

EVALUACIÓN DE LA TÉCNICA DE CORRIENTES DE EDDY EN LA
INSPECCIÓN DE DISCONTINUIDADES PRESENTES EN JUNTAS SOLDADAS
DE ACERO AL CARBONO

CARLOS FERNANDO FIGUEROA LIZCANO

JUAN FERNANDO PIESCHACÓN HURTADO

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIAS DE MATERIALES
BUCARAMANGA

2019

EVALUACIÓN DE LA TÉCNICA DE CORRIENTES DE EDDY EN LA
INSPECCIÓN DE DISCONTINUIDADES PRESENTES EN JUNTAS SOLDADAS
DE ACERO AL CARBONO

CARLOS FERNANDO FIGUEROA LIZCANO
JUAN FERNANDO PIESCHACÓN HURTADO

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO
METALÚRGICO

DIRECTOR

CARLOS ANDRÉS GALÁN PINILLA
MAGISTER EN INGENIERÍA DE MATERIALES

CODIRECTOR

MAURICIO RINCÓN ORTIZ
DOCTOR EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA MENCIÓN MATERIALES

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA METALÚRGICA Y CIENCIAS DE MATERIALES
BUCARAMANGA

2019

DEDICATORIA

El siguiente proyecto de grado va dedicado a mis padres, porque han sacrificado todos los beneficios que han podido darse en su vida por mí y por mi hermana. Porque no se han conformado con criar un estudiante, un ingeniero, un colombiano, sino que han llegado hasta el fondo para criar seres humanos, con su ejemplo y doctrina. Junto con ellos, a toda mi familia, quienes me han dado lo mejor que han podido en cada momento de mi vida, y me han corregido con amor procurando llevarme por el mejor camino posible. Y más especialmente, le dedico todo lo bueno que he conseguido y lo que pude haber logrado a la única razón de mi existencia, a aquel que me ama sin importar las veces que le he crucificado por mi ineptitud y falta de caridad. A ÉL, que desde el anonimato me da la fuerza para enfrentar la vida con alegría y deportividad, a ÉL quien me ha enseñado a superarme a mí mismo, a ÉL, que no deja de buscarme y de pedirme lo mejor de mí mismo. Todo el mérito le pertenece a la hierba amarga, a la piedra desechada por los arquitectos, al cordero sacrificado; al Padre, al Hijo y al Espíritu Santo.

Juan Fernando Pieschacón Hurtado

AGRADECIMIENTOS

Agradezco enormemente a la Universidad Industrial de Santander, a todos los profesores y técnicos quienes, en el cumplimiento de su deber, han guiado mi mente y espíritu para construir sobre nosotros los estudiantes el futuro del mundo, y en especial a aquellos que han realizado su trabajo con tanto amor que superaron lo que les exigía el deber y llegaron donde no muchos se atreven para mejorar la vida de cada uno de los que con ellos comparten un tiempo y un espacio de trabajo. Agradezco al profesor Carlos Vélez por su apoyo e instrucción en esta técnica, que ha representado para él el camino de desarrollarse en el mundo profesional y aportar de forma positiva para el bienestar de la humanidad. Agradezco igualmente a Jorge Pieschacón, quien nos proporcionó apoyo para la obtención e instalación del Software PC5, pieza indispensable de este proyecto. Finalmente, agradezco a las personas que hacen parte del “grupo mágico” de whatsapp, quienes nos tendieron una mano cuando el profesor Carlos Galán lo pidió. A ellos y a todos quienes nos han apoyado a nuestras espaldas, muchas gracias y que Dios se los pague.

Juan Fernando Pieschacón Hurtado

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	14
1. ANTECEDENTES.....	15
2.OBJETIVOS.....	19
2.1.OBJETIVO GENERAL.....	19
2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
3.METODOLOGÍA	20
3.1. ETAPA 1. REVISIÓN TEÓRICA.....	20
3.2. ETAPA 2. CAPACITACIÓN SOBRE EL EQUIPO GE PHASEC 3D	21
3.3. ETAPA 3. MEDICIONES SOBRE LA SOLDADURA CON DEFECTOS CERTIFICADOS FLAWTECH TP-22.....	21
3.4. ETAPA 4. ENSAYOS SOBRE UNA SOLDADURA DEL LABORATORIO DE END.....	24
3.5 ETAPA 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	27
3.6 ETAPA 6. ELABORACIÓN DEL MANUAL DE USUARIO DEL EQUIPO PHASEC 3D PARA SOLDADURAS.....	28
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	29
4.1. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS A LA SOLDADURA CERTIFICADA FLAWTECH TP-22	29
4.2. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS A LA SOLDADURA W04	32
5. CONCLUSIONES.....	40
6. RECOMENDACIÓN.....	41
BIBLIOGRAFIA	
ANEXOS	

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 1. Configuración de la sonda 800P01LU para inspeccionar la soldadura con defectos certificados Flawtech TP - 22	22
Tabla 2. Parámetros usados en el ensayo por radiografía industrial para la soldadura certificada Flawtech TP - 22	24
Tabla 3. Parámetros de inspección usados para las técnicas de ECT, MT y RX en la soldadura W04.....	27
Tabla 4. Capacidad de detección de los defectos presentes y dimensionamiento de profundidad en la soldadura Flawtecg TP – 2 a través de los ensayos no destructivos aplicados.....	32
Tabla 5. Capacidad de detección de los defectos presentes en la soldadura W04 por cada uno de los ensayos no destructivos aplicados.....	38

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Señales obtenidas por la variación de la inclinación en una grieta.....	18
Figura 2. Diagrama de flujo sobre la metodología del proyecto.....	20
Figura 3. Certificación de los defectos presentes en la soldadura Flawtech TP – 22	22
Figura 4. Dimensiones de las entallas en el bloque patrón 31A008.....	23
Figura 5. Soldadura W04 presente en el laboratorio de END de la escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales.....	25
Figura 6. Bloque patrón de la soldadura W04.....	25
Figura 7. Dimensiones de las entallas en el bloque patrón fabricado a partir de la placa W04.....	26
Figura 8. Curvas de calibración del bloque patrón 31A008 usando la sonda 800P01LU.....	29
Figura 9. Película radiográfica de la soldadura Flawtech TP – 22.....	30
Figura 10. Ubicación y numeración de las grietas en el cordón de la soldadura W04	33
Figura 11. Resultados del ensayo de partículas magnéticas húmedas fluorescentes	34
Figura 12. Película radiográfica de la soldadura W04 con las grietas detectadas	34
Figura 13. Curvas de calibración del bloque patrón W04 usando la sonda 130P3	35
Figura 14. Señales percibidas por el equipo Phasec 3d pertenecientes a las 10 grietas superficiales en la soldadura W04	36

LISTA DE ANEXOS

	Página
ANEXO A.....	45

RESUMEN

TÍTULO: EVALUACIÓN DE LA TÉCNICA DE CORRIENTES DE EDDY EN LA INSPECCIÓN DE DISCONTINUIDADES PRESENTES EN JUNTAS SOLDADAS DE ACERO AL CARBONO*

AUTORES: CARLOS FERNANDO FIGUEROA LIZCANO Y JUAN FERNANDO PIESCHACÓN HURTADO**

PALABRAS CLAVE: ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS, CORRIENTES DE EDDY, SOLDADURAS.

DESCRIPCIÓN: La implementación de Ensayos No Destructivos, END, en la inspección de piezas, especialmente en soldaduras de elementos metálicos, contempla varias opciones, por lo que el avance de la tecnología permite desarrollar técnicas y equipos cada vez más sofisticados y versátiles que suministren mayor cantidad de información de manera más confiable. En el presente trabajo se evaluó la técnica de Corrientes Inducidas o de Eddy (ECT) inspeccionando dos tipos de soldaduras, siendo la primera una soldadura certificada de acero al carbono marca Flawtech y la segunda una soldadura de bajo carbono con múltiples grietas superficiales, llamada W04 para este proyecto. Con el fin de evaluar la capacidad de detección de la técnica, se comparó con técnicas convencionales de Ensayos No Destructivos, como Inspección Visual (VT), Partículas Magnéticas (MT) y Radiografía Industrial (RX). El ensayo por Corrientes de Eddy permitió el dimensionamiento de una grieta presente en la soldadura certificada, realizando la comparación del tamaño de la indicación obtenida con la del bloque de calibración correspondiente. Por otra parte, en la soldadura W04, al tener una composición química diferente a la del metal base, la capacidad de detección del equipo se vio afectada y esto hizo que las señales de las grietas percibidas variaran en su magnitud. Sin embargo, todas las grietas fueron detectadas con rapidez y se pudo establecer un dimensionamiento aproximado de estos defectos, teniendo en cuenta la información obtenida por los ensayos convencionales ya mencionados.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencias de Materiales. Director: Carlos Andrés Galán Pinilla, Magister en Ingeniería de Materiales.

ABSTRACT

TITLE: EVALUATION OF EDDY'S CURRENT TESTING IN THE INSPECTION OF DISCONTINUITIES PRESENT IN CARBON STEEL WELDED JOINTS

AUTHORS: CARLOS FERNANDO FIGUEROA LIZCANO AND JUAN FERNANDO PIESCHACÓN HURTADO**

KEYWORDS: NON-DESTRUCTIVE TESTING, EDDY'S CURRENT, WELDS.

DESCRIPTION: The implementation of non-destructive testing in the inspection of components, especially in the welds of metallic elements, contemplates several options, due to the advance of technology, it is allowed to develop more sophisticated and versatile equipments which provide a proper amount of more reliable information. In the present document, the technique of Eddy Current Testing (ECT) was evaluated testing two types of welds, the first one being a carbon steel certified weld Flawtech and the second one a low carbon steel with multiple superficial cracks, called W04 for this project. In order to test the capacity of detection of the technique, it was compared with the usual non-destructive techniques like Visual Testing (VT), Magnetic Particles Testing (MT) and Industrial Radiography Testing (RX). The test with Eddy Currents allowed the sizing of the crack in the certified weld, comparing the resulting size of the indication with the indication of the test block. On the other hand, in the W04 weld, as the composition of the weld differs from the one of the base metal, the capacity of detection of the equipment was affected and this made a variation in the perceived crack signals. However, all cracks were detected swiftly and it was possible to establish an approximate sizing of the defects, taking into account the information acquired by the usual testing techniques.

* Bachelor Thesis

** Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencias de Materiales. Director: Carlos Andrés Galán Pinilla, Magister en Ingeniería de Materiales.

INTRODUCCIÓN

En la industria a nivel mundial los Ensayos No Destructivos son de vital importancia para conocer las características de un material y/o realizar una evaluación de la integridad de los materiales, elementos de máquinas y equipos, sin comprometer o afectar su utilidad posterior. Uno de estos ensayos es el de Corrientes de Eddy, que fundamenta su funcionamiento en la interacción de corrientes inducidas en el material, con los defectos planares presentes en este. Para esto son necesarios equipos especiales capaces de generar campos electromagnéticos variables gracias a una bobina y de detectar la impedancia recibida sobre esta. Uno de estos equipos se encuentra en la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencias de Materiales, donde no se le estaba dando uso debido al desconocimiento de su técnica y funcionamiento. Con el objetivo de proporcionar a la Escuela una técnica adicional a la de los ensayos convencionales, para preparar a sus estudiantes en esta disciplina, activar proyectos de investigación en el área de los Ensayos No Destructivos, y apropiarse de este conocimiento, el presente proyecto evaluó la técnica de Corrientes Inducidas o Corrientes de Eddy (ECT) en dos soldaduras de acero al carbono, así como el proceso de calibración y puesta a punto del equipo para realizar una correcta inspección en cordones de soldadura. Los resultados de este proyecto facilitan el análisis de las señales obtenidas y la capacidad de detección de las Corrientes de Eddy (ECT) con respecto a las técnicas convencionales de Inspección Visual (VT), Partículas Magnéticas (MT) y Radiografía Industrial (RX) al determinar la ubicación de las discontinuidades y sus dimensiones.

1. ANTECEDENTES

El estudio sobre el electromagnetismo realizado en el siglo XIX, especialmente por los científicos *André-Marie Ampère* y *Michael Faraday*, marcó el comienzo de una revolución energética y abrió un nuevo mundo de posibilidades para los avances tecnológicos y científicos. Según las leyes de inducción electromagnética, definidas por *James Clerk Maxwell*, se modeló la interacción de una bobina y un conductor, cuando circula sobre esta una corriente alterna. Este fenómeno, descubierto por el físico francés *Léon Foucault*, consiste en la presencia de unas corrientes parásitas inducidas por una variación del campo magnético respecto al elemento conductor. Este fenómeno, aplicado a los ensayos no destructivos, se ha implementado en la inspección de elementos de la industria aeroespacial, nuclear y automotriz entre otras, debido a su sensibilidad para detectar ciertos tipos de defectos¹. En las páginas siguientes se expondrá brevemente la teoría detrás del ensayo de Corrientes de Eddy (ECT)². En las últimas décadas se han realizado ensayos que demuestran la eficiencia de la técnica y su evolución, brindando menores tiempos de inspección y mayor sensibilidad. Ensayos donde se evalúa la detección de grietas de fatiga en tubos de aluminio para generadores de vapor³, donde se comparan los resultados obtenidos para ensayos realizados sobre placas de acero inoxidable AISI 304 con defectos maquinados al reverso de la placa a diferentes distancias de la superficie⁴. Igualmente, investigaciones teóricas sobre la influencia de la forma de la bobina en los parámetros electromagnéticos (voltaje) del ensayo

¹ GHONI, R. DOLLAH, M. SULAIMAN, A. IBRAHIM, F. (2014). *Defect characterization based on eddy current technique: technical review*. Hidawi Publishing Corporation.

² BLITZ, J. (1997). *Electrical and Magnetic Methods of Non-destructive Testing*. Chapman & Hall. 2nd Edition.

³ DO HAENG, H. DEOK HYUN, L. MYUNG SIK, C. UN CHUL, L. SEON JIN, K. JUNG HO, H. (2005). *Discrimination method of through-wall cracks in steam generator tubes using eddy current signals*. Elsevier Academic Press.

⁴ ALMEIDA, G. GONZALEZ, J. ROSADO, L. VILAÇA, P. SANTOS, T. *Advances in NDT and materials characterization by eddy currents* (2013). Elsevier Academic Press

en función de la dimensión de los defectos⁵, sobre la señal obtenida configurada en un C-Scan en función de la parte real de la impedancia para un elemento metálico⁶, y donde se compara la capacidad de detectar el porcentaje de austenita en un acero inoxidable trabajado en frío respecto a otros ensayos más específicos⁷.

Para entender el análisis de impedancia, conviene definir la matemática detrás de la técnica, donde se debe establecer un campo magnético B en términos de un vector potencial magnético A, que se define como:

$$\text{curl } A = \text{rot } A = B \quad (1)$$

Donde curl/rot es un operador matemático llamado derivada rotacional, usado en cálculo vectorial. Para coordenadas cilíndricas se define:

$$\text{curl } A = \left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial A_z}{\partial \varphi} - \frac{\partial A_\varphi}{\partial z} \right) \hat{\rho} + \left(\frac{\partial A_\rho}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial \rho} \right) \hat{\varphi} + \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial(\rho A_\varphi)}{\partial \rho} - \frac{\partial A_\rho}{\partial \varphi} \right) \hat{z} \quad (2)$$

Además, A se relaciona con el campo eléctrico E de la forma:

$$E = - \frac{\partial A}{\partial t} \quad (3)$$

Con base en lo anterior, Dodd y Deeds⁸ encontraron los componentes normalizados de impedancia de una bobina mientras escanea una superficie conductora sin defectos. Asumiendo un material homogéneo, isotrópico y con simetría angular φ , obtuvieron la siguiente ecuación:

$$\frac{\partial^2 A}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial A}{\partial r} + \frac{\partial^2 A}{\partial z^2} - \frac{A}{r^2} - \omega \mu \sigma A i = -\mu J \quad (4)$$

Donde ω es la frecuencia angular, μ la permitividad magnética, σ la conductividad eléctrica, J la densidad de corriente e i el número complejo equivalente a $(\sqrt{-1})$.

⁵ ZHOU, H. *et al.* *Study on the optimization of Eddy Current testing coil and the defect detection sensitivity* (2015). Elsevier Academic Press.

⁶ GROSSO, M. *et al.* *Eddy Current and inspection of coatings for storage tanks* (2018). Journal of materials, research and technology.

⁷ SILVA, V. *et al.* *Eddy Current characterization of cold-worked AISI 321 stainless steel* (2018). Journal of materials, research and technology.

⁸ DODD, C. DEEDS, W. (1968) *Analytical solutions to Eddy Currents probe-coil problems*. Journal of Applied Physics 39, 2829.

Se resuelve A para una bobina en el aire a una altura l de la superficie del material y al evaluar la ecuación mediante funciones de Bessel y sus respectivas condiciones límites de continuidad, se obtiene:

$$A^I(r, z) = \int_0^{\infty} B_1(\alpha) e^{-\alpha z} J_1(\alpha r) d\alpha \quad (5)$$

$$A^{II}(r, z) = \int_0^{\infty} [C_2(\alpha) e^{\alpha z} + B_2(\alpha) e^{-\alpha z}] J_1(\alpha r) d\alpha \quad (6)$$

$$A^{III}(r, z) = \int_0^{\infty} C_3(\alpha) e^{\alpha_1 z} J_1(\alpha_1 r) d\alpha \quad (7)$$

Donde B₁, B₂, C₂ y C₃ son “constantes” (dependen de otros valores), y α es una “constante” de separación definida como:

$$\frac{1}{A_z} \frac{\partial^2 A_z}{\partial z^2} = \alpha_1^2 = \alpha^2 + \omega \mu_1 \sigma_1 i \quad (8)$$

Cuando se resuelve para cada caso, teniendo en cuenta la relación entre A y E para encontrar la diferencia de potencial V y operarlo con la corriente I despejada de la densidad J, se encuentran las funciones Z y Z₀. Al dividir estas se tiene:

$$\frac{Z}{Z_0} = \frac{R + i\omega L}{i\omega L_0} \quad (9)$$

La anterior ecuación presenta componentes reales e imaginarios para la impedancia, siendo estos los siguientes:

$$\frac{\omega L}{\omega L_0} \approx 1 + \left(\frac{k_0^2}{8PS} \right) \left(\frac{Q}{\sqrt{2}\beta P - 1} \right) \quad (10)$$

$$\frac{R}{\omega L_0} \approx \frac{k_0^2 Q}{8\sqrt{2}\beta P^2 - 1} \quad (11)$$

Donde:

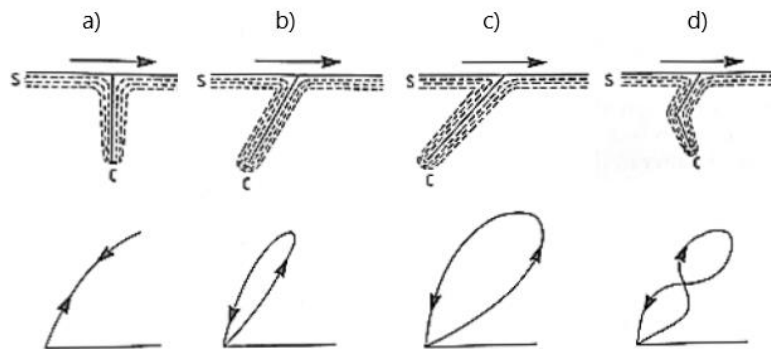
$$P = k(k + k_0)(2k + k_0); \quad Q = k_0^2 + 6k^2 + 6kk_0; \quad S = k_0 - \frac{8}{3\pi} + \frac{1}{2k}$$

$$\beta = \sqrt{\omega \mu_0 \sigma r_0^2}; \quad k_0 = \frac{l_0}{r_0}; \quad k = \frac{h}{r_0}$$

Siendo r₀ es el radio de la bobina, l₀ el largo de la bobina y h la distancia bobina conductor. Los equipos de Corrientes de Eddy (ECT) miden la impedancia del sistema y la grafican en el plano impedancia, donde es establecido como el “punto

de equilibrio” a la señal obtenida de la bobina en contacto con la pieza, y esta señal de impedancia se ve modificada de diferentes formas dependiendo de la discontinuidad que encuentre en el material, cambios de dimensiones, inclinación de la indicación, efecto de borde o señal de lift-off. En la figura 1 se observa, en la parte inferior, la forma y los cambios que puede sufrir la señal en el plano de impedancia al variar la inclinación de la discontinuidad con respecto a la horizontal, según se muestra en la parte superior de la figura⁹.

