

Práctica empresarial en ACIEND S.A.S como apoyo área de ensayos no destructivos en el desarrollo de procedimientos de calibración para equipos de ultrasonido por arreglo de fases (PHASED ARRAY)

Omar Andrés Vélez Peña

Director

Carlos Andrés Galán Pinilla

Magister en Ingeniería de Materiales

Codirector

Luis Alberto Acevedo Acuña

Ingeniero Industrial

Universidad Industrial De Santander Facultad De Ingenierías Físico-Químicas

Escuela De Ingeniería Metalúrgica Y Ciencia De Los Materiales

Bucaramanga

2023

Dedicatoria

A Dios por ser mi guía y fortaleza a lo largo de este arduo proceso académico.

A mi madre Gloria y hermanas Dayana, Valery, Margareth, por su apoyo incondicional y comprensión. Gracias por creer en mí y por alentarme a seguir adelante.

A mi amigo Sebastián Habib que a pesar de la distancia siempre me ha brindado su cariño incondicional y motivación a lo largo de estos años.

A María Camila Villamizar por su amor, su incondicionalidad, confianza y motivación, gracias por

acompañarme siempre en los momentos más felices y melancólicos.

A mis compañeros de clase, por el apoyo mutuo, las largas horas de estudio y por ser parte de este camino académico.

A todos los participantes y colaboradores que generosamente dedicaron su tiempo y conocimientos para contribuir a esta investigación.

Gracias a cada uno de ustedes por formar parte de este importante capítulo en mi vida

Agradecimientos

A la Universidad Industrial de Santander, la escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de materiales y sus docentes, que contribuyeron en mi aprendizaje en mi formación personal y profesional.

A mi director, Carlos Andrés Galán Pinilla por su apoyo, paciencia y asesoría a lo largo de esta práctica.

A la empresa ACIEND y a mis compañeros de trabajo por brindarme la oportunidad de llevar a cabo esta investigación y por proporcionar los recursos necesarios para llevar a cabo este proyecto.

Este proyecto no habría sido posible sin cada uno de ustedes. Gracias por ser parte fundamental en este logro.

Tabla de Contenido

	Pág.
Introducción	10
1. Objetivos	11
1.1 General:	11
1.2 Específicos:	11
2. Marco teórico	12
3. Metodología	15
4. Análisis y resultados	17
4.1 Guía de calibración para equipos de ultrasonido Phased Array.	17
4.1 Guía técnica para la interpretación de las datas adquiridas.	24
4.2 Caso de estudio de un trabajo de inspección realizado por la empresa ACIEND S.A.S.....	29
5. Conclusiones	36
Referencias Bibliográficas	38
Apéndices.....	40

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Equipos de ultrasonido y componentes seleccionados de la empresa ACIEND SAS.....	19
Tabla 2. Bloques de calibración para parámetros referencia	20
Tabla 3. Bloques de calibración de espesor de la empresa ACIEND SAS... ..	22
Tabla 4. Reporte de los datos e indicaciones encontradas en la junta inspeccionada.....	35

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. a) Ultrasonido convencional (b) Ultrasonido Phased Array.	14
Figura 2. Metodología desarrollada en la práctica empresarial en ACIEND SAS.....	15
Figura 3. Acoplante para ultrasonido carboximetilcelulosa.	23
Figura 4. Representación gráfica del E-Scan en el equipo Doppler Flexscan.....	25
Figura 5. Representación gráfica del S-Scan en el equipo Doppler Flexscan.....	26
Figura 6. Representación gráfica del C-Scan en el equipo Doppler Flexscan.....	27
Figura 7. Fotografía construcción del puente con la empresa AOO Ingeniería.	30
Figura 8. Participación en campo de la inspección realizada por ultrasonido Phased Array.....	31
Figura 9. Zapata utilizada en el proceso de inspección por ultrasonido Phased Array.....	31
Figura 10. Bloque de calibración tipo API de 14 pulgadas de diámetro y 19 mm de espesor.....	32
Figura 11. Bloque de calibración tipo API de 14 pulgadas de diámetro y 25.4 mm de espesor ...	32
Figura 12. Juntas longitudinales de 25mm y 19mm inspeccionadas en campo.....	33
Figura 13. Criterios de aceptación y rechazo de la norma AWS D1,1 de 2020.....	34
Figura 14. Escaneo de una junta con 500mm de longitud en el equipo Doppler Flexscan.....	35

Lista de Anexos

	Pág.
Apéndices A. Guía de calibración	40
Apéndices B. Guía para la interpretación de las datas.....	50
Apéndices C. Informe de juntas inspeccionadas a la empresa AOO.....	53
Apéndices D. Criterios de aceptación por ultrasonido API 1104 y ASME B31.3	54

Resumen

Título: Práctica empresarial en ACIEND S.A.S como apoyo área de ensayos no destructivos en el desarrollo de procedimientos de calibración para equipos de ultrasonido por arreglo de fases (Phased Array)*

Autor: Omar Andrés Vélez Peña**

Palabras Claves: Calibración Phased Array, Ensayos no Destructivos, Defectología en soldaduras, Ultrasonido Phased Array.

Descripción:

Los Ensayos No Destructivos (END) desempeñan un papel importante en la preservación de la integridad de materiales y componentes en la industria. En este contexto, los equipos de ultrasonido por *Phased Array*, representan una tecnología avanzada que ha revolucionado la forma en que se realizan las inspecciones. Estos sistemas ofrecen ventajas notables en términos de versatilidad y precisión en la detección de defectos en comparación con los métodos tradicionales de ultrasonido.

El objetivo principal fue contribuir al mejoramiento de la precisión y eficiencia de los procedimientos de calibración utilizados en la inspección mediante *Phased Array*. La práctica empresarial comprendió varias etapas clave. En primer lugar, se realizó una revisión exhaustiva de la documentación técnica y se evaluaron las normativas relevantes para comprender los requisitos y estándares en el campo de los END. Luego, se llevaron a cabo actividades prácticas que incluyeron la adquisición de datos de calibración en situaciones reales de inspección y un análisis en profundidad de los resultados obtenidos. Uno de los logros destacados de esta práctica fue la identificación de factores críticos que afectan la calidad de la calibración en equipos, esto implicó el análisis de las señales ultrasónicas registradas para identificar y caracterizar posibles defectos o discontinuidades en los materiales. Se desarrollaron recomendaciones específicas para abordar y mejorar la precisión de los procedimientos de calibración. Esta práctica empresarial proporcionó una valiosa contribución a la empresa ACIEND, al suministrar una base sólida para mejorar la calibración de equipos de ultrasonido y la interpretación de las datos para la detección de defectos. Los conocimientos adquiridos en esta experiencia tienen un impacto directo en la calidad y precisión de las inspecciones, lo que es esencial para garantizar la seguridad y calidad.

*Proyecto de grado (Modalidad de práctica empresarial)

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales.
Director: Carlos Andrés Galán Pinilla Codirector: Luis Acevedo

Abstract

Title: Business internship at ACIEND S.A.S as support in the non-destructive testing area in the development of calibration procedures for phased array ultrasound equipment*

Author: Omar Andrés Vélez Peña**

Keywords: Phased Array Calibration, Non-Destructive Testing, Weld Defectology, Phased Array Ultrasound.

Description:

Non-Destructive Testing (NDT) plays an important role in preserving the integrity of materials and components in industry. In this context, Phased Array ultrasound equipment represents an advanced technology that has revolutionized the way inspections are carried out. These systems offer notable advantages in terms of versatility and accuracy in detecting defects compared to traditional ultrasound methods.

The main objective was to contribute to the improvement of the precision and efficiency of the calibration procedures used in Phased Array inspection. The business practice involved several key stages. Firstly, a comprehensive review of the technical documentation was carried out and the relevant regulations were evaluated to understand the requirements and standards in the field of NDT. Then, practical activities were carried out that included the acquisition of calibration data in real inspection situations and an in-depth analysis of the results obtained. One of the notable achievements of this practice was the identification of critical factors that affect the quality of calibration in equipment, this involved the analysis of the recorded ultrasonic signals to identify and characterize possible defects or discontinuities in the materials. Specific recommendations were developed to address and improve the accuracy of calibration procedures. This business practice provided a valuable contribution to the ACIEND company, by providing a solid foundation to improve the calibration of ultrasound equipment and the interpretation of data for the detection of defects. The knowledge acquired in this experience has a direct impact on the quality and accuracy of inspections, which is essential to ensure safety and quality.

*Proyecto de grado (Modalidad de práctica empresarial)

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de los Materiales.
Director: Carlos Andrés Galán Pinilla Codirector: Luis Acevedo

Introducción

Las técnicas de Ensayo No Destructivo por Ultrasonido con equipos *Phased Array*, son ampliamente utilizadas en la industria para evaluar la detección de defectos en componentes como juntas soldadas. Una de las ventajas que tiene esta técnica es su versatilidad, capacidad particular de detección para cada aplicación, y una buena relación costo beneficio. Sin embargo, los equipos *Phased Array* deben ser configurados según los objetivos del ensayo a realizar, por medio de la calibración de las variables de operación, con el fin de garantizar un correcto funcionamiento y cumplimiento de los requisitos especificados en las normas, garantizando la confiabilidad y trazabilidad de las mediciones. De lo contrario, no se podrán obtener resultados confiables que puede ocurrir al tener errores en la configuración y variables de operación, que se verán reflejados en la calidad del servicio.

Considerando lo anterior, La empresa ACIEND S.A.S cuenta con cinco años de experiencia prestando el servicio de inspección de soldaduras con *Phased Array*, pero actualmenteno cuenta con criterios claramente definidos para la puesta a punto de los equipos, por lo que, durante la práctica empresarial se elaboró una guía práctica de calibración como una herramienta que le permita al inspector desarrollar su trabajo de forma confiable, garantizando así que una prueba de diagnóstico dará un resultado fiable a cualquier persona que utilice el equipo, optimizando la calidad y eficiencia de las inspecciones no destructivas. Además, de aportar al compromiso de ACIEND con la formación y desarrollo de su personal, que desempeña un papel fundamental en la ejecución exitosa de ensayos no destructivos. Se incluye un caso de estudio en el que participé durante esta práctica que ejemplifica el impacto positivo de ACIEND en sus servicios. Este caso ilustra cómo la empresa colabora estrechamente con sus clientes en la identificación de defectos y la seguridad de los productos.

