(3/32")	140 - 170	n/a	12 - 16	-	-	-	X	-	2 - 5
MATERIAL: P-No.1			ESPOSOR Soldadura de Ranura: 1,5 - 11 mm			POSICIÓN: Todas			TAMAÑO Filete: Todos los tamaños en todos los espesores de Metal Base.				
OBSERVACIONES: a) Documento aplicable a soldaduras con o sin pase de respaldo (resonado). b) Cada proceso de soldadura establecido en este documento podrá ser utilizado individualmente de acuerdo a QW-200.4 ASME SEC. IX/2015. c) Donde aplique, este documento podrá ser utilizado sin restricción de diámetros.													
REALIZADO POR:				REVISADO POR:				APROBADO POR:					
Nombre: Ing. Oscar Yanchapaxi				Nombre: Ing. Carlos Díaz				Nombre:					
Cargo: AWS-CWI 16083231				Cargo: Director									
Fecha: 07/04/17		Firma: 		Fecha: 07/04/17		Firma:		Fecha:		Firma:			

Figura 43. Especificación de procedimiento de soldadura (WPS)- Proceso SMAW (Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

Obtención de cupones de prueba simulando los diferentes tipos de defectos en soldaduras de producción.

De acuerdo al alcance de este estudio, se ha realizado la soldadura de los cupones de prueba correspondientes, para los diámetros y espesores enmarcados en la tabla 1, los cuales corresponden a los más utilizados en soldadura de producción en la industria petrolera ecuatoriana.

Con el uso de los procedimientos calificados para proceso GTAW y SMAW, se procedió a la generación de defectos típicos encontrados en juntas soldadas de tubería.

Las figuras de la 44 a la 49, muestran los cupones de prueba soldados para los diámetros, espesores y proceso de fabricación establecido en la sección 2.3. y que forman parte del alcance de este proyecto.

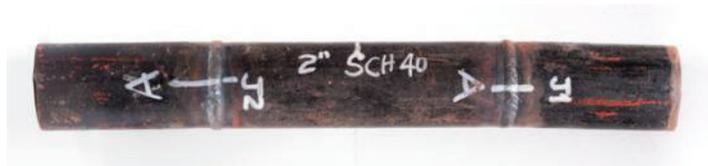


Figura 44. Cupón de prueba soldado 2" SCH STD- Proceso GTAW
(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)



Figura 45. Cupón de prueba soldado 2" SCH 80- Proceso GTAW
(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)



Figura 46. Cupón de prueba soldado 4" SCH STD- Proceso GTAW
(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)



Figura 47. Cupón de prueba soldado 4" SCH 80- Proceso SMAW
(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)



Figura 48. Cupón de prueba soldado 6" SCH STD- Proceso SMAW
(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)



Figura 49. Cupón de prueba soldado 12" SCH STD- Proceso SMAW
(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

2.4 Inspección de cupones de prueba soldados mediante el método de ultrasonido arreglo de fases y método de radiografía industrial.

Las juntas soldadas de los cupones de prueba fabricados y mostrados en la sección 2.3, fueron inspeccionadas mediante el método de radiografía y método de ultrasonido con la técnica de arreglo de fases.

Para los servicios de inspección con el método de radiografía (gamagrafía), se contrató a la compañía INNODES CIA LTDA, empresa que presta este tipo de servicios y cuenta con la licencia de operación de fuentes radioactivas por parte del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER).

Para los servicios de inspección con el método de ultrasonido arreglo de fases, se contó con la colaboración de la empresa SINDESECUADOR S.A, la misma que facilitó el equipo completo de inspección, esto es el equipo ultrasónico OMNI SCAN SX , cables, transductores y zapatas, de la casa comercial OLYMPUS (ver Figura 50).

La descripción de los equipos y accesorios de ultrasonido arreglo de fase, se encuentra en el Plan de escaneo elaborado para cada cupón de prueba.

Previo a la inspección, se realizó la calibración del equipo con los bloques curvos fabricados para cada diámetro y la elaboración del Plan de escaneo para cada cupón de prueba que es parte de este alcance, las mismas que se pueden observar en las tablas de la 5 a la 10 y siguiendo el procedimiento de calibración establecido en el Anexo IV.



Figura 50. Inspección mediante ultrasonido arreglo de fases – cupones de prueba
(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

Tabla 5. Plan de barrido Cupón de prueba 2" NPS SCH STD - J1 / J2

PLAN DE BARRIDO (SCAN PLAN)												
PROYECTO:		TESIS MAESTRIA			ELEMENTO-INSPECCIÓN:		CUPÓN DE PRUEBA 2" NPS SCH STD					
NOMBRE / ARCHIVO (CONFIGURACIÓN):		TESIS 2.OPS										
REQUERIMIENTOS DE SISTEMA DE ULTRASONIDO					DETALLES DE EXAMINACIÓN							
Instrumento Utilizado		OMNI SCAN SX -PA1664PR			Volumen Requerido		100% SOLDADURA Y ZAC (HAZ)					
Versión mínima de Software		MXU 4.1 R2			Superficie de barrido		COMO ESTA SOLDADA					
Grupos requeridos		1 GRUPO			Bloque (s) de calibración		ASME-CA-2"-001					
Codificador de exploración (Scanner)		ENCODER DE RUEDA SIMPLE			Acoplante Utilizado		METILCELULOSA					
Software de Análisis		OMNI SCAN SX -PA1664PR			Velocidad máxima de barrido		200 mm/s					
Recurso de Ley Focal		OMNI SCAN SX -PA1664PR										
		GRUPO 1			GRUPO 2			GRUPO 1		GRUPO 2		
CALIBRATION	DAC- Reflector 1:	Notch 2- 3.51 mm			-							
	DAC- Reflector 2:	Notch 1- 0.4 mm			-							
	DAC- Reflector 3:	Notch 2- 3.51 mm			-							
	Wedge Delay Reflector:	IIV- R 50 mm			-							
	Sensitivity Reflector:	Notch 2			-							
	Reference Gain (A):	25.1			-							
	Scan Gain (B):	12.1 dB			-							
OMNISCAN OPTIONS	Wedge Delay Tolerance:	1 mm										
	Sensitivity Tolerance:	5%										
	TCG/DAC Tolerance:	2%										
PROBE -PART	SELECT	Probe:	5L16-A10									
		Wedge:	SA10-N55S									
		Auto Detect:	YES									
	POSITION	Scan offset:	0 mm									
		Index offset:	4 mm									
		Skew (degree):	90									
	PARTS	Geometry:	PLATE									
		Thickness:	3.91 mm									
		Diameter:	2" NPS									
		Material:	A 106 GrB									
FOCAL LAW	APERTURE	Element Quant:	16									
		First Element:	1									
		Last Element:	16									
		Element Step:	1									
		Wave Type:	SHEAR									
	BEAM	Min. Angle:	40									
		Max. Angle:	70									
		Angle Step:	1									
		Focus Depth:	10									
GATE ALARM	GATE	Gate I.D.	A	B	I	A	B					
		Start:	3.91									
		Width:	3.91									
		Threshold (%):	15									
	SIZING CURVES	Mode:	DAC / TCG									
		Curve:	0 Db									
DISPLAY	OVERLAY	Weld:	YES									
		I.D./O.D. Legs:	NO									
		Sizing Curves:	YES									
OBSERVACIONES:												
REALIZAR BARRIDOS DESDE LADO A Y DESDE LADO B.												
UTILIZANDO EL MISMO VALOR DE "INDEX OFFSET"												

(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

Tabla 6. Plan de barrido Cupón de prueba 2" NPS SCH 80 – J3 / J4

PLAN DE BARRIDO (SCAN PLAN)												
PROYECTO:		TESIS MAESTRIA			ELEMENTO-INSPECCIÓN:		CUPÓN DE PRUEBA 2" NPS SCH 80					
NOMBRE / ARCHIVO (CONFIGURACION): TESIS 2-80.OPS												
REQUERIMIENTOS DE SISTEMA DE ULTRASONIDO					DETALLES DE EXAMINACIÓN							
Instrumento Utilizado		OMNI SCAN SX -PA1664PR			Volumen Requerido		100% SOLDADURA Y ZAC (HAZ)					
Versión mínima de Software		MXU 4.1 R2			Superficie de barrido		COMO ESTA SOLDADA					
Grupos requeridos		1 GRUPO			Bloque (s) de calibración		ASME-CA-2"-002					
Codificador de exploración (Scanner)		ENCODER DE RUEDA SIMPLE			Acoplante Utilizado		METILCELULOSA					
Software de Análisis		OMNI SCAN SX -PA1664PR			Velocidad máxima de barrido		200 mm/s					
Recurso de Ley Focal		OMNI SCAN SX -PA1664PR										
		GRUPO 1		GRUPO 2				GRUPO 1		GRUPO 2		
CALIBRATION	DAC- Reflector 1:		Notch 2- 5.04 mm		-		GENERAL		Gain:		31.1 dB	
	DAC- Reflector 2:		Notch 1- 0.5 mm		-				Start:		9.52	
	DAC- Reflector 3:		Notch 2- 5.04 mm		-				Range (angle):		6.71	
	Wedge Delay Reflector:		IW- R 50 mm		-				Wedge delay:		0	
	Sensitivity Reflector:		Notch 2		-				Material Vel.:		3244	
	Reference Gain (A):		25.1		-				Pulser:		1	
	Scan Gain (B):		6 dB		-				Tx/Rx:		PULSE-ECO	
OMNISCAN OPTIONS	Wedge Delay Tolerance:		1 mm				PULSER		Frequency:		5 MHZ	
	Sensitivity Tolerance:		5%						Voltage:		40	
	TCG/DAC Tolerance:		2%						Pulse Repetition Frequency:		60	
PROBE -PART	SELECT	Probe:		5L16-A10		UT SETTINGS		RECEIVER		Pulse width:		AUTO
		Wedge:		SA10-N55S						Receiver:		1
		Auto Detect:		YES						Filter:		NONE
	POSITION	Scan offset:		0 mm				BEAM		Rectifier:		FULL WAVE
		Index offset:		5 mm						Video filter:		
		Skew (degree):		90						Averaging:		1
	PARTS	Geometry:		PLATE				Reject:		0		
		Thickness:		5.54 mm				Scan Offset:		0		
		Diameter:		2" NPS				Index Offset:		16.69		
Material:		A 106 GrB		Angle:		40						
Skew:		-		Skew:		0						
Beam Delay:		10.12 us		Gain Offset:		6 dB						
FOCAL LAW	APERTURE	Element Quant:		16		SCAN		ENCODER		Polarity:		NORMAL
		First Element:		1						Type:		QUAD
		Last Element:		16				Resolution:		12 STEP/MIN		
		Element Step:		1				Type:		ONE LINE SCAN		
	Wave Type:		SHEAR		Scan:			ENCODER 1				
	BEAM	Min. Angle:		40				Scan Speed:		60 mm/s		
		Max. Angle:		70				Scan Start:		0		
Angle Step:		1		Scan End:		220 mm						
Focus Depth:		10		Scan Resolution:		1 mm						
GATE ALARM	GATE	Gate I.D.:		A		B		I		A		B
		Start:		5.54								
		Width:		5.54								
		Threshold (%):		15								
	SIZING CURVES		Mode:		DAC / TCG							
Curve:		0 Db										
DISPLAY	OVERLAY	Weld:		YES		ESQUEMA						
		I.D./O.D. Legs:		NO								
		Sizing Curves:		YES								
OBSERVACIONES:												
REALIZAR BARRIDOS DESDE LADO A Y DESDE LADO B,												
UTILIZANDO EL MISMO VALOR DE "INDEX OFFSET"												

(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

Tabla 7. Plan de barrido Cupón de prueba 4" NPS SCH STD – J7 / J8

PLAN DE BARRIDO (SCAN PLAN)											
PROYECTO:		TESIS MAESTRIA			ELEMENTO-INSPECCIÓN:		CUPÓN DE PRUEBA 4" NPS SCH STD				
NOMBRE / ARCHIVO (CONFIGURACION):		TESIS 4.OPS									
REQUERIMIENTOS DE SISTEMA DE ULTRASONIDO					DETALLES DE EXAMINACIÓN						
Instrumento Utilizado		OMNI SCAN SX -PA1664PR			Volumen Requerido		100% SOLDADURA Y ZAC (HAZ)				
Versión mínima de Software		MXU 4.1 R2			Superficie de barrido		COMO ESTA SOLDADA				
Grupos requeridos		1 GRUPO			Bloque (s) de calibración		ASME-CA-4"-003				
Codificador de exploración (Scanner)		ENCODER DE RUEDA SIMPLE			Acoplante Utilizado		METLCELULOSA				
Software de Análisis		OMNI SCAN SX -PA1664PR			Velocidad máxima de barrido		200 mm/s				
Recurso de Ley Focal		OMNI SCAN SX -PA1664PR									
		GRUPO 1		GRUPO 2				GRUPO 1		GRUPO 2	
CALIBRATION	DAC- Reflector 1:	Notch 2- 5.42 mm		-		UT SETTINGS	GENERAL	Gain:	31.1 dB		
	DAC- Reflector 2:	Notch 1- 0.6 mm		-				Start:	8.52		
	DAC- Reflector 3:	Notch 2- 5.42 mm		-				Range (angle)	13.08		
	Wedge Delay Reflector:	IIV- R 50 mm		-				Wedge delay	0		
	Sensitivity Reflector:	Notch 2		-				Material Vel.	3244		
Reference Gain (A):	25.1		-		PULSER		Pulser:	1			
Scan Gain (B):	6 dB		-				Tx/Rx:	PULSE-ECO			
Wedge Delay Tolerance:	1 mm						Frequency:	5 MHZ			
Sensitivity Tolerance:	5%						Voltage:	40			
TCG/DAC Tolerance:	2%						Pulse Repetition Frequency:	60			
OMNISCAN OPTIONS	SELECT	Probe:	5L16-A10				RECEIVER	Receiver:	1		
		Wedge:	SA10-N55S					Filter:	NONE		
		Auto Detect:	YES					Rectifier:	FULL WAVE		
	POSITION	Scan offset:	0 mm					Video filter:			
		Index offset:	5 mm					Averaging:	1		
		Skew (degree):	90					Reject:	0		
PARTS	Geometry:	PLATE				BEAM	Scan Offset:	0			
	Thickness:	6.02 mm					Index Offset:	16.69			
	Diameter:	4 " NPS					Angle:	40			
	Material:	A 106 GrB					Skew:	0			
FOCAL LAW	APERTURE	Element Quant:	16				ENCODER	Polarity:	NORMAL		
		First Element:	1					Type:	QUAD		
		Last Element:	16					Resolution:	12 STEP/MIN		
		Element Step:	1					INSPECTION	Type:	ONE LINE SCAN	
	Wave Type:	SHEAR				Scan:	ENCODER 1				
	BEAM	Min. Angle:	40				Scan Speed:		60 mm/s		
		Max. Angle:	70				Scan Start:		0		
		Angle Step:	1				Scan End:	360 mm			
Focus Depth:		10				Scan Resolution:	1 mm				
GATE ALARM	GATE	Gate I.D.	A		B		SCAN	AREA	Storage:	usb	
		Start:	6.02						Inspection Data	TESIS J7 / J8	
		Width:	6.02						ESQUEMA		
		Threshold (%):	15								
	Mode:	DAC / TCG									
SIZING CURVES	Curve:	0 Db									
DISPLAY	OVERLAY	Weld:	YES								
		I.D./O.D. Legs:	NO								
		Sizing Curves:	YES								
OBSERVACIONES:											
REALIZAR BARRIDOS DESDE LADO A Y DESDE LADO B,											
UTILIZANDO EL MISMO VALOR DE "INDEX OFFSET"											

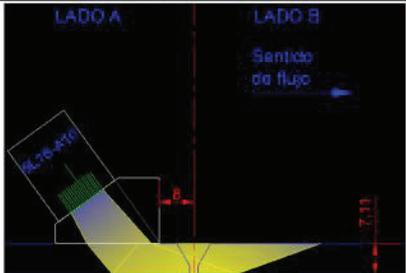
(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

Tabla 8. Plan de barrido Cupón de prueba 4" NPS SCH 80 – J9 / J10

PLAN DE BARRIDO (SCAN PLAN)											
PROYECTO:		TESIS MAESTRIA			ELEMENTO-INSPECCIÓN:		CUPÓN DE PRUEBA 4" NPS SCH 80				
NOMBRE / ARCHIVO (CONFIGURACION):		TESIS 4-80.OPS									
REQUERIMIENTOS DE SISTEMA DE ULTRASONIDO					DETALLES DE EXAMINACIÓN						
Instrumento Utilizado		OMNI SCAN SX -PA1664PR			Volumen Requerido		100% SOLDADURA Y ZAC (HAZ)				
Versión mínima de Software		MXU 4.1 R2			Superficie de barrido		COMO ESTA SOLDADA				
Grupos requeridos		1 GRUPO			Bloque (s) de calibración		ASME-CA-4"-004				
Codificador de exploración (Scanner)		ENCODER DE RUEDA SIMPLE			Acoplante Utilizado		METILCELULOSA				
Software de Análisis		OMNI SCAN SX -PA1664PR			Velocidad máxima de barrido		200 mm/s				
Recurso de Ley Focal		OMNI SCAN SX -PA1664PR									
		GRUPO 1		GRUPO 2				GRUPO 1		GRUPO 2	
CALIBRATION	DAC- Reflector 1:	Notch 2- 7.76 mm		-		UT SETTINGS	GENERAL	Gain:	31.1 dB		
	DAC- Reflector 2:	Notch 1- 0.8 mm		-				Start:	10.43		
	DAC- Reflector 3:	Notch 2- 7.76 mm		-				Range (angle)	13.08		
	Wedge Delay Reflector:	IIV- R 50 mm		-				Wedge delay	0		
	Sensitivity Reflector:	Notch 2		-				Material Vel.	3244		
	Reference Gain (A):	25.1		-				Pulser:	1		
	Scan Gain (B):	6 dB		-				Tx/Rx:	PULSE-ECO		
OMNISCAN OPTIONS	Wedge Delay Tolerance:	1 mm					PULSER	Frequency:	5 MHZ		
	Sensitivity Tolerance:	5%						Voltage:	40		
	TCG/DAC Tolerance:	2%						Pulse Repetition Frequency:	60		
PROBE -PART	SELECT	Probe:	5L16-A10				RECEIVER	Pulse width:	AUTO		
		Wedge:	SA10-N55S					Receiver:	1		
		Auto Detect:	YES					Filter:	NONE		
	POSITION	Scan offset:	0 mm					Rectifier:	FULL WAVE		
		Index offset:	11 mm					Video filter:			
		Skew (degree):	90					Averaging:	1		
	PARTS	Geometry:	PLATE					Reject:	0		
		Thickness:	8.56 mm					Scan Offset:	0		
		Diameter:	4" NPS					Index Offset:	22.69		
Material:		A 106 GrB				Angle:	40				
FOCAL LAW	APERTURE	Element Quant:	16				SCAN	ENCODER	Polarity:	NORMAL	
		First Element:	1						Type:	QUAD	
		Last Element:	16					Resolution:	12 STEP/MIN		
		Element Step:	1					Type:	ONE LINE SCAN		
	Wave Type:	SHEAR				Scan:		ENCODER 1			
	BEAM	Min. Angle:	40					Scan Speed:	60 mm/s		
		Max. Angle:	70					Scan Start:	0		
Angle Step:		1				Scan End:	360 mm				
GATE ALARM	GATE	Gate I.D.	A		B		AREA	Scan Resolution:	1 mm		
		Start:	8.56					Storage:	usb		
		Width:	8.56					Inspection Data:	TESIS J9 / J10		
		Threshold (%):	15					ESQUEMA			
	SIZING CURVES	Mode:	DAC / TCG								
Curve:	0 Db										
DISPLAY	OVERLAY	Weld:	YES								
		I.D./O.D. Legs:	NO								
		Sizing Curves:	YES								
OBSERVACIONES:											
REALIZAR BARRIDOS DESDE LADO A Y DESDE LADO B,											
UTILIZANDO EL MISMO VALOR DE "INDEX OFFSET"											

(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

Tabla 9. Plan de barrido Cupón de prueba 6" NPS SCH STD – J11 / J12

PLAN DE BARRIDO (SCAN PLAN)												
PROYECTO:		TESIS MAESTRIA			ELEMENTO-INSPECCIÓN:		CUPÓN DE PRUEBA 6" NPS SCH STD					
NOMBRE / ARCHIVO (CONFIGURACION):		TESIS 6.OPS										
REQUERIMIENTOS DE SISTEMA DE ULTRASONIDO					DETALLES DE EXAMINACIÓN							
Instrumento Utilizado		OMNI SCAN SX -PA1664PR			Volumen Requerido		100% SOLDADURA Y ZAC (HAZ)					
Versión mínima de Software		MXU 4.1 R2			Superficie de barrido		COMO ESTA SOLDADA					
Grupos requeridos		1 GRUPO			Bloque (s) de calibración		ASME-CA-6"-005					
Codificador de exploración (Scanner)		ENCODER DE RUEDA SIMPLE			Acoplante Utilizado		METILCELULOSA					
Software de Análisis		OMNI SCAN SX -PA1664PR			Velocidad máxima de barrido		200 mm/s					
Recurso de Ley Focal		OMNI SCAN SX -PA1664PR										
		GRUPO 1		GRUPO 2				GRUPO 1		GRUPO 2		
CALIBRATION	DAC- Reflector 1:	Notch 2- 6.41 mm		-		UT SETTINGS	GENERAL	Gain:	31.1 dB			
	DAC- Reflector 2:	Notch 1- 0.7 mm		-				Start:	8.52			
	DAC- Reflector 3:	Notch 2- 6.41 mm		-				Range (angle)	13.00			
	Wedge Delay Reflector:	IIV- R 50 mm		-				Wedge delay	0			
	Sensitivity Reflector:	Notch 2		-				Material Vel.	3244			
	Reference Gain (A):	25.1		-				Pulser:	1			
	Scan Gain (B):	6 dB		-				Tx/Rx:	PULSE-ECO			
OMNISCAN OPTIONS	Wedge Delay Tolerance:	1 mm					PULSER	Frequency:	5 MHz			
	Sensitivity Tolerance:	5%						Voltage:	40			
	TCG/DAC Tolerance:	2%						Pulse Repetition Frequency:	60			
PROBE -PART	SELECT	Probe:	5L16-A10				RECEIVER	Receiver:	1			
		Wedge:	SA10-N55S					Filter:	NONE			
		Auto Detect:	YES					Rectifier:	FULL WAVE			
	POSITION	Scan offset:	0 mm					Video filter:				
		Index offset:	8 mm					Averaging:	1			
		Skew (degree):	90					Reject:	0			
	PARTS	Geometry:	PLATE					BEAM	Scan Offset:	0		
		Thickness:	7.11 mm						Index Offset:	19.69		
		Diameter:	6" NPS						Angle:	40		
	Material	A 106 GrB				Skew:	0					
FOCAL LAW	APERTURE	Element Quant:	16				SCAN	ENCODER	Polarity:	NORMAL		
		First Element:	1						Type:	QUAD		
		Last Element:	16					Resolution:	12 STEP/MIN			
		Element Step:	1					Type:	ONE LINE SCAN			
	Wave Type:	SHEAR				Scan:		ENCODER 1				
	BEAM	Min. Angle:	40					Scan Speed:	60 mm/s			
		Max. Angle:	70					Scan Start:	0			
Angle Step:		1				Scan End:	520 mm					
Focus Depth:	10				Scan Resolution:	1 mm						
GATE ALARM	GATE	Gate I.D.	A		B		DATA	Storage:	usb			
		Start:	7.11					Inspection Data:	TESIS J11 / J12			
		Width:	7.11					ESQUEMA				
		Threshold (%):	15									
	Sizing Curves:	DAC / TCG										
Curve:	0 Db											
DISPLAY	OVERLAY	Weld:	YES									
		I.D./O.D. Legs:	NO									
		Sizing Curves:	YES									
OBSERVACIONES:												
REALIZAR BARRIDOS DESDE LADO A Y DESDE LADO B.												
UTILIZANDO EL MISMO VALOR DE "INDEX OFFSET"												