Figura 1. Señales obtenidas por la variación de la inclinación en una grieta.



Fuente: BLITZ, J BLITZ, J. (1997). Electrical and Magnetic Methods of Non-destructive Testing. Chapman & Hall. 2nd Edition.

⁹ BLITZ. Op. cit

2.OBJETIVOS

2.1.OBJETIVO GENERAL

Evaluar la técnica de Corrientes de Eddy en la inspección de grietas superficiales presentes en juntas soldadas de acero al carbono.

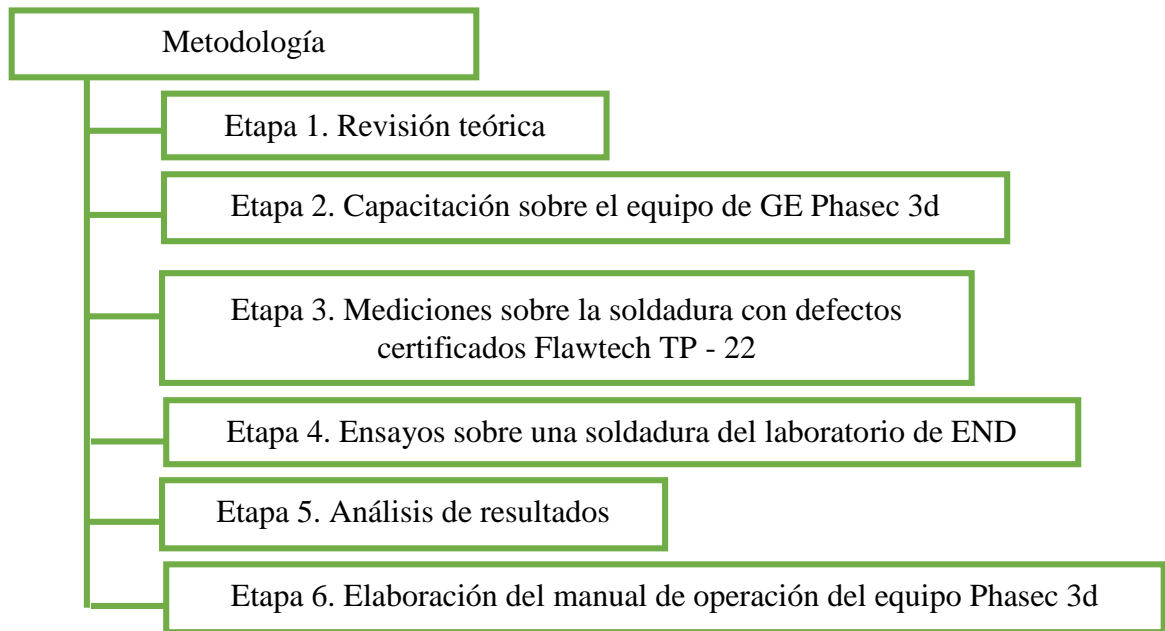
2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Evaluar las discontinuidades superficiales e internas presentes en una soldadura a tope con defectos certificados marca Flawtech de referencia TP – 22 empleando el equipo de Corrientes de Eddy GE Phasec 3d.
2. Desarrollar una guía de operación para el equipo Phasec 3d que garantice una adecuada evaluación de las discontinuidades que podrían ser evaluadas en soldaduras.
3. Demostrar en una soldadura disponible del laboratorio de END con discontinuidades presentes la sensibilidad para detectarlas con el equipo GE Phasec 3d empleando la guía elaborada para la técnica de Corrientes de Eddy de la UIS.

3.METODOLOGÍA

A continuación, se detalla el proceso que se llevó a cabo para la realización del presente proyecto de grado. Las diferentes etapas se presentan en el siguiente diagrama de flujo.

Figura 2. Diagrama de flujo de la metodología del proyecto.



3.1. ETAPA 1. REVISIÓN TEÓRICA

Para la realización del presente proyecto de grado se analizó información presente en diferentes libros especializados, normas técnicas como la ISO 17643-15¹⁰ y la NTC 2034¹¹, y artículos de revistas científicas; a partir de las cuales se adquirió conocimiento sobre las Corrientes de Eddy (ECT), sus aplicaciones en la industria

¹⁰ ISO 17643. (2015). *Non-destructive testing of welds: Eddy current testing of welds by complex-plane analysis*.

¹¹ NTC 2034 (2007). *Ensayos No Destructivos. Calificación y Certificación del personal*.

en materiales conductores, evaluación de la sanidad estructural, las limitaciones y avances de la técnica. De igual forma, los parámetros de configuración que definen la calidad y sensibilidad de los resultados de una inspección.

3.2. ETAPA 2. CAPACITACIÓN SOBRE EL EQUIPO GE PHASEC 3D

Debido a la complejidad del manejo y entendimiento de la técnica, para el desarrollo del presente proyecto de investigación se realizó un entrenamiento en el equipo GE Phasec 3d para el kit de inspección de soldaduras (se presenta en el anexo A del presente proyecto), donde se llevaron a cabo ensayos sobre bloques patrón con entallas certificadas dimensionadas hasta obtener resultados adecuados y señales claras, sin ruido, para su respectivo análisis siguiendo la norma ISO 17643-15¹², realizando múltiples configuraciones y entendiendo las funciones de todos los menús del equipo y su proceso de configuración, los cuales no son especificados en el manual que provee el fabricante.

3.3. ETAPA 3. MEDICIONES SOBRE LA SOLDADURA CON DEFECTOS CERTIFICADOS FLAWTECH TP-22

El ensayo se realizó sobre una junta soldada a tope certificada, con referencia Flawtech TP – 22, con los defectos mostrados en el certificado emitido por el fabricante y mostrado en la figura 3. La inspección se realizó usando la configuración establecida en la tabla 1 con la sonda 800P01LU (ver tabla 1.1 del anexo A), ya que es la sonda que presenta menos ruido en la señal al evaluar los defectos presentes en la soldadura. Se siguió el protocolo de inspección y calibración descrito en la norma ISO ¹³. A continuación, se detalla la tabla 1 con la

¹² ISO. Op. cit.

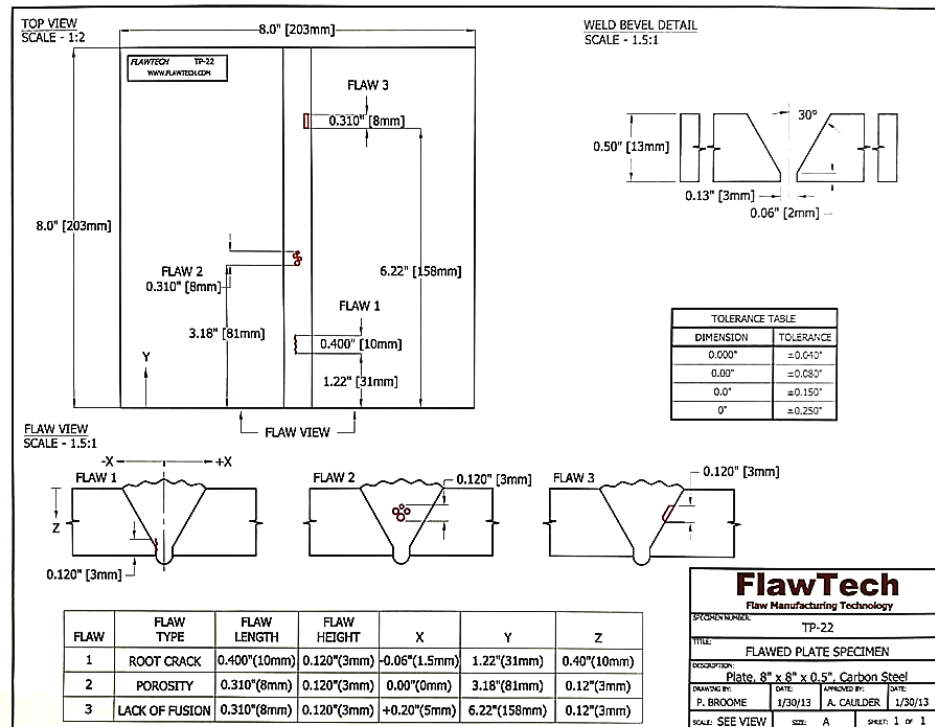
¹³ Ibíd

configuración de la sonda seleccionada para la inspección como resultado de la calibración realizada en el equipo Phasec 3d:

Tabla 1. Configuración de la sonda 800P01LU para inspeccionar la soldadura con defectos certificados Flawtech TP – 22.

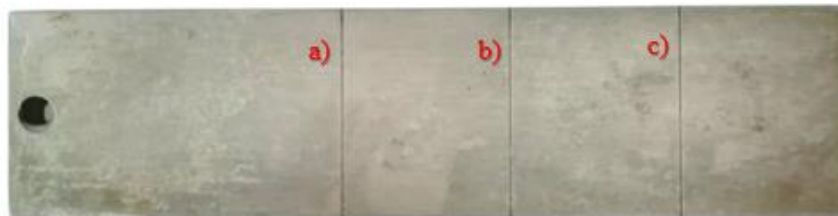
GAIN (dB)	FREC (kHz)	HP / LP (Hz)	FASE (°)
52.2	100.0	U.02 / 40.00	78.6

Figura 3. Certificación de los defectos presentes en la soldadura Flawtech TP-22. Se observan tres diferentes defectos que son: 1) grieta de raíz con longitud de 10 [mm], 2) porosidad interna y 3) falta de fusión.



Con el fin de demostrar la sensibilidad y aplicación de la técnica de ECT a partir de los procedimientos de calibración y configuración elaborados en el manual de operación como resultados del presente proyecto de investigación, se aplicaron Ensayos No Destructivos complementarios que proporcionaron datos para validar los resultados, comparar las mediciones realizadas y el número de discontinuidades detectadas sobre la soldadura, que permitieron evaluar la técnica de Corrientes de Eddy. Para la calibración el equipo en esta soldadura se usó el bloque patrón “31A008” suministrado por el fabricante del equipo. En la figura 4 se observa el bloque de calibración con la medida de profundidad de sus entallas, siendo estas de 1.6 [mm], 0.7 [mm] y 0.3 [mm], mediciones realizadas con del microscopio “HIROX modelo KH7700”. Aunque las medidas de profundidad en las entallas de este bloque, suministrado por el fabricante del equipo, presentan una ligera variación dimensional respecto a las recomendadas a usar por la norma ISO 17643-15¹⁴, la diferencia no es determinante para impedir la realización de la inspección requerida.

Figura 4. Dimensiones de las entallas en el bloque patrón “31A008”. Sus medidas de profundidad son: a) 1.6 [mm], b) 0.7 [mm] y c) 0.3 [mm]. El ancho de sus entallas es de 0.2 [mm].



Los ensayos complementarios aplicados fueron: Inspección Visual y Radiografía Industrial, con el objetivo de determinar las discontinuidades indicadas en el certificado de la soldadura. Los ensayos complementarios se realizaron siguiendo

¹⁴ ISO. Op. cit.

la norma AWS D1.1-2015¹⁵ y el ensayo por Corrientes de Eddy (ECT) se hizo siguiendo la norma ISO 17643-15¹⁶ ya que los bloques patrón que son implementados con el equipo están fabricados de acuerdo a esta norma. En la siguiente tabla se muestran los parámetros usados para la inspección por Radiografía Industrial empleando película radiográfica convencional “*Carestream Industrex AA400 Lead pack roll SP382*” a la soldadura certificada Flawtech TP – 22, usando el equipo “*Balteau NDT Baltospot CF2000*”.

Tabla 2. Parámetros usados en el ensayo por radiografía industrial para la soldadura certificada Flawtech TP - 22.

Intensidad de corriente (mA)	Distancia fuente película FDD (mm)	Tiempo de exposición (seg)	Diferencia de potencial empleado (kV)
5	700	290	160

3.4. ETAPA 4. ENSAYOS SOBRE UNA SOLDADURA DEL LABORATORIO DE END

En esta etapa se inspeccionó la soldadura W04, presentada en la figura 5, fabricada de un acero AISI-SAE 1015, mediante la técnica de soldadura SMAW. El primer pase fue con el electrodo E 6010, y los cuatro (4) siguientes con el electrodo West-Crome¹⁷. Previamente se fabricó un bloque patrón del mismo tipo de material que la soldadura W04 siguiendo la norma ISO 17643-15¹⁸. En la figura 6 se presenta

¹⁵ AWS D1.1/D1.1M:2015 *Código de soldadura estructural – acero.*

¹⁶ ISO. Op. cit

¹⁷ NIÑO, I. HERNÁNDEZ, S. (2000). *Elaboración de muestras con defectos para su uso en la enseñanza de ensayos no destructivos.*

¹⁸ ISO. Op. cit.

el bloque patrón fabricado y en la figura 7 se muestran las dimensiones obtenidas del bloque patrón con el microscopio "HIROX modelo KH7700", lo anterior con el fin de tener las dimensiones de referencia del bloque de calibración.

Figura 5. Soldadura W04 presente en el laboratorio de END de la Escuela de Ingeniería Metalúrgica y Ciencia de Materiales.

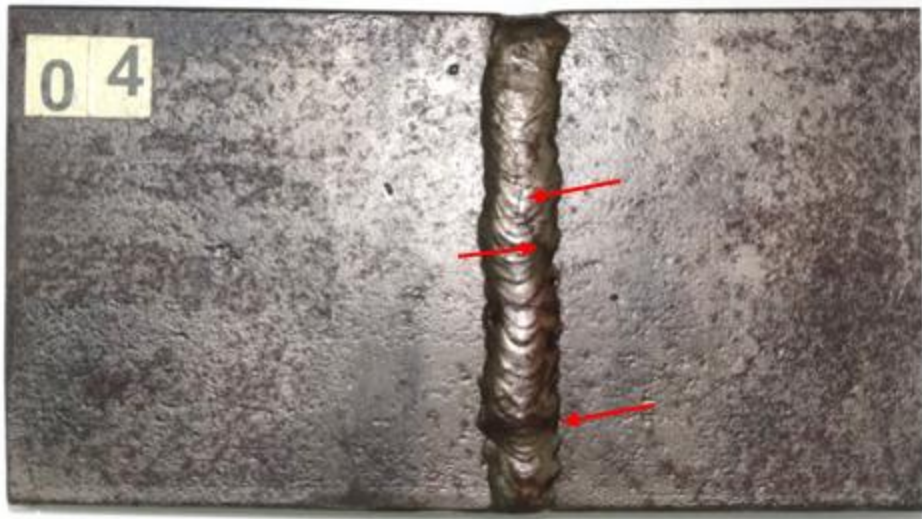


Figura 6. Bloque patrón de la soldadura W04.

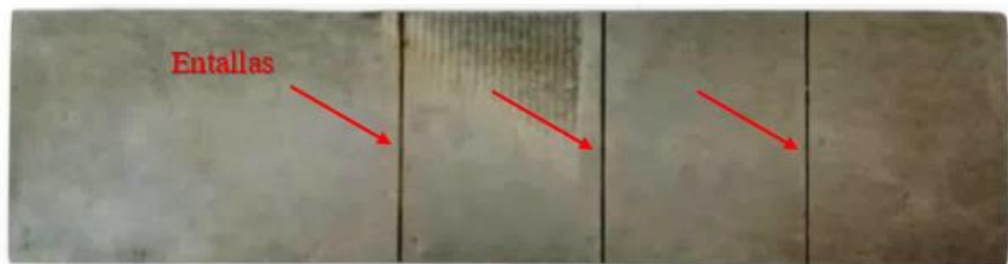
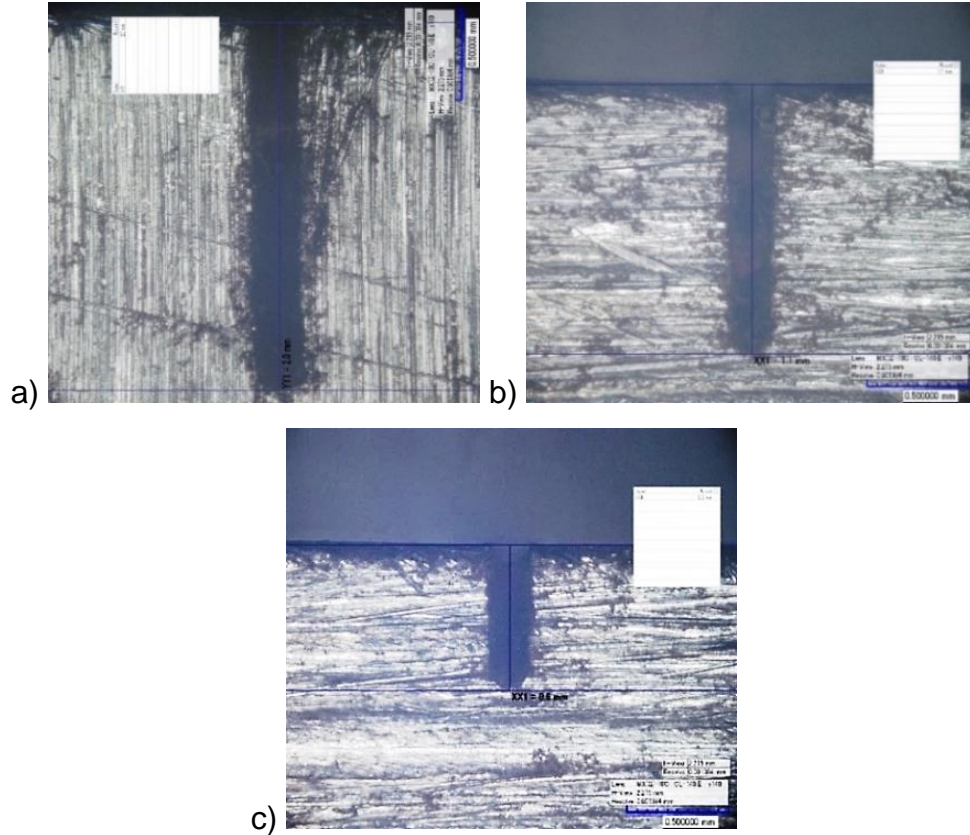


Figura 7. Dimensiones de las entallas en el bloque patrón fabricado a partir de la placa W04. Sus medidas de profundidad son: a) 2 [mm], b) 1.1 [mm] y c) 0.6 [mm].

El ancho de cada entalla es de 0.5 [mm].



Con el fin de evaluar la técnica de Corrientes de Eddy (ECT) y las calibraciones empleadas en la soldadura W04, se aplicaron los END complementarios de VT, MT, RX basándose en la norma AWS D1.1-2015¹⁹. Los parámetros de inspección para ECT, MT y RX son presentados en las tablas 3.

¹⁹ AWS. Op. cit.

Tabla 3. Parámetros de inspección usados para las técnicas de ECT, MT y RX en la soldadura W04.