1. Objetivos

1.1 General:

Apoyar el área de Ensayos No Destructivos en la empresa ACIEND S.A.S mediante lamodalidad de práctica empresarial realizada en Barrancabermeja, Santander.

Específicos:

Establecer una guía para la calibración de los equipos de ultrasonido por arreglo de fases (Phased Array) con el fin de garantizar la sensibilidad en la detección de defectos y los tiempos de inspección, logrando una operación eficiente de los equipos.

Elaborar una guía técnica para la interpretación de las datas adquiridas que garanticen unacorrecata manipulación según las indicaciones encontradas en los equipos.

Presentar un caso de estudio de un trabajo de inspección realizado por la empresa ACIEND S.A.S en el cual se haya realizado un proceso de calibración para su correcta aplicación.

2. Marco teórico

Inspección Ultrasonica: La base de este método es la medición de la propagación de ondas ultrasónicas en el ambiente analizado, en el cual las ondas ultrasónicas se propagan, reflejan, difractan y atenúan para determinar defectos superficiales, subsuperficiales e internos de piezas, para medir el espesor de películas protectoras, revestimientos en inspección de soldadura y piezas en servicio. Para la medición del espesor, su función se basa en la impedancia acústica, Z , que es la velocidad máxima de propagación del sonido multiplicada por la densidad del material, generando una reflexión del haz ultrasónico donde encuentra un material o un medio con diferencia significativa de Z . El sonido consiste en un conjunto de ondas mecánicas longitudinales generadas por las vibraciones de un objeto y propagadas a través de un medio elástico. (E. Santos De La Cruz, 2005). El equipo debe ser calibrado utilizando componentes que permitan establecer valores de referencia para su uso. El método de ultrasonido utiliza un instrumento que emite ondas en ciertos intervalos de frecuencia. Todos los materiales tienden a actuar en cierta medida como un filtro a través del cual pasan las ondas, atenuándolas o difundiéndolas. Las ondas de sonido oscilan a una frecuencia específica, que es el número de vibraciones o ciclos por segundo. Por lo tanto, los cambios asociados con el paso de ondas sonoras de alta frecuencia a través de un material ocurren en uno o más de cuatro parámetros: tiempo de tránsito, atenuación, reflexión y frecuencia. Estos parámetros suelen estar relacionados con cambios en las propiedades físicas del material, dureza, módulo de elasticidad, densidad, homogeneidad, estructura y grano. (W. Olarte, 2011)

Ultrasonido Phased Array: Los transductores ultrasónicos convencionales para ensayos no destructivos suelen constar de un elemento activo que puede generar y recibir ondas sonoras de alta frecuencia, o dos pares de elementos (duales), uno para transmisión y

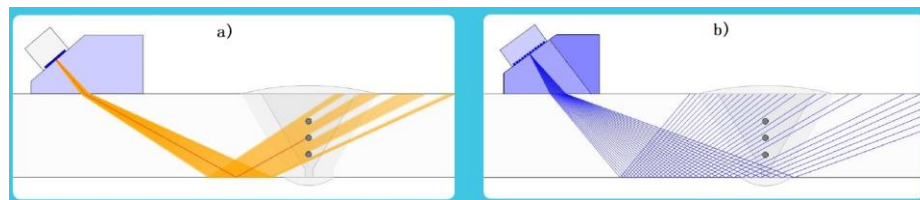
otro para recepción. Por el contrario, las sondas o transductores de Phased Array, generalmente constan de un solo transductor con múltiples elementos independientes, entre 16 a 256 elementos individuales, cada uno de los cuales puede oscilar individualmente para producir pulsos independientes. Por lo general, se organizan en una matriz lineal. Al igual que los transductores tradicionales, los transductores de Phased Array pueden diseñarse para contacto directo, como parte de un conjunto de haz en ángulo con una cuña (zapata), o para inmersión con acoplamiento acústico a través de la columna de agua. (ICONTEC, 1994)

Los sistemas de Phased Array también incluyen instrumentación informática sofisticada capaz de controlar las ondas ultrasónicas producidas por múltiples elementos, capturando y digitalizando los ecos de respuesta a medida que interactúan con los reflectores y reproduciendo esta información en una variedad de formatos estándar. A diferencia de los detectores de defectos convencionales, los sistemas de Phased Array pueden escanear el haz a lo largo de una ruta lineal utilizando diferentes ángulos de refracción o enfocarse dinámicamente a varias profundidades de manera electrónica, lo que aumenta la flexibilidad de las configuraciones de inspección. En el sentido más simple, los sistemas de Phased Array utilizan la física de la fase de la onda para cambiar el tiempo entre trenes de pulsos de ultrasonido salientes, de modo que los frentes de onda individuales generados para cada elemento del transductor se combinen entre sí para agregarse e interactuar de una forma predecible al disipar energía, dirigiendo y moldeando así eficientemente el haz de sonido. Esto se logra mediante pulsos generados por cada sonda o elemento transductor en momentos ligeramente diferentes. (NDT, 2007) El software, conocido determina tiempos de retardo específicos para la activación de cada conjunto de elementos para producir la forma de haz deseada, denominado ley focal, teniendo en cuenta las características de la sonda, la cuña o zapata y el plan de inspección configurado así como la geometría, la acústica del material de prueba y propiedades. La secuencia

de pulsos se programa y selecciona en el software del instrumento, y luego se envía una serie de frentes de onda individuales al material de prueba. Estos frentes de onda se combinan de forma constructiva y destructiva en un frente de onda principal que atraviesa el material de prueba y se refleja de las discontinuidades y los límites del material, como las ondas ultrasónicas convencionales. (Dubé, 2005) El haz se puede mover dinámicamente a través de diferentes ángulos, distancias focales para que el conjunto de la sonda pueda examinar el material de prueba en diferentes ángulos de visión desde una posición específica de acoplamiento. Esta dirección del haz es muy rápida, por lo que se puede escanear desde múltiples ángulos o profundidades focales en una fracción de segundo. (Olympus NDT Practical, 2004). A diferencia de los transductores tradicionales de un solo elemento, los transductores de Phased Array pueden organizar espacialmente los frentes de onda en función del tiempo de llegada y la amplitud de cada elemento. Cuando lo procesa el software del instrumento, cada ley focal devuelta representa un reflejo de un componente angular específico del haz, un punto específico a lo largo de la trayectoria lineal y/o un reflejo de una profundidad de enfoque específica. (Olympus NDT. Relating, 2014).

Figura 1.

a) Ultrasonido convencional (b) Ultrasonido Phased Array.



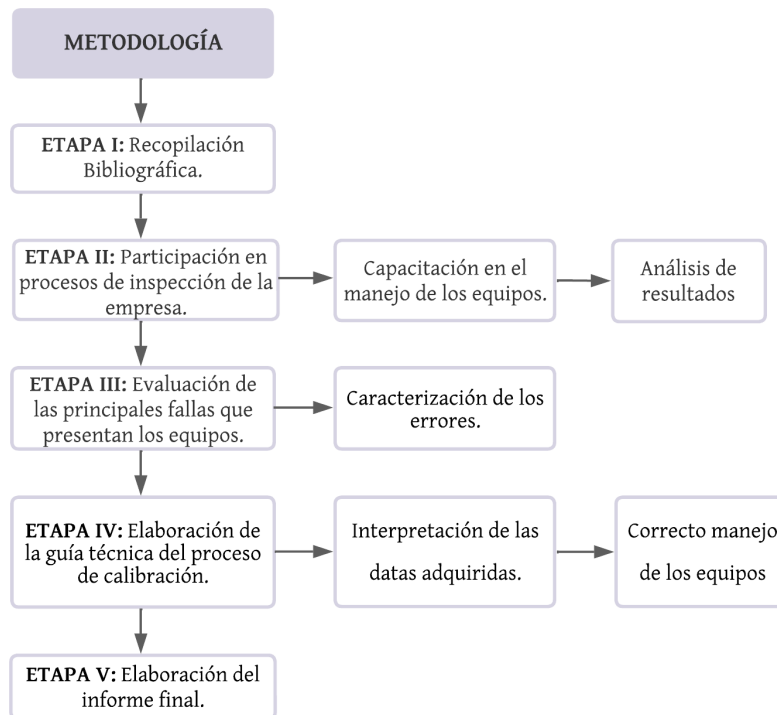
Nota. La figura, nos muestra una comparativa del reflejo angular del haz entre ultrasonido convencional y Phased Array.

3. Metodología

A continuación, en la figura 2 se presenta la metodología seguida para el desarrollo de la presente práctica empresarial en ACIEND SAS, bajo el convenio realizado con la escuela de ing. Metalúrgica y ciencia de los materiales, seguidamente se describe cada una de ellas.

Figura 2.

Metodología desarrollada en la práctica empresarial en ACIEND SAS.



Etapa I: Recopilación Bibliográfica: Se realizó una recopilación bibliográfica en libros, artículos científicos, tesis, normas, códigos de fabricación y reparación de tuberías, se hizo énfasis en las técnicas de Ensayos No Destructivos, principalmente en la técnica de Ultrasonido Phased Array. Además, del análisis de la información recopilada de la empresa, al igual que información obtenida por la experiencia adquirida en el campo con los inspectores certificados.

Etapa II: Participación en procesos de inspección de la empresa: La práctica tiene una duración de cuatro meses, en el cual participé en proyectos de inspección de la empresa realizando trabajos de oficina en la redacción de informes y análisis de casos en la que se aplicaron diferentes códigos como ASME, API y AWS, trabajos de campo en inspecciones de tuberías y capacitaciones realizando cursos nivel #2 en las siguientes técnicas: Tintas penetrantes, Partículas magnéticas y ultrasonido convencional, pagados por la empresa. Lo anterior se hizo con el fin de apoyar la asistencia en la aplicación de técnicas de ensayo, además del análisis de resultados y discusión de casos de la industria que permitieron ampliar la formación académica y profesional. Durante la práctica hubo tanto colaboración como supervisión por parte de personal calificado y de los directores del proyecto, comprobando así el cumplimiento, la calidad, fiabilidad de las actividades y confiabilidad de las operaciones realizadas. En el siguiente capítulo se presenta uno de los casos de estudio en los que participé.