(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

Tabla 10. Plan de barrido Cupón de prueba 12" NPS SCH STD – J13

PLAN DE BARRIDO (SCAN PLAN)										
PROYECTO:		TESIS MAESTRIA			ELEMENTO-INSPECCIÓN:		CUPÓN DE PRUEBA 12" NPS SCH STD			
NOMBRE / ARCHIVO (CONFIGURACION):		TESIS 12.OPS								
REQUERIMIENTOS DE SISTEMA DE ULTRASONIDO					DETALLES DE EXAMINACIÓN					
Instrumento Utilizado		OMNI SCAN SX -PA1664PR			Volumen Requerido		100% SOLDADURA Y ZAC (HAZ)			
Versión mínima de Software		MXU 4.1 R2			Superficie de barrido		COMO ESTA SOLDADA			
Grupos requeridos		1 GRUPO			Bloque (s) de calibración		ASME-CA-12"-006			
Codificador de exploración (Scanner)		ENCODER DE RUEDA SIMPLE			Acoplante Utilizado		METILCELULOSA			
Software de Análisis		OMNI SCAN SX -PA1664PR			Velocidad máxima de barrido		200 mm/s			
Recurso de Ley Focal		OMNI SCAN SX -PA1664PR								
		GRUPO 1		GRUPO 2				GRUPO 1		GRUPO 2
CALIBRATION	DAC- Reflector 1:	Notch 2- 8.53 mm		-		GENERAL	Gain:	31.1 dB		
	DAC- Reflector 2:	Notch 1- 1 mm		-			Start:	9.52		
	DAC- Reflector 3:	Notch 2- 8.53 mm		-			Range (angle)	22.08		
	Wedge Delay Reflector:	IW- R 50 mm		-			Wedge delay	0		
	Sensitivity Reflector:	Notch 2		-			Material Vel.	3243		
	Reference Gain (A):	25.1		-			Pulser:	1		
OMNISCAN OPTIONS	Scan Gain (B):	6 dB		-		Tx/Rx:	PULSE-ECO			
	Wedge Delay Tolerance:	1 mm				Frequency:	5 MHZ			
	Sensitivity Tolerance:	5%				Voltage:	40			
PROBE -PART	SELECT	Probe:	5L16-A10				PULSER	Pulse Repetition Frequency:	60	
		Wedge:	SA10-N55S					Pulse width:	AUTO	
		Auto Detect:	YES					Receiver:	1	
	POSITION	Scan offset:	0 mm				Filter:	NONE		
		Index offset:	14 mm				Rectifier:	FULL WAVE		
		Skew (degree):	90				Video filter:			
PARTS	Geometry:	PLATE				Averaging:	1			
	Thickness:	9.53 mm				Reject:	0			
	Diameter:	12 " NPS				Scan Offset:	0			
FOCAL LAW	APERTURE	Material:	A 106 GrB				BEAM	Index Offset:	25.69	
		Element Quant:	16					Angle:	40	
		First Element:	1					Skew:	0	
		Last Element:	16					Beam Delay:	10.9 us	
		Element Step:	1					Gain Offset:	2.1 dB	
		Wave Type:	SHEAR					Polarity:	NORMAL	
	BEAM	Min. Angle:	40				Type:	QUAD		
		Max. Angle:	70				Resolution:	12 STEP/MIN		
		Angle Step:	1				Type:	ONE LINE SCAN		
		Focus Depth:	10				Scan:	ENCODER 1		
							Scan Speed:	60 mm/s		
							Scan Start:	0		
GATE ALARM	GATE	Gate I.D.	A		B		INSPECTION	Scan End:	960 mm	
		Start:	9.53					Scan Resolution:	1 mm	
		Width:	9.54					Storage:	usb	
		Threshold (%):	15					Inspection Data:	TESIS J13	
	SIZING CURVES	Mode:	DAC / TCG							
		Curve:	0 Db							
DISPLAY	OVERLAY	Weld:	YES				ESQUEMA			
		I.D./O.D. Legs:	NO							
		Sizing Curves:	YES							
OBSERVACIONES:										
REALIZAR BARRIDOS DESDE LADO A Y DESDE LADO B.										
UTILIZANDO EL MISMO VALOR DE "INDEX OFFSET"										

(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Resultados

Resultados de inspección de cupones de prueba con los métodos de Radiografía Industrial y Ultrasonido con la técnica de Arreglo de Fases.

El informe de inspección radiográfico de cada cupón de prueba se puede observar en el Anexo III.

Las películas radiografiadas y los barridos mediante el método de ultrasonido con la técnica de arreglo de fases de cada cupón de prueba, se muestran en conjunto en las figuras de la 51 hasta la 62.

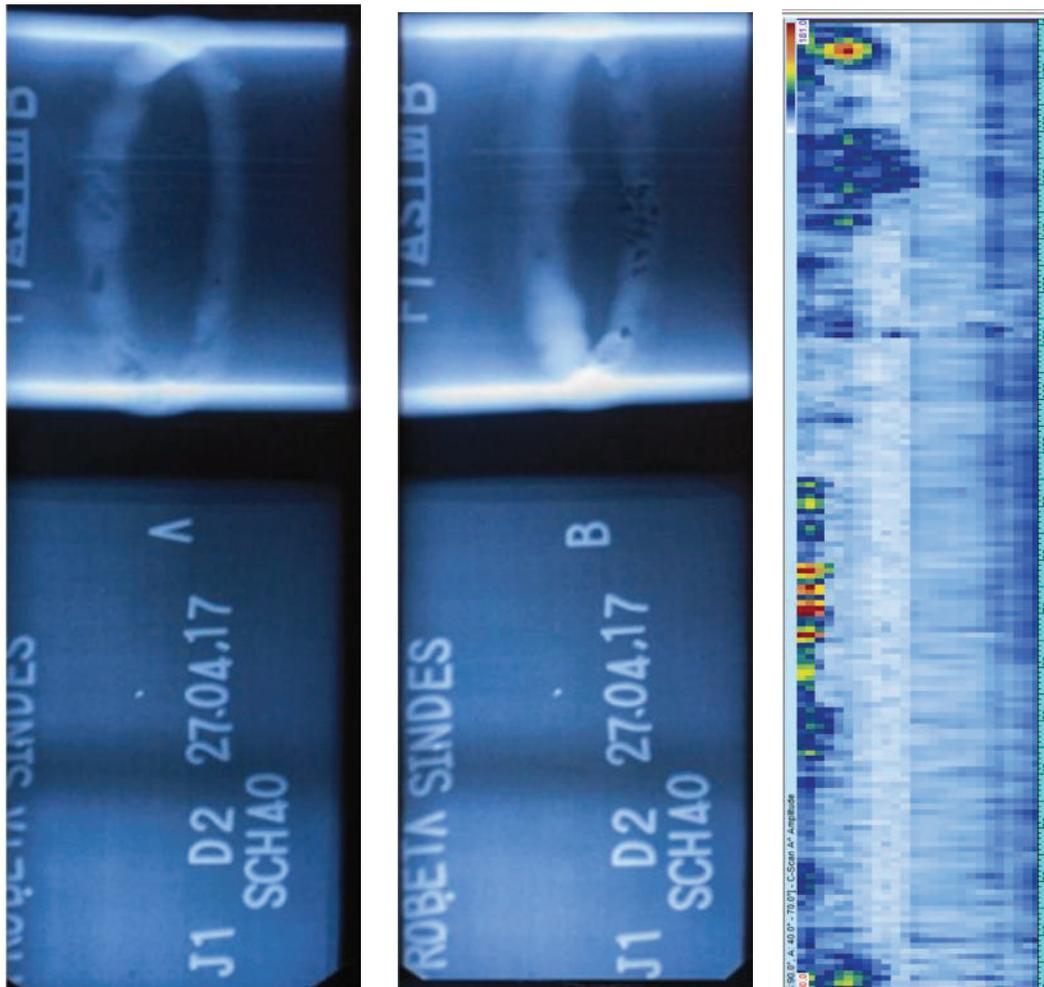


Figura 51. Junta J1 - Cupón de prueba 2" SCH STD - Proceso GTAW
(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

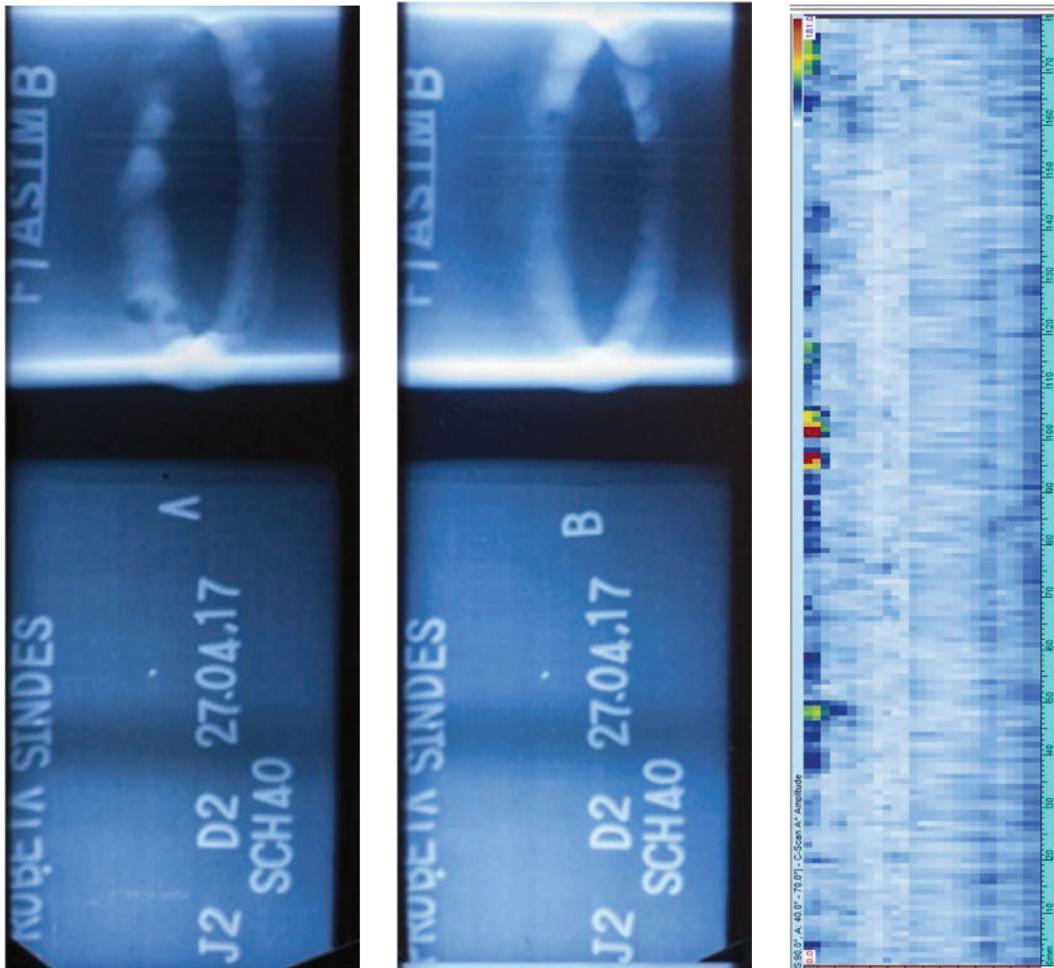


Figura 52. Junta J2 - Cupón de prueba 2" SCH STD - Proceso GTAW
(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

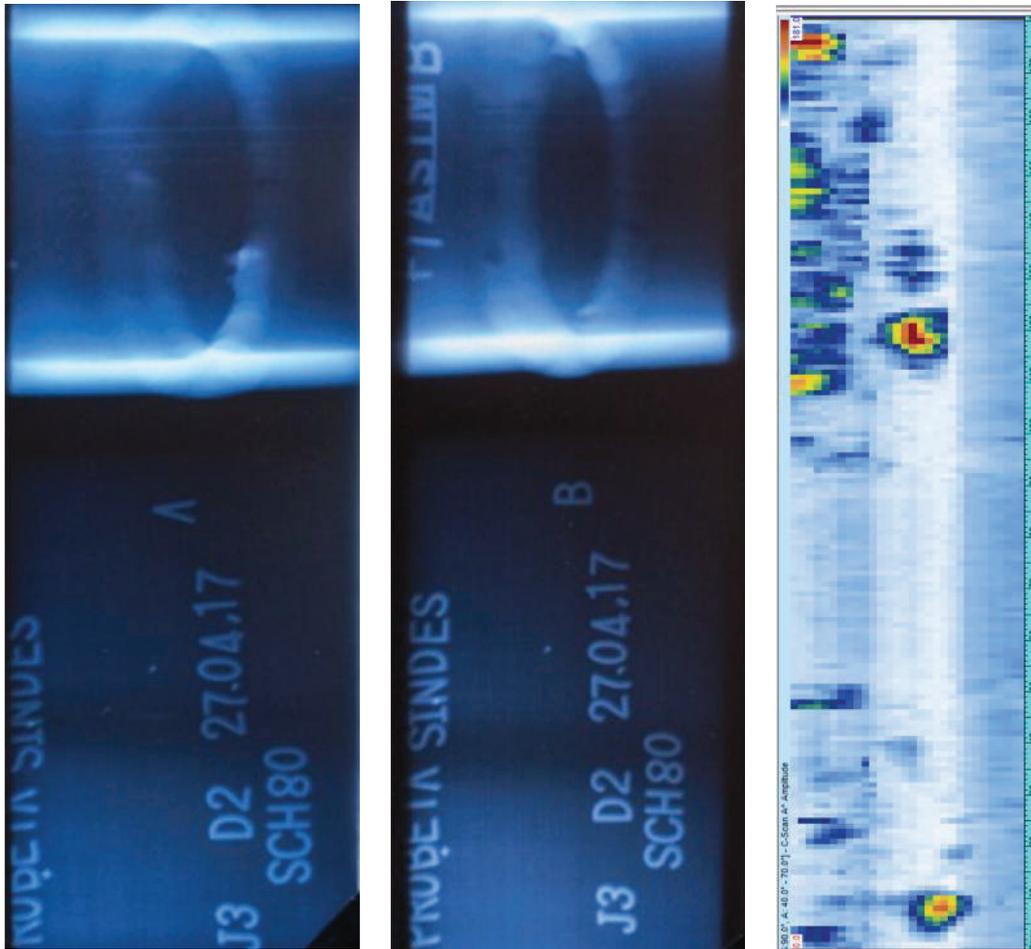


Figura 53. Junta J3 - Cupón de prueba 2" SCH 80 - Proceso GTAW
(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

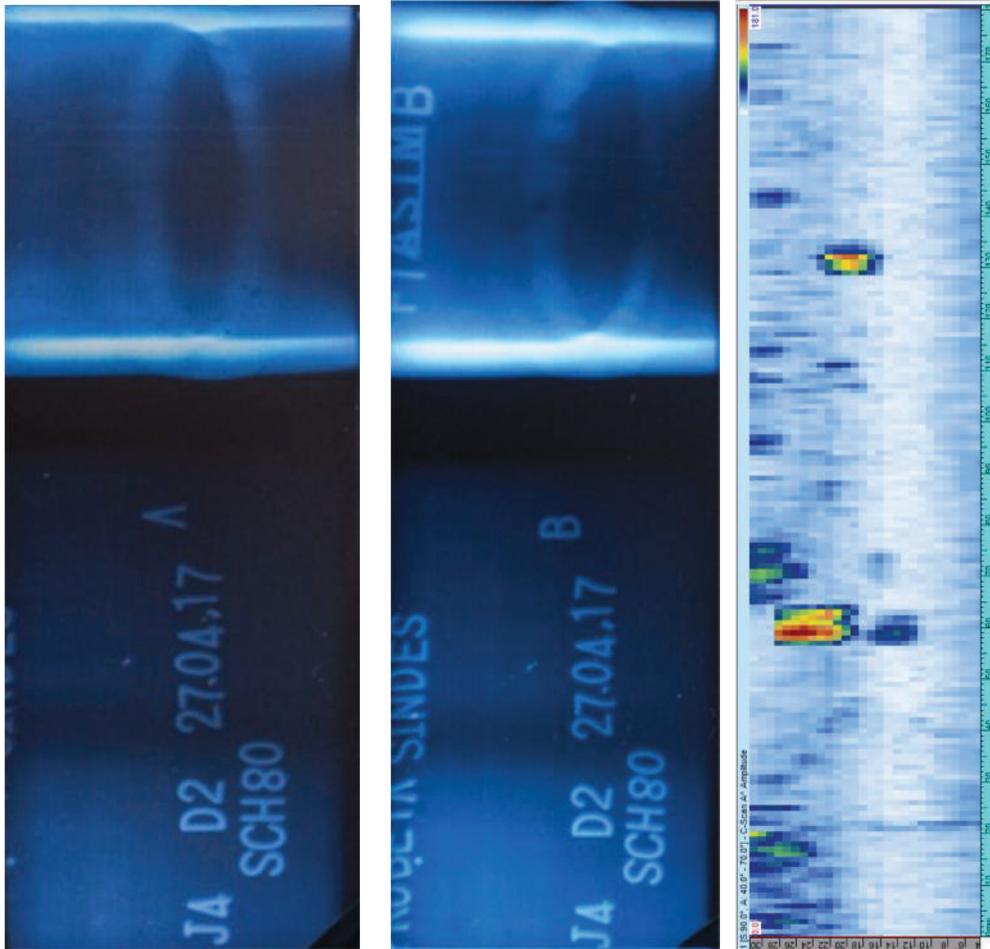


Figura 54. Junta J4 - Cupón de prueba 2" SCH 80 - Proceso GTAW
(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

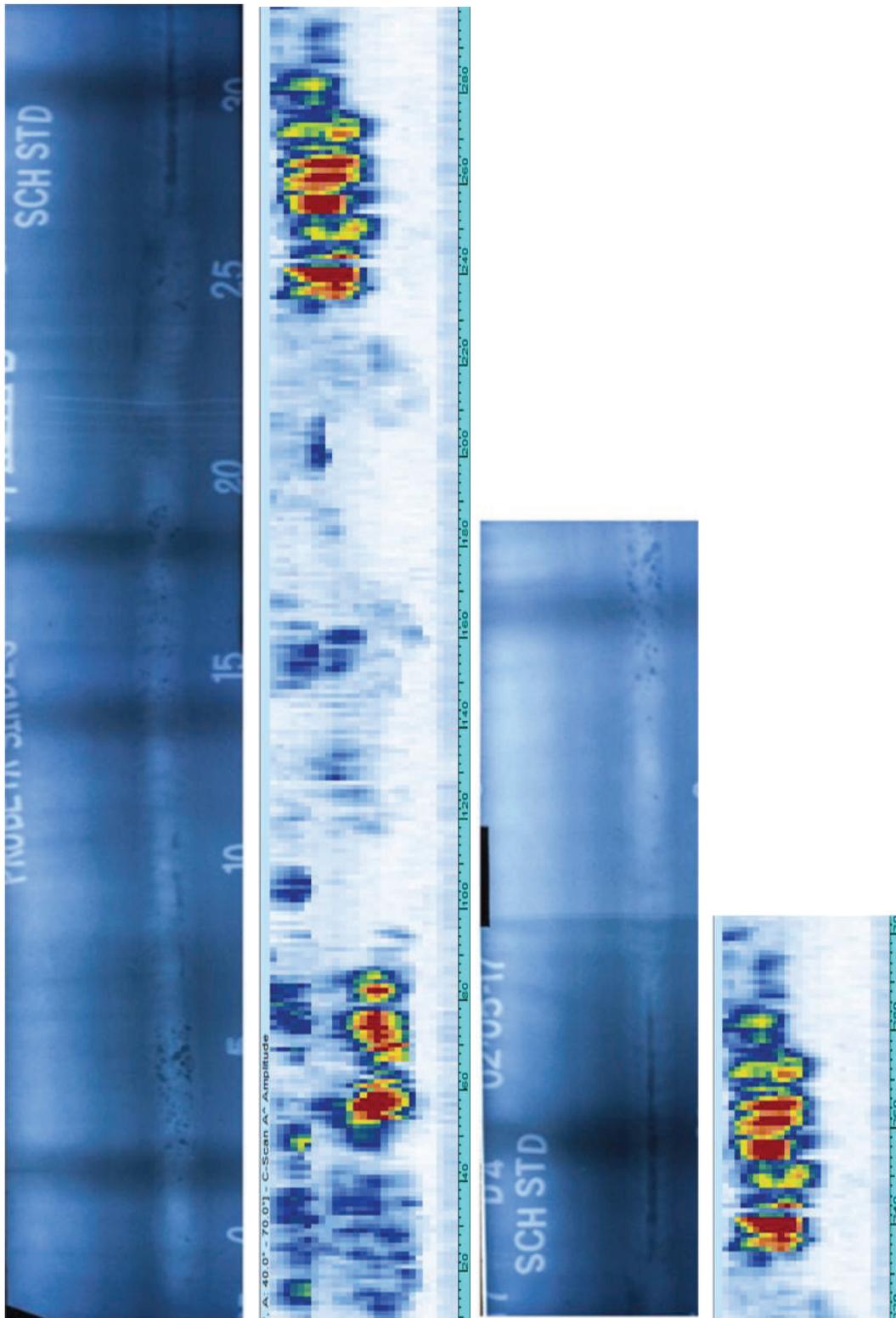


Figura 55. Junta J7 - Cupón de prueba 4" SCH STD - Proceso GTAW
 (Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