Parámetros de Corrientes de Eddy (ECT)			
GAIN (dB)	FREC (kHz)	HP / LP (Hz)	FASE (°)
20.5	100.0	DC / 70.00	13
Parámetros de Partículas Magnéticas (MT)			
Método de magnetización	Equipo de magnetización	Corriente inductora del campo	Naturaleza de las partículas
Indirecta	Yugo electromagnético "Magnaflux Model Y-7 AC/DC No 43550"	Alterna	Húmedas fluorescentes "Magnaflux Magnaglo number 14A Batch No 5J123"
Parámetros de Radiografía Industrial (RX)			
Intensidad de corriente (mA)	Distancia fuente película FDD (mm)	Tiempo de exposición (seg)	Diferencia de potencial empleada (kV)
5	700	162	160

3.5 ETAPA 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Con base en los resultados obtenidos siguiendo la metodología planteada en el presente trabajo, se realizó el análisis entre las técnicas empleadas, evaluando la detectabilidad, rapidez, cantidad de indicaciones detectadas y sus dimensiones para las soldaduras inspeccionadas.

3.6 ETAPA 6. ELABORACIÓN DEL MANUAL DE USUARIO DEL EQUIPO PHASEC 3D PARA SOLDADURAS

Debido a que el equipo Phasec 3d solo cuenta con un manual de usuario que indica los menús y características del equipo, el cual carece de procedimientos y guías para realizar conexiones, calibraciones, verificaciones e inspección, como resultado del presente trabajo se elaboró un manual de operación con la guía detallada para la metodología de inspección, indicando los procedimientos necesarios para realizar un ensayo. Lo anterior con base en el entrenamiento realizado, consultas a personal experto y los resultados obtenidos. El manual cuenta con imágenes, descripción de los elementos, conexiones y procedimientos para operar el equipo Phasec 3d y hacer transferencia de datos para su análisis. Esta etapa se realizó paralelamente a las demás y se presenta en el anexo A de este proyecto de grado.

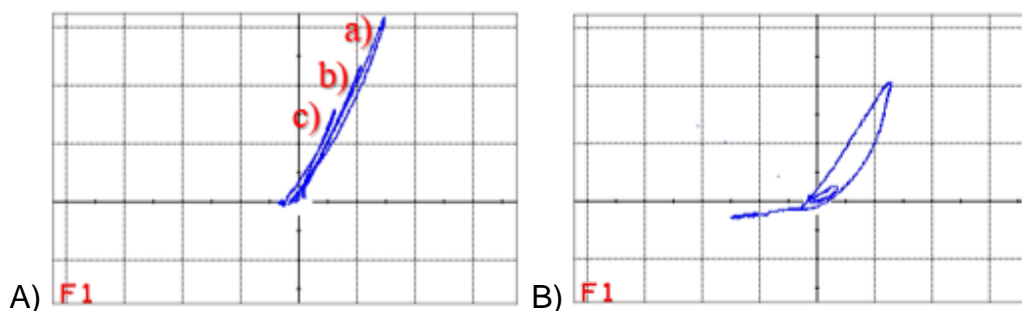
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

En el presente capítulo se presenta el análisis de los resultados obtenidos a partir de la metodología experimental desarrollada en el presente proyecto de grado.

4.1. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS A LA SOLDADURA CERTIFICADA FLAWTECH TP-22

A continuación, se presentan los resultados obtenidos con la técnica de Corrientes de Eddy (ECT) siguiendo el protocolo de inspección especificado en el manual de operación (Capítulo 4 y 5 del anexo A) y los obtenidos por RX. En la figura 8a se observan las curvas de calibración en el plano de impedancia para las tres entallas del bloque patrón “31A008” y, en la figura 8b, la señal percibida por el equipo perteneciente a la grieta de raíz en la soldadura certificada Flawtech TP – 22.

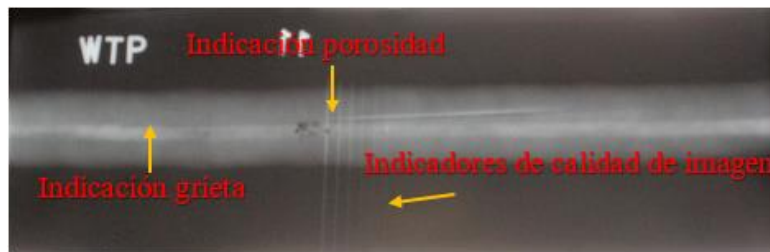
Figura 8. Señales percibidas por el equipo pertenecientes a: A) Curvas de calibración del bloque patrón 31A008 con profundidades de las indicaciones según las señales: a) 1.6 [mm], b) 0.7 [mm] y c) 0.3 [mm]; y B) grieta de raíz en la soldadura Flawtech TP – 22.



Al comparar la altura de las señales presentadas en la figura 8, se ve que la señal correspondiente a la grieta se ubica dentro del rango de 0.7 [mm] y 0.3 [mm] de profundidad de grieta con respecto al bloque de calibración. Por otra parte, la forma de globo para esta indicación, muestra que la grieta no es perfectamente perpendicular respecto al eje vertical de la placa de acero.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos al ensayar la soldadura certificada Flawtech TP – 22 por medio de Radiografía Industrial. En la figura 9 se observa la película radiográfica realizada a la soldadura, donde fue posible detectar la grieta de raíz y la porosidad agrupada, ignorando la falta de fusión en el bisel, comportamiento esperado para este ensayo. Se pueden observar los defectos encontrados, que son la grieta de raíz y la porosidad. La falta de fusión no fue detectada por esta técnica. La radiografía fue digitalizada con cámara fotográfica, lo cual disminuyó el contraste observado.

Figura 9. Película radiográfica de la soldadura Flawtech TP 22.



La película radiográfica cumple con los requisitos de grado de ennegrecimiento establecidos en el código AWS D1.1-2015²⁰, el cual indica que éste debe tener un valor adimensional entre 1 y 4 de ennegrecimiento, obteniendo un valor mínimo de 2.29 en el cordón de soldadura y máximo de 3.59 en el metal base. Los resultados de ennegrecimiento fueron obtenidos al usar el densitómetro “*Macbeth TD90 Z*”.

Las Corrientes de Eddy (ECT) presentaron una mayor eficiencia que la Inspección Visual (VT), pues lograron detectar una grieta abierta a la superficie que no fue advertida por VT. Por otro lado, la aproximación a la profundidad de la grieta, lo que es una ventaja del ensayo ECT, no resultó tan eficiente, pues el valor obtenido estaba entre 0.3-0.7 [mm], mientras el documento de certificación de la soldadura anunciaba un valor de 3 [mm] \pm 1.01 [mm], dando como resultado un error de 2 [mm]

²⁰ AWS. Op. cit.

en su profundidad, pues se encontraba en la interfase del metal base con el material de aporte, lo que puede generar errores.

Aun así, la capacidad de detección de este último ensayo fue mejor respecto a VT y RX, por su rapidez para detectar discontinuidades, específicamente para defectos superficiales. El análisis por inspección visual no detectó ninguna discontinuidad en esta soldadura, ya que dos de los tres defectos que posee son internos y este ensayo no posee el alcance para un análisis interno del material. Sin embargo, la grieta que, según el plano parte desde la superficie de la raíz, no fue detectada a simple vista o con elementos auxiliares de magnificación. La radiografía industrial presentó una mejor sensibilidad, pues logró detectar la grieta en la raíz y la porosidad agrupada, pero, la falta de fusión no fue detectada debido a la inclinación de la discontinuidad, ya que presenta un diferencial despreciable en el espesor del material para los rayos X, que no logra diferenciar un cambio de densidad en la película. Aun así, la capacidad de detección del ensayo por Corrientes de Eddy (ECT) fue la esperada, por su rapidez para detectar discontinuidades, específicamente para defectos superficiales. Al comparar las tres técnicas ensayadas sobre esta soldadura, se observa que la inspección por Corrientes de Eddy (ECT) presentó un menor tiempo de ejecución con respecto a Inspección Visual y Radiografía Industrial, pero esto se da cuando la persona que lleva a cabo la inspección se ha capacitado lo suficiente como para aprovechar la rapidez y sensibilidad de la técnica²¹.

En la tabla 4 se presenta la información correspondiente a los resultados obtenidos ya mencionados de los métodos de inspección aplicados sobre la soldadura Flawtech TP – 22 respecto a la técnica de Corrientes de Eddy (ECT), haciendo la comparación del tiempo requerido para realizar la inspección y obtener resultados con cada técnica aplicada. En la tabla, los (✓) indican que la técnica fue capaz de detectar la indicación y los (✗) indican que la técnica no pudo detectar la indicación.

²¹ DOOD, C. Op. cit.

Tabla 4. Capacidad de detección de los defectos presentes y dimensionamiento de la profundidad del defecto en la soldadura Flawtech TP – 22 a través de los ensayos no destructivos aplicados.

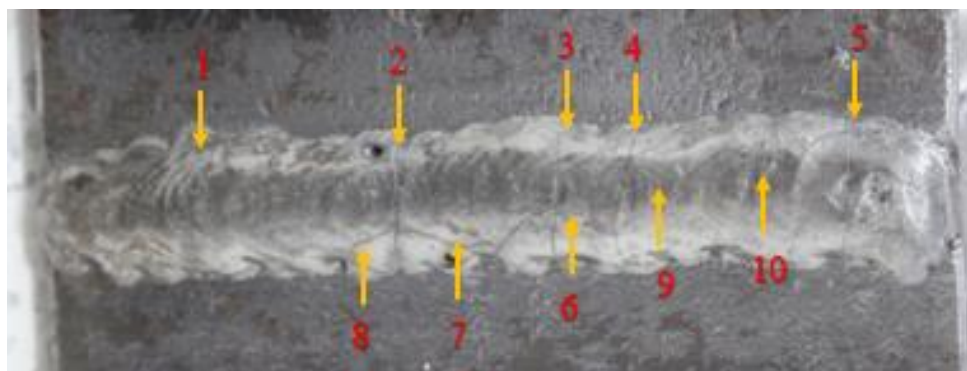
Detección de defectos por los ensayos realizados							
Ensayo	Grieta de raíz	Profundidad	Porosidad	Profundidad	Falta de fusión	Profundidad	Tiempo requerido
ECT	✓	0.3 – 0.7 [mm]	✗	-	✗	-	Bajo
VT	✗	-	✗	-	✗	-	Bajo
RX	✓	-	✓	-	✗	-	Alto

4.2. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS A LA SOLDADURA W04

En la siguiente sección se presentan los resultados obtenidos al inspeccionar la soldadura W04 con Corrientes de Eddy (ECT) y evaluar los resultados respecto a Inspección Visual, Partículas Magnéticas, Radiografía Industrial.

Al realizar el ensayo de inspección visual a la soldadura W04, se observó la presencia de 10 grietas a lo largo del cordón, así como porosidades y cavidades. Estas últimas discontinuidades no son comparables en este proyecto, ya que la técnica principal a evaluar, la cual es Corrientes de Eddy, no detecta este tipo de discontinuidades. En la figura 10 se muestra la ubicación de las grietas y su numeración a lo largo del cordón.

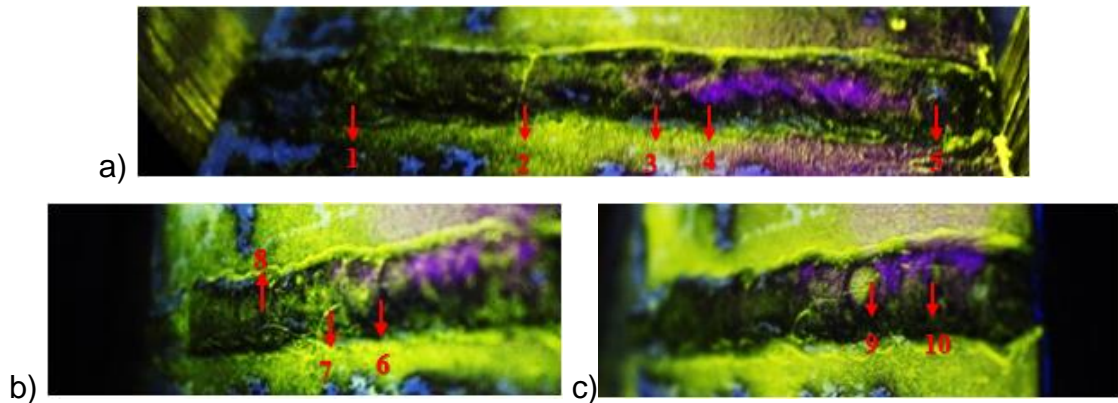
Figura 10. Ubicación y numeración de las grietas en el cordón de la soldadura W04.



El ensayo de partículas magnéticas fluorescentes se realizó bajo la norma ASTM E709-2015²², aplicando partículas magnéticas fluorescentes en suspensión acuosa. Las condiciones de inspección y los materiales usados se especificaron en el capítulo anterior (tabla 4). Los resultados obtenidos del ensayo son presentados en la figura 11. Esta técnica logró detectar las 10 grietas vistas por inspección visual, siendo las grietas 1, 2, 3, 4 y 5 detectadas al magnetizar la soldadura longitudinalmente, y las grietas 6, 7, 8, 9 y 10 al magnetizar transversalmente. Las imágenes fueron tomadas en cuarto oscuro con iluminación menor a 20 Lux, razón por la cual las imágenes son de baja calidad, y solo se determinó el número de discontinuidades y su ubicación.

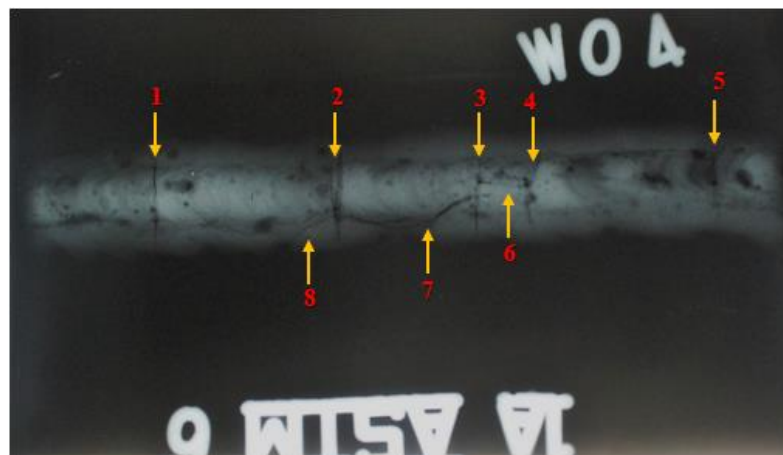
²² ASTM E709 – 2015 *Standard guide for magnetic particle testing*.

Figura 11. Resultados del ensayo de partículas magnéticas húmedas fluorescentes.



A través de la evaluación por Radiografía Industrial en la soldadura W04 se obtuvo como resultado la película radiográfica presentada en la figura 12. En esta película se detectaron ocho (8) de las diez (10) grietas superficiales presentes en la soldadura, halladas anteriormente por inspección visual y partículas magnéticas. Las grietas no detectadas corresponden al número 9 y número 10. También se detectó porosidad interna y otras discontinuidades que no son relevantes en este proyecto, pero que si indican una ventaja respecto a las demás técnicas aplicadas.

Figura 12. Película radiográfica de la soldadura W04 con las grietas detectadas.

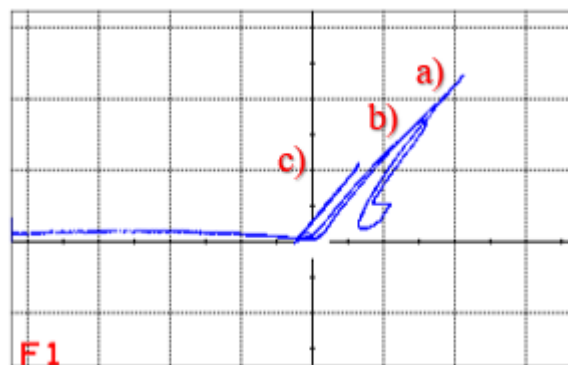


También se evaluó el grado de ennegrecimiento de esta película radiográfica, siguiendo lo establecido en la norma AWS D1.1-2015²³, donde se observa que cumple, ya que el grado de ennegrecimiento está entre 1 y 4, obteniendo un valor mínimo de 2,51 en el cordón de soldadura y máximo de 3,89 en el metal base.

El ensayo por Corrientes de Eddy se realizó siguiendo la norma ISO 17643-15²⁴, donde la calibración del equipo se realizó sobre un bloque patrón del mismo tipo del material base de la soldadura W04, el cuál fue hecho mediante electroerosión por hilo obteniendo tres entallas, con profundidad de 2 [mm], 1.1 [mm] y 0.6 [mm], con un ancho de 0.5 [mm], presentadas en el capítulo anterior (Figura 6). Las curvas de la calibración obtenidas con este bloque patrón se presentan en la figura 13, indicando las señales correspondientes a cada entalla de diferente profundidad en el bloque patrón. Para realizar la calibración se usó la sonda 130P3 bajo los parámetros establecidos en la tabla 3, ya que esta es la que proporciona una mayor sensibilidad en la detección de grietas angostas y agrupadas, con respecto a las otras dos sondas.

Figura 13. Curvas de calibración del bloque patrón W04 usando la sonda 130P3.

Las profundidades de las indicaciones según las señales son: a) 2 [mm], b) 1.1 [mm] y c) 0.6 [mm].

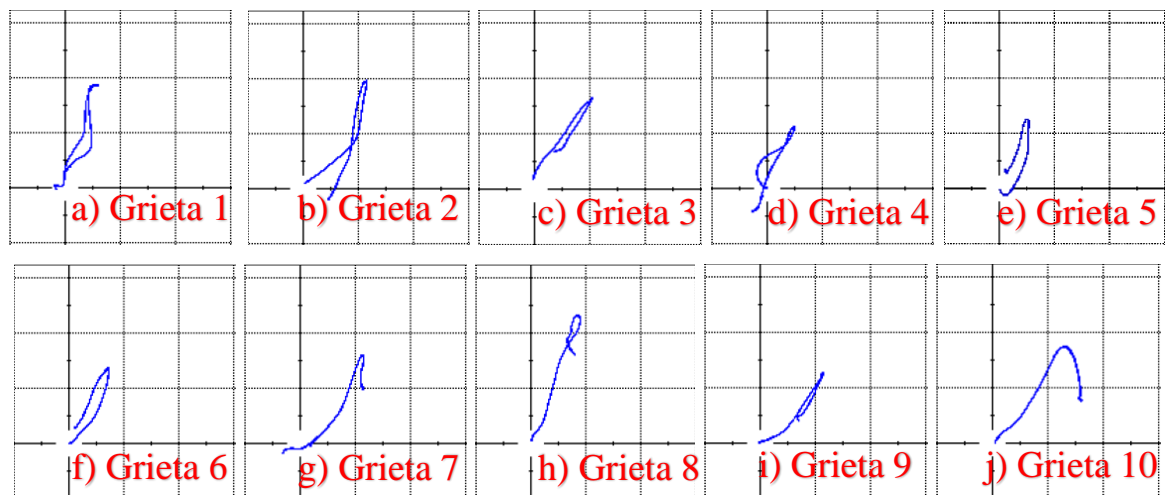


²³ AWS. Op. cit.

²⁴ ISO. Op. cit.

Teniendo establecidas las curvas de calibración y la configuración necesaria para la inspección de la soldadura, se procede a evaluar el cordón de la soldadura W04. A continuación, en la figura 14 se muestran las señales obtenidas de cada una de las diez grietas superficiales que se encuentran en la soldadura W04 siguiendo el orden señalado en la figura 10.

Figura 14. Señales percibidas por el equipo Phasec 3d pertenecientes a las 10 grietas superficiales en la soldadura W04.



Del ensayo se observa, al hacer la comparación con las curvas de calibración, que las grietas 1, 2, 3, 7 y 10 presentan una profundidad entre 1.1 [mm] y 2 [mm], mientras que las grietas 4, 5, 6 y 9 presentan una profundidad entre 0.6 [mm] y 1.1 [mm]. De las señales se muestra que la grieta 8 tiene una profundidad mayor a 2 [mm].