Etapa III: Evaluación de las principales fallas que presentan los equipos: Dados los resultados y análisis obtenidos, se evaluaron los principales errores ocurridos durante la calibración y se sugirieron modificaciones o cambios en las ejecuciones relacionadas con los inspectores, e instrucciones que serán luego presentadas en una guía técnica, con una interpretación completa del proceso de calibración. Para lograr esto, fue importante revisar la documentación, códigos, relacionados en la bibliografía, los requisitos de los equipos y sensibilidades que serán comunicadas posteriormente con los inspectores, con el fin de poder determinar los requisitos y todo lo que se necesita saber para poder obtener mejor precisión en los procesos de inspección, logrando una operación eficiente de los equipos.

Etapa IV: Elaboración de la guía técnica: Se elaboró de una guía técnica para la interpretación de las datos adquiridas que garanticen una correcta manipulación según las

indicaciones encontradas en los equipos, con el fin optimizar el cumplimiento de los procesos realizados, que facilitará, promoverá y dotará de herramientas que permitirán al personal un conocimiento detallado y efectivo del manejo de los equipos. El manual de calibración es un elemento esencial de coordinación, gestión, evaluación y control que promueve la confianza en los trabajos realizados.

Etapas V: Elaboración del informe final: La práctica finaliza con un análisis, interpretación y resolución de los objetivos planteados. Toda la información se organizó y escribió en esta etapa, obteniendo el presente informe final.

4. Análisis y resultados

4.1 Guía de calibración para equipos de ultrasonido Phased Array.

Los procedimientos de calibración de los equipos por ultrasonido Phased Array no estaban estandarizado en la empresa ACIEND SAS, por lo que fue necesario ajustar el proceso de paso a paso y diseño de un formato guía para la correcta calibración, esta guía de calibración ha sido elaborada con el propósito de establecer un marco claro y detallado para la correcta verificación y ajuste de los equipos que permita contemplar toda la información necesaria a la hora de calibrar los equipos.

Para el desarrollo de la guía de calibración inicialmente se identificaron los equipos de ultrasonido que maneja la empresa, software de operación, palpadores, zapatas, conectores, el certificado de funcionamiento y las fechas para el uso de este, se recopiló información de los procedimientos y metodologías descritas en los códigos ASME V Art. 5 Métodos de Examen Ultrasónico de 2019. (ASME, 2019), se revisaron los procesos específicos, directrices y

recomendaciones proporcionadas según el fabricante del equipo, además de la información suministrada por los directivos de la empresa, como la experiencia adquirida por los inspectores en campo mediante el acompañamiento y ejecución de la inspección a las diferentes líneas de procesos y de transporte de Barrancabermeja y sus zonas aledañas.





El proceso de calibración se evaluó mediante los parámetros establecidos por los códigos ASME Sección V de 2019 (Art.5 T-541.3.2 calibración de equipos). Lo anterior, permitió identificar que las variables fundamentales en el proceso de calibración, las cuales son: la velocidad de la onda transversal (depende del material), el retardo de zapata (depende del deterioro por uso) y la sensibilidad de detección.

Como resultado de la revisión de los catálogos de los fabricantes, los equipos Phased Array de la empresa cuentan con características requeridas como módulos de conexión multicanal, software de generación de leyes focales, dispositivos de almacenamiento externo (flash USB), además permite ver varios tipos de Scan a la vez (E-Scan, S-Scan y C-Scan) durante la inspección según los requerimientos necesarios. Es importante revisar el funcionamiento perfecto y las condiciones de aptitud del conjunto de elementos que componen el sistema de inspección empleado, como: Monitor del equipo, palpador y zapata.

Los palpadores que se utilizan trabajan con frecuencias en un rango de 2 a 10 Mhz y con elementos de 16 y 32; además cuentan con zapatas angulares adecuados según el tipo de aplicación que se requiera. Para este procedimiento se utilizaron palpadores compatibles de 16 elementos y sus respectivas zapatas de la misma marca del equipo presentadas en la tabla 1.

Tabla 1.

Equipos de ultrasonido y componentes seleccionados de la empresa ACIEND SAS.

Equipo	Palpador	Zapata
 <p data-bbox="305 814 500 848"><i>SIUI SyncScan</i></p>	 <p data-bbox="662 814 1068 919">Palpador General electric de 16 elementos, 4 Mhz, 0.5 mm PITCH</p>	 <p data-bbox="1143 814 1386 884">Zapata marca SIUI referencia 8N55S</p>
Equipo	Palpador	Zapata
 <p data-bbox="266 1461 535 1495"><i>DOPPLER Flexscan</i></p>	 <p data-bbox="683 1461 1027 1577">Palpador Doppler de 16 elementos, 5 Mhz, 0.5 mm PITCH</p>	 <p data-bbox="1097 1461 1411 1535">Zapata marca Doppler referencia SD1-N55S-H</p>

Para la estandarización de los equipos, se utilizaron cuatro tipos de bloques de calibración, cada uno de los cuales está enfocado a una aplicación diferente, estos son el bloque de calibración V1 y V2 con los requisitos de dimensiones físicas establecidos por los estándares

ASTM E127 de 1994 y ASTM E428 de 2013 y los bloques para calibraciones tipo ASME o API sujetas al código ASTM E797/E797M-21 de 2021.

Los bloques de calibración V1 y V2 (Tabla 2), se utilizan para calibrar los parámetros de velocidad del sonido, el retardo del sonido en las zapatas, el ángulo y el punto de salida del haz ultrasónico.

Las pruebas de sensibilidad y el desarrollo de la curva DAC se realiza utilizando los bloques de calibración tipo ASME o API según el espesor que se va a inspeccionar (Tabla 3). De acuerdo con el Código ASME Sección V Art IV de 2020 numerales T 434.2.1. y T434.3, para bloques de calibración en platina y tubería nos permite utilizar bloques de hasta 0,9 o 1,5 veces el espesor requerido a inspeccionar, el material y el acabado de la superficie escaneada del bloque deben ser representativos y de características semejantes a la superficie del material que se inspecciona.

Tabla 2.

Bloques de calibración para parámetros referencia.




Bloque de calibración V1	Descripción
	<ul style="list-style-type: none"> • El espesor de 25mm del bloque se utiliza para ajustar el rango dinámico del detector, linealidad horizontal y el rango de detección de la onda-p • El arco de 50mm de diámetro y la perforación de 1,5mm de diámetro se utiliza para ajustar el ángulo y la

Tabla 3.

Bloques de calibración de espesor de la empresa ACIEND SAS.

Bloques tipo ASME	Bloques tipo API
	
<p>Bloques planos de diferentes espesores con entallas de profundidades sujetas al código ASTM E797.</p>	<p>Bloques curvos de diferentes diámetros y espesores con entallas de profundidades sujetas al código ASTM E797.</p>

El material de acoplamiento utilizado para los procesos de inspección es el Carboximetilcelulosa en polvo representado en la Figura 3, el cual es un polímero derivado de la celulosa, una sustancia natural que se encuentra en las paredes celulares de las plantas. El acoplante es un material que se utiliza para asegurar un buen contacto entre la zapata y la superficie del material que se está inspeccionando. De acuerdo con el código ASME sección V Artículo 4 numeral T – 433, su función principal es permitir que las ondas ultrasónicas se transmitan eficientemente a través del material, lo que facilita la detección de discontinuidades o defectos, por lo que se requiere que esté libre de impurezas o formación de burbujas.

La viscosidad del acoplante es importante, debe ser lo suficientemente viscoso como

para permanecer en su lugar durante la inspección, pero lo suficientemente fluido como para permitir una fácil aplicación y distribución. Debe tener un índice de refracción similar al del material que se está inspeccionando para evitar reflexiones o refracciones inapropiadas de las ondas ultrasónicas. Además, el acoplante debe tener la tendencia de permanecer donde es aplicado y de fácil de remoción, es importante limpiar el exceso de acoplante de la superficie del material.

El acoplante utilizado no es corrosivo y dañino en el material que se está inspeccionando, además de no ser perjudicial para la salud de los operadores o del medio ambiente.

Figura 3.

Acoplante para ultrasonido carboximetilcelulosa.



Finalmente, en el **Anexo A** se encuentra la guía descrita anteriormente, la cual está diseñada para ser utilizada por el personal de ACIEND SAS involucrado en la gestión de inspección por Ensayos no destructivos. Se espera que esta guía se convierta en una

herramienta invaluable para los inspectores, permitiendo continuar cumpliendo con los más altos estándares de calidad y precisión en todos los procesos.

4.1 Guía técnica para la interpretación de las datas adquiridas.

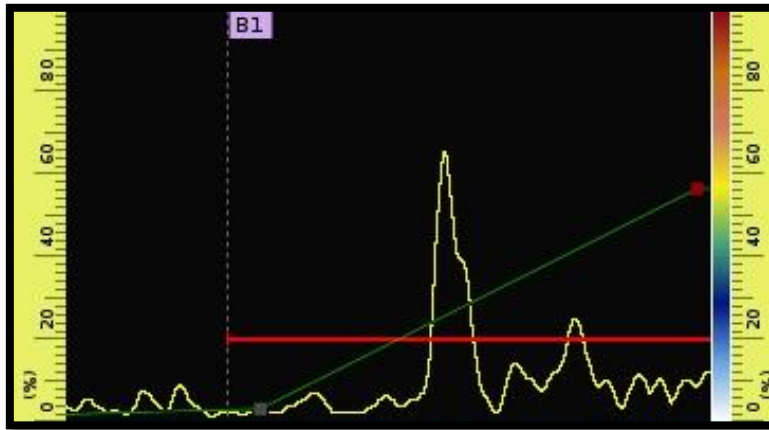
Los equipos de ultrasonido Phased Array utilizan un software de análisis para visualizar y procesar los datos, por medio de la ilustración de señales obtenidas que determinan la longitud y ubicación de los defectos identificados, esto incluye la representación gráfica de las ondas y la identificación de posibles defectos como grietas, inclusiones, poros, etc. El E-Scan, S-Scan y C-Scan son diferentes formas de visualizar y analizar datos recopilados durante una inspección por ultrasonido. Cada uno proporciona una perspectiva única sobre los resultados de la inspección.