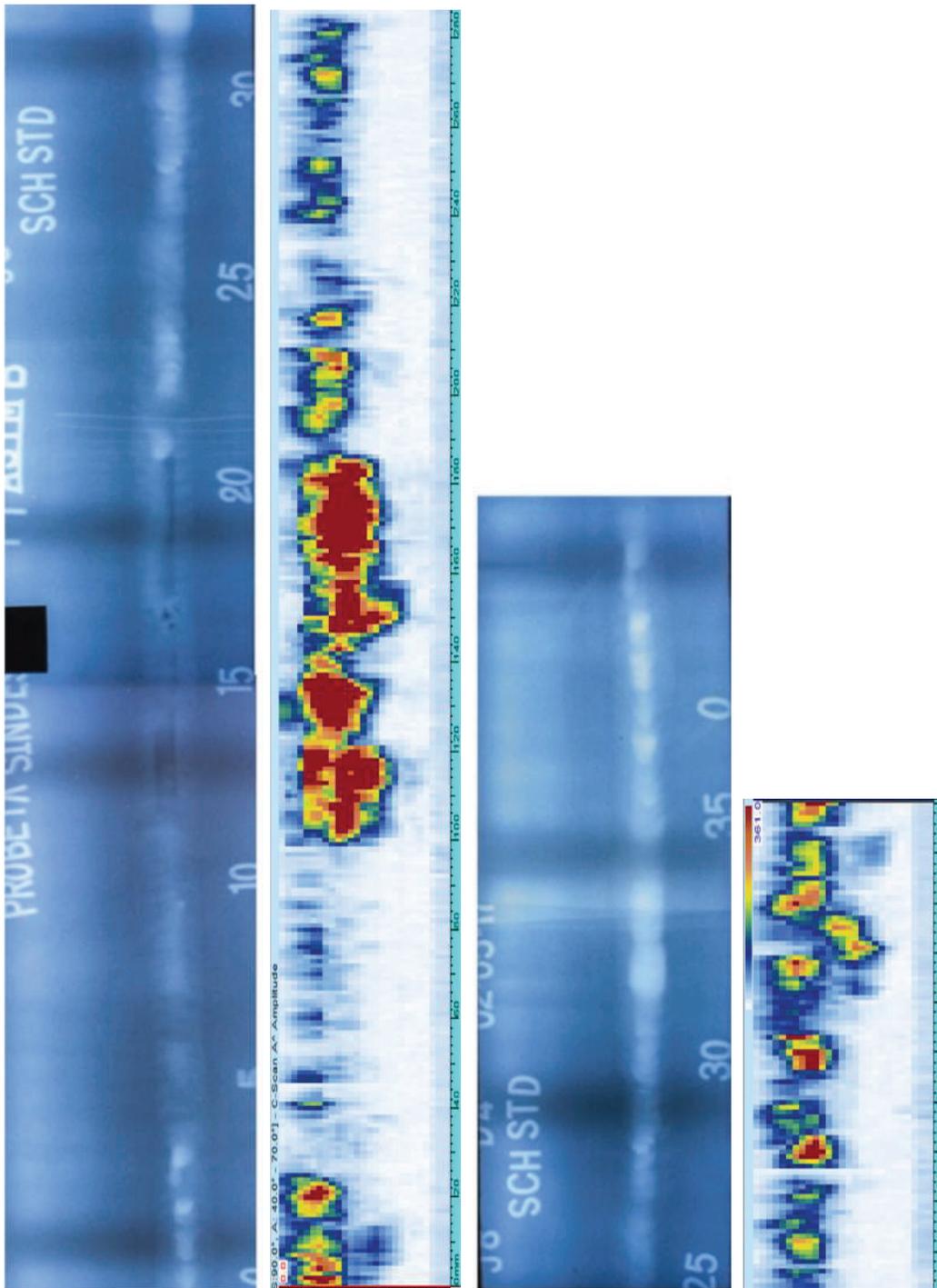


Figura 56. Junta J8 - Cupón de prueba 4" SCH STD - Proceso GTAW
 (Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

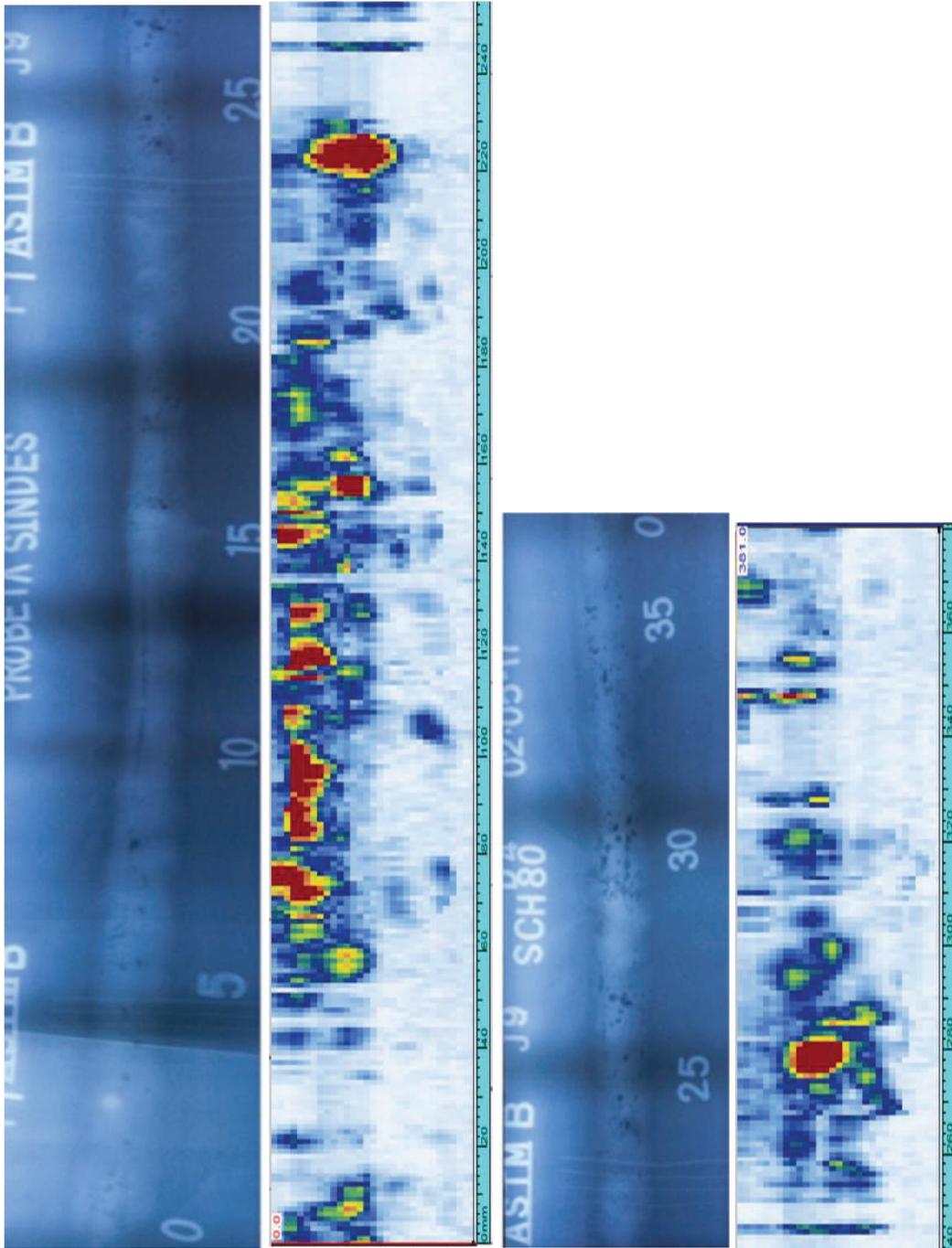


Figura 57. Junta J9 - Cupón de prueba 4" SCH 80 - Proceso SMAW
(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

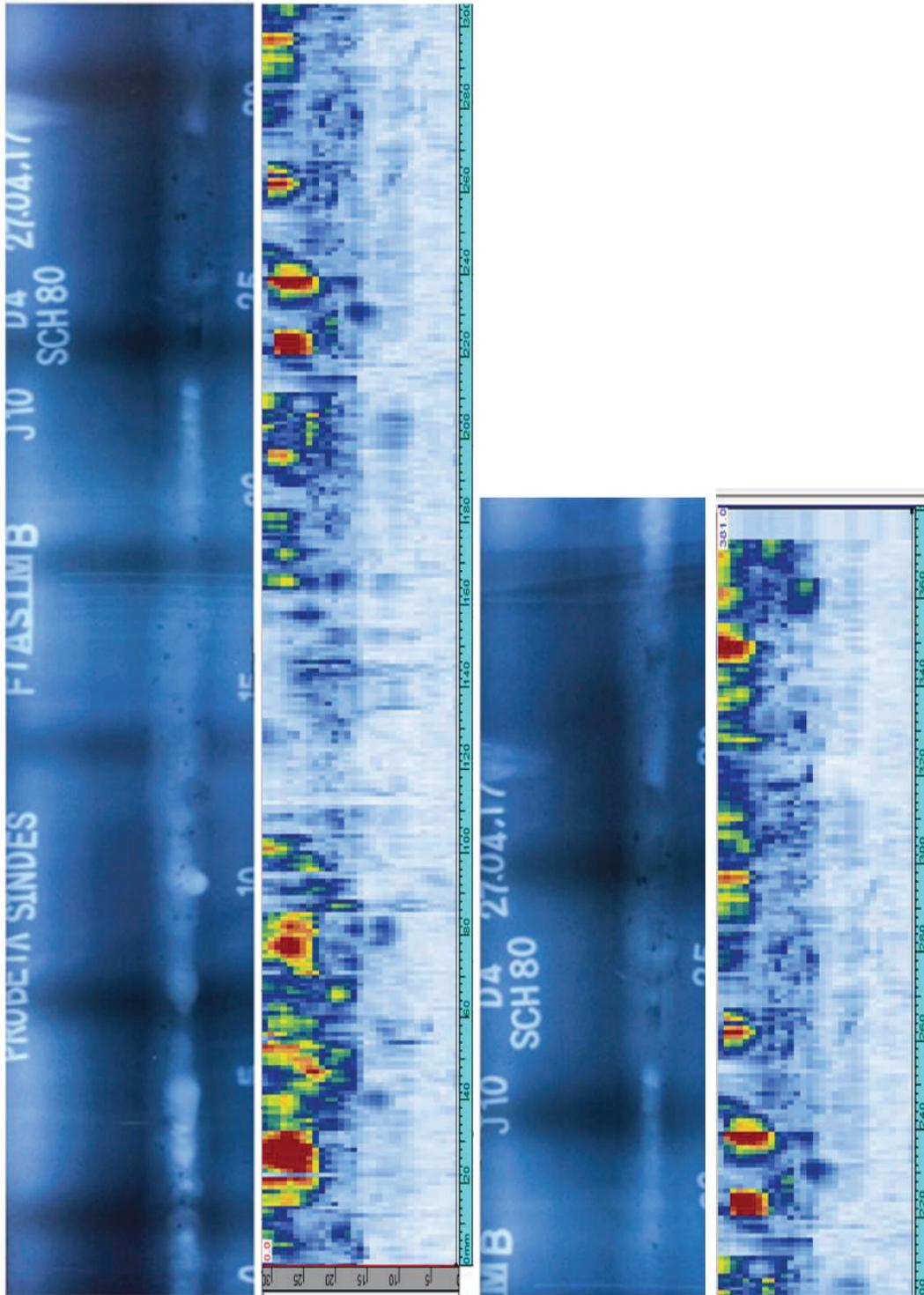


Figura 58. Junta J10 - Cupón de prueba 4" SCH 80 - Proceso SMAW
(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

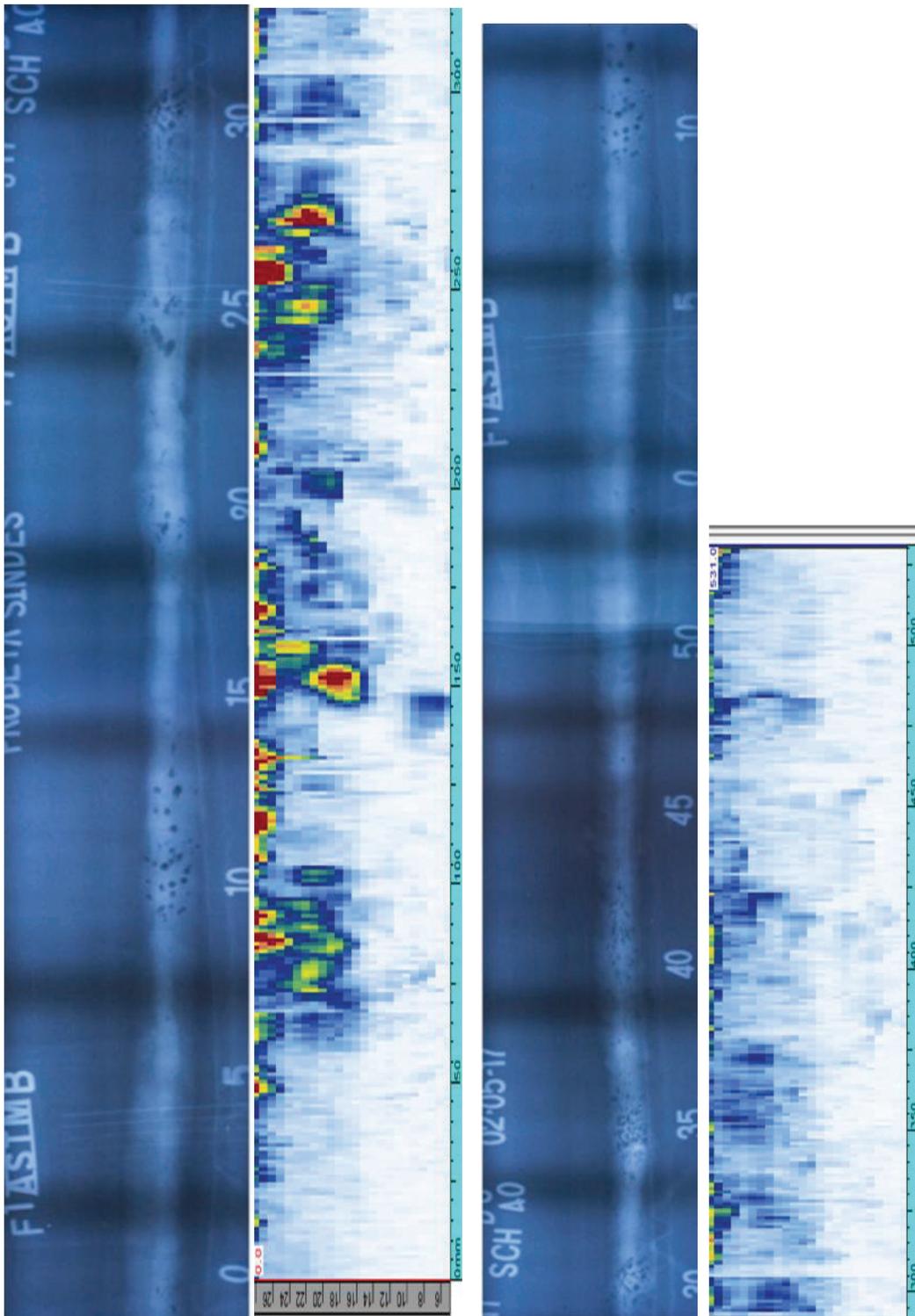


Figura 59. Junta J11 - Cupón de prueba 6" SCH STD - Proceso SMAW
 (Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

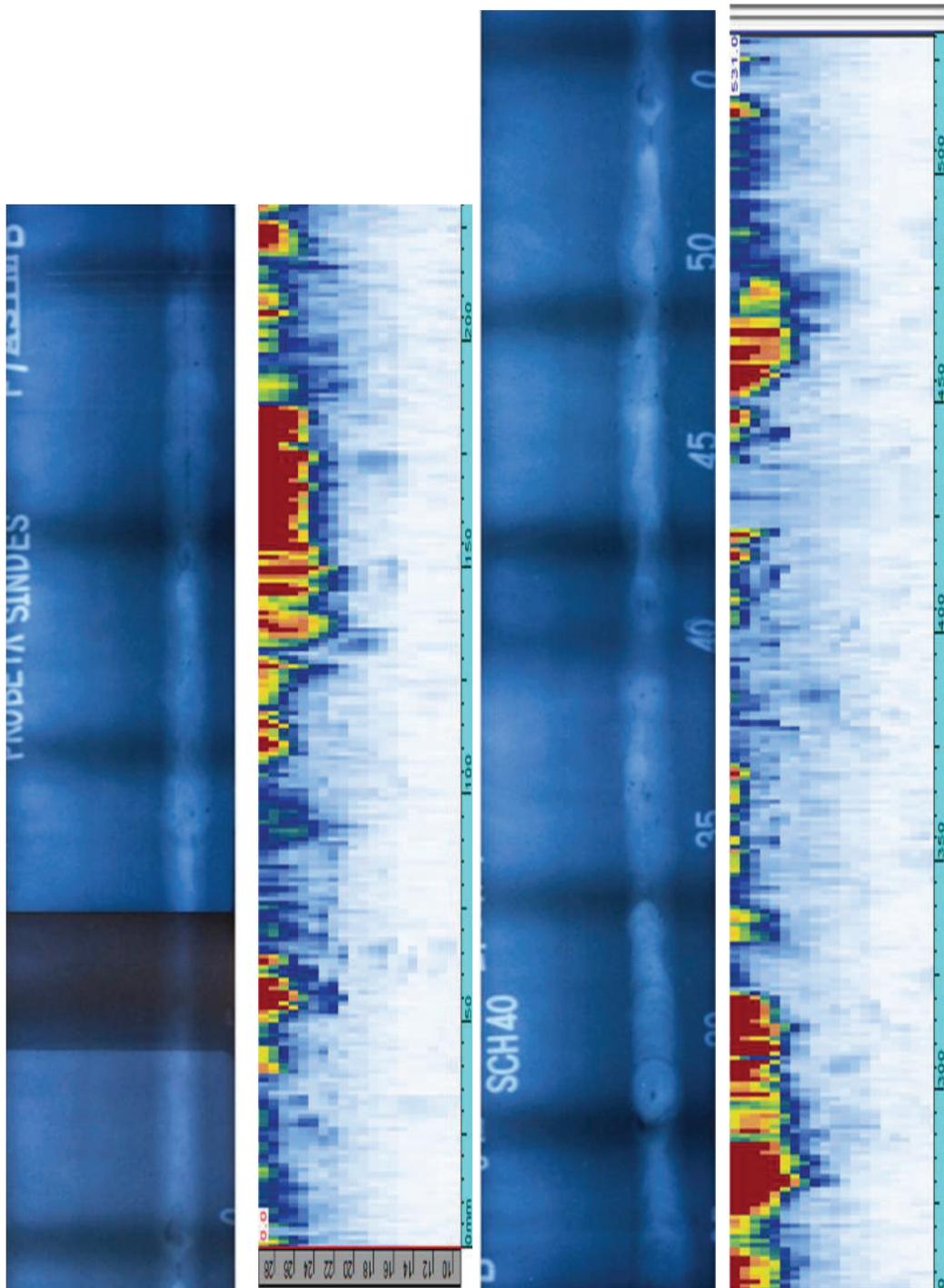


Figura 60. Junta J12 - Cupón de prueba 6" SCH STD - Proceso SMAW
(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

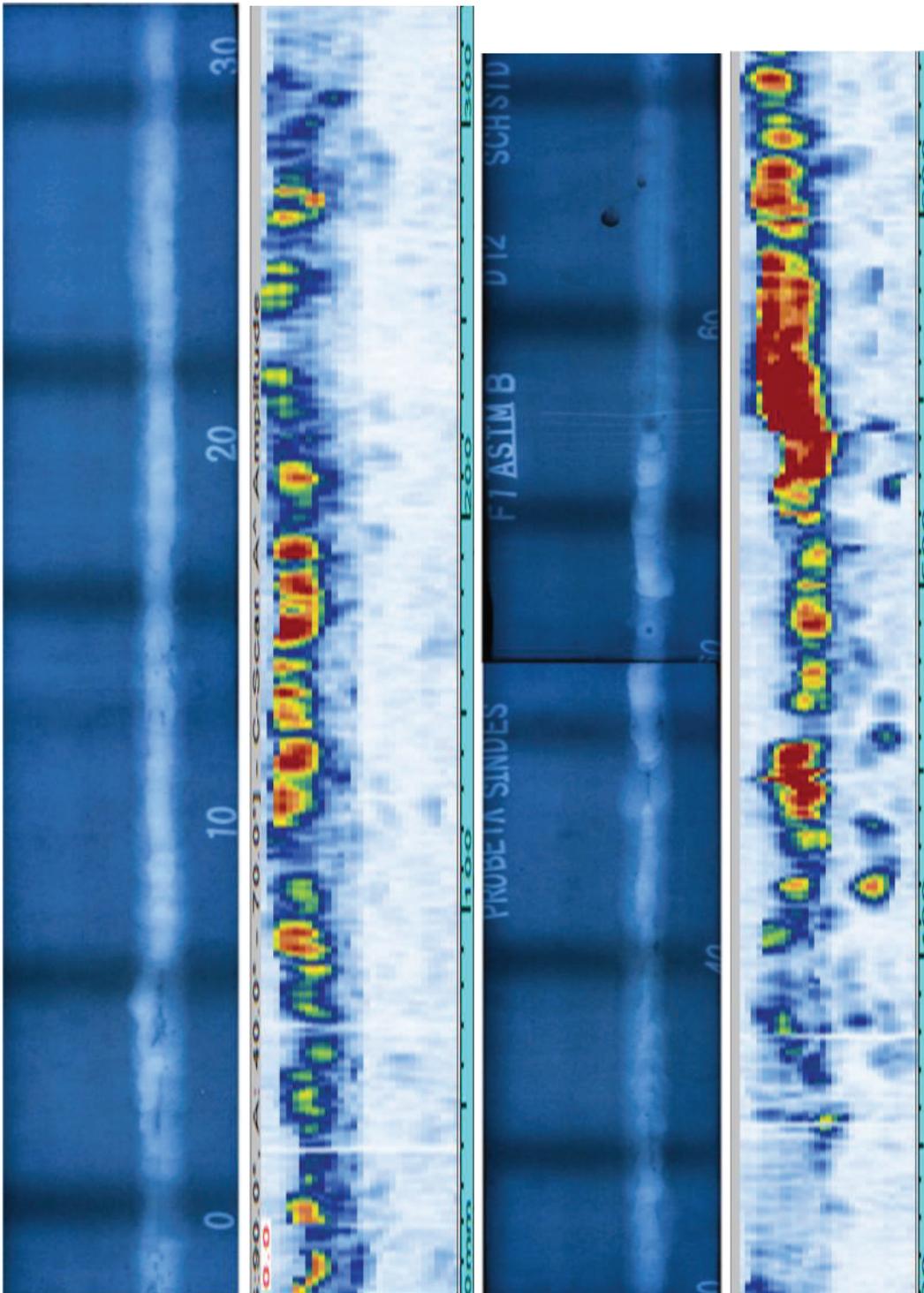


Figura 61. Junta J13 - Cupón de prueba 12" SCH STD - Proceso SMAW
 (Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