De acuerdo a los ensayos realizados, se pudo observar que cada uno presenta una variable capacidad de detección de discontinuidades, donde los más sencillos como inspección visual y partículas magnéticas funcionan para encontrar rápidamente discontinuidades superficiales, pero no proporcionan mayor información acerca del dimensionamiento de estas discontinuidades, esto debido a que VT ni MT presentan un principio físico que permita conocer la profundidad de una discontinuidad para

determinarla. Además, VT requiere de implementos de magnificación para medir las grietas, especialmente para las de menor tamaño. Por otro lado, MT requiere de equipos de magnetización y un ensayo que implica múltiples magnetizaciones en diferentes orientaciones, con sensibilidad a la rugosidad superficial y morfología de la soldadura, y la necesidad de un cuarto oscuro con iluminación máxima de 20 luxes, añaden una mayor complejidad al momento de tomar registros fotográficos y mediciones, aun cuando se comprobó una alta sensibilidad del ensayo. La inspección con radiografía industrial proporcionó una excelente visualización de los defectos presentes en la soldadura y permitió dimensionar el tamaño real de la indicación. Como limitación de la técnica; no le es posible identificar si los defectos encontrados son superficiales o sub superficiales, además de requerir un diferencial de espesor significativo para presentar un grado de ennegrecimiento notorio en la película radiográfica que permita discriminar la presencia de defectos finos o planares. Adicionalmente la técnica resulta aparatosa por las instalaciones especiales para la radiación y los equipos de seguridad necesarios para la realización de la misma, junto con el cuarto oscuro para el revelado y el manejo de sustancias químicas. Con base en los resultados obtenidos se hizo una comparación que permitió evaluar la eficiencia del ensayo por Corrientes de Eddy respecto a las tres técnicas ya mencionadas.

Con base en las técnicas complementarias aplicadas en el presente proyecto de grado, las Corrientes de Eddy proporcionaron una alta velocidad en la detección de las discontinuidades además de ser, de las técnicas empleadas en este proyecto, la única que presentó de manera rápida información sobre la profundidad de las grietas. A continuación, se presenta la tabla 5, que muestra la capacidad de detección que tuvo cada una de las técnicas ensayadas sobre las grietas de la soldadura W04. La tabla 5 representa con chulos (✓) y equis (✗) si la técnica detecta o no cada grieta y el tiempo de inspección requerido por cada uno de los ensayos empleados en el presente proyecto.

Tabla 5. Capacidad de detección de los defectos presentes en la soldadura W04 por cada uno de los ensayos no destructivos aplicados.

Defectos de la soldadura W04											
Ensayos	Grietas superficiales										Tiempo de inspección
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
VT	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Bajo
MT	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Medio
RX	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	x	x	Alto
ECT	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Bajo

Teniendo en cuenta la preparación previa de la pieza y de los equipos necesarios para cada técnica; la limpieza de la superficie, los cálculos preliminares del tiempo de exposición, el manejo de un dispositivo pesado de magnetización, el uso de sustancias químicas en un ambiente cerrado y oscuro, el tiempo que toma revelar una película, la infraestructura necesaria para llevar a cabo los ensayos, los riesgos y seguridad, entre otras cosas, evidencia que la técnica de Corrientes de Eddy (ETC) es viable, rápida y de alta detectabilidad para grietas superficiales en materiales ferromagnéticos. La técnica permite la detección y medición de grietas respecto a un bloque de calibración del mismo material a inspeccionar, el cual cuenta con tres entallas mecanizadas establecidas por la norma ISO 17643-15²⁵ para calibrar el equipo Phasec 3d, y comprobar las señales percibidas de la soldadura, donde se determina el rango de profundidad que posee el defecto, ya que no otorga un valor exacto de profundidad. Sin embargo, determinar la longitud de una grieta requiere de varios barridos a lo largo de la grieta, anotando el punto inicial donde se observa la señal de la grieta hasta el punto final donde ésta desaparece de la pantalla. Por otra parte, la técnica de Corrientes de Eddy (ECT) requiere de una alta destreza en el manejo de la sonda para garantizar la

²⁵ ISO. Op. cit.

perpendicularidad de ésta respecto a la superficie de inspección. Teniendo en cuenta que todas las técnicas de Ensayos No Destructivos requieren certificación y experiencia, una vez cumplidos estos requisitos por parte del inspector, la técnica de Corrientes de Eddy (ECT) es la más rápida, sensible y que ofrece mayor información para la evaluación de grietas superficiales en juntas soldadas de acero al carbono. Es una técnica aplicable en, prácticamente, cualquier espacio de trabajo, pues no exige una elevada iluminación o una conexión eléctrica.

En la soldadura W04 no fue posible evaluar la longitud de las grietas debido a las irregularidades en la superficie de la soldadura y a la intersección de las grietas entre ellas mismas. Por otro lado, en la soldadura certificada Flawtech TP-22 fue posible realizar la medición de la longitud de la grieta en la raíz con gran precisión, tomando en cuenta el punto inicial y final donde aparece una señal en el plano de impedancia perteneciente a la grieta, donde se midió una longitud de 9.6 [mm], siendo un valor cercano a la medida certificada de 10 [mm].

5. CONCLUSIONES

1. La evaluación de la placa certificada Flawtech TP-22 mostró la eficiencia de la técnica de Corrientes de Eddy (ECT) para la detección y dimensionamiento de defectos superficiales, pues el tiempo ahorrado en la inspección se compensa con el de la calibración, la cual queda guardada en el equipo para posteriores análisis. Asimismo, mostró un error de ± 2 mm para la profundidad de la grieta en una zona de alta probabilidad de error para la técnica, mostrando su limitación para evaluar interfases entre materiales.
2. El manual del equipo se logró escribir satisfactoriamente. En el mismo se exponen las partes que componen el equipo, la descripción del software y el procedimiento para instalarlo y manipularlo, los procedimientos de calibración y la metodología para evaluar una soldadura empleando el kit de inspección de soldaduras ASP1P2.
3. El análisis realizado sobre la soldadura W04 enseñó la capacidad de este equipo para evaluar una soldadura y detectar los defectos planares (grietas) superficiales, mostrando una menor complejidad para realizar la práctica que los ensayos comparativos de Partículas Magnéticas y Radiografía Industrial, obteniendo información sobre la profundidad de las grietas en tiempos de inspección cortos, sin instalaciones especiales ni un equipo que requiere una conexión eléctrica. No obstante, para el ensayo de Inspección Visual, se vio una menor eficiencia del ensayo ECT pues este necesitó de un equipo, de la fabricación de un bloque patrón y de la calibración para el mismo.

6. RECOMENDACIÓN

Emplear los kits de inspección de grietas superficiales y evaluación de conductividad para determinar la sensibilidad del equipo en cada uno de estos aspectos, complementando el manual y los conocimientos ya establecidos para obtener una guía completa en el manejo del equipo Phasec 3d.

BIBLIOGRAFÍA

ALMEIDA, G. GONZALEZ, J. ROSADO, L. VILAÇA, P. SANTOS, T. *Advances in NDT and materials characterization by eddy currents* (2013). Elsevier Academic Press

ASTM E709 – 2015 *Standard guide for magnetic particle testing*.

AWS D1.1/D1.1M:2015 *Código de soldadura estructural – acero*.

BLITZ, J. (1997). *Electrical and Magnetic Methods of Non-destructive Testing*.

Classroom Training Handbook, Non-destructive Testing, Eddy Currents, CT-6-5 (1979). Second edition. General Dynamics.

DO HAENG, H. DEOK HYUN, L. MYUNG SIK, C. UN CHUL, L. SEON JIN, K. JUNG HO, H. (2005). *Discrimination method of through-wall cracks in steam generator tubes using eddy current signals*. Elsevier Academic Press.

DODD, C. DEEDS, W. (1968) *Analytical solutions to Eddy Currents probe-coil problems*. *Journal of Applied Physics* 39, 2829.

FIORILLO. F. *Measurement and characterization of magnetic materials* (2004). Elsevier Academic Press.

GHONI, R. DOLLAH, M. SULAIMAN, A. IBRAHIM, F. (2014). *Defect characterization based on eddy current technique: technical review*. Hidawi Publishing Corporation.

GROSSO, M. PACHECO, C. ARENAS, M. MASCARENHAS, A. MARGARIT-MATTOS, I. DAMASCENO, S. PEREIRA, G. *Eddy Current and inspection of coatings for storage tanks* (2018). Journal of materials, research and technology.

HENNIGAR, T. WRIGHT, M. *Eddy Current Testing Technology* (2012), First edition. ISO 17643. (2015). *Non-destructive testing of welds: Eddy current testing of welds by complex-plane analysis*.

NIÑO, I. HERNÁNDEZ, S. (2000). *Elaboración de muestras con defectos para su uso en la enseñanza de ensayos no destructivos*.

NTC 2034 (2007). *Ensayos No Destructivos. Calificación y Certificación del personal*.

SERWAY, R. FAUGHN, J. *Fundamentos de Física* (2008), Vol 2. México, CENGAGE

SILVA, V. CAMERINI, C. PARDAL, J. DE BLÁS, J. PEREIRA, G. *Eddy Current characterization of cold-worked AISI 321 stainless steel* (2018). Journal of materials, research and technology.

WANGSNESS, R. *Electromagnetic Fields*, Second edition.

ZHOU, H. HOU, K. PAN, H. CHEN, J. WANG, Q. *Study on the optimization of Eddy Current testing coil and the defect detection sensitivity* (2015). Elsevier Academic Press.

ANEXO A

CORRIENTES DE EDDY

EQUIPO: GENERAL ELECTRIC PHASEC 3D

**MANUAL DE OPERACIÓN PARA INSPECCIÓN DE
SOLDADURAS**

TABLA DE CONTENIDO

	Página
INFORMACIÓN IMPORTANTE	52
Manual de instrucciones	52
Advertencias de uso.....	52
INTRODUCCIÓN	53
Nota.....	53
1. GENERALIDADES	54
1.1 COMPONENTES DEL KIT DE SOLDADURA	56
1.2 INICIO DEL EQUIPO	59
1.2.1 Encendido del equipo Phasec 3d	59
1.2.2 Apagado del equipo Phasec 3d	60
Nota.....	60
1.2.3 Conexión del equipo a un computador para la descarga de datos.	61
1.3 FUNCIÓN DE LAS TECLAS.....	61
1.4 CONEXIÓN DE LA Sonda AL EQUIPO	64
2. INTERFAZ DIGITAL	64
2.1 MENÚS PRINCIPALES DE LA PANTALLA	65
2.1.1. Menú de parámetros 1	66
2.1.1.1 Ganancia (GAIN 1)	66
2.1.1.2 Fase (PHASE 1).....	67
2.1.1.3 Frecuencia (FREQ 1).....	67
2.1.1.4 Magnitud de ganancia (IGAIN 1).....	68

2.1.1.5 Unidad de sonda (FG DRV).....	68
2.1.1.6 Grabador de trazo (TrcRec).....	68
2.1.2. Menú de parámetros 2.....	69
2.1.2.1. Sonda (Probe1).....	69
2.1.2.2. Filtros altos y bajos (HP/LP:1).....	69
2.1.2.3. Guardar (SAVE).....	70
2.1.2.4. Cargar (RECALL).....	71
2.1.2.5. Plano de la señal (DISPL).....	72
2.1.2.6. Modo de sonda (MODE).....	74
2.1.3. Menú de alarma de caja.....	74
2.1.3.1 Activar (ACTIVE).....	75
2.1.3.2. Acción (ACTION).....	75
2.1.3.3. Forma (SHAPE).....	76
2.1.3.4. Tiempo de alarma (STRCH).....	76
2.1.3.5. Ubicación vertical (TB1).....	76
2.1.3.6 Ubicación horizontal (LR1).....	77
2.1.4 Menú de alarma de segmento.....	77
2.1.5. Menú de señal.....	78
2.1.5.1 Persistir (PERS).....	78
2.1.5.2. Barrido (SWEEP).....	78
2.1.5.3. Cuadrícula (GRAT).....	79
2.1.5.4. Punto inicial (SPOT).....	80
2.1.5.5. Información del punto (SPINFO).....	80
2.1.6. Menú principal.....	80

3. PROCEDIMIENTOS GENERALES.....	82
3.1 MENÚ DE FUNCIONES GENERALES.....	82
3.1.1. Temporizador (P/DOWN).....	83
3.1.2. Sonido de tecleo (KEY CLICK).....	83
3.1.3 Colores de fondo (COLOURS).....	83
3.1.4 Lenguaje (LANGUAGE).....	83
3.1.5 Hora (TIME).....	84
3.1.6 Fecha (DATE).....	84
3.1.7 Código (CODE).....	84
3.2 INSTALACIÓN DEL SOFTWARE PC 5.....	84
3.2.1 Instalación manual de los controladores.....	90
3.2.2 Error de huella digital.....	94
4. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN.....	95
Nota.....	98
Nota 2.....	98
Nota 3.....	98
5. PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN.....	99
5.1 TIPOS DE INSPECCIÓN.....	99
Nota.....	102
Nota 2.....	102
5.2 INSPECCIÓN A UNA SOLDADURA.....	102
6. DESCARGA DE DATOS.....	105

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1.1. Vista frontal del Phassec 3d.....	54
Figura 1.2. Vista posterior del Phassec 3d	55
Figura 1.3. Vista lateral del Phassec 3d.....	55
Figura 1.4. Vista frontal de la batería	56
Figura 1.5. Vista posterior de la batería	56
Figura 1.6. Esquema de la conexión de la batería	60
Figura 1.7. Teclas de función del equipo Phassec 3d	61
Figura 1.8. Puerto de conexión de las sondas.....	64
Figura 2.1. Interfaz presentada en la pantalla del equipo	65
Figura 2.2. Menú de parámetros 1	66
Figura 2.3. Menú de grabación continua.....	68
Figura 2.4. Menú de parámetros 2.....	69
Figura 2.5. Pantalla de guardado de datos.....	70
Figura 2.6. Pantalla de carga de datos.....	71
Figura 2.7. Diferentes planos de coordenadas de señal.....	73
Figura 2.8. Menú de alarma de caja	74
Figura 2.9. Zona de rechazo delimitada por una alarma de caja	75
Figura 2.10. Tipos de alarmas	76
Figura 2.11. Menú de alarma de segmento.....	77
Figura 2.12. Menú de señal	78
Figura 2.13. Tipos de cuadrículas	79

Figura 2.14. Interfaz digital con las coordenadas actuales de la señal.....	80
Figura 2.15. Menú principal o general del equipo	81
Figura 3.1. Menú principal del equipo donde se observan las funciones generales	82
Figura 3.2. Datos presentes en el CD del software PC 5.....	85
Figura 3.3. Texto del archivo.....	85
Figura 3.4. Ventana de instalación exitosa de los drivers del equipo	89
Figura 3.5. Software PC 5.....	94
Figura 4.1. Señales percibidas del bloque de calibración	97
Figura 5.1. Esquema de los dos posibles parridos que se pueden realizar en una soldadura.....	99
Figura 5.2. Dirección de barrido longitudinal y posibles indicaciones que detecta	100
Figura 5.3. Dirección de barrido transversal y posibles indicaciones que detecta	101
Figura 5.4. Señales estándar del bloque de calibración de un acero 1015	103
Figura 5.5. Señal de la grieta 1 de la soldadura de acero 1015.....	103
Figura 6.1. Ventana principal del software PC 5.....	105

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 1.1. Componentes del kit de soldadura.....	57

INFORMACIÓN IMPORTANTE

El equipo Phasec 3d está diseñado para realizar inspecciones no destructivas sobre materiales metálicos de carácter industrial o comercial.

Manual de instrucciones

Este manual contiene información esencial acerca del uso y configuración del equipo Phasec 3d de la marca General Electric para la inspección de soldaduras. Antes de usar el equipo, leer cuidadosamente el presente manual para evitar errores durante el manejo del aparato. El presente manual indica el procedimiento para configurar los parámetros de operación que pueden ser modificados para inspeccionar soldaduras de materiales ferromagnéticos.

Advertencias de uso

1. El equipo no supone ningún tipo de riesgo para el usuario, pero debe manejarse con precaución para evitar mal funcionamiento.
2. Abstenerse de usar el equipo mientras la batería está cargándose, ya que ocasionaría un error de software que forzaría al equipo a apagarse.

INTRODUCCIÓN

El equipo Phasec 3d de la General Electric cumple la función de inspección por Corrientes de Eddy en materiales metálicos, siendo un Ensayo No Destructivo de resultados inmediatos, pero con restricciones dependiendo del metal a inspeccionar. Este equipo opera a corriente y voltaje fijo con sondas a un rango de frecuencias desde 10 KHz hasta 10 MHz.

Nota

El presente manual cumple la función de especificar el procedimiento de inspección en soldaduras del equipo Phasec 3d, según la norma ISO 17643. Las funciones de inspección a piezas no soldadas de materiales paramagnéticos y diamagnéticos, y ensayos de conductividad no son especificadas.

Las piezas adicionales con las que cuenta el equipo, aparte de la consola principal son:

- Paquete de sondas y patrones para la inspección de soldaduras, que se especifican en el capítulo 4 de generalidades.
- Paquete de sondas y patrones para la inspección de grietas superficiales (No se incluye en el presente manual).
- Paquete de sondas y patrones para la medición de conductividad (No se incluye en el presente manual).
- Manual del usuario.

1. GENERALIDADES

El equipo Phasec 3d cuenta con teclas en su panel frontal para variar sobre los diversos menús que contiene, así como para alterar la señal recibida o configurar su calibración. Las figuras 1.1, 1.2 y 1.3 representan las vistas frontal, posterior y lateral del equipo Phasec 3d. Las figuras 1.4 y 1.5 representan las vistas frontal y posterior de la batería del equipo Phasec 3d.

Figura 1.1. Vista frontal del Phasec 3d.



Figura 1.2. Vista posterior del Phasesc 3d.



Figura 1.3. Vista lateral del Phasesc 3d.



Figura 1.4. Vista frontal de la batería.



Figura 1.5. Vista posterior de la batería.







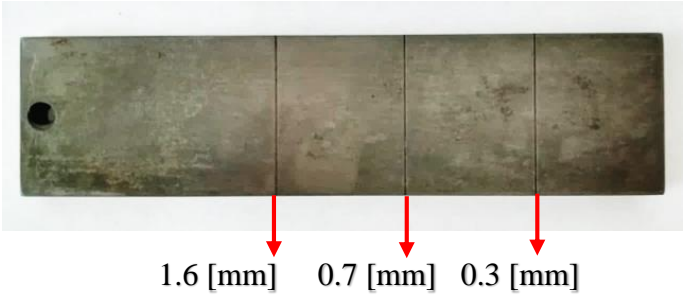
1.1 COMPONENTES DEL KIT DE SOLDADURA

El kit de soldadura consta de tres sondas con diferentes diámetros para la inspección de grietas en soldaduras de diferentes tamaños, el kit también incluye los conectores y cables necesarios para realizar adecuadamente la conexión de las sondas al equipo (Todas las sondas deben llevar un protector especial en su punta para protegerlas del desgaste. Cada kit del equipo cuenta con este protector). Además de eso, en este kit también se encuentra presente una placa de calibración de acero al carbono y el CD del software PC 5, usado para extraer los datos guardados del equipo a un computador. En la tabla 1.1 se detallan los diferentes componentes que posee este kit:

Tabla 1.1. Componentes del kit de soldadura.