El **E-Scan** muestra la amplitud de las señales reflejadas en función del tiempo. Cada pico en el gráfico representa una reflexión desde una interfaz o un defecto en el material. La ley focal del palpador desarrolla una serie de elementos que se orientan en un único ángulo fijo. Esta visualización es equivalente al haz de ultrasonido convencional.

En el E-Scan, se verán picos de diferentes alturas que corresponden a las reflexiones desde las interfaces o defectos en el material. La altura del pico indica la amplitud de la señal reflejada. La figura 4, nos muestra un ejemplo de cómo se vería representado el E-Scan en una inspección realizada a una soldadura, en donde el pico más alto reflejado nos señala una indicación encontrada, y en los laterales su porcentaje de amplitud.

Figura 4.

Representación gráfica del E-Scan en el equipo Doppler Flexscan.

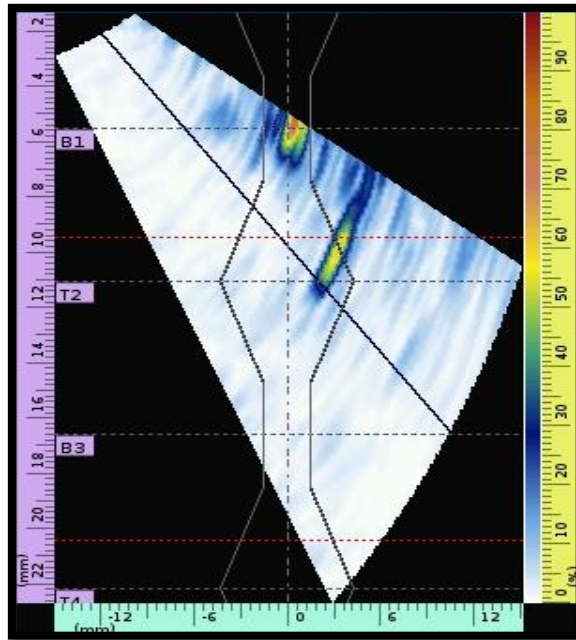


El **S-Scan** proporciona una imagen tridimensional del área o bisel bajo inspección. Muestra la profundidad y la posición lateral de los defectos. La ley focal desarrolla una serie de elementos en el palpador emitiendo haces sónicos con distintos ángulos, formando una trayectoria cónica del haz, esto permite observar la sección transversal del área inspeccionada en 2D.

En el S-Scan, se verá una imagen que representa la sección transversal del material. Los defectos se visualizan en función de su profundidad y ubicación lateral, observando un mapeo de defectos en áreas específicas de la soldadura. La figura 5, nos muestra la representación gráfica del S-Scan en una inspección realizada a una soldadura, observamos sección del área inspeccionada y las indicaciones encontradas por medio de una escala de colores entre más roja sea la zona, mayor es la reflectividad

Figura 5.

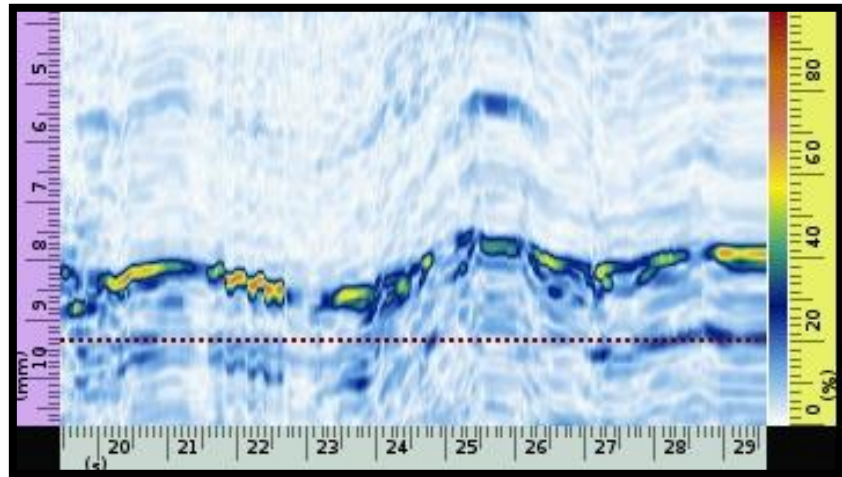
Representación gráfica del S-Scan en el equipo Doppler Flexscan.



El **C-Scan** es un escaneo que realiza en paralelo al eje axial de la soldadura permitiendo observar una vista general del área inspeccionada en una imagen permanente, proporcionando una representación gráfica del área de inspección en forma de una imagen con colores que indican la amplitud de la señal reflejada, obteniendo zonas con diferentes escalas de colores, entre más oscura sea la zona se encuentra una mayor reflectividad. La figura 6, nos muestra la representación gráfica del barrido realizado a una junta soldada, en donde se observan las indicaciones encontradas según la amplitud de la señal reflejada, y en la parte inferior nos señala el recorrido en mm del barrido.

Figura 6.

Representación gráfica del C-Scan en el equipo Doppler Flexscan.



La adquisición de datos en el barrido será realizada de manera manual dejando registro del 100% de la soldadura analizada.

Las indicaciones relevantes encontrados se caracterizarán de acuerdo con los pasos descritos en ASME V, Artículo 4 T-481. Las indicaciones encontradas no necesariamente son defectos. Los cambios en la forma de la soldadura debido a las conexiones de los extremos de la tubería o platino, los cambios en el refuerzo, el diseño del bisel e indicadores similares a la de su propia geometría pueden confundirse con un defecto, pero no son relevantes para su aceptabilidad.

Para clasificar las indicaciones encontradas se deben considerar las siguientes características:

- a) Interpretación del área que contiene el reflector según el procedimiento de inspección.
- b) Medición y verificación de las coordenadas del reflector. Prepare una visualización

transversal en la que se indique la ubicación del reflector como discontinuidades ubicadas entre la raíz y la presentación de la junta.

- c) Considerar los parámetros de preparación de la soldadura. Utilizar los diagramas C-Scan y S-Scan para aproximarse geoméricamente a la morfología de los defectos encontrados.

El tamaño y longitud de los indicadores existentes se evaluará con base en los datos obtenidos del análisis de las imágenes adquiridas por el equipo, el cual registra los valores del recorrido de escaneo en mm.

Luego de determinar la geometría aproximada del indicador correspondiente, se determina si se trata de un defecto o no, de acuerdo con los criterios de aceptación estipulados en la norma que se aplicará. Una vez realizado el análisis e interpretados los resultados, se deben evaluar las indicaciones relevantes encontradas para determinar si se consideran defectos o no. Las normas aceptación y rechazo utilizadas son:

- ASME B31.3: Tuberías de proceso a presión – Capitulo IX Tabla K341.3.2 (ASME, 2020)
- API 1104: Soldadura de Oleoductos, Gasoductos y Otras Tuberías. – Twenty Second Edition. (API, 2021)
- AWS D1.1: Soldadura estructural– Tabla 6.2. (AWS, 2020)

En el **Anexo B** se observa el desarrollo de la guía descrita anteriormente, donde se determinaron las variables más relevantes que influyen en la interpretación de datos, metodologías detalladas para la interpretación de datos y los resultados obtenidos. La guía se

sometió a un proceso de revisión interna por parte de expertos en el campo, garantizando su precisión y aplicabilidad. La guía se presenta en un formato accesible y organizado, que facilite su consulta y aplicación por parte del personal de la empresa.

4.2 Caso de estudio de un trabajo de inspección realizado por la empresa ACIEND S.A.S

En este caso de estudio, se describe una inspección realizada a la empresa AOO Ingeniería en la localidad de la Judía vía a San Andrés Santander, con el objetivo de evaluar la integridad y defectología de las soldaduras en una serie de estructuras metálicas en forma de platinas donde se está realizando la construcción de un puente, con el fin de evaluar la seguridad y confiabilidad del producto final.

La empresa AOO Ingeniería especializada en la construcción de obras de ingeniería civil, requería una evaluación exhaustiva de las soldaduras de las estructuras que conforman la construcción de un puente en el sector La Judía vía a San Andrés Santander.

Figura 7.

Fotografía construcción del puente con la empresa AOO Ingeniería.



Durante este caso de estudio participe en la empresa con funciones de acompañamiento, inspección y evaluación, teniendo en cuenta los siguientes objetivos:

- Verificar la calidad de las soldaduras y detectar posibles defectos que pudieran afectar la integridad estructural.
- Identificar cualquier indicio de corrosión u otros tipos de deterioro en las soldaduras.
- Evaluar el cumplimiento de los criterios de aceptación y rechazo bajo la norma AWS D1,1 de 2020.

Figura 8.

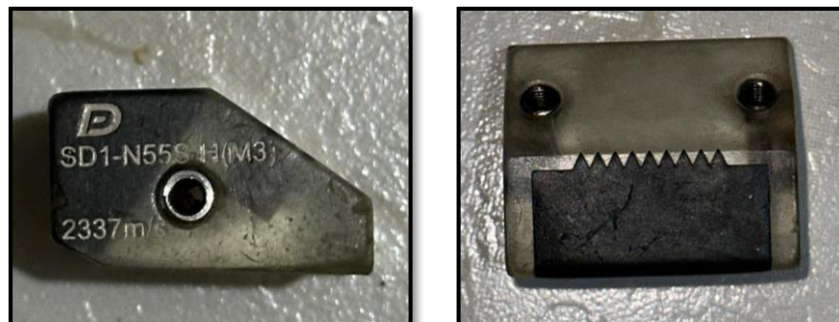
Participación en campo de la inspección realizada por ultrasonido Phased Array.



Se utilizó un equipo de ultrasonido Phased Array de la marca Doppler junto con el transductor propio del equipo y una zapata de referencia SD1-N55S-H(M3) de 2337 m/s ilustrada en la Figura 9.

Figura 9.

Zapata utilizada en el proceso de inspección por ultrasonido Phased Array.