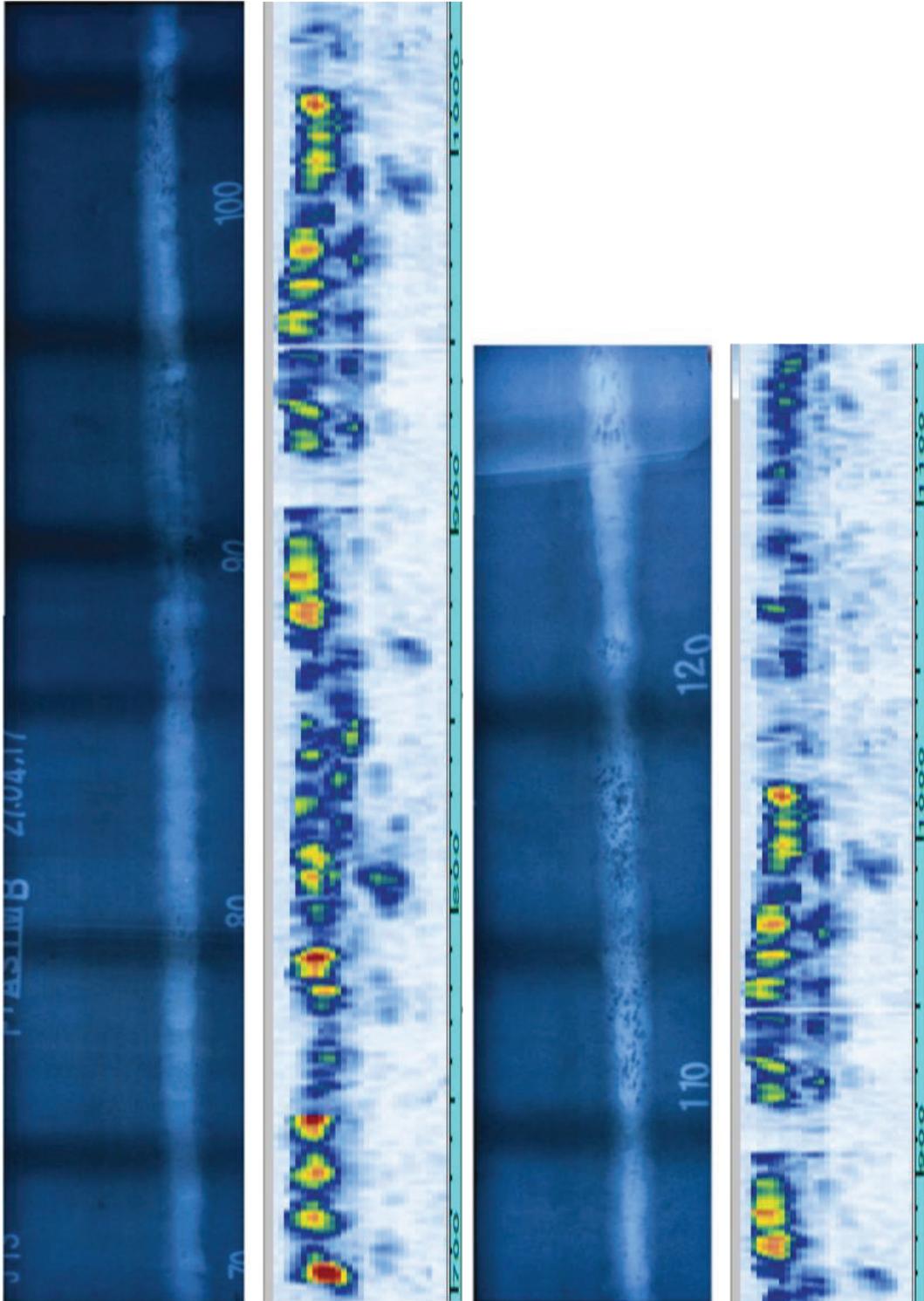


Figura 62. Junta J13 - Cupón de prueba 12" SCH STD - Proceso SMAW
 (Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

Resultado de Evaluación de Costos.

Costo de equipos.

La tabla 11 muestra el costo de adquirir un equipo de ultrasonido con todos sus accesorios. Los valores referenciales fueron proporcionados por la casa representante de equipos OLYMPUS en abril del 2017.

Tabla 11. Costo de equipo de ultrasonido arreglo de fases

PARTE	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO
OMNISX-PA1664PR	OmniScan SX portable 16:64PR Phased Array acquisition unit (including one UT conventional channel). Includes: AC Adapter, battery, Small carrying case, SD card, USB flash drive, 2x Anti-Glare screen protectors, Hardware users manual, USB Key including OmniScan software user's manuals, 1-Year warranty.	1	\$ 21.315,00
5L16-9.6X10-A10-P-2.5-OM	Standard Phased Array Probe, 5 MHz Linear Array, 16 Elements, 9.6x10 mm Total Active Aperture, 0.60 mm Pitch, 10 mm Elevation, A10 Case Type, Impedance Matching to Rexolite, PVC Sheathing, 2.5 m Cable Length, Omniscan Connector	1	\$ 2.389,00
SA10-N55S-IHC	Standard wedge for angle beam phased-array probe A10, normal scan, 55 degree shear wave, with IHC option (with irrigation holes and carbides).	1	\$ 431,00
5L32-19.2X10-A11-P-2.5-OM	Standard Phased Array Probe, 5 MHz Linear Array, 32 Elements, 19.2x10 mm Total Active Aperture, 0.60 mm Pitch, 10 mm Elevation, A11 Case Type, Impedance Matching to Rexolite, PVC Sheathing, 2.5 m Cable Length, Omniscan Connector	1	\$ 2.956,00
SA11-N55S-IHC	Standard wedge for phased-array probe A11, normal scan, 55 degree shear wave, with IHC option (irrigation holes and carbides).	1	\$ 441,00
5L64-38.4X10-A12-P-2.5-OM	Standard Phased Array Probe, 5 MHz Linear Array, 64 Elements, 38.4x10 mm Total Active Aperture, 0.60 mm Pitch, 10 mm Elevation, A12 Case Type, Impedance Matching to Rexolite, PVC Sheathing, 2.5 m Cable Length, Omniscan Connector Lead	1	\$ 3.465,00
SA12-N55S-IHC	Standard wedge for angle beam phased-array probe A12, normal scan, 55 degree shear wave, with IHC option (with irrigation holes and carbides). Lead	1	\$ 452,00
VersaMOUSE / ENCODER	VersaMOUSE one line scanner with indexer button and rubber wheels for inspection with one phased array probe. Comes with 2.5m detachable encoder cable with Lemo connector compatible with OmniScan MX2 and SX, and adjustable spring loaded fork with the following maximum dimensions: 65mm width, 65mm depth and 8mm OD buttons.	1	\$ 3.287,00
TOTAL PRECIO FOB (FREE ON BOARD)			\$ 34.736,00
EMBARQUE (1%)			\$ 347,36
COSTO LEGALIZACIÓN 50% (PRECIO FOB+EMBARQUE) - Nota 1.			\$ 17.541,68
PRECIO TOTAL EN ECUADOR			\$ 52.625,04

(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

Nota 1. Costo de legalización incluye: Base imponible, AD_VALOREM, FODINFA, ICE, SALVAGUARDIAS, IVA.

La tabla 12 muestra el costo de adquirir una unidad de inspección por radiografía con todos sus accesorios. Los valores referenciales fueron proporcionados por empresas que prestan estos servicios.

Tabla 12. Costo de unidad de radiografía

PARTE	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO
880 Delta-Sentinel	Source Projector 880 DELTA "A" MODEL 880 GRP 150 Ci	1	\$ 14.309,45
Ir 192 source	Ir192 87501 STD SOURCE 120 Ci	1	\$ 3.149,00
WIRE ASSY	SOURCE WIRE ASSY 660	1	\$ 1.100,00
HANDLE CONTROL	"B" 25' EXTREME HANDLE CONTROL	1	\$ 2.199,95
GUIDE TUBE	"B" 7' SOURCE GUIDE TUBE ASSY	1	\$ 190,90
COLLIMATOR	"C" COLLIMATOR BEAM LIMITER 60	1	\$ 477,25
GAUSSMETER	BELL GM- 5180 GAUSSMETER	1	\$ 1.712,35
DENSITOMETER	POCKET PAL DENSITOMETER	1	\$ 833,75
DOSIMETER	MODEL W138 O-200 MR DOSIMETER	2	\$ 143,75
LEAD FIGURES	LEAD FIGURES W/CASE	1	\$ 685,40
TOTAL PRECIO FOB (FREE ON BOARD)			\$ 24.801,80
EMBARQUE (1%)			\$ 248,02
COSTO LEGALIZACIÓN 50% (PRECIO FOB+EMBARQUE) - Nota 1.			\$ 12.524,91
PRECIO TOTAL EN ECUADOR			\$ 37.574,73
CAMIONETA + CABINA			\$ 35.000,00
COSTO UNIDAD DE RADIOGRAFÍA			\$ 72.574,73

(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

Nota 1. Costo de legalización incluye: Base imponible, AD_VALOREM, FODINFA, ICE, SALVAGUARDIAS, IVA.

Costo de certificación de personal.

Las empresas de inspección se basan en la Práctica recomendada SNT-TC-1 A de la ASNT como guía para la calificación y certificación de personal en ensayos no destructivos. La tabla 13 muestra el número mínimo de horas requeridas para cada técnica con respecto a la experiencia y entrenamiento inicial.

La tabla 14 y la tabla 15 muestran el número total de horas de entrenamiento requerido y su costo por cada método.

Tabla 13. Niveles de experiencia y entrenamiento inicial recomendado

Método de examinación	Nivel END	Técnica	Horas de entrenamiento	Experiencia	
				Horas mínimas en el método	Total horas en END
Ultrasonido	I	Convencional	40	210	400
	II	Convencional	40	630	1200
	II	Arreglo de fases	80	160	n/a
Radiografía	I	Radiografía	40	210	400
	II	Radiografía	40	630	1200

(Fuente: ASNT / SNT-TC-1 A, 2016)

Tabla 14. Horas de entrenamiento totales por método

Método de examinación	Nivel END	Técnica	Horas de entrenamiento
Ultrasonido	I	Convencional	40
	II	Convencional	40
	II	Arreglo de fases	80
Total horas ultrasonido			160
Radiografía	I	Radiografía	40
	II	Radiografía	40
Total horas radiografía			80

(Fuente: ASNT / SNT-TC-1 A, 2016)

Tabla 15. Costo de capacitación y certificación

Método	Horas	Costo usd/hr	Total
Ultrasonido	160	\$ 50,00	\$ 8.000,00
Radiografía	80	\$ 50,00	\$ 4.000,00

(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

Costo de inspección.

Para el análisis de los costos de inspección por día se ha tomado en cuenta los ítems presentados en la tabla 11 para el método de ultrasonido arreglo de fases y la tabla 12 para el método de radiografía. En la misma el tiempo de depreciación, de acuerdo al artículo 28, numeral 6 y literal c del Reglamento de Aplicación de la Ley de Régimen Tributario Interno del SRI mediante la tabla de depreciaciones y la vida útil recomendada por el fabricante para el equipo de ultrasonido es de tres años y para la unidad de radiografía es de 5 años. El resto de ítems tomados en cuenta son promedios referenciales de varias empresas de ensayos no destructivos.

La tabla 16 y tabla 17 muestran el resumen del costo/día para cada método de inspección.

Tabla 16. Costo día de inspección método ultrasonido

ítem	Detalles del Costo	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (USD)
1	EQUIPO DE INSPECCIÓN ULTRASONIDO	DIA	1	\$ 48,06
2	CERTIFICACIÓN PERSONAL	DIA	1	\$ 9,00
3	INSPECTOR NIVEL II	DIA	1	\$ 100,00
4	INSPECTOR NIVEL I	DIA	1	\$ 40,00
5	CONSUMIBLES	DIA	1	\$ 10,00
6	HERRAMIENTAS ADICIONALES	DIA	1	\$ 40,25
7	MOVILIZACIÓN	DIA	1	\$ 70,00
8	ALIMENTACION (2 INSPECTORES)	DIA	1	\$ 30,00
SUBTOTAL				\$ 347,31
COSTOS INDIRECTOS 10 %				\$ 34,73
% 25 FEE				\$ 95,51
TOTAL DIA DE INSPECCIÓN				\$ 477,55

(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

Tabla 17. Costo día de inspección método radiografía

item	Detalles del Costo	Unidad	Cantidad	Costo Unitario (USD)
1	UNIDAD RADIOGRÁFICA	DIA	1	\$ 39,77
2	CERTIFICACIÓN PERSONAL	DIA	1	\$ 9,00
3	INSPECTOR NIVEL II	DIA	1	\$ 100,00
4	INSPECTOR NIVEL I	DIA	1	\$ 40,00
5	MOVILIZACIÓN	DIA	1	\$ 70,00
6	ALIMENTACION (2 INSPECTORES)	DIA	1	\$ 30,00
SUBTOTAL				\$ 288,77
COSTOS INDIRECTOS 10 %				\$ 28,88
% 25 FEE				\$ 79,41
TOTAL DIA DE INSPECCIÓN				\$ 397,06

(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

Para el costo final de día de inspección mediante el método de radiografía se debe añadir el costo por metro de película, el mismo que tiene un costo de 15 usd por cada metro de película utilizada. Es decir el costo de un día de inspección por el método de radiografía corresponde a 397 usd + 15 usd/m de película utilizado.

3.2 Discusión

Para el análisis de los resultados de las inspecciones realizadas a los cupones de prueba fabricados, se requiere citar los criterios de aceptación y rechazo para el método de ultrasonido arreglo de fases y para el método de radiografía, de acuerdo con lo estipulado en el código ASME B31.3.

Criterios de aceptación y rechazo para el método de Ultrasonido Arreglo de Fases bajo el código ASME B31.3.

Para la evaluación de juntas soldadas en tubería mediante el método de ultrasonido con la técnica de arreglo de fases, se cumplirá lo estipulado en la sección 6 del ASME B31.3, en donde las discontinuidades de tipo lineal (no geométricas), son inaceptables si la amplitud de la indicación excede el nivel de referencia y su longitud excede:

- ¼ de pulgada (6 mm), para materiales de espesores de menos o igual a ¾ pulgada (19 mm).
- 1/3 del espesor del material, para materiales con un espesor mayor de ¾ de pulgada (19 mm), pero inferior o igual a 2 ¼ de pulgada (57 mm).
- ¾ pulgadas (19 mm), para materiales de espesor mayor de 2 ¼ de pulgada (57 mm).

Siempre que exista un acuerdo con el cliente, se podrá utilizar los criterios de aceptación y rechazo establecidos en el “B31 CASE 181”, en lugar de lo establecido en la sección 6 del ASME B31.3. Sin embargo estos criterios alternativos se utilizan para espesores mayores o iguales a 25mm (1”) y no está dentro del alcance de este proyecto.

Criterios de aceptación y rechazo para el método de radiografía bajo el código ASME B31.3.

Para la evaluación de juntas soldadas en tubería mediante el método de radiografía industrial, se cumplirá lo estipulado en la sección 6 del ASME B31.3.

La tabla 18 y 19 muestran el resumen de los criterios de aceptación y los valores límites establecidos para soldadura de juntas circunferenciales y ramales de conexión.

Tabla 18. Criterios de aceptación para soldaduras - Examinación radiográfica.

Criterios de aceptación para soldaduras circunferenciales, ramales de conexión para condiciones de servicio			
Imperfección de Soldadura	Servicio - fluido normal y Categoría M	Condiciones cíclicas	Servicio - fluido categoría D
Fisura	A	A	A
Falta de Fusión	A	A	C
Incompleta penetración	B	A	C
Indicaciones redondeadas	E	D	N/A
Indicaciones alargadas	G	F	N/A
Mordeduras	H	A	I
Superficie Cóncava, concavidad de raíz, ó quemón	K	K	K

(Fuente: ASME B31.3, 2015)

Tabla 19. Valores de Criterios de aceptación para tabla 18 - Examinación radiográfica.

Criterio		Límites de valores aceptables (Nota 1)
Símbolo	Medida	
A	Longitud de imperfección	Cero (No debe existir evidencia de imperfección)
B	Longitud acumulada de incompleta penetración (IP)	≤ 38 mm en cualquier longitud soldada de 150mm ó 25% de la longitud total soldada, cualquiera que sea menor
C	Longitud acumulada de inclusión de escoria (IS) e incompleta penetración (IP)	≤ 38 mm en cualquier longitud soldada de 150mm ó 25% de la longitud total soldada, cualquiera que sea menor
D	Tamaño y distribución de Indicaciones redondeadas	Mirar ASME VIII División 1 Apéndice 4 (Nota 3)
E	Tamaño y distribución de Indicaciones redondeadas	Para $T \leq 6$ mm, límite es el mismo que D (Nota 3) Para $T > 6$ mm, límite es $1,5xD$ (Nota 3)
F	Indicaciones alargadas	
	Longitud individual	$\leq T/3$
	Ancho individual	$\leq 2,5$ mm y $\leq T/3$ el que sea menor
	Longitud acumulada	$\leq T$ en cualquier 12T de longitud soldada (Nota 3)
G	Indicaciones alargadas	
	Longitud individual	$\leq 2T$
	Ancho individual	≤ 3 mm y $\leq T/2$ el que sea menor
	Longitud acumulada	$\leq 4T$ en cualquier longitud soldada de 150mm (Nota 10)
H	Profundidad de mordedura	≤ 1 mm y $\leq T/4$ el que sea menor
	Longitud acumulada de mordedura interna y externa	≤ 38 mm en cualquier longitud soldada de 150mm ó 25% de la longitud total soldada, cualquiera que sea menor
I	Profundidad de mordedura	$\leq 1,5$ mm y $\leq [T/4 \text{ ó } 1\text{mm}]$ el que sea menor
	Longitud acumulada de mordedura interna y externa	≤ 38 mm en cualquier longitud soldada de 150mm ó 25% de la longitud total soldada, cualquiera que sea menor
K	Profundidad de superficie concava, concavidad de raíz o quemón	Espesor total de la junta, incluye refuerzo de soldadura $\geq T$ (Nota 2 y 4)

(Fuente: ASME B31.3, 2015)

Nota 1. T es el espesor nominal de pared más delgado de dos componentes soldados en junta a tope.

Nota 2. Para juntas circunferenciales la concavidad externa no deberá exceder de 1mm ó el 10% del espesor nominal de la junta. El contorno de la concavidad deberá ser removida suavemente. El espesor total de la junta, incluyendo el reforzamiento, no deberá ser menor que el mínimo espesor de pared.

Nota 3. Porosidades e inclusiones como escoria o tungsteno son definidas como inclusiones redondeadas donde la máxima longitud es menor o igual a tres veces el ancho. Estas indicaciones pueden ser circulares, elípticas, o formas irregulares. Indicaciones donde la longitud es mayor a tres veces el ancho son definidas como indicaciones alargadas y pueden ser escoria, porosidades o tungsteno.

Nota 4. La aceptación está determinada por comparación de las densidades del área afectada y la del material base adyacente. Una densidad más oscura que la del metal base adyacente es causa de rechazo.

Análisis de Resultados.

- La tabla 20, muestra el resumen de los defectos de rechazo encontrados en las juntas soldadas de los cupones de prueba, al ser evaluados con los criterios de aceptación y rechazo para el método de radiografía, de acuerdo con lo estipulado en el código ASME B31.3.
- Al comparar los barridos de inspección por el método de ultrasonido arreglo de fases con las películas radiográficas de los cupones de prueba, se puede verificar que los defectos de rechazo encontrados con el método de radiografía son visualizados también con el método de ultrasonido arreglo de fases, y dependiendo del tipo de defecto se visualiza con diferentes contrastes de colores. Los defectos encontrados no cumplen con los criterios de aceptación para el método de ultrasonido arreglo de fases, ya que sobrepasan el nivel de referencia y la longitud excede los 6mm, de acuerdo con lo estipulado en el código ASME B31.3.

Tabla 20. Evaluación de cupones de Prueba - Examinación radiográfica.

Cupón de Prueba Diámetro Nominal (pulg)	Schedule	Junta	Defectos Rx.
2	STD	J1	CP (Lado A y B)
2	STD	J2	CP (Lado A)
2	80	J3	P (Lado A)
2	80	J4	CP (Lado A), P (Lado B)
4	STD	J7	CP (0-60), IU (70-110), CP (150-200), EU (230-250), CP (250), IP (270-310)
4	STD	J8	IP (110-200), P (160), EX P (200-300) (320-340)
4	80	J9	ESI (90-140), CP (160-180), CP (240-260), CP (300)
4	80	J10	P (100-170), CP (200), IC (240), CP (250-300)
6	STD	J11	CP (100-150), CP (200, 250 300, 350), C(250-270)
6	STD	J12	CP (90), IF (160-220), P(280), CP (350-380, 460-500), IP (530)
12	STD	J13	ESI (0-60), CP-ESI (120-150), ESI (340-360), IU (400), IP (450-460), IF (570-650), BT (570)

(Fuente: Oscar Yanchapaxi, 2017)

Donde:

IP: Falta de Penetración

CP: Porosidad agrupada

P: Poros

IF: Falta Fusión

C: Fisura

ESI : Inclusión de escoria

IU: Mordedura interna

EU: Mordedura externa

BT: Quemón

EX P: Exceso de Penetración

- Para el diámetro de 2" SCH STD (espesor 3,91 mm) se presenta dificultades al acoplar el transductor a la superficie del cupón de prueba y al visualizar el barrido de la junta ya que se produce niveles de interferencia (ruido) que se visualiza en la pantalla con un color azulado, lo que dificulta la interpretación de la junta inspeccionada.