Componente	Figura
<p>Sonda 130P3</p> <ul style="list-style-type: none"> - Frecuencia: 35 – 250 [kHz] - Diámetro: 4 [mm] - Tipo de conexión: BNC 	<p>Plástico protector</p> 
<p>Adaptador 130P3</p> <p>Funciona para conectar el cable de conexión 130P3 con el puerto del equipo Phasec 3d.</p>	
<p>Cable de conexión 130P3</p> <p>Establece la conexión entre la sonda 130P3 y el adaptador 130P3.</p> <p>Ambos extremos poseen una conexión tipo BNC.</p>	

<p>Sonda 800P01</p> <ul style="list-style-type: none"> - Frecuencia: 60 [KHz] – 1.2 [MHz] - Diámetro: 9.5 [mm] - Tipo de conexión: DIN <p>Esta sonda no requiere de un adaptador adicional.</p>	
<p>Sonda 800P04</p> <ul style="list-style-type: none"> - Frecuencia: 100 [KHz] - Diámetro: 16 [mm] - Tipo de conexión: DIN <p>Esta sonda no requiere de un adaptador adicional.</p>	
<p>Cable USB</p> <p>Establece la conexión del equipo Phasec 3d a un computador.</p>	

<p>CD del software PC 5</p> <p>Permite la instalación del software PC 5 para la descarga de datos del equipo a un computador. Su proceso de instalación se detalla en el capítulo 6.</p>	
<p>Placa de calibración</p> <p>31A008</p> <p>Hecha de acero al carbono, cuenta con tres entallas de 1.6 [mm], 0.7 [mm] y 0.3 [mm] de profundidad.</p>	

1.2 INICIO DEL EQUIPO

1.2.1 Encendido del equipo Phasec 3d. Para encender el equipo Phasec 3d, primero se debe conectar la batería al equipo, lo cual se hace al deslizar la batería desde la parte inferior del equipo por la parte posterior hasta el contacto con los pines, donde se presiona y se asegura con el gancho de seguridad, como indica la figura 1.6.

Figura 1.6. Esquema de la conexión de la batería.



Una vez conectada la batería, presionar la tecla de encendido para que se ilumine la pantalla, donde el software cargará automáticamente.



Tecla de encendido

Para desconectar la batería del equipo, se realiza el procedimiento contrario, empezando por quitar la presión del gancho de seguridad, luego se levanta y desliza la batería hacia abajo.

1.2.2 Apagado del equipo Phasec 3d. Mantener presionado la tecla de encendido por dos segundos hasta que la pantalla se oscurezca. Retirar la batería del equipo como se explicó en la sección 1.2.1.

Nota

La batería siempre debe retirarse del equipo para evitar daño alguno. Evitar que la carga de la batería esté igual o por debajo del 20%, de lo contrario el equipo se apagará automáticamente.

1.2.3 Conexión del equipo a un computador para la descarga de datos.

1. Mantener apagado el equipo.
2. Conectar el equipo al computador a través del cable USB presente en el estuche del equipo.
3. Abrir el software PC 5 previamente instalado (en el capítulo 3 se detallará su proceso de instalación).
4. Encender el equipo.
5. Realizar la conexión computador – equipo a través del menú “Conectar” en el software PC

1.3 FUNCIÓN DE LAS TECLAS

El equipo dispone de nueve teclas con las cuales se realizará su manejo, que se encuentran en la cara frontal del equipo, donde algunas se encuentran en pares a ambos lados de la pantalla del equipo cumpliendo la misma función y otras en la parte inferior de la pantalla.

Figura 1.7. Teclas de función del equipo Phasec 3d.



1. Tecla de encendido / apagado:



Sirve para encender o apagar el equipo. Al presionar la tecla brevemente se enciende el equipo. Al mantener sostenida la tecla se apaga el equipo.

2. Tecla de bloqueo:



Tiene como función bloquear o congelar la pantalla del equipo para facilitar el guardado de las curvas obtenidas. Al presionarse por 2 segundos, bloquea la interfaz del equipo con el fin de no modificar ninguna variable con el paso del tiempo.

3. Tecla de borrado:



Al presionarse elimina las curvas presentes en la pantalla. Al mantenerse presionado, elimina las curvas obtenidas por la opción “Recall” (curvas guardadas anteriormente en el equipo) que permanecen en la pantalla.

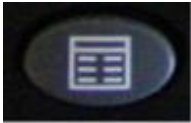
4. Tecla de balance:



Sirve para balancear el punto de la señal recibida al centro de la pantalla o a la coordenada (0,0) al presionarse una vez. Al mantenerse presionado por dos segundos con la sonda en contacto al material de calibración, el equipo señala levantar la sonda que se encuentra en contacto con la pieza y pide volverla a ubicar sobre la superficie del material para otorgar

automáticamente la fase “Phase” requerida con la frecuencia seleccionada. Este proceso se llama “Lift Off”.

5. Tecla de menú:



Permite acceder al menú completo del equipo, donde pueden alterarse todas las variables requeridas en una sola pantalla. También permite acceder a la configuración del equipo (Revisar el capítulo 6).

6. Tecla ejecutar (Exec):



Permite alterar las magnitudes en X y Y de ciertas variables como lo son la ganancia de señal, los filtros pasa altos y pasa bajos y la forma de las cajas de alarma. Sirve para acceder a ciertas operaciones como lo son “Save” y “Recall”. Al mantenerse presionado por dos segundos cuando una sonda está conectada al equipo, se ajusta automáticamente el valor de carga específico en μH .

7. Teclas de selección de función:



Se emplean para seleccionar la variable o función a modificar mostrada en la pantalla en el menú determinado. Van desde F1 hasta F6 y se encuentran ubicadas en la zona inferior del equipo (Ver figura 1). Cada tecla selecciona la función ubicada sobre ella al oprimirla.

8. Tecla OK:



Selecciona uno de los cinco menús disponibles, encontrando el menú 1, 2, de caja, de segmento y de señal. Cada uno de los cinco menús se selecciona oprimiendo el botón hasta encontrar el menú deseado. Cada menú tiene disponible un número de seis funciones que pueden ser seleccionadas a través de las teclas de selección de función.

9. Teclas de movimiento:



Alteran las variables requeridas ajustando el valor de la función seleccionada y sirven para desplazarse en el menú principal.

1.4 CONEXIÓN DE LA SONDA AL EQUIPO

El equipo consta en este caso con tres sondas, en las cuales las 800P01 y la 800P04 pueden conectarse directamente al equipo, mientras que la 130P3 requiere de otros dos componentes para su conexión, ya especificados en las partes del kit en la sección 1.1. La conexión de las sondas se hace sobre el puerto derecho del equipo, como se muestra en la figura 1.8.

Figura 1.8. Puerto de conexión de las sondas.

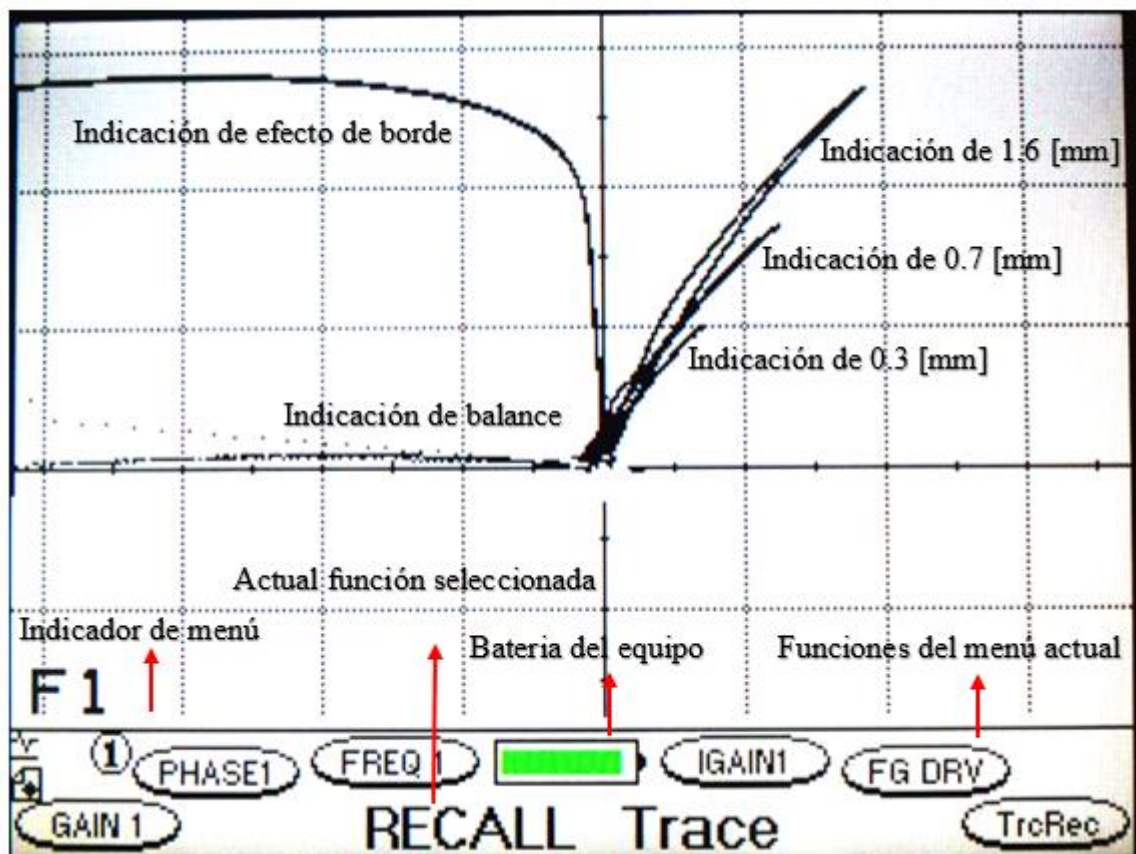


Las sondas deben ser acopladas al puerto indicado teniendo cuidado de hacer coincidir los pines y la ranura de la conexión.

2. INTERFAZ DIGITAL

En esta sección se presentan las diversas funciones que se observan en la pantalla del equipo Phasec 3d. A continuación se detallarán las funciones que cumplen cada menú y la importancia que tienen para la señal percibida por el aparato. En la figura 2.1 se presenta la pantalla del equipo, donde se señala el indicador del menú activo, la función seleccionada, el estado de la batería y las funciones del menú. En el plano de impedancia se señalan las posibles señales que pueden ocurrir durante una inspección, las cuales son la indicación de balance, la indicación característica al ubicar la sonda cerca al borde de la pieza (interfiere en la inspección de las indicaciones presentes) y las indicaciones pertenecientes a tres señales con profundidades de 0.3[mm], 0.7 [mm] y 1.6 [mm].

Figura 2.1. Interfaz presentada en la pantalla del equipo.

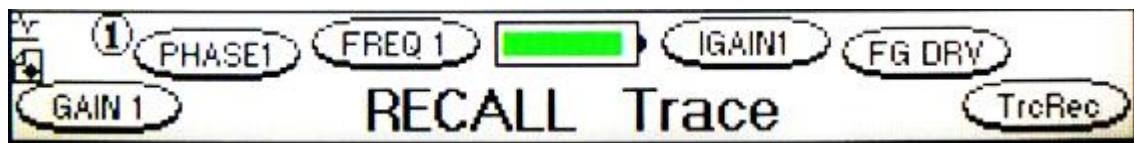


2.1 MENÚS PRINCIPALES DE LA PANTALLA

Las funciones del equipo Phasec 3d están agrupadas en cinco menús que se explicarán a continuación. El orden en que se presentan los menús en este manual es el que se presenta en el software del equipo. En la pantalla del equipo hay un indicador que señala el menú actual activo (ver figura 2.1). El primer menú es:

2.1.1 Menú de parámetros 1 (1). Para llegar a este menú, pulse la tecla OK hasta que aparezca el indicador del menú 1 (1). En este menú encontrará los parámetros básicos para la configuración de la señal de inspección. En la figura 2.2 se presenta el menú de parámetros 1.

Figura 2.2. Menú de parámetros 1.



Este menú cuenta con las funciones de ganancia de señal (GAIN 1), fase (PHASE 1), frecuencia de operación de la sonda (FREQ 1), magnitud de ganancia (IGAIN 1), unidad de sonda (FG DRV) y grabador de trazo (TrcRec). Cada función se selecciona con las teclas de función ubicadas en la parte inferior del equipo (Ver figura 1.7). A continuación, se detalla cada una de las funciones:

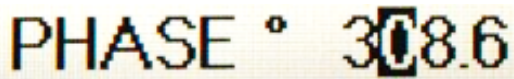
2.1.1.1 Ganancia (GAIN 1):

GAIN 47.5/47.5

Modifica la amplitud de la señal recibida en decibeles para detectar mejor las discontinuidades. Los valores de ganancia pueden ir desde 13 dB hasta 51 dB. La modificación de este parámetro se puede dar de forma separada o conjunta para los ejes XY del plano de impedancia. El valor del lado izquierdo corresponde a la ganancia de señal en el eje X, mientras el valor del lado derecho corresponde a la ganancia de señal del eje Y. Los valores de ganancia cambiarán de acuerdo al tipo de sonda usada y a la frecuencia

seleccionada. Altos valores de ganancia son útiles para pequeñas discontinuidades, pero se captan perturbaciones en la señal (ruido). En base a la norma ISO 17643, el valor de la ganancia debe ser ajustado para que la señal de referencia de mayor profundidad alcance como mínimo el 80% de la altura de la pantalla (El usuario define este punto según el rango de la pantalla). Este dato no se puede cambiar una vez se inicie con la inspección de la pieza.

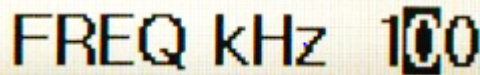
2.1.1.2 Fase (PHASE 1):



PHASE ° 308.6

Cambia el ángulo con el que trabaja la señal con respecto al eje X, haciendo que ésta rote por la pantalla al modificarse este valor. La variación de ángulo de fase tiene valores desde 0° hasta 359.9°. Con la tecla de balance se auto regula la fase para que la señal percibida en el “Lift off” sea horizontal. Para realizar los ensayos, la señal “Lift off” siempre debe ser horizontal hacía el lado negativo del eje X partiendo desde las coordenadas (0,0) (Ver la indicación de balance en la figura 2.1). Si la señal “Lift off” no se establece de forma horizontal, el proceso se debe repetir hasta que la señal se ajuste.

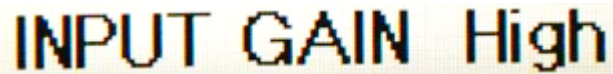
2.1.1.3 Frecuencia (FREQ 1):



FREQ kHz 100

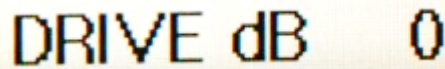
Permite la obtención de una señal de respuesta de acuerdo al tipo de sonda que se use y a la discontinuidad a evaluar. La variación se da desde 10 Hz hasta 10 MHz. Para las sondas que trabajan con un amplio rango de frecuencias (desde 100 KHz hasta 1 MHz), la señal debe ser regulada para altas y bajas frecuencias con los filtros pasa altos y pasa bajos. La frecuencia permitida para obtener una correcta señal, debe ser 10% mayor o menor de acuerdo al límite mínimo y máximo de su rango indicado en un costado de la sonda. Este valor debe configurar manualmente dependiendo de la frecuencia de trabajo de la sonda empleada. Altos valores de frecuencia concentrarán las corrientes en la superficie de la pieza. Bajos valores de frecuencia proporcionan una mayor penetración de las corrientes, útiles para la detección de discontinuidades sub-superficiales.

2.1.1.4 Magnitud de ganancia (IGAIN 1):

A screenshot of a menu option labeled 'INPUT GAIN High' in a pixelated font, with a yellow highlight bar underneath.

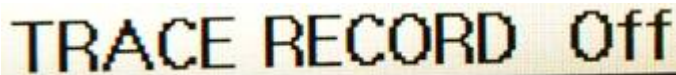
Ajusta la magnitud de la ganancia obtenida a alto o bajo, dependiendo de la frecuencia a usar y de la discontinuidad a inspeccionar. Mantener una magnitud alta permite reducir las perturbaciones eléctricas en la señal. Una baja magnitud sirve para piezas donde no se presenta ruido a causa de la rugosidad superficial. Este nivel de ganancia ajusta la magnitud con la cual la señal variará de acuerdo al valor de ganancia usado.

2.1.1.5 Unidad de sonda (FG DRV):

A screenshot of a menu option labeled 'DRIVE dB 0' in a pixelated font, with a yellow highlight bar underneath.

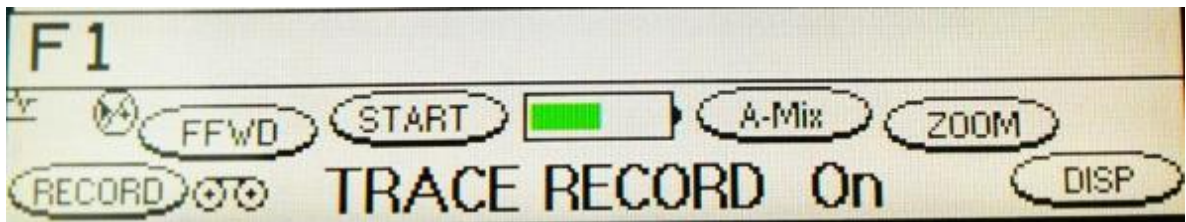
Modifica la ganancia en valores de +8 dB, 0 dB o -8 dB. Mejora la obtención de la señal para defectos pequeños. Es necesaria cuando los niveles de ganancia normales no son capaces de medir con precisión las señales ocasionadas por una discontinuidad.

2.1.1.6 Grabador de trazo (TrcRec):

A screenshot of a menu option labeled 'TRACE RECORD Off' in a pixelated font, with a yellow highlight bar underneath.

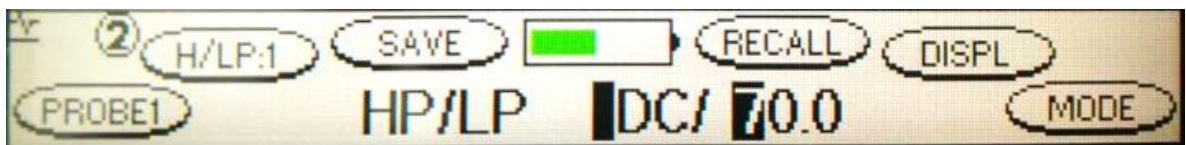
Habilita el menú para grabar los trazos realizados en un periodo de tiempo y que estos se reproduzcan continuamente. Al habilitarse esta opción, se activa un sub menú donde se controla el tiempo de la grabación, presentado en la figura 2.3. Este menú no es detallado en el presente manual ya que en la inspección de soldaduras no es necesario usar este menú.

Figura 2.3. Menú de grabación continua.



2.1.2 Menú de parámetros 2 (2). Para llegar a este menú, pulse la tecla OK hasta que aparezca el indicador del menú 2 (2). En este menú encontrará los parámetros para seleccionar el tipo de sonda, variar los filtros pasa altos y pasa bajos de la señal, y manipular los datos de inspección (Ver figura 2.4).

Figura 2.4. Menú de parámetros 2.



Incluye las funciones de modificación de sonda (PROBE1), filtros pasa altos y pasa bajos (HP/LP:1), las opciones de guardado (SAVE) y cargado (RECALL) de trazos o configuraciones, modificación del plano de la señal (DISPL) y el modo en que trabaja la sonda (MODE). A continuación, se detallarán cada una de las funciones:

2.1.2.1 Sonda (Probe1):

PROBE Absolute

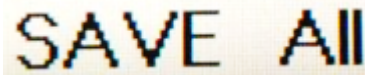
La sonda puede establecerse entre 4 posibles configuraciones: absolute, locator, bridge y reflection. El tipo absolute es el usado por la mayoría de sondas en este equipo, ya que éstas trabajan a una única señal. Los demás tipos de sondas no se incluyen en el kit del equipo.