Aplicando la guía de calibración (Anexo A), se ajustó la calibración y los parámetros de operación para adecuarse a las soldaduras en las platinas con espesores de 25mm y 19mm. Para la calibración se usó el bloque de calibración v2 y los bloques de calibración tipo API de espesores de 25,4mm y 19mm contemplados en la Figura 10 y 11.

Figura 10.

Bloque de calibración tipo API de 14 pulgadas de diámetro y 19 mm de espesor.



Figura 11.

Bloque de calibración tipo API de 14 pulgadas de diámetro y 25.4 mm de espesor.



Para la realización del escaneo se le pido al cliente tener las juntas limpias y grateadas a 1 pulgada por ambos lados para una mayor eficiencia y detección según el código ASME Sección V. Se realizó una revisión sistemática de cada soldadura, siguiendo un patrón de escaneo predefinido permitiendo visualizar toda el área de la soldadura sin dejar espacios vacíos, aplicando una correcta interpretación del E-scan, S-Scan y C-Scan según la guía del **Anexo B**, es importante destacar que en algunos tramos la superficie se encontró bastante irregular lo que dificultó el acople del palpador en la superficie. En la figura 12 se observan algunas de las juntas longitudinales soldadas que fueron inspeccionadas.

Figura 12.

Juntas longitudinales de 25mm y 19mm inspeccionadas en campo.



En la Figura 13 se observan los criterios de aceptación y rechazo de la norma AWS D1,1 de 2020, código que se ajusta para todo tipo de soldaduras estructurales, los cuales se ajustan para la inspección realizada. Se analizó la extensión y gravedad de los defectos para determinar su impacto en la integridad estructural y la seguridad del puente, registrando la

información suministrada por las datas, identificando y catalogando los posibles defectos, incluyendo porosidades, falta de fusión y discontinuidades varias.

Figura 13.

Criterios de aceptación y rechazo de la norma AWS D1,1 de 2020.

Grado de severidad de la discontinuidad	Tamaño de soldadura ^a "pulgadas" [mm] y Ángulo de incidencia										
	5/16 Hasta 3/4 [8-20]	> 3/4 Hasta 1-1/2 [20-38]	> 1-1/2 Hasta 2-1/2 [38-65]			> 2-1/2 Hasta 4 [65-100]			> 4 Hasta 8 [100-200]		
	70°	70°	70°	60°	45°	70°	60°	45°	70°	60°	45°
Clase A	+5& Menores	+2& Menores	-2& Menores	+1& Menores	+3& Menores	-5& Menores	-2& Menores	0& Menores	-7& Menores	-4& Menores	-1& Menores
Clase B	+6	+3	-1 0	+2 +3	+4 +5	-4 -3	-1 0	+1 +2	-6 -5	-3 -2	0 +1
Clase C	+7	+4	+1 +2	+4 +5	+6 +7	-2 hasta +2	+1 +2	+3 +4	-4 hasta +2	-1 hasta +2	+2 +3
Clase D	+8 &Mayores	+5 &Mayores	+3 &Mayores	+6 &Mayores	+8 &Mayores	+3 &Mayores	+3 &Mayores	+5 &Mayores	+3 &Mayores	+3 &Mayores	+4 &Mayores

En la figura 14 y tabla 4, se muestra un ejemplo de los resultados relevantes obtenidos en la inspección, indicaciones que fueron evaluadas por su longitud, distancia y profundidad. Esta junta inspeccionada fue rechazada ya que no cumplía con los criterios de aceptación y rechazo descritos en la Figura 13. Al ser reparada se encontró que la indicación se trataba de escoria atrapada (suciedad) ocasionada al momento de soldar.

En el **Anexo C** se presenta el informe completo de todas las juntas inspeccionadas, identificadas con su respectiva numeración y los resultados de la evaluación de las soldaduras.

Figura 14.

Escaneo de una junta con 500mm de longitud en el equipo Doppler Flexscan.

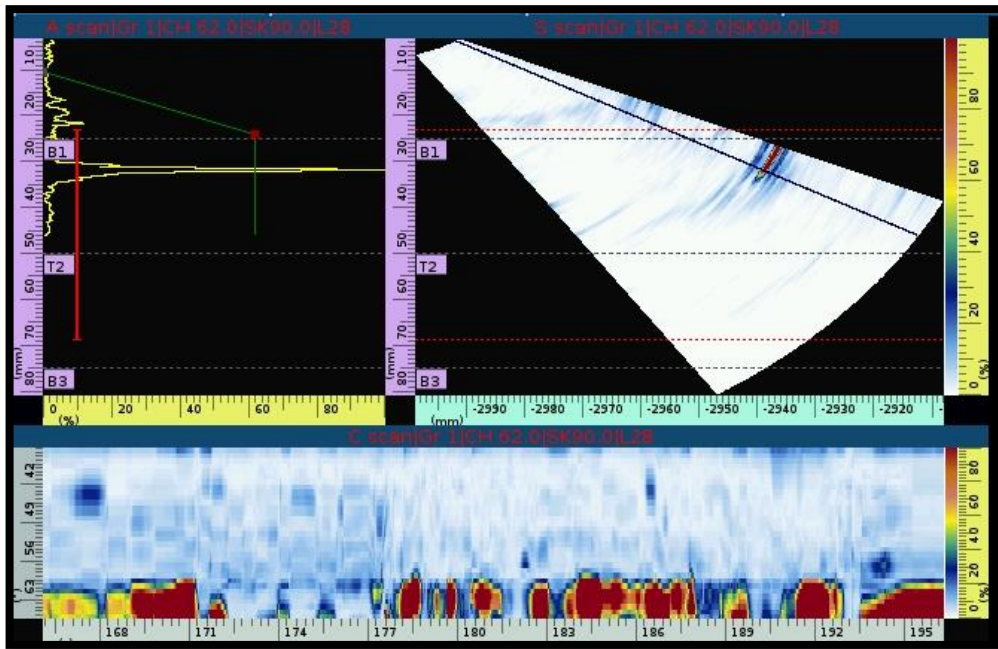


Tabla 4.

Reporte de los datos e indicaciones encontradas en la junta inspeccionada.

Junta	Longitud	Espesor	Estampe	Tipo de indicación
L9	500 mm	25 mm	29	Lineal
%	Longitud	Distancia	Profundidad	Evaluación
102.7	115 mm	15mm	17.4mm	R

La inspección reveló que la gran mayoría de las soldaduras cumplían con los estándares de calidad y no presentaban defectos significativos. Sin embargo, se identificaron algunas áreas con porosidades superficiales, faltas de fusión y escorias atrapadas que requerirían una reparación para garantizar la integridad estructural.

5. Conclusiones

La práctica empresarial en apoyo al área de ensayos no destructivos en el desarrollo de procedimientos de calibración para equipos de ultrasonido por arreglo de fases en la empresa ACIEND, cumplió con los objetivos propuestos a lo largo de los cuatro meses, donde se pudieron fortalecer los conocimientos adquiridos en el pregrado de la Carrera de Ingeniería Metalúrgica.

Se logró detectar varios de los problemas presentados a la hora de calibrar los equipos, por ejemplo:

- Las zapatas presentan desgaste lo cual afecta el acoplamiento con la superficie del bloque de calibración.
- Se necesita de una buena habilidad del inspector a la hora de calibrar para que sea lo más eficiente posible.
- Algunos de los bloques de calibración Tipo ASME y API no cumplen con las características necesarias para ser implementada una buena calibración, debido a que presentan zonas con alta corrosión por lo que es necesario su limpieza o cambio.

Todos estos problemas fueron evaluados e informados a los directivos de la empresa para que sean tomados en cuenta para mejorar y regular el manejo de los equipos.

Se determino que una buena calibración no solo garantiza la precisión y fiabilidad de los equipos, sino que también contribuye a mantener la integridad de los procesos de producción y control de calidad. Al seguir rigurosamente los procedimientos descritos en la guía desarrollada, aseguramos que los equipos operen en condiciones óptimas, lo que se

traduce en resultados consistentes y confiables para los clientes.

En el caso de estudio planteado se demostró que la inspección de las soldaduras en la producción de estructuras es un paso crucial para garantizar la calidad y seguridad. Las acciones correctivas recomendadas se implementaron de manera oportuna, asegurando la conformidad con los estándares de la norma y la satisfacción del cliente. Es fundamental llevar a cabo inspecciones periódicas y rigurosas para detectar y abordar posibles defectos en las soldaduras, incluso en entornos de producción de alta calidad. La tecnología de ultrasonido Phased Array se demostró como una herramienta valiosa en este proceso.

Referencias Bibliográficas

ASME. (2019). ASME Section V. Boiler and Pressure Vessel Code An International Code. Art 5.

ASTM. (1994). ASTM E127 Type Ultrasonic Reference Blocks.

ASTM. (2013). ASTM E428 Fabrication and Control of Metal, Other than Aluminum, Reference Blocks Used in Ultrasonic Testing.

ASTM. (2021). ASTM E797/E797M-21 Measuring Thickness by Manual Ultrasonic Pulse-Echo Contact Method.

ASME. (2020). ASME Sección V Art IV.

ASME. (2020). ASME B31.3. Process Piping.

API. (2021). API 1104: Standard for Welding Pipelines and Related Facilities.

AWS (2020). AWS D1.1: Structural Welding Code – Steel.

E. Santos De La Cruz, N. Cancino Vera, J. Yenque Dedios, D. Ramírez Morales, M. Palomino Pérez. (2005). "El ultrasonido y su aplicación," Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial. Vol. (8) 1, pp. 25- 28.

Fuquen Sanabria, O. M. (2014). Metodología para la inspección de soldadura de aceros austeníticos mediante ultrasonido (técnica) phased array.

ICONTEC (Julio de 1994). Guía para la inspección de soldadura mediante ensayos no destructivos, NTC 2120.

Moles, M., & Olympus, N. D. T. (2012). AUT–Black Magic or a Cost-Effective Alternative to Radiography?. Transportation (NCIT): Problems, Practices, and Policies, 104.

Moles, M., Dubé, N., Labbé, S., & Ginzel, E. (2005). Review of ultrasonic phased arrays for pressure vessel and pipeline weld inspections.

[Olympus NDT. (2007). Advances in Phased Array Ultrasonic Technology Applications. In Olympus NDT Advanced Practical NDT Series.