- Para el diámetro de 2" SCH 80 (espesor 5,54 mm) solo se presenta dificultades al acoplar el transductor a la superficie del cupón de prueba, ya que no se producen niveles de interferencia, lo que permite visualizar e interpretar las discontinuidades encontradas.
- Para los cupones de prueba mayor a 4" SCH STD no se presenta dificultades al acoplar el transductor a la superficie del cupón de prueba, ni se producen niveles de interferencia, lo que permite visualizar e interpretar las discontinuidades encontradas.
- Discontinuidades de tipo lineal tales como: fisuras, falta de penetración, falta de fusión, escoria alargada, son completamente identificadas mediante el método de inspección por ultrasonido arreglo de fases. Este tipo de discontinuidades presentan la tonalidad de color rojo en la representación gráfica de los barridos en los diferentes cupones de prueba inspeccionados. Esto, debido a que un borde lineal produce una señal del reflector con una amplitud muy alta y que es identificada en la pantalla del equipo. La indicación de amplitud de este tipo de defectos sobrepasa el 100% de la pantalla.
- Discontinuidades de bordes redondeados tales como: poros aislados, nido de poros, escorias aisladas son también identificadas, sin embargo la señal del reflector muestra una amplitud más baja que las discontinuidades del tipo lineal. La representación gráfica de este tipo de discontinuidades presenta una tonalidad, que va desde el anaranjado hasta llegar al azul.
- Discontinuidades superficiales tales como: poros en la capa, mordeduras en la presentación y mordeduras internas (en la raíz de las juntas soldadas), no son fácilmente identificables por el equipo de ultrasonido arreglo de fases, debido a que las señales de rebote de este tipo de discontinuidades, en ocasiones presentan amplitudes menores que la amplitud de referencia de la muesca calibrada.
- Del análisis realizado en esta sección, y una vez verificado las placas radiográficas y los barridos en los diferentes cupones de prueba, se ha obtenido las siguientes curvas características (Curvas de amplitud - SCAN-A) para los diferentes tipos de defectos identificados en los cupones ensayados. La figura 63 muestra la curva característica de una fisura (C), las figuras 64 y 65 muestran la curva característica de una falta de fusión (IF), las figuras 66 y 67 muestran la curva característica de una falta de penetración (IP), la figura 68 muestra la curva característica de inclusiones de escoria (ESI), las figuras 69 y 70 muestran la curva característica de poros agrupados (CP).

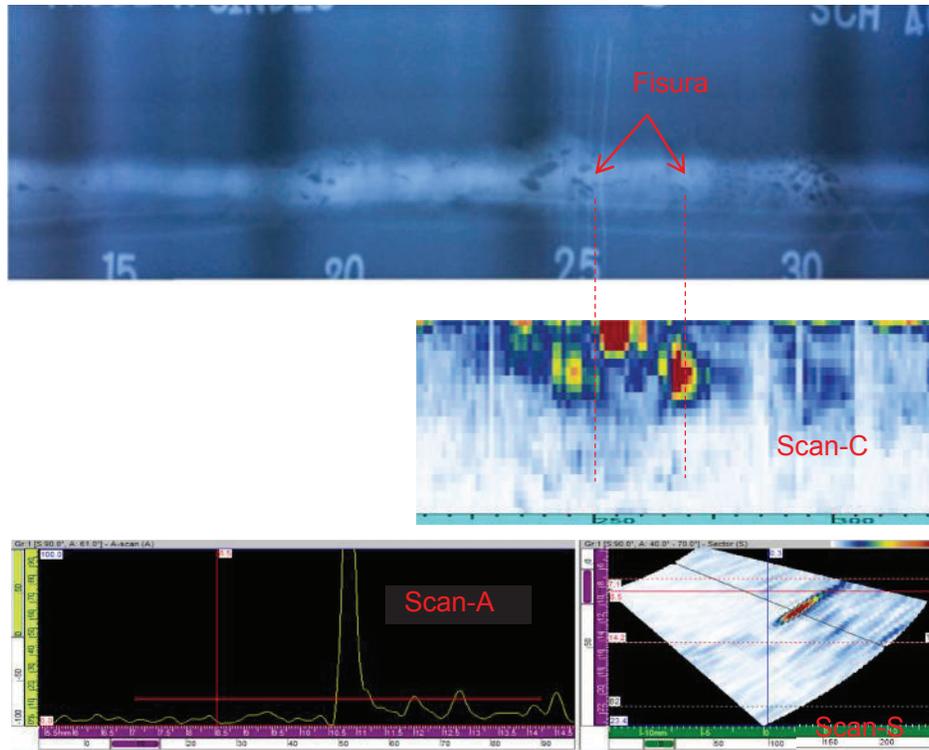


Figura 63. Curva Característica - Fisura- J11
(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

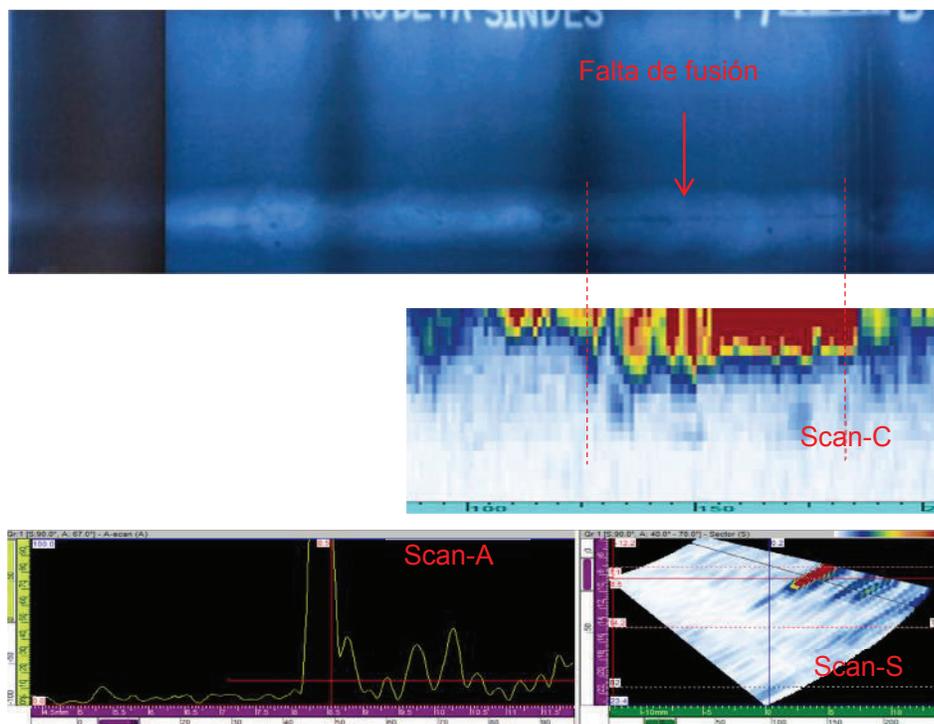


Figura 64. Curva Característica – Falta de Fusión - J12
(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

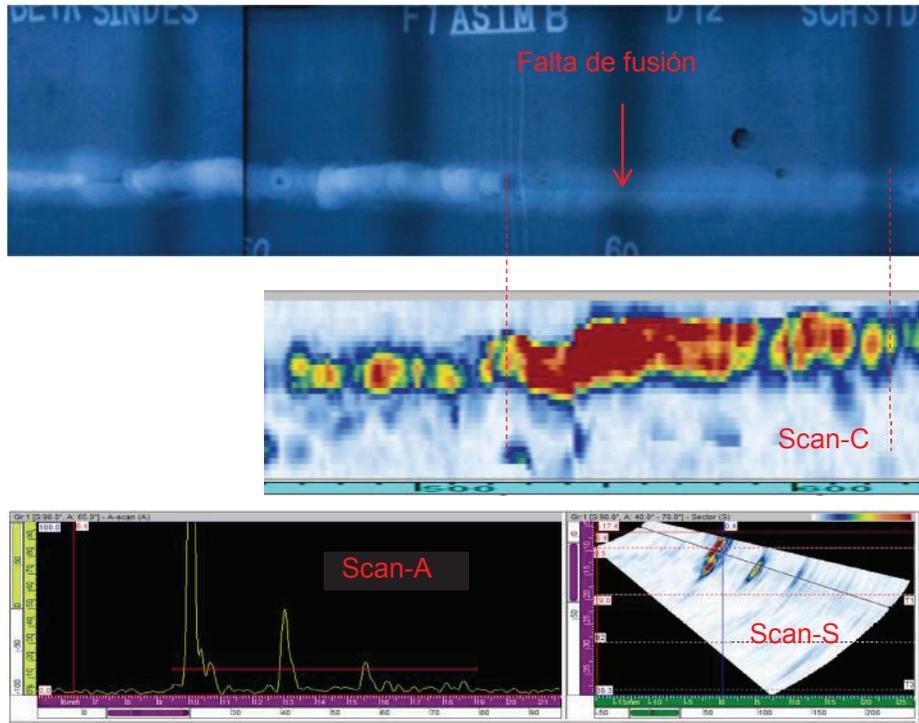


Figura 65. Curva Característica – Falta de Fusión - J13
(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

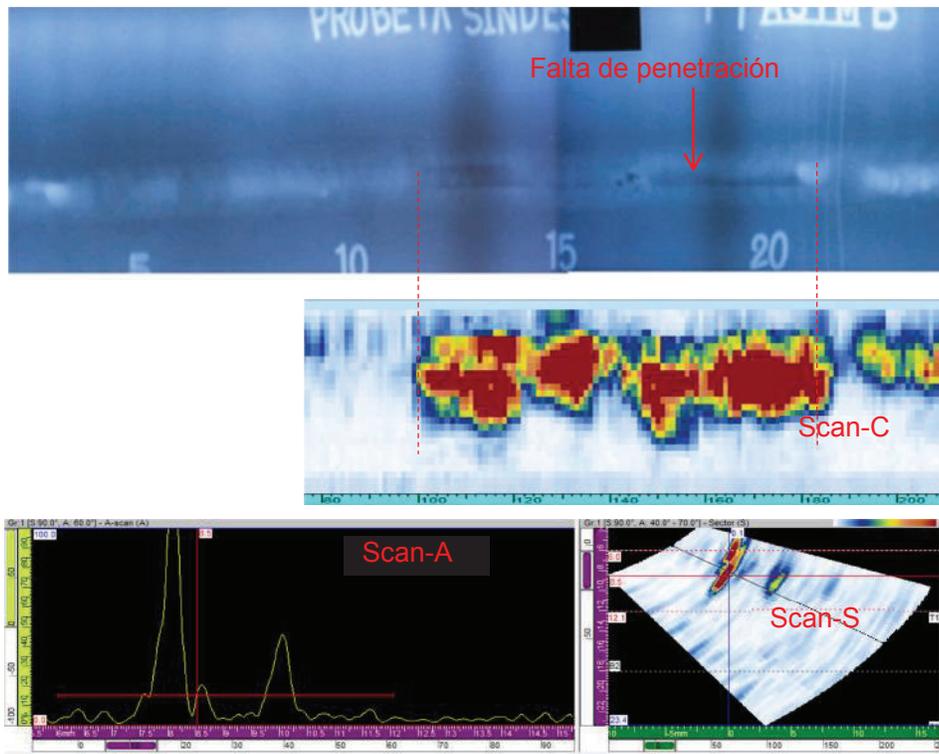


Figura 66. Curva Característica – Falta de Penetración – J8
(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

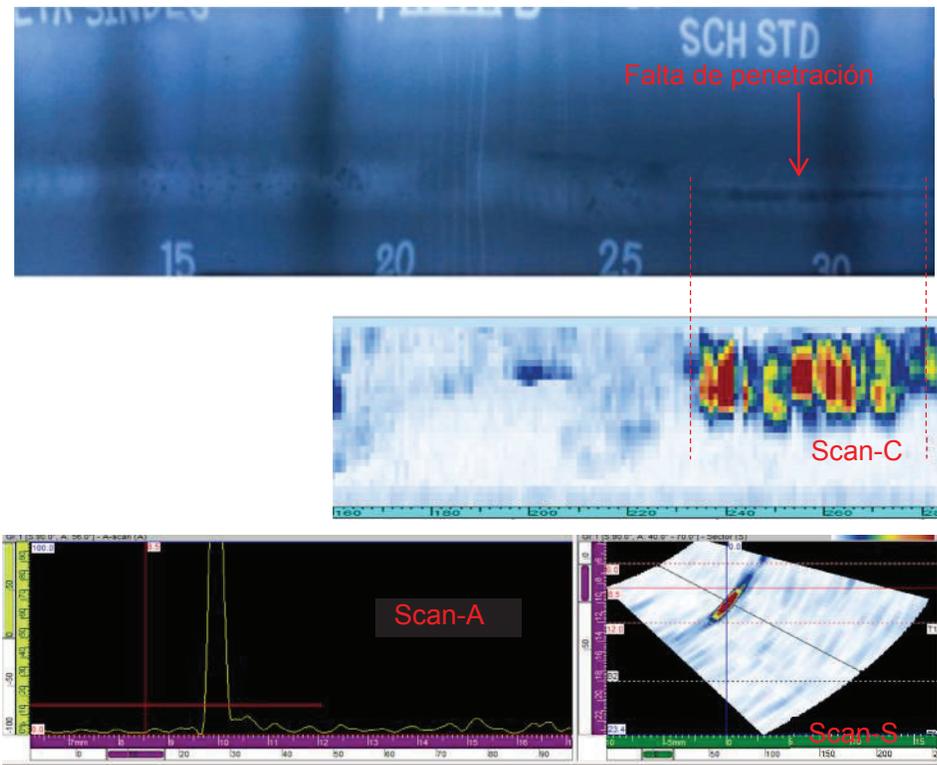


Figura 67. Curva Característica – Falta de Penetración – J7
 (Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

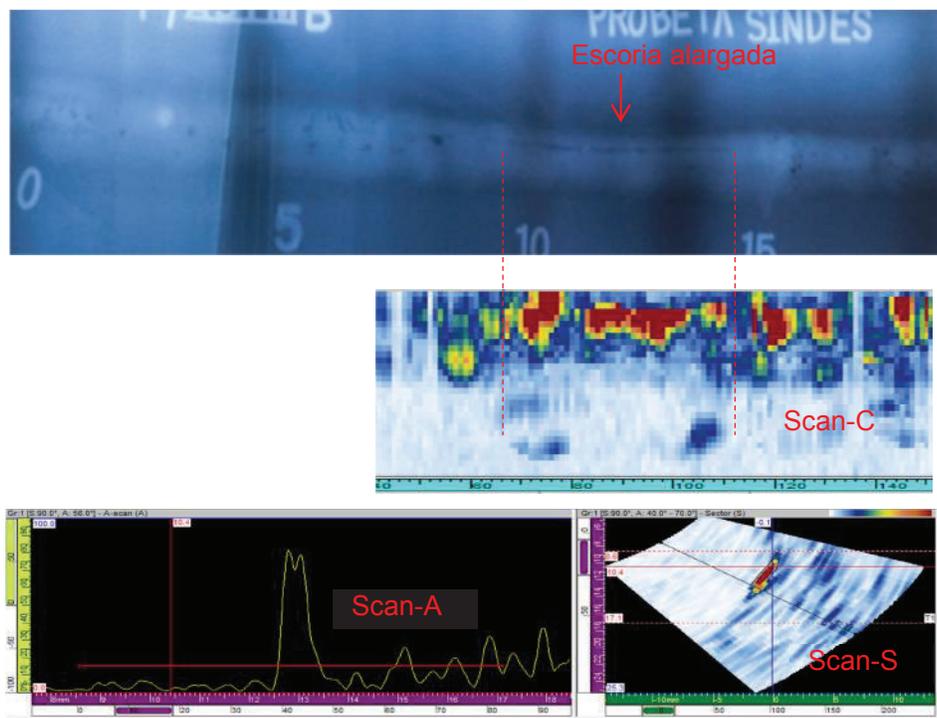


Figura 68. Curva Característica – Escoria Alargada – J9
 (Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

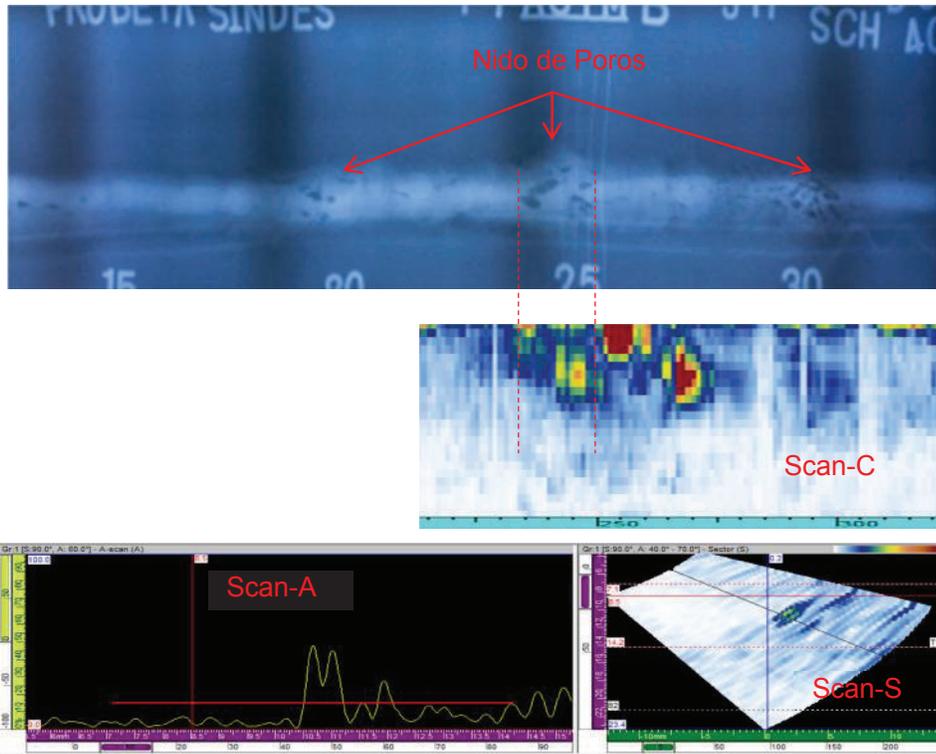


Figura 69. Curva Característica – Nido de Poros – J11
(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

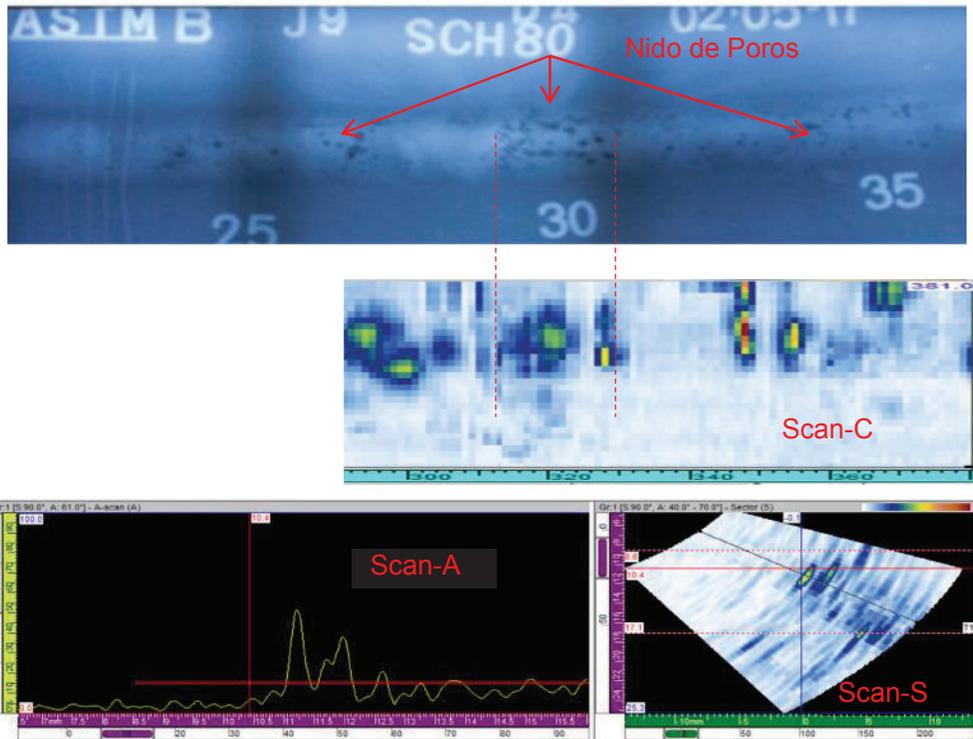


Figura 70. Curva Característica – Nido de Poros – J9
(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

- Pese a que el costo por día de inspección por el método de ultrasonido arreglo de fases (477 usd/día), comparado con el costo día de inspección por el método de radiografía (397 usd/día + 15 usd/m de película), aparentemente es más alto, en la realidad no sucede así, debido a que con radiografía hay que aumentar el costo de 15 usd por cada metro de película que se utilice y el rendimiento de inspección con el método de ultrasonido supera al de radiografía. Por citar un ejemplo, el rendimiento por día de inspeccionar juntas de 4" SCH STD con el método de radiografía es de 15 juntas, en tanto que con el método de ultrasonido arreglo de fases se pueden hacer entre 20 y 25. La tabla 21 muestra el costo real para un día de inspección para juntas de 4" SCH STD.

Tabla 21. Costo real día de inspección para juntas de 4" SCH STD.

Diámetro Nominal (pulg)	SCH	Cantidad de Juntas	Método	costo por día (usd)	costo por metro de película (usd)	metros de película	usd por película	Total (usd)
4	STD	15	RT	\$ 397,00	\$ 15,00	6,15	\$ 92,25	\$ 489,25
4	STD	20	UTPA	\$ 477,00	n/a	n/a	n/a	\$ 477,00

(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

- La tabla 22 muestra en resumen un análisis ponderado del método más óptimo a ser utilizado para la inspección de tuberías de presión. En este análisis se puede observar que el método de ultrasonido arreglo de fases proporciona en conjunto la opción más óptima respecto a los aspectos técnicos, económicos, seguridad e impacto ambiental.

Tabla 22. Ponderación métodos ultrasonido arreglo de fases vs Radiografía industrial.