2.1.2.2 Filtros altos y bajos (HP/LP:1):

A close-up photograph of a control panel. On the left, there is a label 'HP/LP' with a vertical bar to its right. On the right, there is a label 'DC/70.0' with a vertical bar to its left. The background is dark, and the text is illuminated.

Los filtros sirven para regular la señal obtenida por la sonda, eliminando productos de vibración, geometría o ruido en la señal. Los filtros pasa altos (HP) eliminan pequeñas variaciones en la señal cuando se usan bajas frecuencias, y el filtro pasa bajo (LP) suprime las variaciones en la señal al trabajarse con altas frecuencias. Cuando el filtro pasa alto se encuentra en DC, significa que no se está filtrando ninguna señal de baja frecuencia. Esta variación en el HP puede ir desde DC hasta un valor de 1.2 kHz. La variación de LP va desde 3 Hz hasta 2 kHz.

2.1.2.3 Guardar (SAVE):

A close-up photograph of a control panel. The text 'SAVE All' is displayed in a large, bold, sans-serif font. The background is dark, and the text is illuminated.

Esta opción sirve para guardar las curvas obtenidas por una inspección o la configuración necesaria para una sonda o material determinado. La opción “Save Setup” guarda solo la configuración actual del equipo, mientras que “Save Trace” solo guarda la curva que esté actualmente en la pantalla. Al usarse “Save All” se guardan simultáneamente ambos datos. Para seleccionar entre opciones de guardado, se debe seleccionar la función “SAVE” y luego con las teclas de movimiento horizontales se escoge la opción requerida. Para ingresar a la pantalla de guardado, se debe oprimir la tecla ejecutar luego de haber seleccionado la función “SAVE”. En la figura 2.5 se mostrará la pantalla de guardado que se observa en la interfaz del equipo.

Figura 2.5. Pantalla de guardado de datos.

No	MT: Type	Name	Date	Time
31	NS:Full	130P3 W04 CRK 4	04 Dec2018	10:47
32	NS:Full	130P3 W04 CRK 3	04 Dec2018	10:52
33	NS:Full	130P3 W04 CRK 5	04 Dec2018	10:53
34	NS:Full	130P3 W04 CRK 6	04 Dec2018	10:55
35	NS:Full	130P3 W04 CRK 7	04 Dec2018	11:02
36	NS:Full	130P3 W04 CRK 8	04 Dec2018	11:03
37	?:Empty	130P3 W04 C9		
38	?:Empty			
39	?:Empty			
40	?:Empty			

ABCDEFGHI J
 KLMNOPQRST
 UVWXYZ - +
 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

② CLEAR < [] > UP
 SAVE SAVE All DOWN

De acuerdo a la figura 2.5, se presentan diferentes opciones en el menú “SAVE”, estas son: “SAVE” para almacenar los datos en el equipo, “CLEAR” para eliminar el nombre del archivo, “UP” y “DOWN” para moverse entre los datos almacenados, y las flechas de control para modificar el nombre del archivo. Los datos solo pueden guardarse en espacios vacíos “Empty”. Si no hay espacios vacíos disponibles, se deberán borrar datos para seguir almacenando nueva información.

2.1.2.4 Cargar (RECALL):

RECALL Setup

Sirve para cargar en el equipo la curva o configuración previamente guardada. Al llamarse una curva, ésta quedará impresa en la pantalla del equipo en color negro y no podrá ser modificada. También es posible cargar una configuración y curva a la vez al usar la opción “RECALL ALL”. Para acceder a la pantalla de carga, que se observa en la figura 2.6, primero se debe seleccionar la función “RECALL” con las teclas de función y luego oprimir la tecla ejecutar.

Figura 2.6. Pantalla de carga de datos.

No	MT: Type	Name	Date	Time
21	NS:Full	130P3 PATRON 31A	03 Dec2018	09:23
22	NS:Full	130P3 PATRON W04	03 Dec2018	09:36
23	NS:Full	P01LU PATRON 31A	03 Dec2018	10:03
24	NS:Full	P01LU PATRON W04	03 Dec2018	10:16
25	NS:Full	P04MB PATRON 31A	03 Dec2018	10:39
26	NS:Full	P04MB PATRON W04	03 Dec2018	10:46
27	NS:Full	P01LU TP22	03 Dec2018	11:04
28	NS:Full	130P3 TP22	03 Dec2018	11:17
29	?:Empty			
30	?:Empty			

① DEL [] [] UP
 RECALL RECALL Setup DOWN

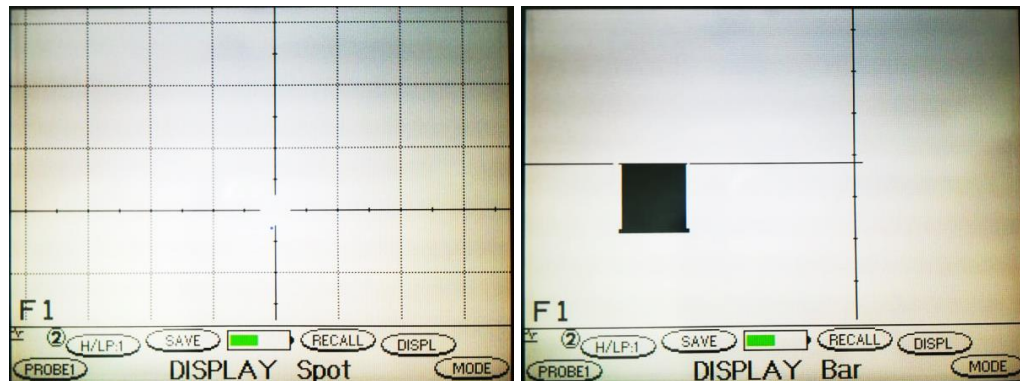
Las opciones de este menú son: “RECALL” para cargar curvas o configuraciones al equipo y “DEL” para eliminar el archivo previamente seleccionado.

2.1.2.5 Plano de la señal (DISPL):

DISPLAY Spot

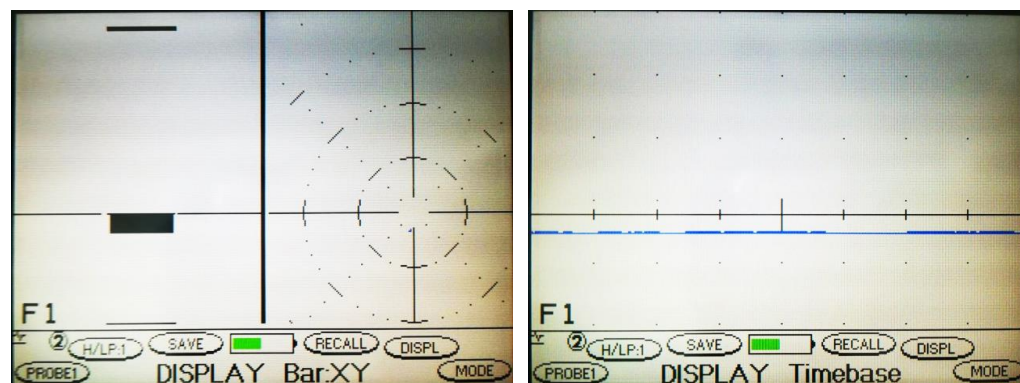
Cambia la forma en que se presenta la señal en la pantalla cambiando a su vez la forma del plano de coordenadas. El primer tipo es el “Spot” donde la señal se visualiza como un punto en el plano de coordenadas. El segundo es el tipo “Bar” donde la señal se muestra como una barra que varía su altura en el eje Y dependiendo de la señal recibida. La tercera es “Bar: XY”, parecida al tipo “Bar” solo que esta dispone de un plano de coordenadas polares extra para visualizar la señal. El cuarto es “Timebase” donde la señal se registra a través del tiempo en forma continua. Y el quinto tipo es “Waterfall”, el cual también se basa en captar la señal en un determinado tiempo, pero esta señal se mueve de forma descendente a través de la pantalla. En la figura 2.7 se presentan las diferentes formas de las señales o resultados en el respectivo orden mencionado.

Figura 2.7. Diferentes planos de coordenadas de señal. Los tipos son: a) spot, b) bar, c) bar: XY, d) timebase y e) waterfall.



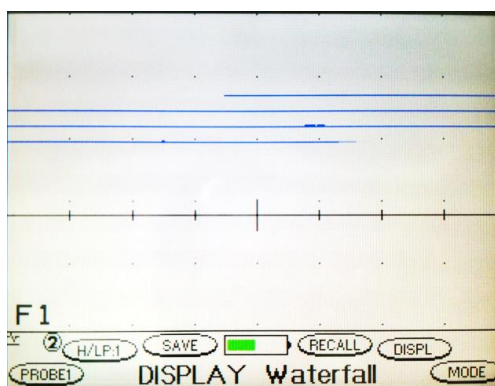
a)

b)



c)

d)



e)

2.1.2.6 Modo de sonda (MODE):

MODE NormalSingle

Indica el modo en que opera la sonda, siendo el “NormalSingle” el más común para aplicaciones donde solo se usa una sonda. Estas aplicaciones van desde la inspección de corrosión, detección de grietas superficiales, inspección de pequeños espesores e inspección en soldaduras. Los modos de conductividad, rotación y modo dual no son especificados en este manual.



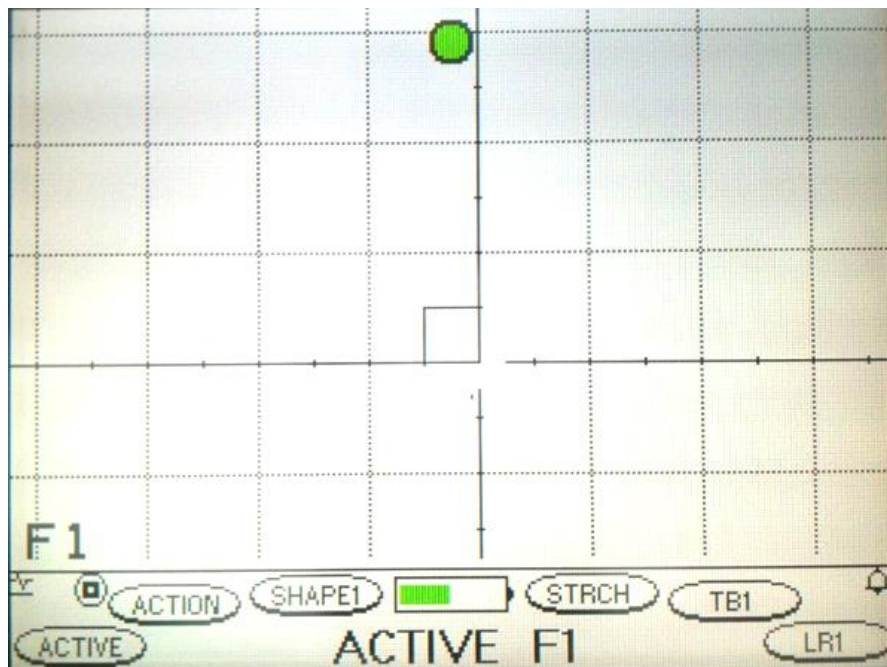
2.1.3 Menú de alarma de caja . Este es el tercer nivel de menús disponible, para el cuál se debe oprimir la tecla OK hasta que se llegue al indicador del menú 3 (). Este menú solo se encuentra disponible en el tipo de cuadrícula 1 y 2. En este menú se especifican los parámetros para modificar la alarma de tipo caja (Ver figura 2.8).

Figura 2.8. Menú de alarma de caja.



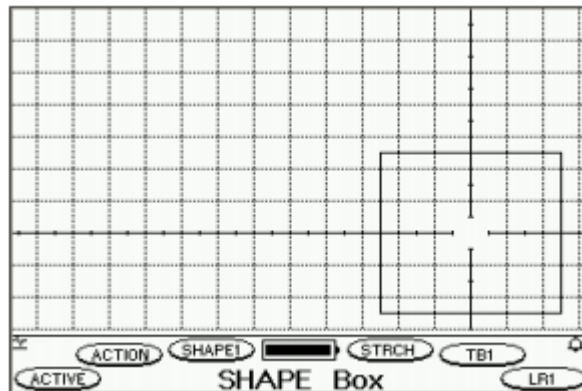
Este menú habilita la opción de una alarma para notificar al usuario sobre alguna variación en la señal captada. Sus funciones, que se explicarán a continuación son: activar (ACTIVE), acción (ACTION), forma (SHAPE1), tamaño (STRCH), ubicación vertical (TB1) y ubicación horizontal (LR1). Cada una de estas funciones se detallará a continuación:

2.1.3.1 Activar (ACTIVE):

ACTIVE F1

Inicia la función de alarma al introducir un segmento rectangular sobre la pantalla. Esta zona notifica al usuario cuando una señal llega a la zona delimitada por la alarma de caja. La caja se ubica en la zona del diagrama considerado como zona de rechazo, indicando que la señal corresponde a una señal procedente de una discontinuidad que debe ser rechazada o mayor a una de referencia. También puede configurarse para indicar cuando aparece una señal, aún si esta no es relevante. En la figura 2.9 se observa la caja de alarma en la pantalla.

Figura 2.9. Zona de rechazo delimitada por una alarma de caja.



2.1.3.2 Acción (ACTION):

ACTION Tone

Indica la acción de la alarma al momento en que una señal entra a la zona designada. Esta alarma se puede ajustar en tres opciones: timbre, congelar o timbre y congelar. La opción de timbre emite un sonido cuando la señal toca la zona de alarma; el modo congelar pausa la

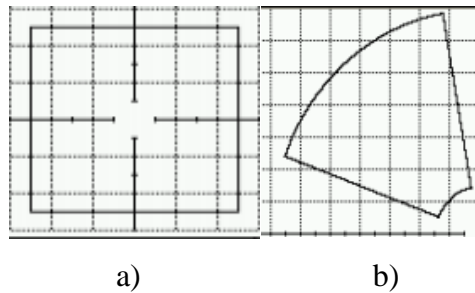
pantalla al momento en que la señal atraviesa el límite de la alarma; y el último modo hace ambas cosas, timbrar y congelar a la vez. Permite clasificar señales críticas de señales irrelevantes.

2.1.3.3 Forma (SHAPE1):

SHAPE Sector

Modifica la forma de la zona de alarma, optando por una zona rectangular (Box) o un segmento de circunferencia (Sector) como se indica en la figura 2.10.

Figura 2.10. a) Alarma de caja y b) alarma de segmento



2.1.3.4 Tiempo de alarma (STRCH):

STRETCH 50 ms

Aumenta o disminuye el tiempo en que suena la alarma una vez la señal entra en contacto con la zona de alarma.

2.1.3.5 Ubicación vertical (TB1):



TOP/BTM 10/0

Mueve la zona de alarma en sentido vertical. El primer número modifica la parte superior de la zona mientras que el segundo número modifica la zona inferior.

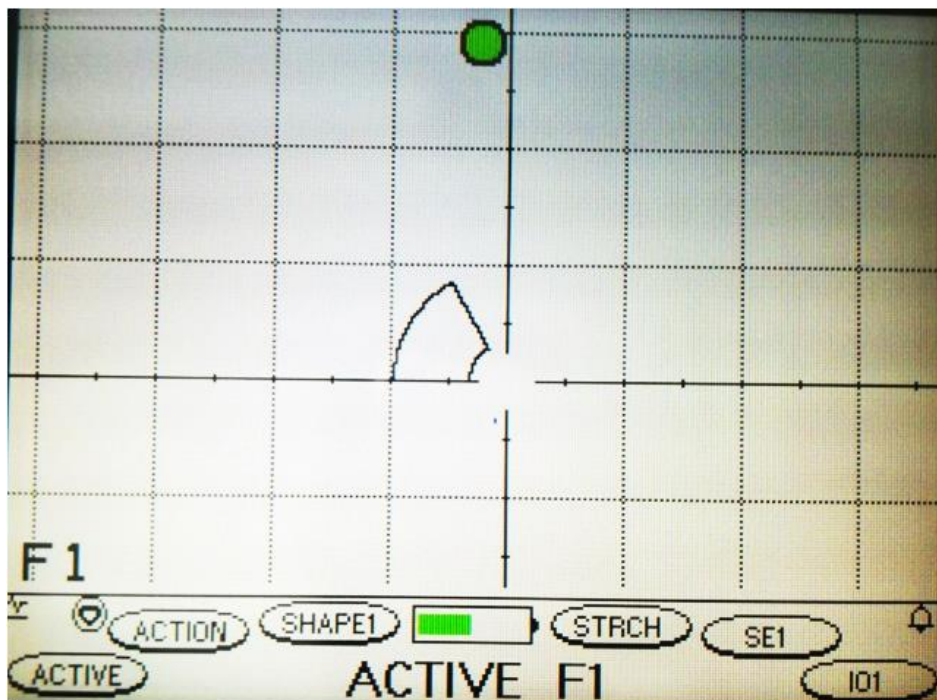
2.1.3.6 Ubicación horizontal (LR1):

LFT/RIGHT -10/0

Desplaza las partes izquierda y derecha de la zona de alarma. El primer número modifica el lado izquierdo y el segundo número cambia el lado derecho.

2.1.4 Menú de alarma de segmento . Este es el cuarto nivel de menús disponible. Para acceder a este menú se debe oprimir tantas veces sea necesaria la tecla OK hasta que se observe el indicador de este menú (). Este menú cumple la misma función que el menú de alarma de caja, solo que la forma de la alarma pasa a ser un segmento de circunferencia en vez de un cuadrado (Ver figura 2.11).

Menú de alarma de segmento.

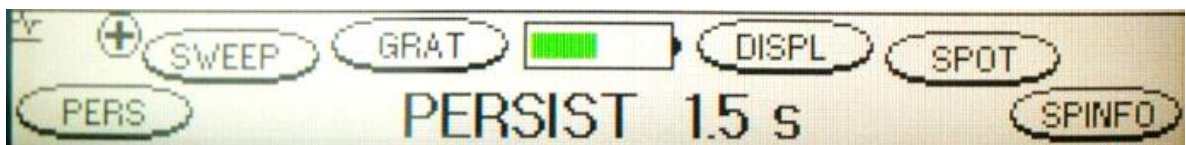


Las primeras tres funciones de este menú son idénticas al menú anterior, para su configuración revisar la sección 2.1.3 de este manual.

Las funciones “STRCH”, “SE1” y “IO1” definen la forma y el tamaño de la circunferencia, y se modifican de igual manera que en la alarma de caja solo teniendo en cuenta que su área de rechazo será de una circunferencia y no de un cuadrado.

2.1.5 Menú de señal⁺. Este es el quinto menú. Se debe oprimir cuantas veces sean necesarias la tecla OK hasta que el indicador marque el menú 5 (⁺). Aquí se varían los parámetros de persistencia de señal en la pantalla del equipo (Ver figura 2.12).

Figura 2.12. Menú de señal.



Este menú sirve para alterar la permanencia de la señal en la pantalla, así como alternar la cuadrícula del eje de coordenadas usado. Sus funciones son: Persistir (PERS), Barrido (SWEEP), Cuadrícula (GRAT), Plano de señal (DISPL), punto inicial (SPOT) e información del punto (SPINFO). Las funciones se detallarán a continuación:

2.1.5.1 Persistir (PERS):

PERSIST 1.5 s

Mantiene impresa la señal recibida por el equipo el tiempo seleccionado. El rango de tiempo en que la señal puede permanecer en la pantalla va desde 0.2 a 20 segundos. Cuando el tiempo de permanencia es muy bajo, la señal se verá solo por unos instantes en el equipo, mientras que si el tiempo de permanencia es alto, la señal durará más tiempo sobre la pantalla y será más fácil registrarla y guardarla en los datos del equipo. Un valor promedio establecido de tiempo de permanencia para una inspección es de 5 segundos.