<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Advances+in+Phased+Array+Ultrasonic+Technology+Applications#3>

Olympus NDT Practical, A., & Series, N. D. T. (2004.). Introduction to Phased Array Ultrasonic Technology Applications.

Olympus NDT. Relating, S. T., Guide, S., Synergism, D., Guide, S., Acquisition, D. D., Measurements, F., Method, S. T., Erosion, C., Apparatus, V., Method, S. T., Materials, S., & Jet, C. L. (2014.). Previous Page CHAPTER 8 Monitoring – Internal Corrosion i . Cavitation erosion ii . Liquid impingement erosion.

W. Olarte, M. Botero, (Abril de 2011). "La detección de ultrasonido: una técnica empleada en el mantenimiento predictivo," Scientia et Technica, Año XVII, No 47, pp. 230-233.

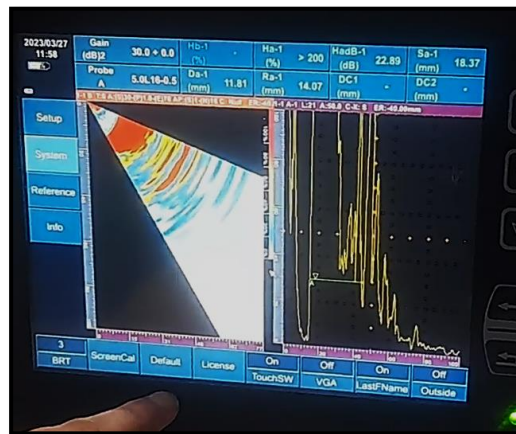
Apéndices

Apéndices A. Guía de calibración

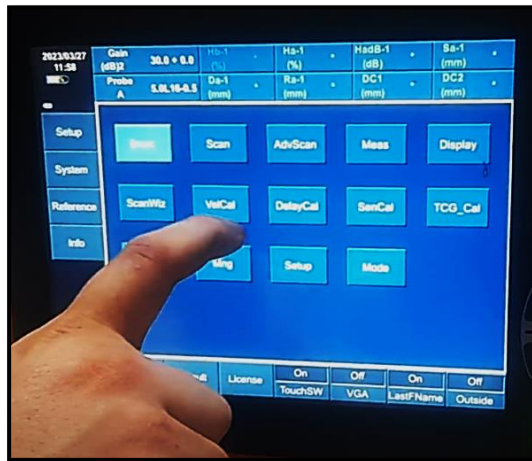
La siguiente guía fue diseñada para la utilización del personal ACIEND, con el fin de realizar una correcta calibración de los equipos por ultrasonido Phased Array.

Para esta guía se trabajó con un equipo marca **SIUI**, pero puede ser usada para cualquier equipo Phased Array.

1. Lo primero que se debe hacer es poner el equipo en modo Default para resetear todos los parámetros desde cero. Para ello vamos a *Basic*, luego *Setup* y seleccionamos *Default*. No debe quedar de la siguiente forma:



2. Para iniciar con nuestra la calibración, nuevamente vamos al menú principal (*Basic*) y la segunda línea de opciones que se observa corresponde a los pasos que se deben seguir para calibrar el equipo. Como se observa en la siguiente imagen:



Cada opción significa:

ScanWinz: Diseño de la junta, bisel, espesor, elegir zapata y palpador,

VelCal: La velocidad de calibración.

DelayCal: La calibración del retarde de la zapata.

SenCal: Calibración de sensibilidad.

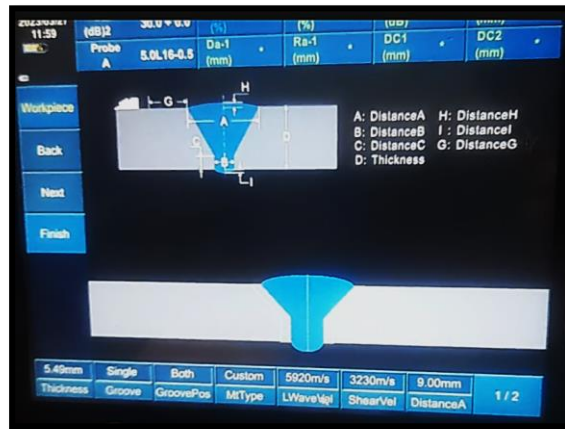
TCG_Cal: Calibración de la curva TCG

3. Diseño del bisel:

3.1 Iniciamos con Scan Winz. Lo primero que nos va aparecer, son los tipos de bisel que tiene guardado el equipo según el diámetro y espesor. Podemos elegir uno de ellos y editarlo, o crear uno desde cero con la opción *Add*.

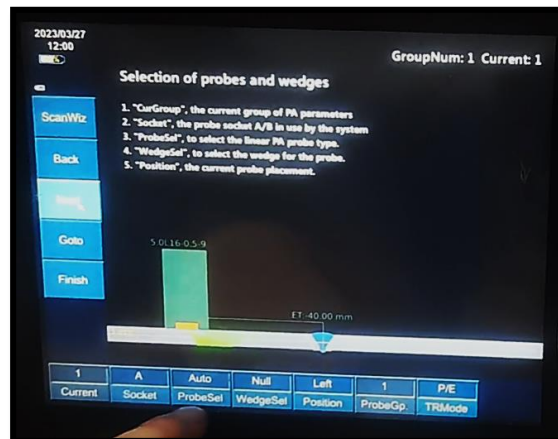


Como ejemplo vamos a crear el bisel para una tubería de 3" STD, a continuación, se observarán los parámetros que podemos editar en el bisel como: El espesor, la velocidad del material y las diferentes distancias con un gráfico representativo de cada una.



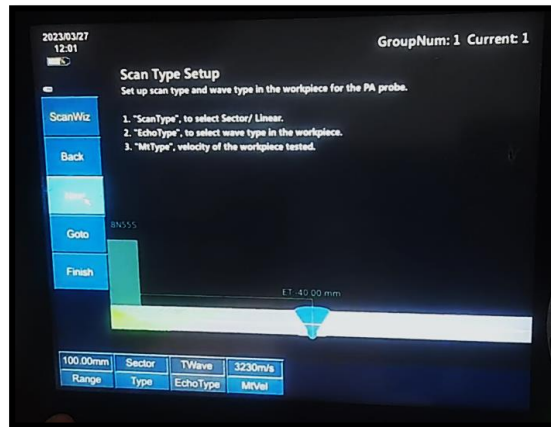
Luego de que tenemos el bisel hecho, le damos Finish y seguimos con el siguiente paso.

- 3.2 Ahora, vamos a elegir la posición y parámetros del palpador y zapata. En la opción *ProbeSel* nos van a aparecer los palpadores que puede usar el equipo y los tipos de zapata, elegimos la referencia del palpador y zapata que tenemos conectada.

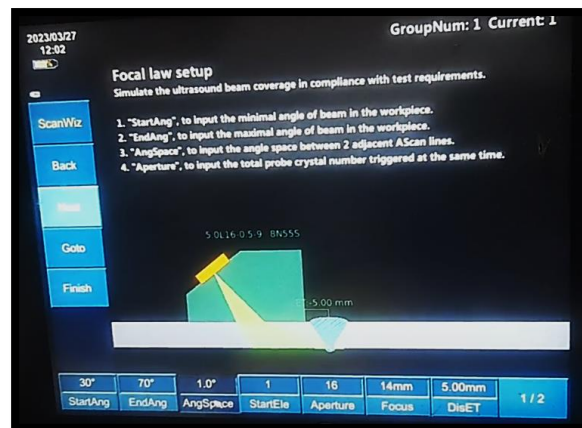


- 3.3 Luego de seleccionar el palpador y zapata, le damos a *next* para seguir con las siguientes opciones. Donde nos va a aparecer para cambiar el rango que vamos a usar para calibrar según el tipo de bloque de calibración que vayamos a usar.

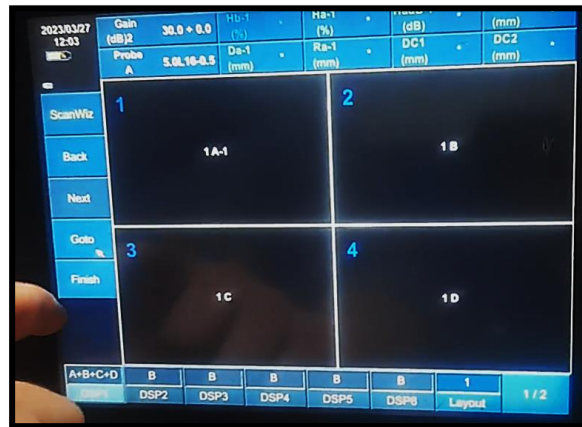
Por ejemplo, para el bloque de calibración V2, la velocidad va recorrer una trayectoria de 4 pulgadas, que son 101.6mm, por lo que se pone en rango un valor mayor a este.



3.4 Luego de ajustar el rango le damos a *next* para seguir con la siguiente opción, que nos permite mover la ubicación del palpador, sus ángulos, y la cantidad de elemento que maneja. Cambiamos estos valores de tal modo que todos los ángulos cubran completamente el bisel, como la siguiente imagen:



3.5 Oprimimos *next* y seguimos con el siguiente paso, en el cual nos va aparecer los tipos de visualizaciones que queremos que nos aparezcan en la interfaz (E-Scan, S-Scan, C-Scan), elegimos las que necesitamos y nos debe quedar de la siguiente forma:



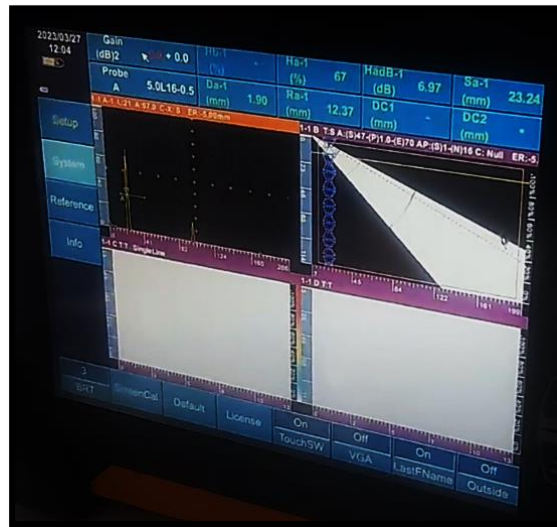
4. Calibración de velocidad:

4.1 Nos vamos a el panel principal (*Basic*) y seleccionamos la opción *Vel Cal*.

Tomamos el bloque de calibración que vayamos a utilizar para calibrar (V1 o V2), le ponemos acoplante a la superficie y ubicamos el palpador en el punto cero del bloque. Lo posicionamos como se observa en la siguiente imagen:



Nos van a aparecer dos ecos, movemos el palpador hasta encontrar el primero eco con la máxima amplitud que alcance a detectar, como se observa en la imagen:



4.2 Luego seleccionamos la opción de *Setup* y seleccionamos *VelCal*. Ahora vamos a grabar los dos puntos de distancia de cada eco que recorre la onda según el bloque de calibración seleccionado (para el V2, el primer punto es de 24.5mm y el segundo de 101.6mm), en *Refpoin1* y *Refpoin2*, también poner el valor del espesor al que se va a calibrar en *Testthk*.