Factores		Alternativas		Máximos
Descripción	Peso	Radiografía	Ultrasonido Arreglo de Fases	
Costo Inspección	30	9	9	10
Seguridad personal	20	1	10	10
Rendimiento/día	5	8	10	10
Experiencia	10	10	5	10
Datos defectos	5	8	10	10
Impacto ambiental	20	1	10	10
Registro de resultados	10	10	8	10
Total Puntos		590	900	1000
Porcentaje alcanzado		59%	90%	100%

(Fuente: Oscar Yanchapaxi-2017)

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- La construcción de las muescas de cada bloque de calibración, no es posible realizarlo con procesos de mecanizado mecánico, por lo cual se requirió utilizar el proceso de electroerosión.
- Para generar los diferentes tipo de discontinuidades en la soldadura de los cupones de prueba se requiere la intervención de un soldador con experiencia, el cual tenga la habilidad para soldar fuera de los rangos de las variables especificadas en los WPS's, de manera que se generen defectos esperados (poros, inclusiones de escoria, mordeduras, falta de fusión y penetración, etc) y a la vez pueda generar secciones de soldadura de buena calidad (soldadura dentro de los rangos establecidos en la WPS). Esto con el objetivo de tener en el mismo cupón de prueba zonas con defectología y zonas con soldadura aceptable.
- Se concluye que la inspección de juntas soldadas para diámetro nominales de tubería menor a 2" con el método de ultrasonido con la técnica de arreglo de fases, se dificulta con el tipo de transductor plano seleccionado, debido a que el área de contacto entre el transductor y la superficie de prueba es pequeña, por lo cual se recomienda utilizar transductores curvos que son ofrecidos por las diferentes casas comerciales de equipos de ultrasonido, con el fin de obtener una mejor zona de contacto entre el transductor y la junta inspeccionada.
- La inspección de juntas soldadas con diámetro nominal de 2" SCH STD muestra un barrido con mucha interferencia, por lo cual se concluye que el espesor influye en la calibración de la sensibilidad del equipo e interpretación de los resultados.
- Del análisis de resultados se concluye que las discontinuidades que contengan bordes lineales tales como fisuras, falta de fusión, falta de penetración, inclusiones de escoria, son claramente detectables con el método de ultrasonido arreglo de fases y su amplitud sobrepasa el nivel de referencia de la pantalla. Discontinuidades de bordes redondeados tales como: poros aislados, nido de poros, escorias aisladas, son también identificadas, la amplitud tiene un nivel de referencia menor que las encontradas en el tipo lineal.
- Para que el método de inspección por ultrasonido arreglo de fases tenga alta confiabilidad para reemplazar al método de radiografía / gammagrafía industrial en la inspección de juntas soldadas para tubería, se requiere, a más de contar con equipos apropiados de última tecnología, se necesita establecer metodologías y

procedimientos de inspección validados y contar con inspectores calificados y certificados con mucha experiencia para la interpretación y manejo de códigos.

- Los códigos y estándares internacionales cada vez tienen lineamientos específicos en cuanto a los requisitos que se debe cumplir para poder utilizar el método de ultrasonido arreglo de fases en lugar de la radiografía. Lo cual hace que las empresas de inspección traten de evolucionar a la par de la tecnología y la normatividad vigente.
- El uso de la tecnología de ultrasonido arreglo de fases, es considerada una tecnología limpia por lo cual se está precautelando la salud del personal de inspección y personal involucrado en la soldadura de producción dentro de un proyecto dado.
- El uso de la tecnología de ultrasonido arreglo de fases permite mejorar la relación costo-beneficio, al poder realizar los trabajos sin tener que parar las actividades normales de producción, obteniendo un mejor control de calidad de juntas soldadas, debido a que los resultados de inspección se obtiene en tiempo real y no hay que estar esperando resultados posteriores como sucede con el método de radiografía.
- Para que el personal que realiza la inspección de juntas soldadas mediante el método de ultrasonido arreglo de fases, pueda evaluar de una manera correcta los diferentes tipos de defectos que se presentan en una junta soldada, se concluye que los mismos deben tener conocimientos básicos de los procesos de soldadura con los que se están trabajando, ya que estos proporcionan información con respecto a la formación de diferentes tipos de discontinuidades. Por ejemplo con el proceso GTAW, no existe generación de escoria, pero puede dejar inclusiones de tungsteno.
- Del análisis de costos se concluye que el método que es económicamente más viable es el método de ultrasonido arreglo de fases, debido a que en el mismo tiempo se puede inspeccionar más juntas que con el método de radiografía.

4.2 Recomendaciones

- Para la fabricación de bloques curvos de calibración en tubería, se recomienda verificar los rango útiles tanto en diámetros (0.9D a 1.5D) como en espesores (+/- 25%) que se van a utilizar en un proyecto determinado, para poder fabricar los bloques curvos necesarios.

- Para obtener resultados confiables con el método de ultrasonido arreglo de fases, se recomienda que el personal de inspección se encuentre en continua capacitación con respecto al manejo de equipos de última tecnología, manejo de códigos, normas, especificaciones. Y que las diferentes empresas de inspección que trabajan en el país generen cupones de prueba, para poder capacitar al personal.
- Para complementar esta investigación, se requiere aplicar los lineamientos establecidos en este estudio (fabricación de bloques curvos, fabricación de cupones de prueba con defectos, calificación de procedimiento de soldadura, evaluación con los métodos de ultrasonido arreglo de fases y radiografía industrial) siguiendo los requerimientos de la norma API 1104 para oleoductos.

Referencias Bibliográficas

- [1] Hellier Charles. Handbook of Nondestructive Evaluation. USA, 2003
- [2] Workman Gary. Nondestructive Testing Handbook. USA, 2007.
- [3] ASME B31.3. Process Piping. USA, 2015.
- [4] ASME B36.10M. Welded and Seamless Wrought Steel Pipe. USA, 2015.
- [5] ASME BPVC V. Nondestructive Examination. USA, 2015
- [6] ASME BPVC IX. Qualification Standard for Welding, Brazing, and Fusing Procedures; Welders; Brazers; and Welding, Brazing, and Fusing Operators. USA, 2015.
- [7] ASTM E2700. Standard Practice for Contact Ultrasonic Testing of Welds Using Phased Array. USA, 2014.
- [8] ASTM E2491. Standard Guide for Evaluating Performance Characteristics of Phased Array Ultrasonic Testing Instruments and Systems. USA, 2013.
- [9] Olympus Software Omni Scan MXU. Manual de Usuario. Versión 4.1. DMTA- 20052-01-ES [U8778642] – Revisión A. USA, 2013.
- [10] Olympus NDT, Phased Array Testing-Basic Theory for Industrial Applications. USA, 2010.
- [11] Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. Curso Básico de Protección Radiológica. Ecuador, 2011
- [12] ASNT- SNT-TC-1A. Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing. USA, 2016.
- [13] SRI. Reglamento de Aplicación de la Ley Régimen Tributario Interno. Ecuador

Anexos

ANEXO I.

**DIÁMETROS NOMINALES Y ESPESORES DE TUBERÍA CÓDIGO
ASME B36.10**

Table 1 Dimensions and Weights of Welded and Seamless Wrought Steel Pipe (Cont'd)

NPS [Note (1)]	Customary Units			Identification [Standard (STD), Extra-Strong (XS), or Double Extra Strong (XXS)]	Schedule No.	DN [Note (2)]	SI Units		
	Outside Diameter, in.	Wall Thickness, in.	Plain End Weight, lb/ft				Outside Diameter, mm	Wall Thickness, mm	Plain End Mass, kg/m
2	2.375	0.065	1.61	...	5	50	60.3	1.65	2.39
2	2.375	0.083	2.03	...	...	50	60.3	2.11	3.03
2	2.375	0.109	2.64	...	10	50	60.3	2.77	3.93
2	2.375	0.125	3.01	...	30	50	60.3	3.18	4.48
2	2.375	0.141	3.37	...	...	50	60.3	3.58	5.01
2	2.375	0.154	3.66	STD	40	50	60.3	3.91	5.44
2	2.375	0.172	4.05	...	...	50	60.3	4.37	6.03
2	2.375	0.188	4.40	...	...	50	60.3	4.78	6.54
2	2.375	0.218	5.03	XS	80	50	60.3	5.54	7.48
2	2.375	0.250	5.68	...	...	50	60.3	6.35	8.45
2	2.375	0.281	6.29	...	...	50	60.3	7.14	9.36
2	2.375	0.344	7.47	...	160	50	60.3	8.74	11.11
2	2.375	0.436	9.04	XXS	...	50	60.3	11.07	13.44
2½	2.875	0.083	2.48	...	5	65	73.0	2.11	3.69
2½	2.875	0.109	3.22	...	...	65	73.0	2.77	4.80
2½	2.875	0.120	3.53	...	10	65	73.0	3.05	5.26
2½	2.875	0.125	3.67	...	...	65	73.0	3.18	5.48
2½	2.875	0.141	4.12	...	...	65	73.0	3.58	6.13
2½	2.875	0.156	4.53	...	...	65	73.0	3.96	6.74
2½	2.875	0.172	4.97	...	...	65	73.0	4.37	7.40
2½	2.875	0.188	5.40	...	30	65	73.0	4.78	8.04
2½	2.875	0.203	5.80	STD	40	65	73.0	5.16	8.63
2½	2.875	0.216	6.14	...	...	65	73.0	5.49	9.14
2½	2.875	0.250	7.02	...	...	65	73.0	6.35	10.44
2½	2.875	0.276	7.67	XS	80	65	73.0	7.01	11.41
2½	2.875	0.375	10.02	...	160	65	73.0	9.53	14.92
2½	2.875	0.552	13.71	XXS	...	65	73.0	14.02	20.39
3	3.500	0.083	3.03	...	5	80	88.9	2.11	4.52
3	3.500	0.109	3.95	...	...	80	88.9	2.77	5.88
3	3.500	0.120	4.34	...	10	80	88.9	3.05	6.46
3	3.500	0.125	4.51	...	...	80	88.9	3.18	6.72
3	3.500	0.141	5.06	...	...	80	88.9	3.58	7.53
3	3.500	0.156	5.58	...	...	80	88.9	3.96	8.30
3	3.500	0.172	6.12	...	...	80	88.9	4.37	9.11
3	3.500	0.188	6.66	...	30	80	88.9	4.78	9.92
3	3.500	0.216	7.58	STD	40	80	88.9	5.49	11.29
3	3.500	0.250	8.69	...	...	80	88.9	6.35	12.93
3	3.500	0.281	9.67	...	...	80	88.9	7.14	14.40
3	3.500	0.300	10.26	XS	80	80	88.9	7.62	15.27
3	3.500	0.438	14.34	...	160	80	88.9	11.13	21.35
3	3.500	0.600	18.60	XXS	...	80	88.9	15.24	27.68
3½	4.000	0.083	3.48	...	5	90	101.6	2.11	5.18
3½	4.000	0.109	4.53	...	...	90	101.6	2.77	6.75
3½	4.000	0.120	4.98	...	10	90	101.6	3.05	7.41
3½	4.000	0.125	5.18	...	...	90	101.6	3.18	7.72
3½	4.000	0.141	5.82	...	...	90	101.6	3.58	8.65
3½	4.000	0.156	6.41	...	...	90	101.6	3.96	9.54
3½	4.000	0.172	7.04	...	...	90	101.6	4.37	10.48
3½	4.000	0.188	7.66	...	30	90	101.6	4.78	11.41

Table 1 Dimensions and Weights of Welded and Seamless Wrought Steel Pipe (Cont'd)

NPS [Note (1)]	Customary Units			Identification [Standard (STD), Extra-Strong (XS), or Double Extra Strong (XXS)]	Schedule No.	DN [Note (2)]	SI Units		
	Outside Diameter, in.	Wall Thickness, in.	Plain End Weight, lb/ft				Outside Diameter, mm	Wall Thickness, mm	Plain End Mass, kg/m
3½	4.000	0.226	9.12	STD	40	90	101.6	5.74	13.57
3½	4.000	0.250	10.02	...	...	90	101.6	6.35	14.92
3½	4.000	0.281	11.17	...	...	90	101.6	7.14	16.63
3½	4.000	0.318	12.52	XS	80	90	101.6	8.08	18.64
4	4.500	0.083	3.92	...	5	100	114.3	2.11	5.84
4	4.500	0.109	5.12	...	...	100	114.3	2.77	7.62
4	4.500	0.120	5.62	...	10	100	114.3	3.05	8.37
4	4.500	0.125	5.85	...	...	100	114.3	3.18	8.71
4	4.500	0.141	6.57	...	...	100	114.3	3.58	9.78
4	4.500	0.156	7.24	...	...	100	114.3	3.96	10.78
4	4.500	0.172	7.96	...	...	100	114.3	4.37	11.85
4	4.500	0.188	8.67	...	30	100	114.3	4.78	12.91
4	4.500	0.203	9.32	...	...	100	114.3	5.16	13.89
4	4.500	0.219	10.02	...	...	100	114.3	5.56	14.91
4	4.500	0.237	10.80	STD	40	100	114.3	6.02	16.08
4	4.500	0.250	11.36	...	...	100	114.3	6.35	16.91
4	4.500	0.281	12.67	...	...	100	114.3	7.14	18.87
4	4.500	0.312	13.97	...	...	100	114.3	7.92	20.78
4	4.500	0.337	15.00	XS	80	100	114.3	8.56	22.32
4	4.500	0.438	19.02	...	120	100	114.3	11.13	28.32
4	4.500	0.531	22.53	...	160	100	114.3	13.49	33.54
4	4.500	0.674	27.57	XXS	...	100	114.3	17.12	41.03
5	5.563	0.083	4.86	...	...	125	141.3	2.11	7.24
5	5.563	0.109	6.36	...	5	125	141.3	2.77	9.46
5	5.563	0.125	7.27	...	...	125	141.3	3.18	10.83
5	5.563	0.134	7.78	...	10	125	141.3	3.40	11.56
5	5.563	0.156	9.02	...	...	125	141.3	3.96	13.41
5	5.563	0.188	10.80	...	...	125	141.3	4.78	16.09
5	5.563	0.219	12.51	...	...	125	141.3	5.56	18.61
5	5.563	0.258	14.63	STD	40	125	141.3	6.55	21.77
5	5.563	0.281	15.87	...	...	125	141.3	7.14	23.62
5	5.563	0.312	17.51	...	...	125	141.3	7.92	26.05
5	5.563	0.344	19.19	...	...	125	141.3	8.74	28.57
5	5.563	0.375	20.80	XS	80	125	141.3	9.53	30.97
5	5.563	0.500	27.06	...	120	125	141.3	12.70	40.28
5	5.563	0.625	32.99	...	160	125	141.3	15.88	49.12
5	5.563	0.750	38.59	XXS	...	125	141.3	19.05	57.43
6	6.625	0.083	5.80	...	...	150	168.3	2.11	8.65
6	6.625	0.109	7.59	...	5	150	168.3	2.77	11.31
6	6.625	0.125	8.69	...	...	150	168.3	3.18	12.95
6	6.625	0.134	9.30	...	10	150	168.3	3.40	13.83
6	6.625	0.141	9.77	...	...	150	168.3	3.58	14.54
6	6.625	0.156	10.79	...	...	150	168.3	3.96	16.05
6	6.625	0.172	11.87	...	...	150	168.3	4.37	17.67
6	6.625	0.188	12.94	...	...	150	168.3	4.78	19.28
6	6.625	0.203	13.94	...	...	150	168.3	5.16	20.76
6	6.625	0.219	15.00	...	...	150	168.3	5.56	22.31
6	6.625	0.250	17.04	...	...	150	168.3	6.35	25.36
6	6.625	0.280	18.99	STD	40	150	168.3	7.11	28.26

Table 1 Dimensions and Weights of Welded and Seamless Wrought Steel Pipe (Cont'd)

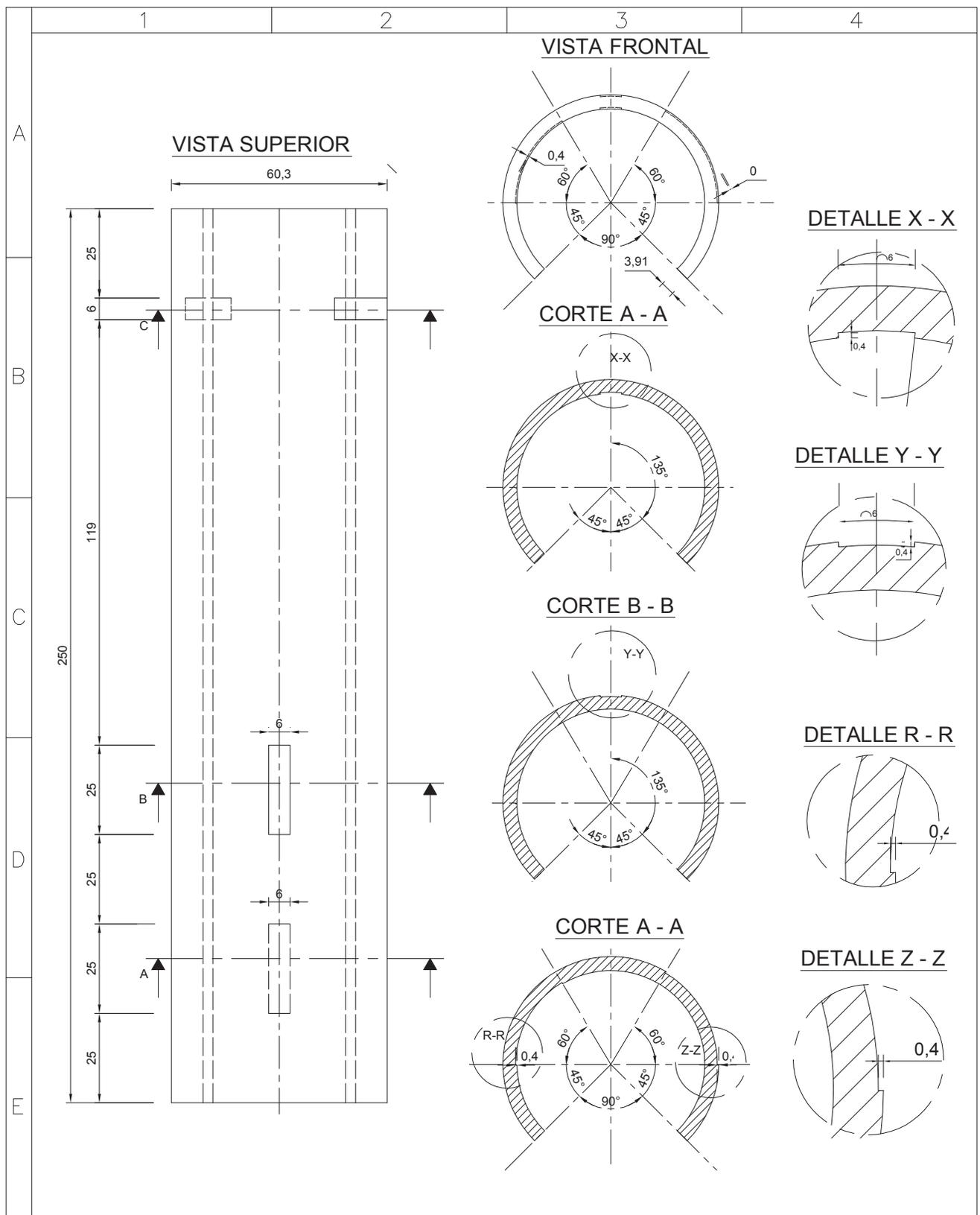
NPS [Note (1)]	Customary Units			Identification [Standard (STD), Extra-Strong (XS), or Double Extra Strong (XXS)]	Schedule No.	DN [Note (2)]	SI Units		
	Outside Diameter, in.	Wall Thickness, in.	Plain End Weight, lb/ft				Outside Diameter, mm	Wall Thickness, mm	Plain End Mass, kg/m
6	6.625	0.312	21.06	...	...	150	168.3	7.92	31.33
6	6.625	0.344	23.10	...	...	150	168.3	8.74	34.39
6	6.625	0.375	25.05	...	...	150	168.3	9.53	37.31
6	6.625	0.432	28.60	XS	80	150	168.3	10.97	42.56
6	6.625	0.500	32.74	...	...	150	168.3	12.70	48.73
6	6.625	0.562	36.43	...	120	150	168.3	14.27	54.21
6	6.625	0.625	40.09	...	...	150	168.3	15.88	59.69
6	6.625	0.719	45.39	...	160	150	168.3	18.26	67.57
6	6.625	0.750	47.10	...	...	150	168.3	19.05	70.12
6	6.625	0.864	53.21	XXS	...	150	168.3	21.95	79.22
6	6.625	0.875	53.78	...	...	150	168.3	22.23	80.08
8	8.625	0.109	9.92	...	5	200	219.1	2.77	14.78
8	8.625	0.125	11.36	...	...	200	219.1	3.18	16.93
8	8.625	0.148	13.41	...	10	200	219.1	3.76	19.97
8	8.625	0.156	14.12	...	...	200	219.1	3.96	21.01
8	8.625	0.188	16.96	...	...	200	219.1	4.78	25.26
8	8.625	0.203	18.28	...	...	200	219.1	5.16	27.22
8	8.625	0.219	19.68	...	...	200	219.1	5.56	29.28
8	8.625	0.250	22.38	...	20	200	219.1	6.35	33.32
8	8.625	0.277	24.72	...	30	200	219.1	7.04	36.82
8	8.625	0.312	27.73	...	...	200	219.1	7.92	41.25
8	8.625	0.322	28.58	STD	40	200	219.1	8.18	42.55
8	8.625	0.344	30.45	...	...	200	219.1	8.74	45.34
8	8.625	0.375	33.07	...	...	200	219.1	9.53	49.25
8	8.625	0.406	35.67	...	60	200	219.1	10.31	53.09
8	8.625	0.438	38.33	...	...	200	219.1	11.13	57.08
8	8.625	0.500	43.43	XS	80	200	219.1	12.70	64.64
8	8.625	0.562	48.44	...	...	200	219.1	14.27	72.08
8	8.625	0.594	51.00	...	100	200	219.1	15.09	75.92
8	8.625	0.625	53.45	...	...	200	219.1	15.88	79.59
8	8.625	0.719	60.77	...	120	200	219.1	18.26	90.44
8	8.625	0.750	63.14	...	...	200	219.1	19.05	93.98
8	8.625	0.812	67.82	...	140	200	219.1	20.62	100.93
8	8.625	0.875	72.49	XXS	...	200	219.1	22.23	107.93
8	8.625	0.906	74.76	...	160	200	219.1	23.01	111.27
8	8.625	1.000	81.51	...	...	200	219.1	25.40	121.33
10	10.750	0.134	15.21	...	5	250	273.0	3.40	22.61
10	10.750	0.156	17.67	...	...	250	273.0	3.96	26.27
10	10.750	0.165	18.67	...	10	250	273.0	4.19	27.78
10	10.750	0.188	21.23	...	...	250	273.0	4.78	31.62
10	10.750	0.203	22.89	...	...	250	273.0	5.16	34.08
10	10.750	0.219	24.65	...	...	250	273.0	5.56	36.67
10	10.750	0.250	28.06	...	20	250	273.0	6.35	41.76
10	10.750	0.279	31.23	...	...	250	273.0	7.09	46.49
10	10.750	0.307	34.27	...	30	250	273.0	7.80	51.01
10	10.750	0.344	38.27	...	...	250	273.0	8.74	56.96
10	10.750	0.365	40.52	STD	40	250	273.0	9.27	60.29
10	10.750	0.438	48.28	...	...	250	273.0	11.13	71.88

Table 1 Dimensions and Weights of Welded and Seamless Wrought Steel Pipe (Cont'd)