2.1.5.2 Barrido (SWEEP):

SWEEP 0.5 s

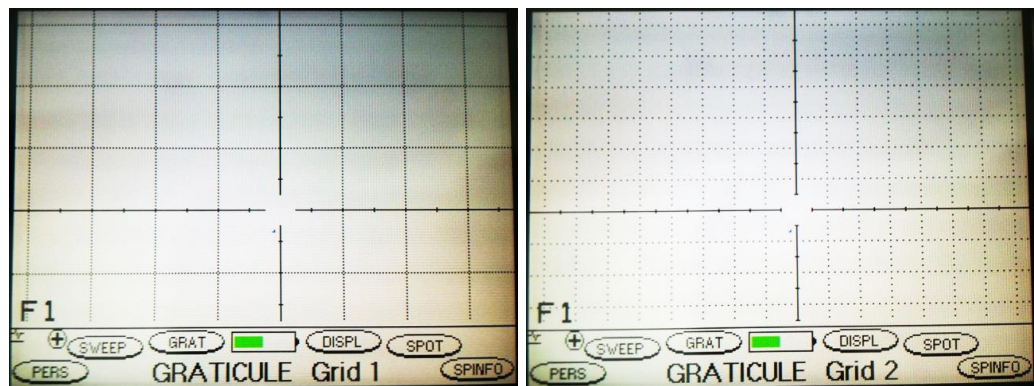
Solo funciona con la opción “Timebase” de la función “DISPL”. Establece el tiempo en que se demora la señal en moverse a través de la pantalla. El valor recomendado es de 2 segundos.

2.1.5.3 Cuadrícula (GRAT):

GRATICULE None

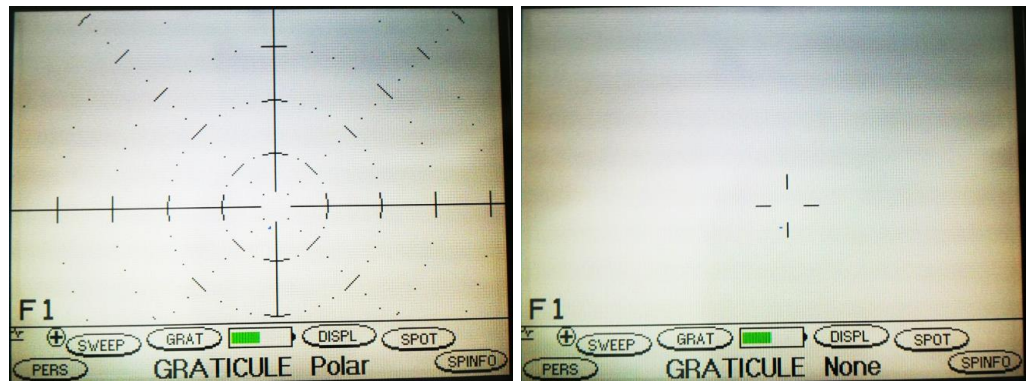
Alterna la forma de la cuadrícula presente en la pantalla, teniendo las formas de: tipo 1, tipo 2, polar y sin cuadrícula. En la figura 2.13 se muestran las diferentes formas de la cuadrícula.

Figura 2.13. Tipos de cuadrículas. En orden: a) tipo 1, b) tipo 2, c) polar y d) sin cuadrícula.



a)

b)



c)

d)

2.1.5.4 Punto inicial (SPOT):

SPOT XY 85/-15

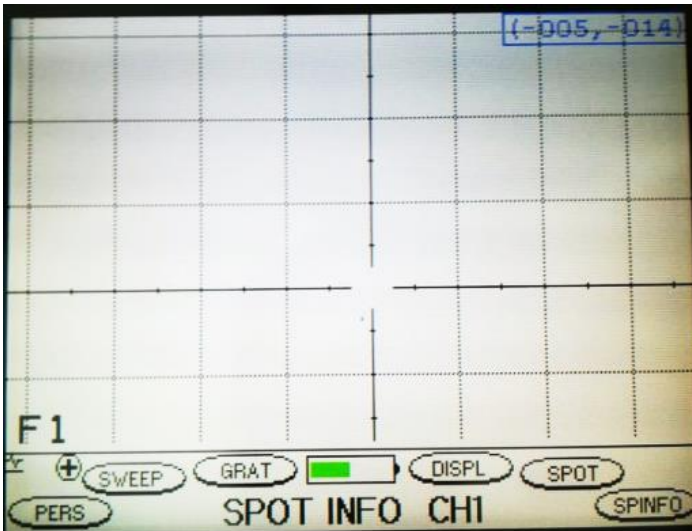
Establece la posición en que se ubicará la señal al balancear la señal por medio del “Lift off”. El valor de la izquierda corresponde al eje X y el valor de la derecha al eje Y. Esta posición se cambia para que la zona o cuadrante en donde la señal se muestra esté en mayor proporción y sea más fácil de analizar.

2.1.5.5 Información del punto (SPINFO):

SPOT INFO CH1

Muestra las coordenadas actuales del punto en un cuadro en la esquina superior derecha de la pantalla, como lo muestra la figura 2.14.

Figura 2.14. Interfaz digital con las coordenadas actuales de la señal.



2.1.6 Menú principal. Este menú abarca todas las funciones ya vistas en este capítulo de una forma más general sobre la misma pantalla. También se puede acceder a la configuración del equipo desde este menú, el cuál será detallado en el capítulo 6 de este manual. La siguiente figura muestra la pantalla del menú principal al cual se accede oprimiendo la tecla de menú (Ver figura 1.1).

Figura 2.15. Menú principal o general del equipo.

(ROTARY)		(ALARM)		(TRACE DISP)	
GAIN	50.0/50.0	ACTIVE	None	DISPLAY	YT:XY
PHASE °	10.0	ACTION	Off	GRATICULE	Fixed
FREQ kHz	500	SHAPE	Box	SPOT XY	88/0
FILTER	BP RATIO	TOP/BTM	Off/Off	SPOT INFO	None
HP/LP	1100/2000	LFT/RGHT	Off/Off	PERSIST	0.1 s
INPUT GAIN	High			RPM	Off
PROBE	Reflection			STRETCH	50 ms
(OUTPUT)				SAVE	Setup
ANALOG O/P 1	X1			RECALL	Setup
ANALOG O/P 2	Y1			TRACE RECORD	OFF

PHASE1	FREQ 1	<input type="checkbox"/>	H/LP:1	TrcRec
GAIN 1	GAIN 50.0/50.0			DISPL

En este menú se organizan la mayoría de funciones del equipo, desde aquí se pueden alterar todas las variables de inspección necesarias, así como guardar o llamar trazos y alterar la configuración del equipo.

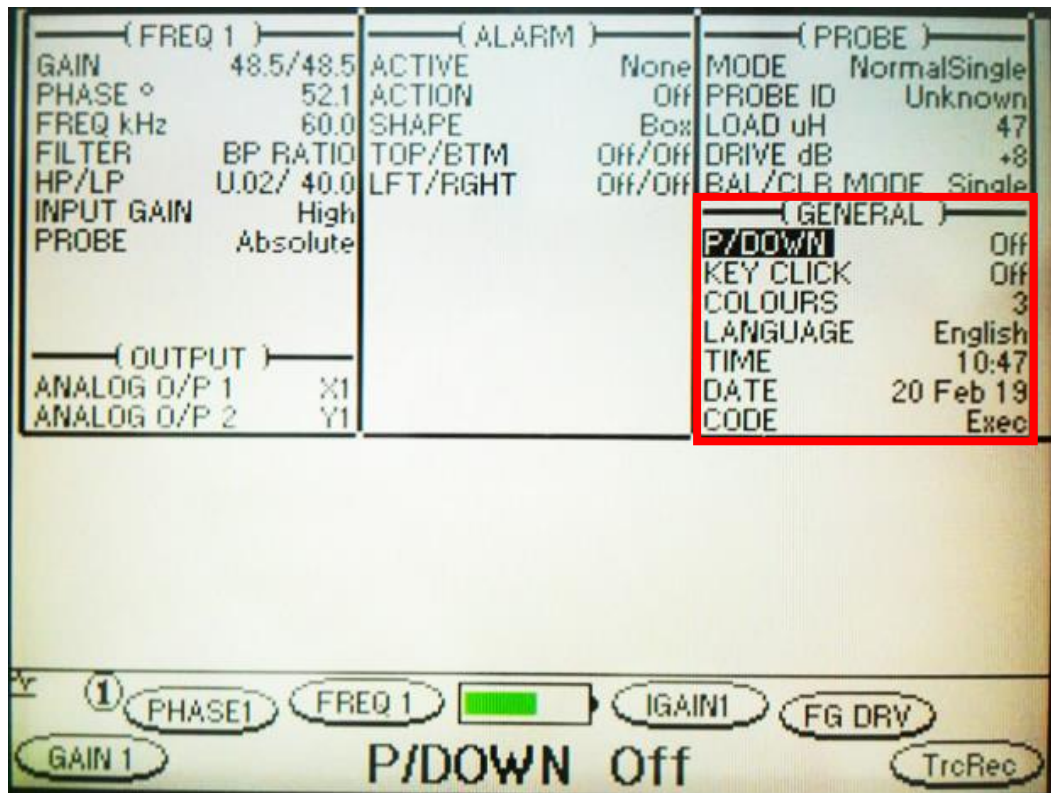
3. PROCEDIMIENTOS GENERALES

En este capítulo se especificará sobre las variaciones que pueden presentarse en el sistema, tales como lo son el cambio de lenguaje, de hora, de color de la pantalla, entre otras funciones. También se hablará sobre el software PC 5, usado en la extracción de datos del equipo.

3.1 MENÚ DE FUNCIONES GENERALES:

En esta pantalla se muestran las funciones generales o configuración básica del equipo, ubicadas en la zona “GENERAL” al costado derecho de la interfaz. En la figura 3.1 se pueden observar las diferentes funciones que posee este menú.

Figura 3.1. Menú principal del equipo donde se observan las funciones generales.



Como se observa en la figura 3.1, el menú de funciones generales se encuentra al lado derecho del menú principal, contando con las funciones de temporizador (P/DOWN), sonido de teclado

(KEY CLICK), colores de fondo (COLOURS), lenguaje (LANGUAGE), hora (TIME), fecha (DATE) y código (EXEC). A continuación, se detallará la función de cada uno de ellos:

3.1.1 Temporizador (P/DOWN):



P/DOWN 20 min

Dispone al equipo de un tiempo definido antes de apagarse si no se está usando. La variación de este temporizador va desde la opción “OFF” donde se está apagada esta función, hasta un intervalo de tiempo desde 5 hasta 20 minutos.

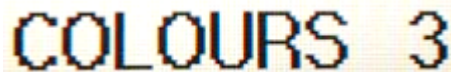
3.1.2 Sonido de tecleo (KEY CLICK):



KEY CLICK On

Activa o desactiva el sonido de timbre cuando se presionan las teclas del equipo. Solo tiene dos opciones que son “ON” y “OFF”.

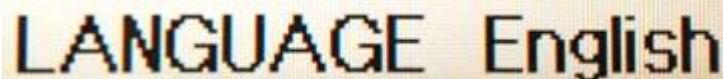
3.1.3 Colores de fondo (COLOURS):



COLOURS 3

Alterna entre diferentes colores para el fondo, pasando por 8 diferentes tipos de colores. Las variaciones se dan desde 1 a 8, donde el color puede ser negro, verde, blanco, rojo y morado. Lo recomendable para tener una buena visión de la zona de inspección es el color 3, que es el fondo blanco con letras negras típico del equipo.

3.1.4 Lenguaje (LANGUAGE):



LANGUAGE English

Cambia el idioma del software del equipo, alternando entre inglés, francés, alemán, español, portugués, chino y japonés. Para cambiar el idioma del equipo, es necesario seleccionar el

idioma deseado (teniendo el inglés como idioma preestablecido) y a continuación oprimir la tecla ejecutar “EXEC”.

3.1.5 Hora (TIME):

A screenshot of a menu option labeled 'TIME' with the current time '10:52' displayed next to it.

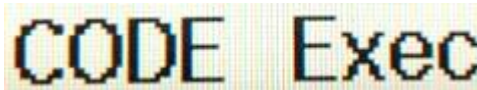
Modifica el reloj interno del equipo, desplegando la hora actual cada vez que se accede a este menú.

3.1.6 Fecha (DATE):

A screenshot of a menu option labeled 'DATE' with the current date '20 Feb 19' displayed next to it.

Modifica la fecha que registra el equipo.

3.1.7 Código (CODE):

A screenshot of a menu option labeled 'CODE' with the text 'Exec' displayed next to it.

Muestra la versión actual del software del equipo y de otros controladores que puede tener.

3.2 INSTALACIÓN DEL SOFTWARE PC 5:

Este software viene en formato de CD, como se muestra en la sección 1.1 del presente manual. Este programa es usado para extraer los datos de curvas y parámetros de calibración guardados en el equipo para su mejor comprensión, posterior análisis y elaboración de informes. A continuación, se detallará el proceso de instalación del programa para que el software quede funcionando correctamente.

Al introducir el CD al computador, se habilitará automáticamente el contenido del mismo, siendo el siguiente:

Figura 3.2. Datos presentes en el CD del software PC 5.

Archivos actualmente en el disco (6)

Phasec 3 USB	24/10/2012 12:48 a...	Carpeta de archivos	
SPC5	24/10/2012 12:48 a...	Carpeta de archivos	
Autorun	24/10/2012 12:48 a...	Información sobre...	1 KB
monogramblue	24/10/2012 12:48 a...	Archivo ICO	24 KB
Phasec 3 USB Driver Instructions	24/10/2012 12:48 a...	Documento de Mi...	242 KB
README	24/10/2012 12:48 a...	Documento de tex...	1 KB

El primer paso es abrir el archivo “README”, para saber qué condiciones operativas necesita el equipo e información extra, como se presenta en la figura 3.3.

Figura 3.3. Texto del archivo “README”.

```
README: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
GE Inspection Technologies Ltd SupervisorPC5 CD ROM

Read this file to find out last minute changes and how to sort out common problems with installing and using this software.

1) System Requirements:
30 MB of free Hard Disk
CD-ROM drive (8x)
Serial Port with 7 pin DEE connector
Windows XP or Windows 2000
Internet Explorer 5.5 or above

2) Installing SupervisorPC5

Place the CD in your CD-ROM drive.
The installation runs automatically unless you have disabled Autorun for the CD ROM drive.

If Autorun is disabled then use Windows Explorer to open the "SPC5" folder and double click on the file "setup.exe".

GE Inspection Technologies Ltd
129-135 Camp Road
St Albans
Herts
AL1 5HL
UK

Tel: +44 (0)1727 795500
Fax: +44 (0)1727 795400

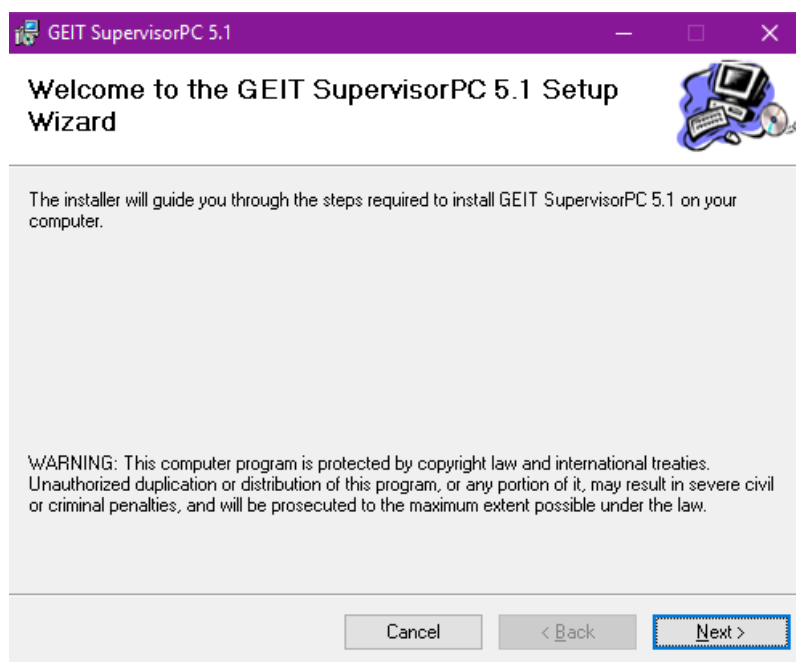
URL: http://www.geinspectiontechnologies.com
```

Como lo indica el archivo, si el proceso de instalación no ocurre automáticamente, se debe iniciar la instalación de forma manual a través de la aplicación “setup.exe”, ubicada en la carpeta “SPC5”:

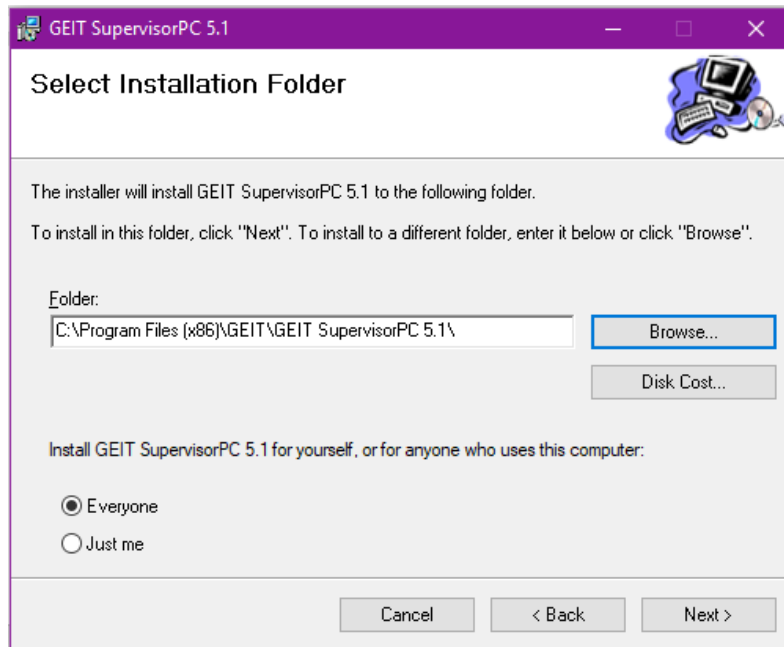
Archivos actualmente en el disco (6)				
	Phasec 3 USB	24/10/2012 12:48 a...	Carpeta de archivos	
<input checked="" type="checkbox"/>	SPC5	24/10/2012 12:48 a...	Carpeta de archivos	
	Autorun	24/10/2012 12:48 a...	Información sobre...	1 KB
	monogramblue	24/10/2012 12:48 a...	Archivo ICO	24 KB
	Phasec 3 USB Driver Instructions	24/10/2012 12:48 a...	Documento de Mi...	242 KB
	README	24/10/2012 12:48 a...	Documento de tex...	1 KB

Archivos actualmente en el disco (3)				
	vcredist_x86	24/10/2012 12:48 a...	Carpeta de arc...	
	setup	24/10/2012 12:48 a...	Aplicación	362 KB
<input checked="" type="checkbox"/>	Setup	24/10/2012 12:48 a...	Paquete de Wi...	5.717 KB