4.3 Oprimimos *next* y vamos a observar las opciones para modificar y mover la compuerta, la vamos a ubicar en el primer eco y grabamos el primer punto en *Record*. Hacemos lo mismo para el siguiente punto ubicándolo en el segundo Eco. Como se observa en la imagen. Al guardar los dos puntos ya queda finalizada la calibración de la velocidad y oprimimos a *Finish*.



5. Calibración del retardo de la zapata:

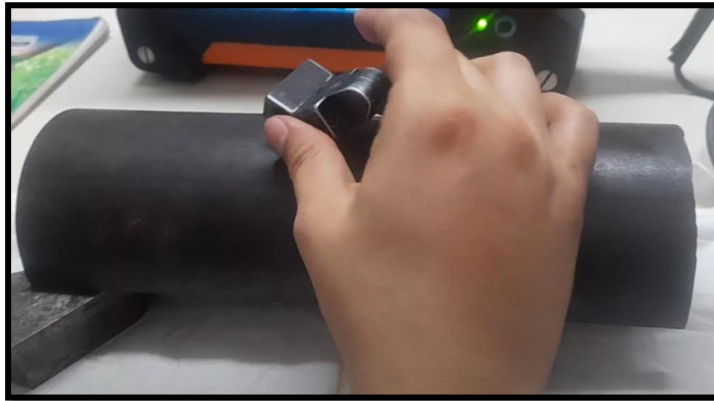
5.1 Después de tener calibrada la velocidad, seguimos con la opción *Delaycal*. Vamos a mantener el palpador en el bloque de calibración en la misma posición sin moverlo. Iniciamos calculando el retardo para el primer Eco, para ello ponemos nuevamente el valor del primer punto en *Refpoin*t (25.4mm para el bloque V2), le damos a *next* y luego seleccionamos la opción *CAL*. Lo podemos hacer de igual forma para el segundo Eco. Nos debe quedar de la siguiente forma:



6. Calibración de sensibilidad:

6.1 Pasamos a la opción de *SenCal*. Para ello ahora vamos a utilizar los bloques de espesor Tipo API o ASME del espesor que se desea calibrar. Estos bloques tienen unas entallas marcadas a cierta profundidad que nos servirán como referencia de

indicaciones para calibrar la sensibilidad de raíz y presentación de la soldadura. (La entalla de abajo del bloque nos servirá para raíz y la de arriba como presentación).

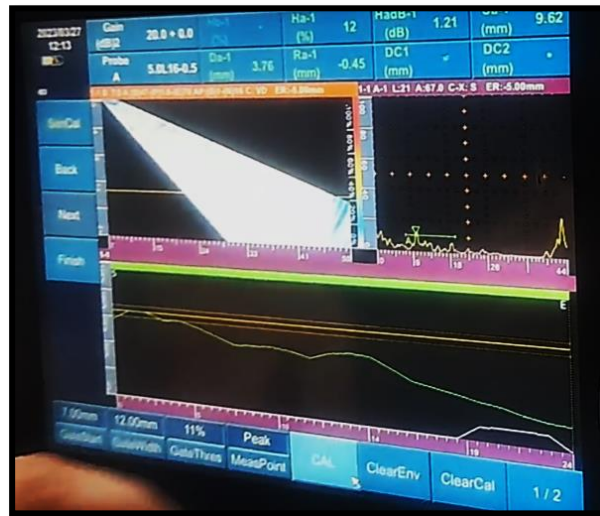


6.2 En las opciones que nos aparecen, vamos a modificar el rango por uno que sea máximo 3 veces el espesor de la calibración que se está haciendo, para observar mejor el Eco de raíz.

Iniciamos calibrando la sensibilidad de la raíz, para ello ubicamos el palpador al lado de donde está ubicada la entalla, buscamos la amplitud mayor del eco, procedemos a subir la ganancia del equipo hasta que el eco alcance una amplitud del 80%. Luego ubicamos la compuerta encima del eco desde donde empieza hasta donde termina. Como se muestra en la siguiente imagen:



6.3 Ahora empezamos a hacer movimientos suaves con el palpador para que la curva de la línea blanca que se muestra en la parte inferior suba completamente en todos los ángulos sin que la curva se salga del rango de visualización y finalizamos oprimiendo la opción **CAL**. Como se muestra en la siguiente imagen:



6.4 Vamos a realizar el mismo procedimiento, pero ahora ubicándonos en la entalla de presentación y tomando con la compuerta el eco de presentación hasta obtener el mismo resultado.

7. Calibración de la curva TCG:

7.1 Para este paso, aplicamos un proceso parecido al paso anterior. Primero calibramos con la entalla de raíz, para ello hacemos movimientos suaves con el palpador para que la curva de la línea blanca que se muestra en la parte inferior suba completamente en todos los ángulos sin que el eco supere el 80% y la curva se salga del rango de visualización, finalmente finalizamos oprimiendo la *record*, para que quede grabada.

7.2 Ahora pasamos la entalla de presentación oprimiendo la opción *Nextpoint*, situamos la compuerta en el eco de presentación, repetimos este mismo paso y lo guardamos quedando de siguiente forma:



Luego de seguir todos los pasos descritos anteriormente, queda completada toda la calibración del equipo.

8. Verificación de la calibración:

8.1 Nos vamos al panel principal del equipo (*Basic*) y seleccionamos *AdvScan*. Vamos a verificar que la calibración nos de lectura de las dos indicaciones del bloque (Raíz y presentación), para ello situamos el palpador en la raíz y presentación y observamos que el eco nos muestre en pantalla una subida de amplitud del eco del 80%. Si todos los pasos los ejecutamos bien, nos debe aparecer como la siguiente imagen:



Ya con la calibración finalizada y verificada, podemos pasar a realizar nuestro trabajo de inspección en una tubería o platina del espesor calibrado.

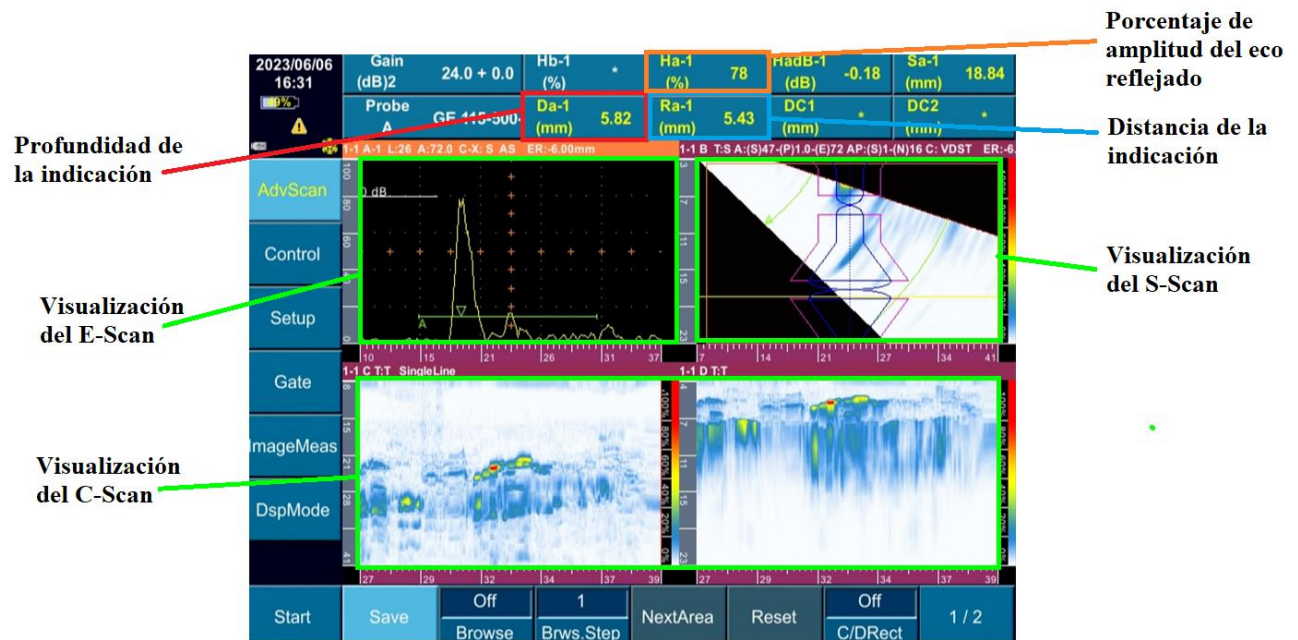
Apéndices B. Guía para la interpretación de las datas.

La siguiente guía fue diseñada para la utilización del personal ACIEND, con el fin de realizar una correcta interpretación de las datas generadas por los equipos de ultrasonido Phased Array. Para esta guía se trabajó con un equipo marca **SIUI**, pero puede ser usada para cualquier equipo Phased Array.

1. Visualización de escaneo:

Para una correcta interpretación de las datas, se debe tener conocimiento de los valores y tipos de visualizaciones que aparecen en el equipo a la hora de realizar un barrido.