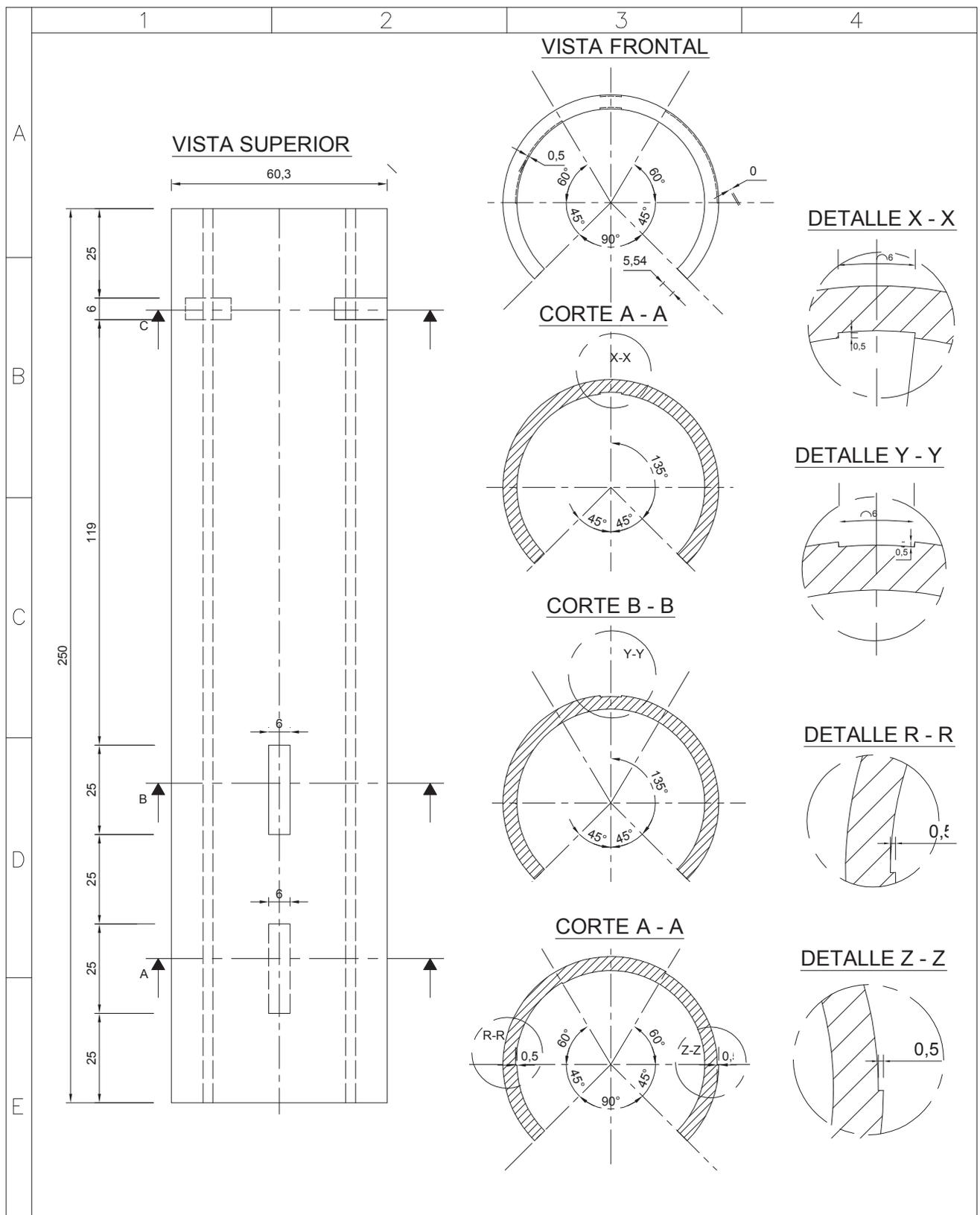
NPS [Note (1)]	Customary Units			Identification [Standard (STD), Extra-Strong (XS), or Double Extra Strong (XXS)]	Schedule No.	DN [Note (2)]	SI Units		
	Outside Diameter, in.	Wall Thickness, in.	Plain End Weight, lb/ft				Outside Diameter, mm	Wall Thickness, mm	Plain End Mass, kg/m
10	10.750	0.500	54.79	XS	60	250	273.0	12.70	81.53
10	10.750	0.562	61.21	...	...	250	273.0	14.27	91.05
10	10.750	0.594	64.49	...	80	250	273.0	15.09	95.98
10	10.750	0.625	67.65	...	...	250	273.0	15.88	100.69
10	10.750	0.719	77.10	...	100	250	273.0	18.26	114.71
10	10.750	0.812	86.26	...	...	250	273.0	20.62	128.34
10	10.750	0.844	89.38	...	120	250	273.0	21.44	133.01
10	10.750	0.875	92.37	...	...	250	273.0	22.23	137.48
10	10.750	0.938	98.39	...	...	250	273.0	23.83	146.43
10	10.750	1.000	104.23	XXS	140	250	273.0	25.40	155.10
10	10.750	1.125	115.75	...	160	250	273.0	28.58	172.27
10	10.750	1.250	126.94	...	...	250	273.0	31.75	188.90
12	12.750	0.156	21.00	...	5	300	323.8	3.96	31.24
12	12.750	0.172	23.13	...	...	300	323.8	4.37	34.43
12	12.750	0.180	24.19	...	10	300	323.8	4.57	35.98
12	12.750	0.188	25.25	...	...	300	323.8	4.78	37.61
12	12.750	0.203	27.23	...	...	300	323.8	5.16	40.55
12	12.750	0.219	29.34	...	...	300	323.8	5.56	43.64
12	12.750	0.250	33.41	...	20	300	323.8	6.35	49.71
12	12.750	0.281	37.46	...	...	300	323.8	7.14	55.76
12	12.750	0.312	41.48	...	...	300	323.8	7.92	61.70
12	12.750	0.330	43.81	...	30	300	323.8	8.38	65.19
12	12.750	0.344	45.62	...	...	300	323.8	8.74	67.91
12	12.750	0.375	49.61	STD	...	300	323.8	9.53	73.86
12	12.750	0.406	53.57	...	40	300	323.8	10.31	79.71
12	12.750	0.438	57.65	...	...	300	323.8	11.13	85.82
12	12.750	0.500	65.48	XS	...	300	323.8	12.70	97.44
12	12.750	0.562	73.22	...	60	300	323.8	14.27	108.93
12	12.750	0.625	81.01	...	...	300	323.8	15.88	120.59
12	12.750	0.688	88.71	...	80	300	323.8	17.48	132.05
12	12.750	0.750	96.21	...	...	300	323.8	19.05	143.17
12	12.750	0.812	103.63	...	...	300	323.8	20.62	154.17
12	12.750	0.844	107.42	...	100	300	323.8	21.44	159.87
12	12.750	0.875	111.08	...	...	300	323.8	22.23	165.33
12	12.750	0.938	118.44	...	...	300	323.8	23.83	176.29
12	12.750	1.000	125.61	XXS	120	300	323.8	25.40	186.92
12	12.750	1.062	132.69	...	...	300	323.8	26.97	197.43
12	12.750	1.125	139.81	...	140	300	323.8	28.58	208.08
12	12.750	1.250	153.67	...	...	300	323.8	31.75	228.68
12	12.750	1.312	160.42	...	160	300	323.8	33.32	238.69
14	14.000	0.156	23.09	...	5	350	355.6	3.96	34.34
14	14.000	0.188	27.76	...	...	350	355.6	4.78	41.36
14	14.000	0.203	29.94	...	...	350	355.6	5.16	44.59
14	14.000	0.210	30.96	...	...	350	355.6	5.33	46.04
14	14.000	0.219	32.26	...	...	350	355.6	5.56	48.00
14	14.000	0.250	36.75	...	10	350	355.6	6.35	54.69
14	14.000	0.281	41.21	...	...	350	355.6	7.14	61.36
14	14.000	0.312	45.65	...	20	350	355.6	7.92	67.91

ANEXO II.

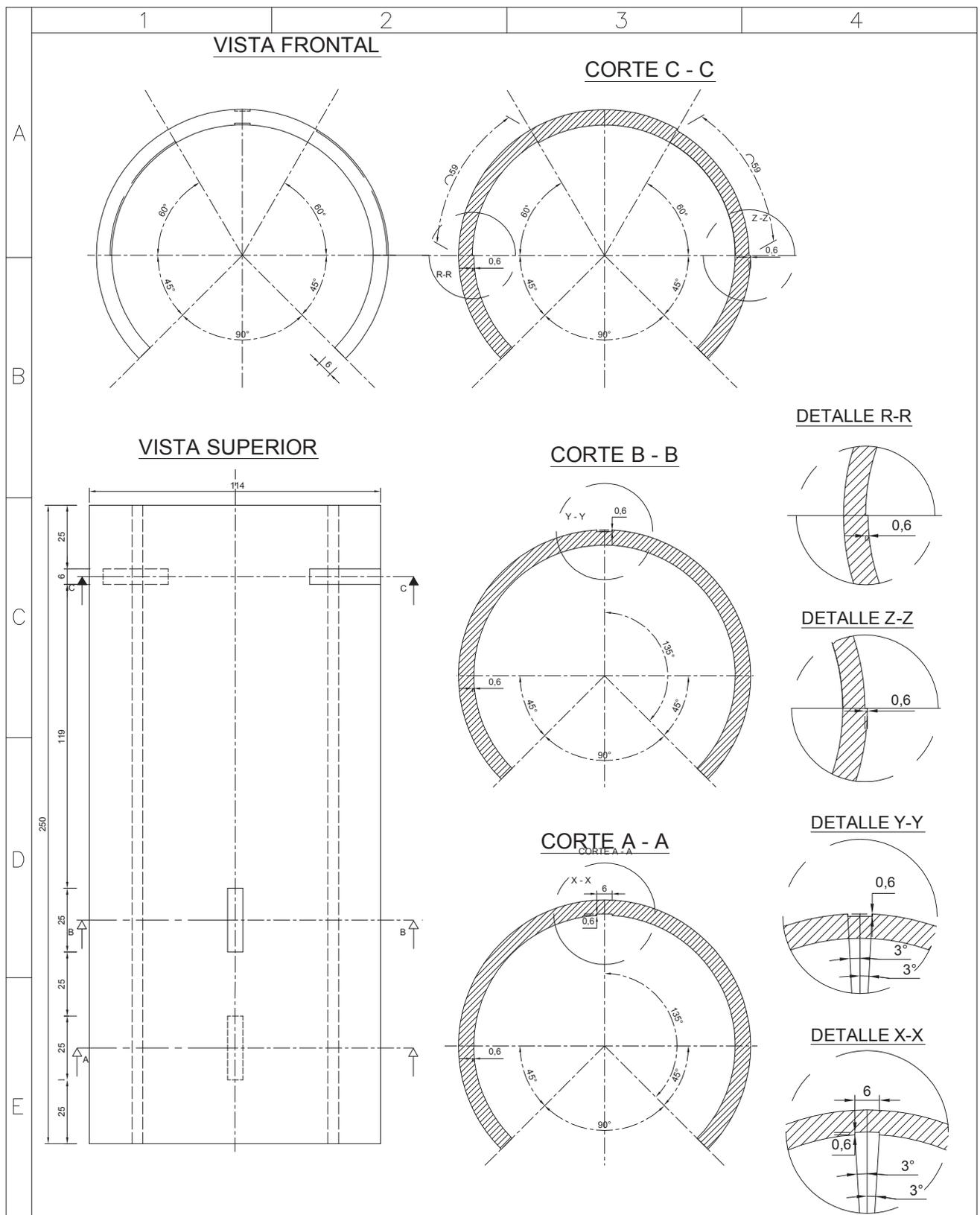
**PLANOS DE FABRICACIÓN DE BLOQUES CURVOS DE
CALIBRACIÓN DE ACUERDO AL CÓDIGO ASME B31.3.**



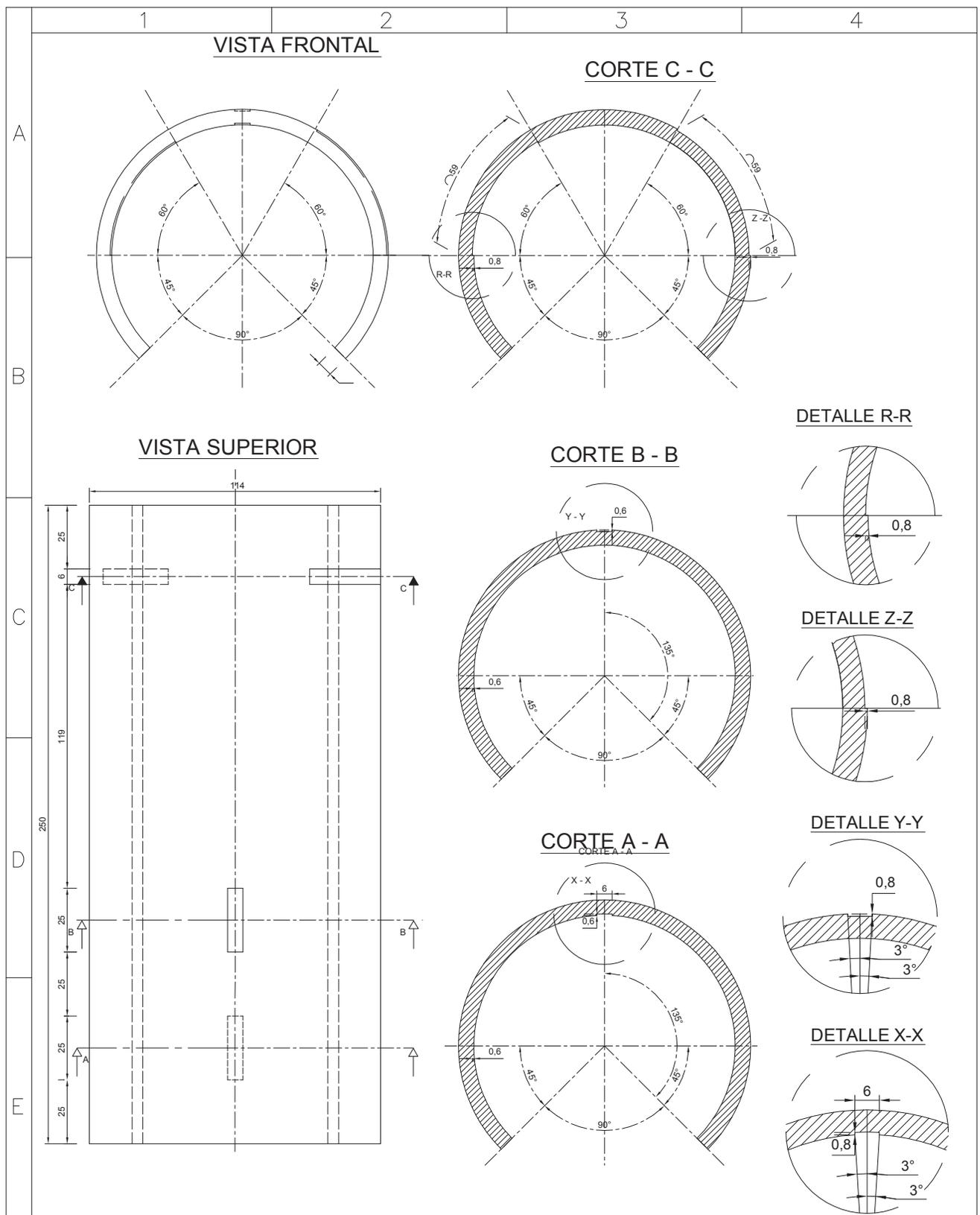
				Tolerancia: N/A	Peso: N/A	Material: ASTM A106 Gr.B / P-No. 1	
				Por Dib. OY	Fecha 02/12/2016	Denominación: BLOQUE BÁSICO DE CALIBRACIÓN ULTRASONIDO - ASME V -NPS 2" SCH STD	
				Rev. RT	20/12/2016	Escala: N/A	
				Apro. CD	20/12/2016	Revisión: 0	
0	Para construcción	12/16	CD	Dibujo No. ASME-CA-2"-001			
Rev.	Descripción	Fecha	Por	Notas:			FO-022-026



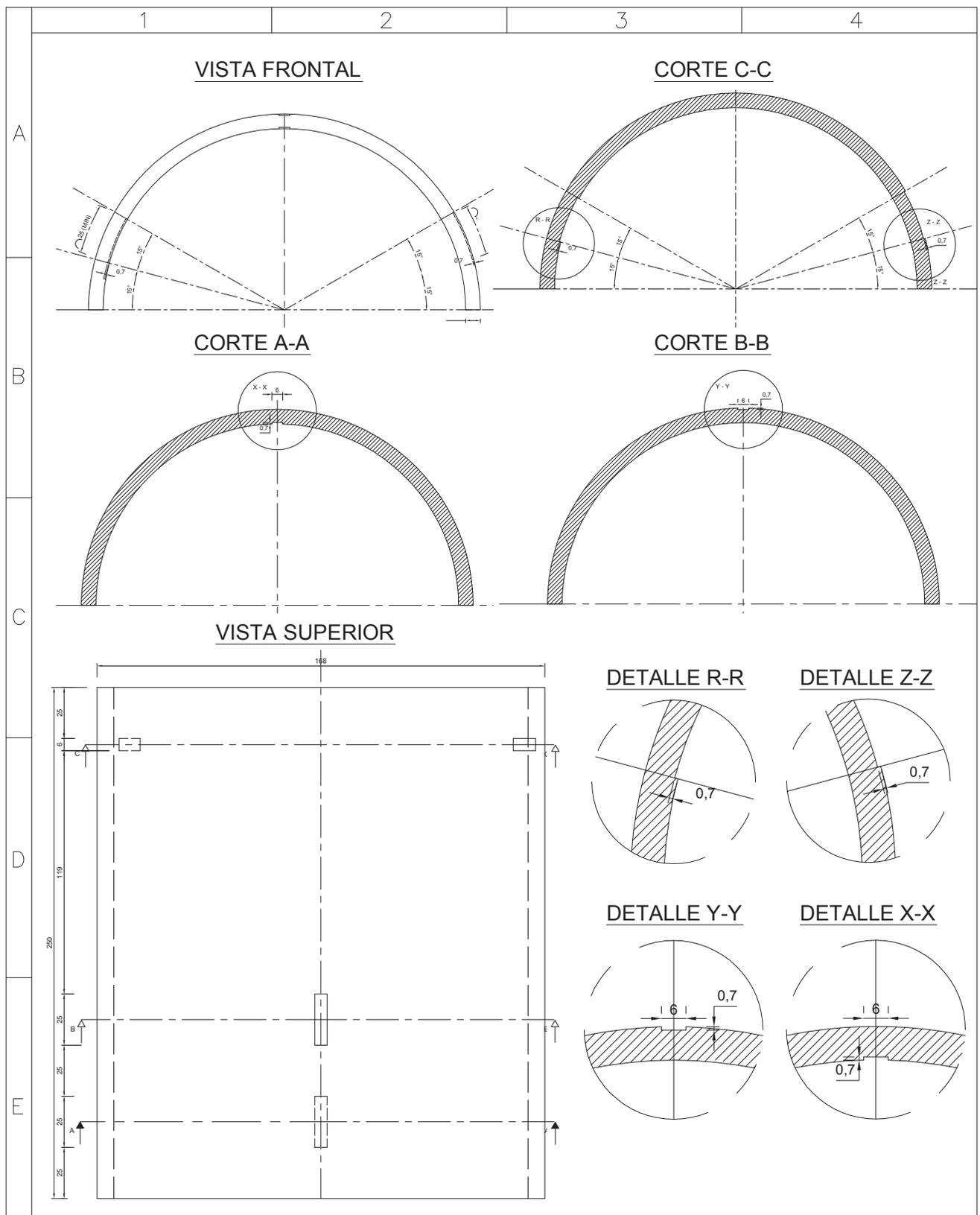
				Tolerancia: N/A	Peso: N/A	Material: ASTM A106 Gr.B / P-No. 1		
				Por	Fecha	Denominación:		
				Dib.	OY	02/12/2016	BLOQUE BÁSICO DE CALIBRACIÓN ULTRASONIDO - ASME V -NPS 2" SCH 80	
				Rev.	RT	20/12/2016		
				Apro.	CD	20/12/2016		
							Dibujo No. ASME-CA-2"-002	Escala: N/A
							Revisión: 0	
0	Para construcción	12/16	CD				Notas:	
Rev.	Descripción	Fecha	Por				FO-022-026	



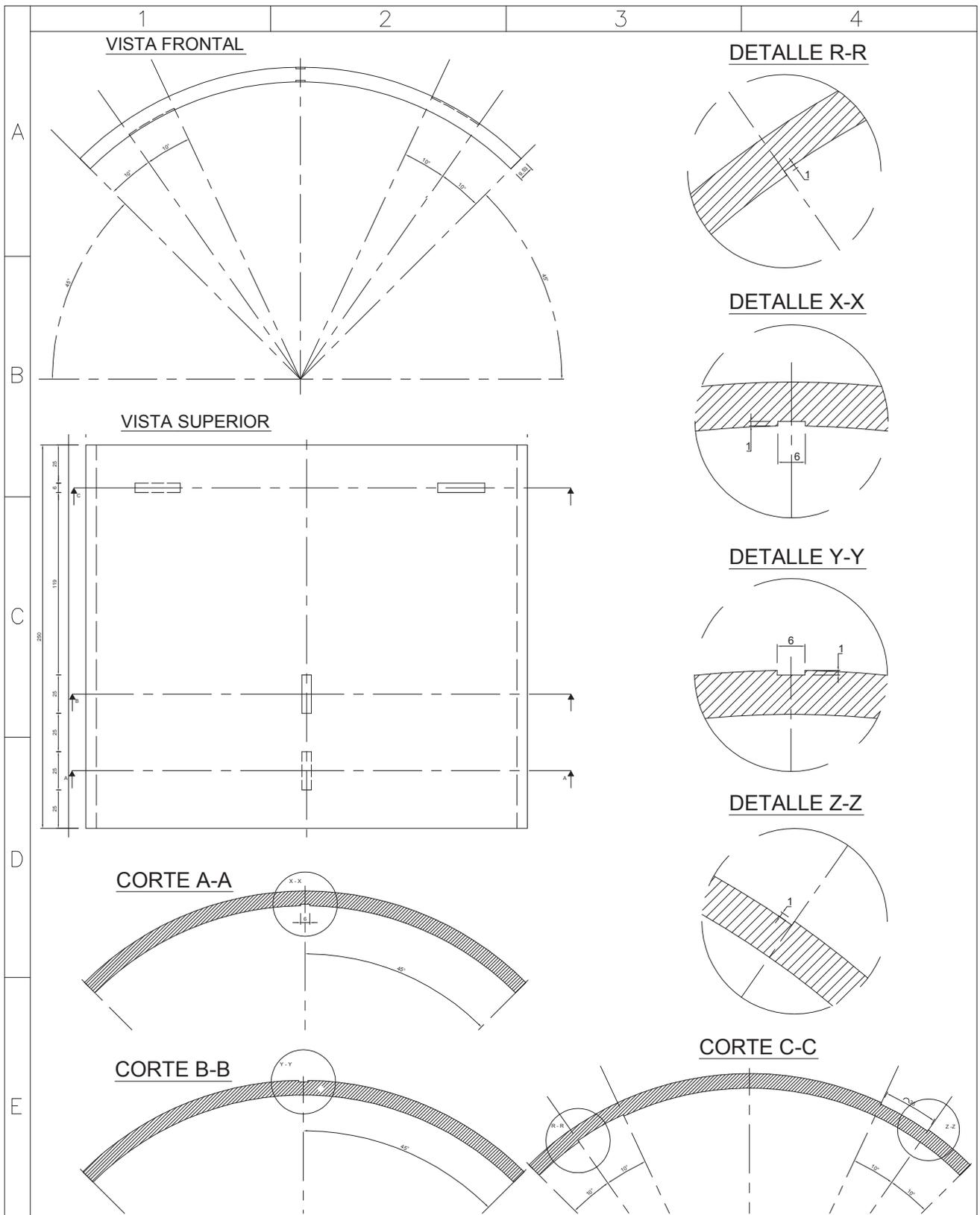
				Tolerancia: N/A	Peso: N/A	Material: ASTM A106 Gr.B / P-No. 1	
				Por	Fecha	Denominación: BLOQUE BÁSICO DE CALIBRACIÓN ULTRASONIDO - ASME V -NPS 4" SCH STD	Escala: N/A
				Dib.	OY 02/12/2016		
				Rev.	RT 20/12/2016		
				Apro.	CD 20/12/2016	Dibujo No. ASME-CA-4"-003	Revisión: 0
0	Para construcción	12/16	CD				
Rev.	Descripción	Fecha	Por	Notas:			FO-022-026