Para ello, en la siguiente imagen se presenta un esquema de los parámetros más importantes en el escaneo de un barrido hecho a una junta soldada de una tubería de 3” STD:



- **Profundidad de la indicación:** es la distancia vertical en la que está ubicada la indicación encontrada.
- **Distancia de la indicación:** es la distancia horizontal en la que esta ubicada la indicación

encontrada.

- **Porcentaje de amplitud:** Es el porcentaje máximo que alcanzo el eco reflejado en la indicación encontrada.
- **E-Scan:** Es una ventana de visualización que muestra de manera gráfica la amplitud del eco reflejado por la indicación encontrada.
- **S-Scan:** Es una ventana de visualización que representa de manera gráfica la sección transversal (bisel) o área del componente inspeccionado, mostrando la ubicación de la indicación encontrada según la amplitud de la señal reflejada.
- **C-Scan:** Es una ventana de visualización que representa el recorrido en mm del escaneo, observando una vista general de las indicaciones encontradas según la amplitud de la señal reflejada.

2. Interpretación de los datos:

Lo primero es saber bajo que norma se van a evaluar las indicaciones encontradas (ASME, API o AWS), cada norma tiene sus propios criterios de aceptación y rechazo, para ello nos debemos dirigir a cada una de las normas y tenerlos claros.

Después de realizar el barrido e identificar las indicaciones encontradas, procedemos a observar los tipos de visualizaciones que nos ofrece el equipo.

Con el E-Scan vamos a observar mientras realizamos el barrido en que parte se está reflejando el eco originario de una indicación, entre mayor sea su amplitud, mayor es la gravedad de la indicación encontrada.


El S-Scan nos va a permitir observar en que parte del bisel o área se está presentando la indicación (raíz o presentación del bisel), además de representar por colores las indicaciones más críticas, entre más roja sea la indicación mayor es su gravedad.

El C-Scan nos permite observar el recorrido del barrido en mm, representado por colores en que parte se encuentran las indicaciones más críticas, entre más roja sea la indicación mayor es su gravedad.

Luego de identificada la indicación y que parte se encuentra, debemos trazar la longitud que recorre esta indicación (desde donde empieza hasta donde se termina), ya que es un factor importante para saber si se acepta o rechaza. Además, con los datos suministrados en la parte de arriba (Profundidad

y distancia), podemos encontrar la ubicación exacta en donde se encuentra la indicación. Finalmente, por medio de los criterios de aceptación y rechazo de la norma utilizada, procedemos a evaluar la indicación, teniendo en cuenta el porcentaje de amplitud alcanzado ya que, si supera el 80% y la longitud de la indicación es mayor a la permitida por la norma, la indicación debe ser rechazada y la soldadura mandada a reparar.

Apéndices C. Informe de juntas inspeccionadas a la empresa AOO.

ACIEND  REGISTRO DE CAMPO														
Empresa: AOO INGENIERIA							Fecha: 5/10/2023							
Proyecto:							Lugar: LA JUDIA SAN ANDRES							
Código y/o Norma: AWS D1.1							ODS							
INSPECCIÓN POR ULTRASONIDO: <input checked="" type="checkbox"/>			INSPECCIÓN VISUAL: <input type="checkbox"/>			LIQUIDOS PENETRANTES <input type="checkbox"/>			MEDICIÓN DE ESPESORES <input type="checkbox"/>			MT <input type="checkbox"/>		
ISOMÉTRICO	JUNTA	DIÁMETRO (pulgadas)	LONGITUD (mm)	ESPESOR (mm)	SCHEDULE	ESTAMPE (W)	INDICACIÓN				EVALUACIÓN		OBSERVACIONES	
							TIPO DE INDICACIÓN	%	LONGITUD (mm)	DISTANCIA (mm)	PROFUNDIDAD (mm)	OK		R
1	L1	-	500	19	-	29	-	-	-	-	-	OK		LADO A Y B
2	L2	-	500	19	-	29	-	-	-	-	-	OK		LADO A Y B
3	L3	-	500	19	-	29	LINEAL	112	75	13.00	7.6		R	LADO A Y B
4	L4	-	700	19	-	29	LINEAL	105.2	123	13.70	12.6		R	LADO A Y B
5	L5	-	500	19	-	27	-	-	-	-	-	OK		LADO A Y B
6	L6	-	500	19	-	27	-	-	-	-	-	OK		LADO A Y B
7	L7	-	500	19	-	27	LINEAL	122.6	147	18.30	14.7		R	LADO A Y B
8	L8	-	700	19	-	27	-	-	-	-	-	OK		LADO A Y B
9	L9	-	500	25	-	29	LINEAL	102.7	115	15.00	17.4		R	LADO A Y B
10	L10	-	500	25	-	29	-	-	-	-	-	OK		LADO A Y B
11	L11	-	500	25	-	29	LINEAL	92.4	98	21.20	17.6		R	LADO A Y B
12	L12	-	500	25	-	27	-	-	-	-	-	OK		LADO A Y B
13	L13	-	500	25	-	27	-	-	-	-	-	OK		LADO A Y B
14	L14	-	500	25	-	27	-	-	-	-	-	OK		LADO A Y B
15	T1	-	500	25	-	29	-	-	-	-	-	OK		LADO A Y B
16	T2	-	500	25	-	29	-	-	-	-	-	OK		LADO A Y B
17	T3	-	500	25	-	29	LINEAL	12.3	66	17.40	15.7		R	LADO A Y B
18	T4	-	500	25	-	29	-	-	-	-	-	OK		LADO A Y B
19	T5	-	500	25	-	29	-	-	-	-	-	OK		LADO A Y B
20	T6	-	500	25	-	27	-	-	-	-	-	OK		LADO A Y B
21	T7	-	500	25	-	27	LINEAL	92.7	133	16.00	15.9		R	LADO A Y B
22	T8	-	500	25	-	27	LINEAL	144.5	111	12.00	21.3		R	LADO A Y B
23	T9	-	500	25	-	27	-	-	-	-	-	OK		LADO A Y B
24	T10	-	500	25	-	27	LINEAL	103.4	84	19.10	19.2		R	LADO A Y B
25	P1	-	230	25	-	29	-	-	-	-	-	OK		LADO A Y B
26	A1	-	500	12	-	27	-	-	-	-	-	OK		LADO A Y B
27	A2	-	500	12	-	27	LINEAL	176	105	10.90	23.1		R	LADO A Y B
28	ACIEND S.A.S													

Apéndices D. Criterios de aceptación por ultrasonido API 1104 y ASME B31.3

<p>1. Las indicaciones deben ser considerados defectos cuando exista alguna de las siguientes condiciones:</p> <p>A) Las indicaciones son identificadas como grietas.</p> <p>B) Las indicaciones individuales con un tamaño vertical (a través del espesor de pared del tubo) son superiores a 1/4 del espesor de pared de la tubería.</p> <p>C) Indicaciones múltiples en la misma localización circunferencial con un tamaño (a través del espesor de pared del tubo) vertical sumado que excede 1/4 del espesor de pared del tubo.</p>	<p>4. Las indicaciones transversales (T) (diferentes de las grietas) deben ser consideradas volumétricas y evaluadas a partir del uso de los criterios para indicaciones volumétricas. La letra T se debe usar para designar todas las indicaciones transversales reportados.</p>
<p>2. Las indicaciones lineales superficiales (LS) (diferentes de las grietas) identificadas por estar abiertas a la superficie del diámetro exterior o del diámetro interior, deben ser consideradas defectos si existiera cualquiera de las siguientes condiciones:</p> <p>A) La totalidad acumulada de las indicaciones lineales superficiales en cualquier longitud continua de 300 mm (12 in) de soldadura excede 25 mm (1 in).</p> <p>B) La totalidad acumulada de las indicaciones lineales superficiales excede el 8% de la longitud de la soldadura.</p>	<p>5. Las indicaciones volumétricas agrupadas (VC) deben ser consideradas defectos cuando la dimensión máxima de las indicaciones VC excede 13 mm(1/2 in).</p>
<p>3. Las indicaciones lineales subsuperficiales (LB) (diferentes de las grietas), identificadas por estar debajo de la superficie, dentro de la soldadura y sin conexión a la superficie del diámetro exterior o del diámetro interior, deben ser consideradas defectos si existiera alguna de las siguientes condiciones:</p> <p>A) La longitud total acumulada de las indicaciones lineales subsuperficiales, en cualquier longitud continua de 300 mm (12 in) de soldadura, excede los 50 mm (2 in)</p> <p>B) La longitud total acumulada de las indicaciones lineales subsuperficiales excede el 8% de la longitud de la soldadura.</p>	<p>6. Las indicaciones volumétricas individuales (VI) deben ser consideradas defectos cuando la dimensión máxima de las indicaciones VI excede 3 mm(1/8 in), tanto de ancho como de largo</p>
<p>8. Cualquier acumulación de indicaciones relevantes (AR) debe ser considerada un defecto si existiera alguna de las siguientes condiciones:</p> <p>A) La longitud total acumulada de las indicaciones sobre el nivel de evaluación excede 50 mm (2 in) en cualquier longitud de 300 mm (12 in) de soldadura.</p> <p>B) La longitud total acumulada de las indicaciones sobre el nivel de evaluación excede el 8% de la longitud de la soldadura.</p>	<p>7. Las indicaciones volumétricas de raíz (VR), identificadas por estar abiertas a la superficie del diámetro interior, deben ser consideradas defectos si existiera alguna de las siguientes condiciones:</p> <p>A) La máxima dimensión de las indicaciones VR excede 6 mm(1/4 in), o un espesor nominal de pared, cualesquiera que sea menor.</p> <p>B) La longitud total acumulada de las indicaciones VR excede 3 mm (1/2 in), en cualquier longitud continúa de 300 mm (12 in).</p>

Las discontinuidades de tipo lineal son inaceptables, si la amplitud de la indicación excede el nivel de referencia y su longitud excede:

- a) 6mm (1/4 in) para $\bar{T}_w \leq 19 \text{ mm (3/4 in)}$
- b) $\bar{T}_w/3$ para $19 \text{ mm} < \bar{T}_w \leq 57 \text{ mm (2 1/4 in)}$
- c) 19 mm para $\bar{T}_w > 57 \text{ mm}$

Donde \bar{T}_w es el espesor nominal de pared.