				Tolerancia: N/A	Peso: N/A	Material: ASTM A106 Gr.B / P-No. 1	
				Por	Fecha	Denominación: BLOQUE BÁSICO DE CALIBRACIÓN ULTRASONIDO - ASME V -NPS 4" SCH 80	
				Dib.	OY	02/12/2016	Escala: N/A
				Rev.	RT	20/12/2016	Revisión: 0
				Apro.	CD	20/12/2016	
0	Para construcción	12/16	CD				Dibujo No. ASME-CA-4"-004
Rev.	Descripción	Fecha	Por				Notas:
							FO-022-026



				Tolerancia: N/A	Peso: N/A	Material: ASTM A106 Gr.B / P-No. 1	
				Por	Fecha	Denominación: BLOQUE BÁSICO DE CALIBRACIÓN ULTRASONIDO - ASME V -NPS 6" SCH STD	Escala: N/A
				Dib. OY	02/12/2016		
				Rev. RT	20/12/2016		
				Apro. CD	20/12/2016		
						Dibujo No. ASME-CA-6"-005	Revisión: 0
0	Para construcción	12/16	CD				
Rev.	Descripción	Fecha	Por			Notas:	FO-022-026



				Tolerancia: N/A	Peso: N/A	Material: ASTM A106 Gr.B / P-No. 1	
				Por	Fecha	Denominación: BLOQUE BÁSICO DE CALIBRACIÓN ULTRASONIDO - ASME V -NPS 12"SCH STD	Escala: N/A
				Dib.	OY 02/12/2016		
				Rev.	RT 20/12/2016		
				Apro.	CD 20/12/2016	Dibujo No. ASME-CA-12"-006	Revisión: 0
0	Para construcción	12/16	CD				
Rev.	Descripción	Fecha	Por	Notas:			SINDES-FO-022-026

ANEXO III.

INFORME RADIOGRÁFICO INNODES CIA LTDA



INNODÉS CIA. LTDA
ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Dirección: Nazareth OE2-190 y Real Audiencia
Telefax: (593-2) 3465 - 150 • Cel: 0997 939811 / 0987 211 016
e-mail: innodes@innodescialtda.com / hugo.morillo@innodescialtda.com
Quito - Ecuador

REPORTE DE RADIOGRAFIA

0006973

CLIENTE: SINDES
PROYECTO: Probetas con defectos conocidos.
REPORTE No. :
PAGINA: DE

A-106. MATERIAL SCH = STD; 80. 12 PULG; 4 PULG; 3 PULG; 6 PULG; 2 PULG DIAMETRO ASTM II Pb 0.005" 0.01" TIPO DE FILM PANTALLA DELANTERA ATRÁS
6 PULG; 2 PULG; 3 PULG; 8 PULG 320626/6,3C ACTIVIDAD ASTM 1B ETAW-SMAW. INNODES-PO-RT 0070214. PROCEDIMIENTO
FUENTE RADIACION: 1r-192 LOCALIZACION: TALLER INNODES. CODIGO DE ACEPTACION: ASME B31.3.

SUELDA I.D.	UBICACIÓN	SOLDADOR No.	ACEP.	RECH.	DEFECTOS	OBSERVACIONES
1	J1	2"-SCH-40	—	✓	C.P. Lado A y B	
2	J2	2"-SCH-40	—	✓	C.P. Lado A.	
3	J3	2"-SCH-80	—	✓	P. Lado A y Lado B.	
4	J4	2"-SCH-80	—	✓	C.P. Lado A P. Lado B.	
5	J5	2"-SCH-160	—	✓	IP: Lado A y Lado B.	
6	J6	2"-SCH-160.	—	✓	IP: Lado A y Lado B.	
7	J7	4"-SCH-STD.	—	✓	CP: 0-6cm EST: 7-11cm CP: 15-20cm.	
8					EU: 23-25cm C.P: 23-25cm.	
9	J8.	4"-SCH-STD.	—	✓	IC: 11-20cm P: 16cm 20-3cm Ex. Penet.	
10	J9	4"-SCH-80	—		IF: 9-14cm C: 13-13,5cm 15-0:CP.	
11					EST: 25-27cm.	
12	J10	4"-SCH-80.	—	✓	CP: 20cm IC: 24cm CP: 25-30.	
13	J11	6"-SCH-40	—	✓	CP: 10-15cm CP: 20cm EST: 20cm	
14					CP: 30cm EST: 25cm. CP: 35cm.	
15					CP: EST: 40-42cm.	
16	J12	6"-SCH-40	—	✓	IP: 53cm CP: 9cm IP: 16-22cm.	
17					P: 28cm CP: 35-38cm. CP: 46-50cm.	
18	J13	12"-SCH-STD	—	✓	EST: 0-4cm. CP: 5-6cm. CP-EST: 12-15	
19					IC: 34-36cm IU: 40cm IP: 45-46 BT: 57cm	
20	J14	3"-SCH-STD	—	✓		
21		Servicio de Acreditación Ecuatoriano				
22		Gammalaxmer			Contador Geiger.	
23		FC: 17-0817.			FC: 2017-08-17	
24		NS: 82426			NS: 78056	
25						

ABREVIACIONES DE DEFECTOS DE SOLDADURA

IP: PENETRACION INADECUADA SIN DESALINEO	IC: ICONCAVIDAD INTERNA	CP: POROSIDAD AGRUPADA	AI: ACUMULACION IMPERFECCIONES
IPD: PENETRACION INADECUADA DESALINEADA	BT: QUEMON	HB: POROSIDAD TUNEL	OT: OTROS
ICP: PENETRACION INADECUADA CRUZADA	ESI: INCLUSION DE ESCORIA A LARGADA	C: FISURAS y/o RAJADURAS	
IF: FALTA DE FUSION	ISI: INCLUSION DE ESCORIA AISLADA	EU: MORDEDURA EXTERNA	
IFD: FALTA DE FUSION POR TRASLAPE EN FRIO	P: POROSIDAD	IU: MORDEDURA INTERNA	

Cant. Radiografías: Cant. Juntas: Unidad:

INSPECCIONADO POR:		REVISADO POR:		APROBADO POR:	
Nombre: <u>Santiago Montero</u>	Nombre: <u>Oscar Yanchapaxi</u>	Nombre:	Nombre:	Nombre:	Nombre:
Nivel: <u>II RT-SNT</u>	Nivel: <u>SW-ECUADOR, SA.</u>	Nivel:	Nivel:	Nivel:	Nivel:
Fecha: <u>27/04/17.</u>	Firma: <u>INNODÉS CIA. LTDA.</u> <u>17921003A0001</u> <u>2206588</u>	Fecha: <u>11/04/28</u>	Firma: <u>[Signature]</u>	Fecha:	Firma:

ANEXO IV.

PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN CON EL MÉTODO DE ULTRASONIDO ARREGLO DE FASES.

Objetivo

Este procedimiento prevé los requerimientos para la examinación de juntas a tope y de penetración completa, de tubería a presión, utilizando el método de ultrasonido con la técnica arreglo de fases (Phased Array-UTPA), de acuerdo a lo establecido en el ASME B31.3.

Alcance

Este procedimiento se utilizará para calibrar equipos de ultrasonido, para la técnica Phased Array (UTPA), para inspeccionar cordones de soldadura de tubería de acero al carbono sometido a presión interna, de modo MANUAL.

La aplicación de este procedimiento permitirá detectar, localizar y evaluar discontinuidades en cordones de soldadura. Se utilizarán los bloques de calibración de tubería para los diferentes diámetros que se requieran ser inspeccionados.

La exploración con ultrasonido, de modo MANUAL, conjuntamente con este procedimiento puede ser realizada siempre y cuando no sean alteradas las variables esenciales estipuladas en la tabla V-421 del código ASME BPVC. Sección V; Artículo 4; Apéndice V.

Documentos de referencia

- ASME Code for Pressure Piping, Section B31.3.
- ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section V, Article 4,
- ASNT (Sociedad Americana de Ensayos No destructivos); Práctica recomendada SNT-TC-1A 2016.
- ASTM E2700 (SE 2700); Standard Practice for Contact Ultrasonic Testing Using Phased Array.
- ASTM E2491; Standard Guide for Evaluating Performance Characteristics of Phased Array Ultrasonic Testing Instruments and Systems.

Definiciones y abreviaturas

Definiciones.

Documentación. Preparación de texto y/o figuras.

Evaluación. Actividades requeridas para determinar la aceptabilidad de una falla de acuerdo a un código estándar.

Discontinuidad. Reflector que puede ser detectable por un ensayo no destructivo pero que no necesariamente es rechazable.

Categorización de una discontinuidad. Clasificar si una discontinuidad es superficial o subsuperficial.

Caracterización de discontinuidad. Proceso para cuantificar el tamaño, localización y tipo de discontinuidad.

Indicación. Cualquier marca que denote la presencia de un reflector.

Interpretación. Determinación si una indicación es relevante o no relevante.

Investigación. Actividad requerida para determinar la interpretación de una indicación.

Registro de resultados. Datos escritos de la inspección realizada mediante ultrasonido.

Reflector. Una interface en la cual el haz ultrasónico encuentra un cambio en impedancia acústica y parte de la energía sea reflejada.

Abreviaturas

PA. Phased Array

UT. Ultrasonido

Responsables

Inspectores

El personal que efectúe la inspección, evaluación e interpretación de resultados mediante la aplicación del método de ultrasonido, aplicando el presente procedimiento deberá estar certificado como inspector nivel I, inspector nivel II y/o inspector nivel III; y será responsable de las actividades que se exponen en lo que sigue.

Inspector Nivel I

- El inspector nivel I será responsable de la preparación de los equipos, elementos y materiales necesarios para realizar la inspección.
- Será responsable de verificar la calibración del equipo antes de realizar la examinación.
- El inspector nivel I puede realizar el proceso de examinación de la soldadura de acuerdo a este procedimiento, sin embargo, no podrá realizar ninguna interpretación de resultados.

Inspector Nivel II

- El inspector nivel II será el encargado de realizar la calibración del equipo previa la examinación de acuerdo con el presente procedimiento.
- El inspector nivel II realizará el proceso de examinación de la soldadura de acuerdo a este procedimiento.
- El inspector nivel II será el encargado de interpretar y evaluar los resultados que se darán en el transcurso de la inspección.
- El inspector nivel II será el encargado de la elaboración de registros de inspección correspondientes.
- El inspector nivel II, será el encargado de elaborar el plan de barrido (Scan Plan) para ser revisado por el personal técnico asignado por el cliente final.

Inspector Nivel III

- El inspector nivel III podrá ejecutar todas las actividades asignadas al inspector nivel II, y podrá asumir la responsabilidad sobre ellas, en caso de que NO exista un inspector nivel II, realizando las tareas de inspección.
- El inspector nivel III será el encargado de revisar y aprobar este procedimiento de inspección.

Matriz de responsabilidades

Tabla 22. Matriz de responsabilidades

ACCIONES	RESPONSABILIDADES		
	Inspector Nivel I	Inspector Nivel II	Inspector Nivel III
Preparación de equipos y materiales.	X	X	X
Verificar calibración de equipos.	X	X	X
Ejecución de la examinación.		X	X
Interpretación de resultados y evaluación.		X	X
Elaboración de registros de inspección.		X	X
Elaboración de Plan de Barrido (Scan Plan)		X	X
Aprobación del procedimiento de inspección.			X

Procedimiento

Equipos y Accesorios.

Equipo

El instrumento ultrasónico por arreglo de fases será de tipo pulso eco y estará equipado con 1 dB de ganancia normalizada o control de la atenuación en incrementos de mínimo 1 dB, y contendrá múltiples canales independientes Emisor / receptor. El sistema debe ser capaz de generar y visualizar tanto Imágenes A-scan, S-scan o C-scan que se puedan almacenar y recuperar para revisión posterior.

El sistema por arreglo de fases dispondrá de un medio para almacenamiento de archivos de datos escaneados. Un dispositivo de almacenamiento externo, tarjeta flash o memoria USB también se puede utilizar para el almacenamiento de datos. Un ordenador remoto portátil conectado al instrumento puede ser también utilizado para este propósito.

El instrumento deberá proporcionar una digitalización "A" Scan (representación gráfica) para el establecimiento de parámetros y análisis de la señal.

Todas las inspecciones, en concordancia con el presente procedimiento, serán realizadas utilizando equipos OmniScan SX, MX, MX2 (Olympus). Las inspecciones serán complementadas con los Transductores ultrasónicos (palpadores) detallados en el Plan de Barrido (Scan Plan).

Palpadores

La frecuencia de los palpadores para Phased Array (Arreglo de Fases) podrá oscilar entre 1 y 10 MHz dependiendo del tipo de material y de los espesores que se requieran inspeccionar. El ángulo de las zapatas (para onda refractada de corte) que será utilizado, podrá ser de 35-75 grados, para asegurar la cobertura de la zona afectada por el calor aledaño a la soldadura. Cuando se utilicen zapatas angulares, los ángulos generados por el Arreglo de Fases, estarán dentro del rango especificado por el fabricante de la zapata.

Encoder (codificador de avance)

Codificadores (encoders) que pueden ser utilizados con este procedimiento serán de tipo digital lineal y serán calibrados mediante chequeos con desviación aceptable de hasta el 1% de la longitud real medida.

Acoplante

A menos que sea especificado puntualmente en el Plan de Barrido, cualquier acoplante comercial como agua, metil celulosa (gel) o aceite podrá ser utilizado; siempre que la misma sustancia sea utilizada para la calibración, calificación y examinación.

Plan de Barrido (SCAN PLAN)

Un Plan de Barrido será elaborado, en el cual se mostrará la ubicación de los transductores, movimiento y disposición de todos los componentes que proporcionen una metodología estandarizada repetible para la examinación de soldadura. El plan de barrido deberá incluir lo siguiente:

- Tipo, número del transductor y dimensiones de paso y abertura.
- Parámetros de leyes focales incluyendo ángulo o rango angular, profundidad focal y plana, número de elementos usados, cambio de incremento de elementos, y número de elementos al inicio y paro.
- Dirección del haz de ultrasonido con respecto a la línea central de la soldadura.
- Ángulo de refracción de la cuña.
- Volumen del material examinado para cada soldadura.

Calibración general del equipo (LINEALIDAD)

El fabricante o una entidad que cumpla con los requerimientos por las normas o códigos aplicables para el efecto, calibrará el equipo de ultrasonido, por lo menos una vez por año.

Calibración encoders, en el caso de que sean utilizados, será realizada en intervalos que no excedan un mes o antes de su primera utilización. El encoder será calibrado desplazándolo una longitud no menor a 20 pulgadas; y la distancia medida en el equipo podrá tener una desviación hasta del 1% de la distancia real movida.

Calibración para examinación.

Esta calibración incluye la “puesta a punto” de aquellos parámetros detallados en el Plan de Barrido, siguiendo las acciones requeridas para establecer los apropiados Retardo de Zapata (Wedge Delay), Velocidad y Sensibilidad; estableciendo una apropiada compensación de pérdidas por atenuación sobre la distancia o espesor del metal examinado (Distancia Amplitud Corrección [DAC] / Ganancia Corregida en el Tiempo [TCG]); y estableciendo un Nivel de Referencia Primario.

Bloques de Calibración para tubería

De acuerdo a lo establecido en la sección 2.2 de este documento.

Examinación.

Inspección de laminaciones mediante examinación con haz recto (para verificación de metal base adyacente al cordón de soldadura).

Cuando se realicen inspecciones para examinar el metal base adyacente a la soldadura (inspección de laminaciones), la examinación deberá ser realizada a en toda el área del metal base a través del cual pasará el haz ultrasónico, cuando se aplique el haz angular. Una técnica de examinación manual podrá ser utilizada barriendo el 100% del área adyacente a la soldadura con un 10% de traslape en cada barrido realizado.

Para realizar la inspección de laminaciones el instrumento de ultrasonido será configurado para producir una reflexión desde el lado opuesto de la pieza de prueba desde el 50% al 90% de la altura de la pantalla del equipo. Menores ajustes de sensibilidad pueden ser realizados para adaptarse a la rugosidad de la superficie inspeccionada.

Cualquier indicación evaluada como una reflexión laminar en el material base, que interfieran con las examinaciones del área de soldadura, deberán requerir una examinación con haz angular de tal manera que sea factible examinar el máximo volumen, y deberá ser anotada en el registro de examinación.

Inspección de soldadura (verificación de cordón de soldadura)

El volumen que será examinado con Ultrasonido, incluirá el metal de soldadura más una pulgada o el espesor del metal base adyacente a cada lado de la soldadura (el valor más pequeño, a menos que exista otra disposición acordada con el cliente).

El barrido con Arreglo de Fases (UTPA) será realizado utilizando la adquisición de datos automatizada incorporada en el equipo de ultrasonido, para lograr una cobertura completa de las soldaduras inspeccionadas, mostradas en el plan de barrido.

Todos los datos presentados en modo Scan-A deberán ser grabados para el área de interés en una forma no procesada, a una velocidad de digitalización mínima de cinco veces la frecuencia de examinación, y a incrementos de grabación máximos de:

- 0,040 in. (1 mm) para materiales de espesor 3 in. (75 mm)
- 0,080 in. (2 mm) para materiales ≥ 3 in (75 mm)

Para la inspección de juntas soldadas de penetración completa, uno o dos transductores serán usados para asegurar el 100% de la examinación de la soldadura y área afectada por el calor; en el caso de utilizar un solo transductor se deberá realizar DOS barridos, uno a cada lado del cordón de soldadura. Los transductores se colocarán de forma perpendicular al eje de la soldadura, considerando que todas las distancias y parámetros serán puestos a punto de acuerdo con el plan de barrido. Esta técnica será utilizada para detectar defectos paralelos a la dirección de la soldadura.

Las soldaduras que no se pueden examinar desde ambos lados de la junta mediante la técnica de haz angular se indicaran en el informe de inspección.

Los planes de barrido o exploración (Scan-Plan) deben prever la cobertura de la línea de fusión perpendicular al bisel de la soldadura.

El plan de barrido deberá prever que el haz ultrasónico cubra la raíz y talón de soldadura intersectando la superficie la superficie del material de prueba a un ángulo efectivo entre 30° y 70° (cuando se utilizan ondas de corte).

Para evaluación de indicaciones volumétricas, el nivel de referencia para calibración en el rango de ángulos mencionados, podrá basarse en un reflector tipo muesca y también con el reconocimiento de un bloque de referencia de agujeros taladrados al costado.

Para escaneado lineal, las limitaciones en cuanto a la velocidad de barrido están determinados por el equipo (velocidad de adquisición de datos especificada en la puesta a punto). Superar la velocidad de adquisición de datos originará caídas de datos. Si existe caída de datos, esta no deberá exceder de 1% de los datos grabados y no se podrán perder dos líneas consecutivas de datos grabados.

Manejo de datos

El técnico de Ultrasonido (Inspector Nivel II), en obra, será el responsable de mantener los archivos digitales (originados por el equipo de Ultrasonido) asociados de una manera clara y ordenada, con la información (mapa de soldadura) proporcionada por el cliente. El total de los archivos digitales del Ultrasonido será entregado al cliente, al final del proyecto. En el caso de existir requerimientos adicionales diferentes, respecto a este tema, se acordará con el cliente los lineamientos a seguir, al inicio del proyecto.

Luego de la culminación de cada inspección, se guardarán una copia de los datos arrojados por el equipo de Ultrasonido en memorias USB, PC, o discos externos.

Interpretación y evaluación

Criterio de Investigación

Reflectores que produzcan una respuesta mayor que el 20% del nivel de referencia serán investigados; la investigación diferenciará si las indicaciones son producto de discontinuidades o de indicaciones geométricas. Los reflectores determinados ser discontinuidades diferentes a indicaciones geométricas, entonces serán evaluados y sometidos a la aplicación de los criterios de aceptación y rechazo correspondientes.

Interpretación de indicadores de origen Geométrico/Metalúrgico

Indicaciones ultrasónicas de origen geométrico o metalúrgico serán interpretadas como sigue:

Indicaciones que se determinen originarse en una configuración superficial (tales como sobre monta de la soldadura o geometría de la raíz) o en la variación de la estructura metalúrgica de los materiales, pueden ser interpretadas como “indicaciones geométricas” y no necesitan ser categorizadas, dimensionadas ni sometidas a evaluación aplicando el

criterio de aceptación/rechazo correspondiente. Sin embargo se deberá documentar la amplitud máxima de las indicaciones y su localización.

Dimensionamiento de Discontinuidades

Discontinuidades serán dimensionadas utilizando técnicas que demuestren ser aceptables. La dimensión de las discontinuidades será definida por el rectángulo que contenga completamente el área de la discontinuidad.

Criterios de Aceptación y Rechazo (ASME B31.3)

De acuerdo a lo estipulado en el ASME B31.3 y será tratado en la sección 3.2.