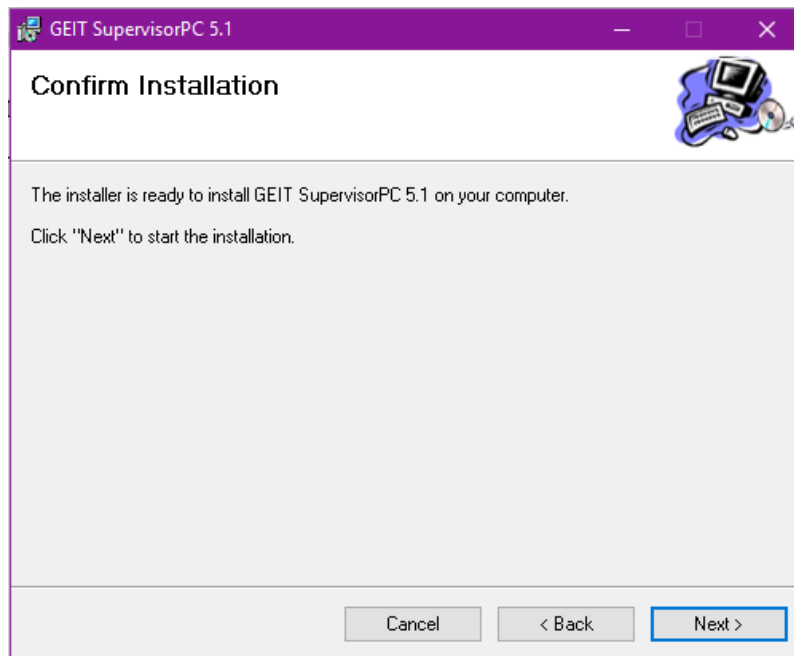
Al iniciar esta aplicación, saltará en la pantalla el cuadro de instalación del programa, donde se deberá seguir el proceso de instalación normal:

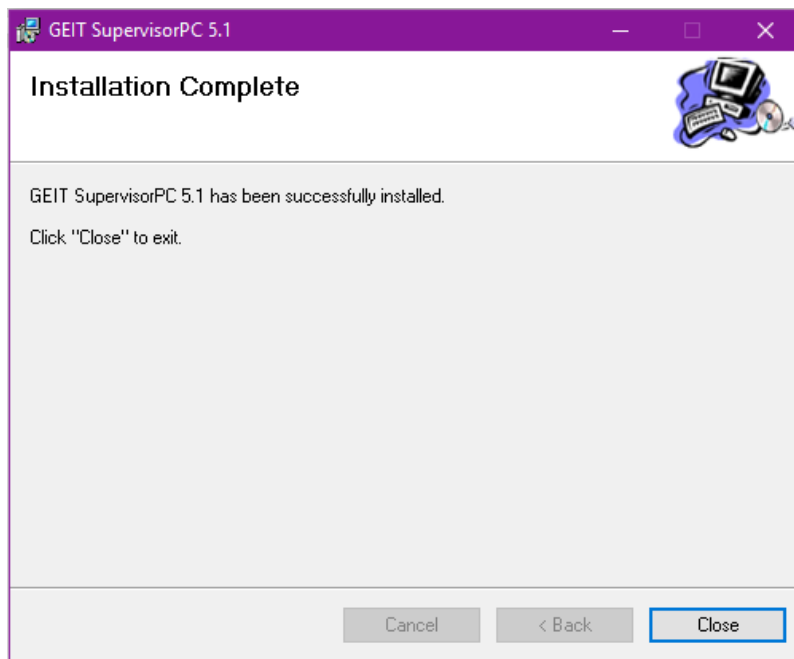
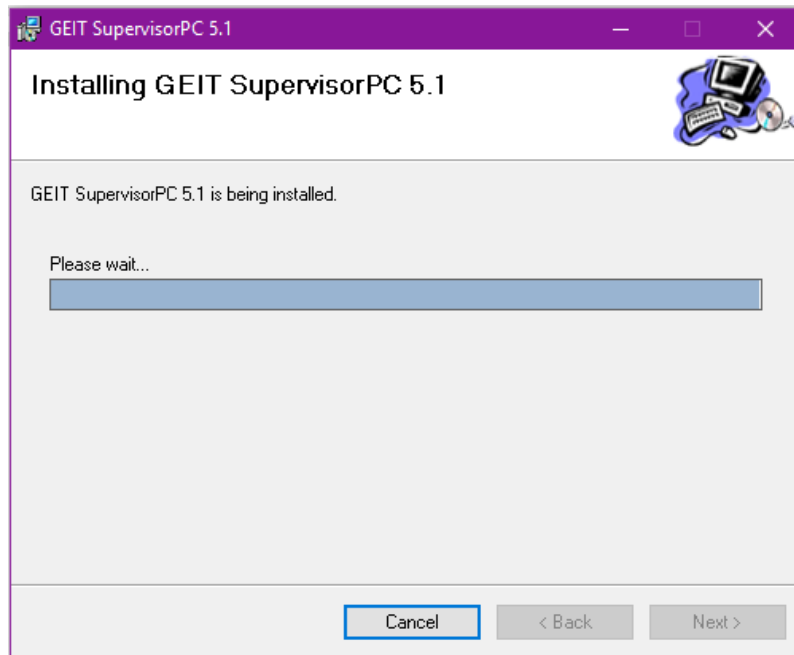


Dar clic en la opción “Next”.



Seleccionar la carpeta destino de instalación y seguir con el proceso dando clic en “Next”.











Al terminar la instalación, dar clic en “Close” para cerrar el instalador. Aunque el programa ya se encuentra instalado, todavía no puede usarse, ya que es necesario instalar los drivers requeridos para que el computador pueda reconocer al equipo Phasec 3d. Para realizar la

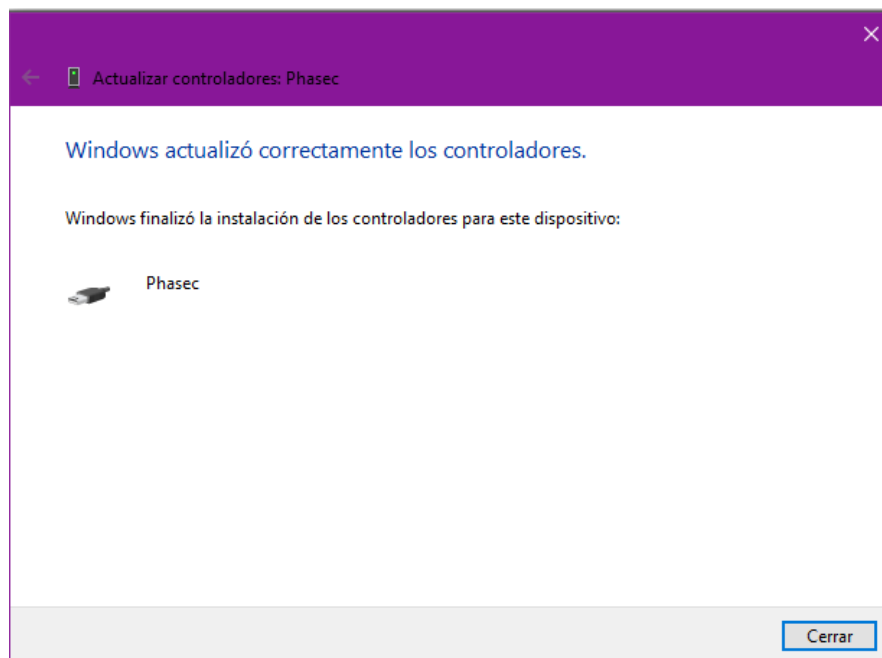
instalación de estos, primero se debe acceder al archivo llamado “Phasec USB Drive Instructions” el cuál especifica como instalar los drivers. Para este paso es necesario tener el equipo conectado al computador, ya que es el que iniciará la ventana de instalación.

▼ Archivos actualmente en el disco (6)

 Phasec 3 USB	24/10/2012 12:48 a...	Carpeta de archivos	
 SPC5	24/10/2012 12:48 a...	Carpeta de archivos	
 Autorun	24/10/2012 12:48 a...	Información sobre...	1 KB
 monogramblue	24/10/2012 12:48 a...	Archivo ICO	24 KB
<input checked="" type="checkbox"/>  Phasec 3 USB Driver Instructions	24/10/2012 12:48 a...	Documento de Mi...	242 KB
 README	24/10/2012 12:48 a...	Documento de tex...	1 KB

Para comenzar con el proceso, se debe conectar el equipo al computador a través del cable USB, pero éste debe estar apagado. Una vez se conecte el equipo al computador, debe encenderse para que el computador reconozca el equipo Phasec 3d e inicie automáticamente el proceso de instalación. Los drivers se instalarán automáticamente y al final se mostrará que los drivers fueron instalados correctamente (Ver figura 3.4).

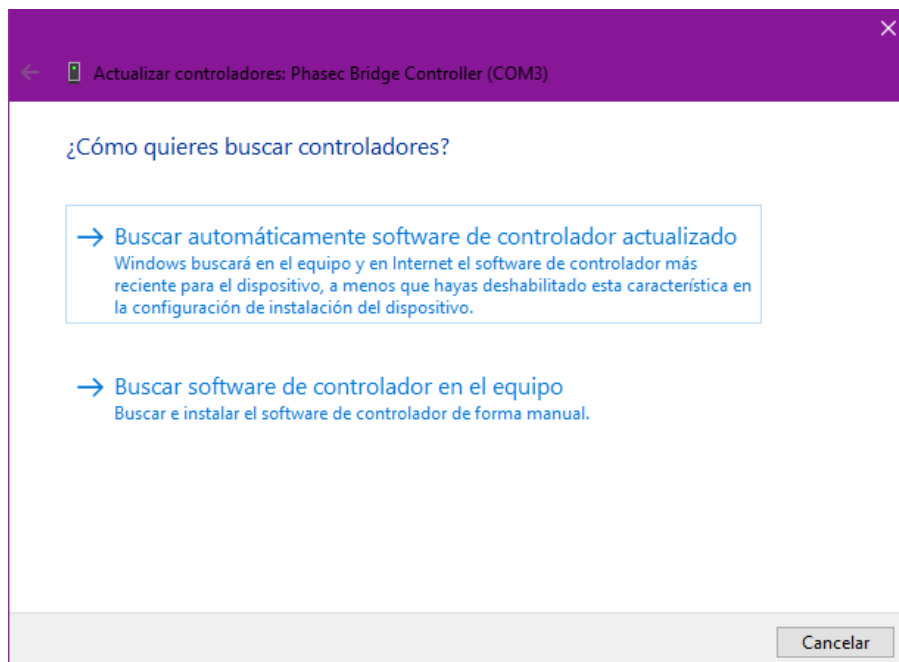
Figura 3.4. Ventana de instalación exitosa de los drivers del equipo.



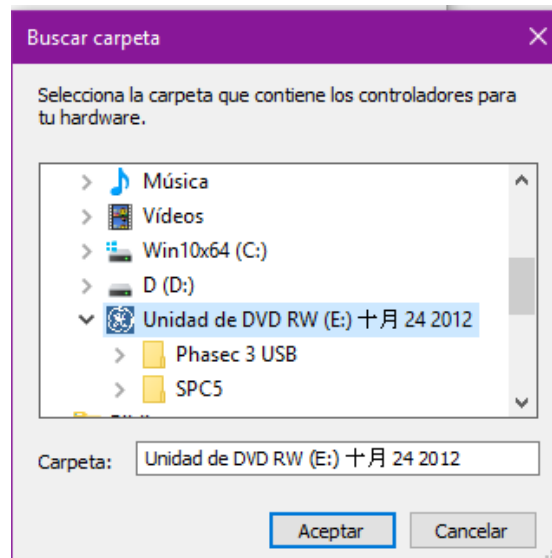
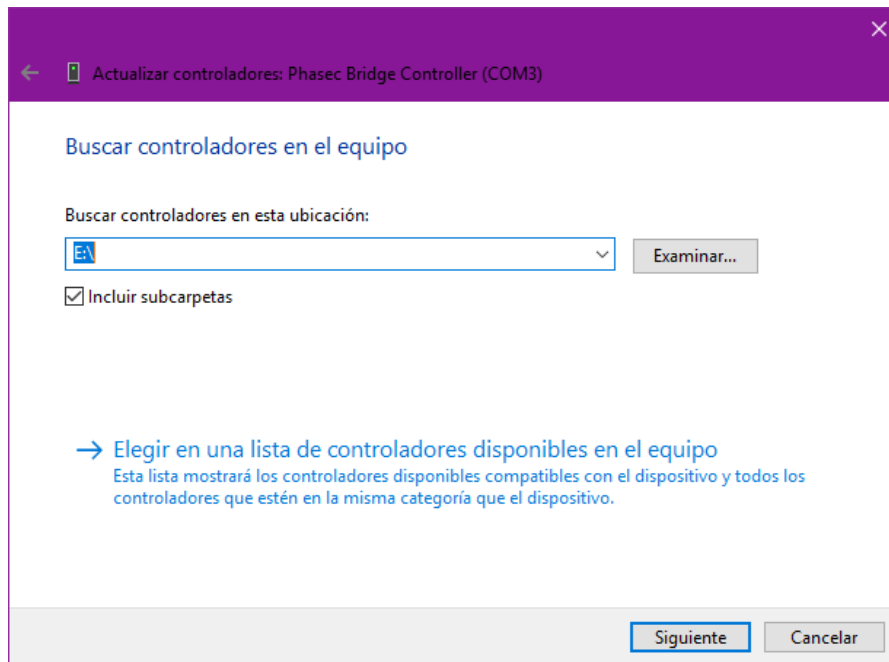
Al tenerse los drivers instalados, se puede proceder a ejecutar el programa PC 5 para extraer los datos guardados en el equipo.

3.2.1 Instalación manual de los controladores. Si el computador no reconoce automáticamente el equipo, los pasos a seguir para la instalación manual de los drivers son:

1. Ir a panel de control.
2. Ingresar a configuración de dispositivos.
3. Seleccionar en otros dispositivos y luego la referencia del equipo, CP103 USB to UART.
4. Entrar a propiedades y seleccionar la opción de actualizar controladores. Al realizar esta acción, saldrá una ventana que sugiere buscar los controladores de forma automática o manual, para este caso se selecciona la opción de “Buscar software de controlador en el equipo”.

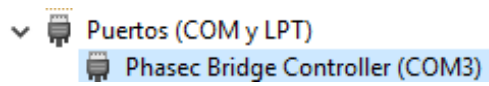


5. Al seleccionar esta opción, se debe buscar la carpeta del CD que es donde se encuentran los controladores del equipo.



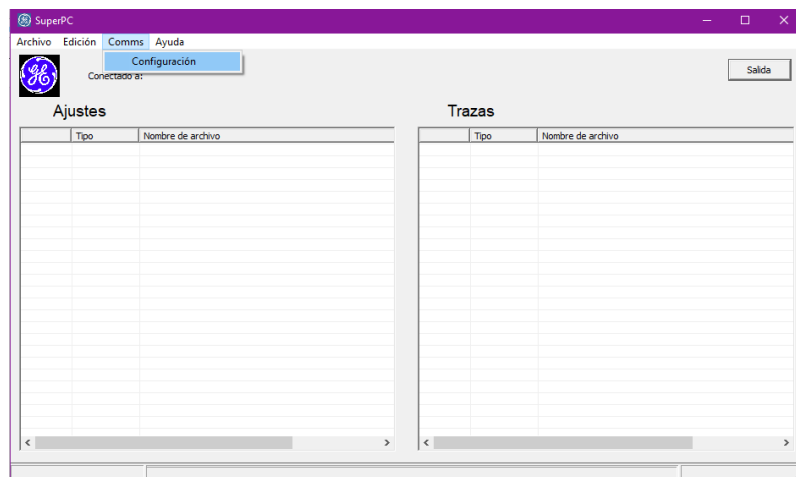
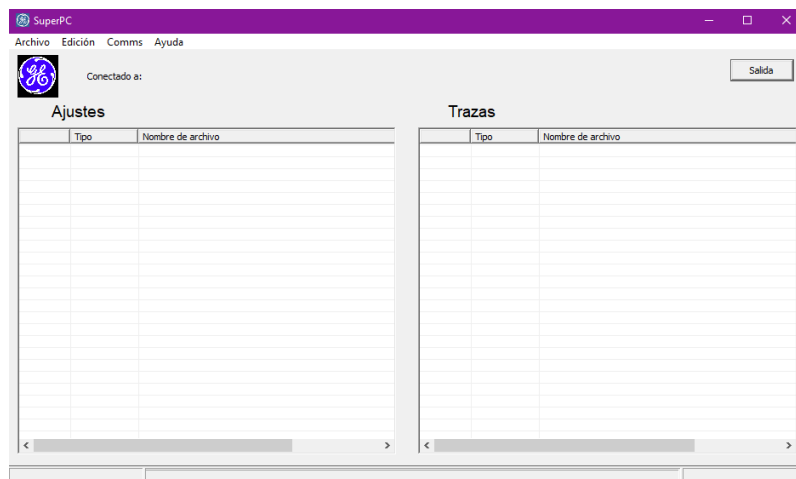
Al seleccionarse esta carpeta, la instalación ocurrirá automáticamente y saldrá la ventana que se indica en la figura 3.4. Con esto concluye la instalación de los controladores del equipo.

Para que el programa PC 5 funcione, se requiere de un ajuste extra en la ventana del software, como se indica a continuación, después de que los controladores han sido instalados, el computador reconoce al equipo con otro nombre.

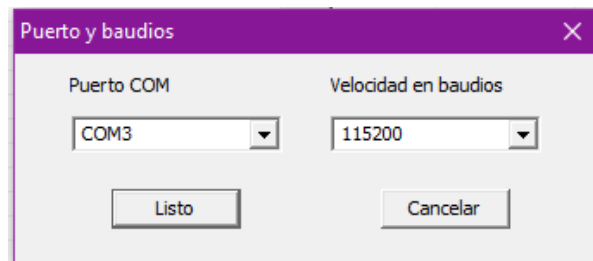


Esto indica que el puerto al cual está conectado el equipo es el COM3, dato que se requiere para iniciar el software PC 5.

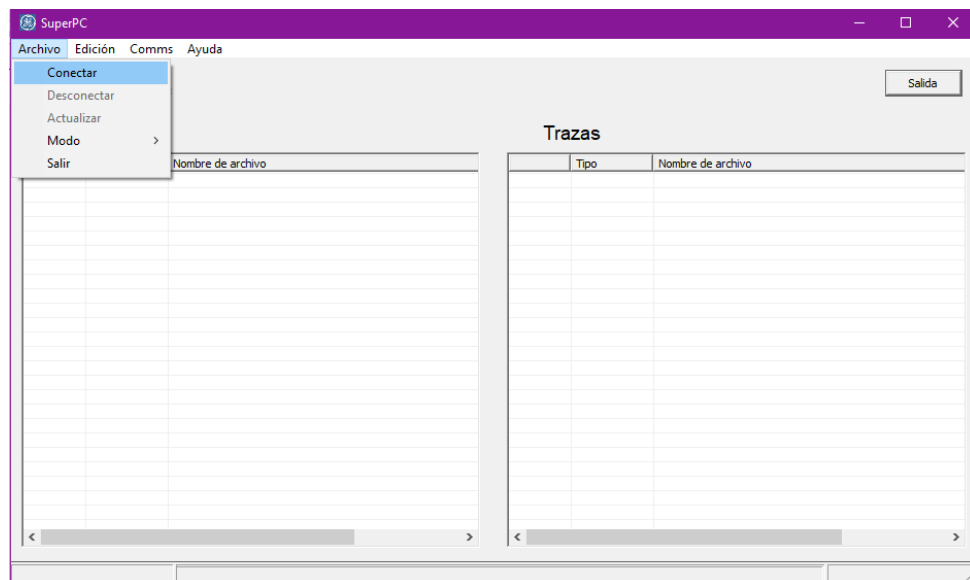
El paso siguiente es abrir el software e ir a la opción de configuración.



Saldrá una ventana donde se pide modificar el COM al cual está conectado el equipo y la velocidad en baudios. Como el equipo está conectado al COM3, se debe seleccionar esta opción. La velocidad en baudios para este equipo es de 115200 (El equipo no se puede conectar al software si no se selecciona este valor).

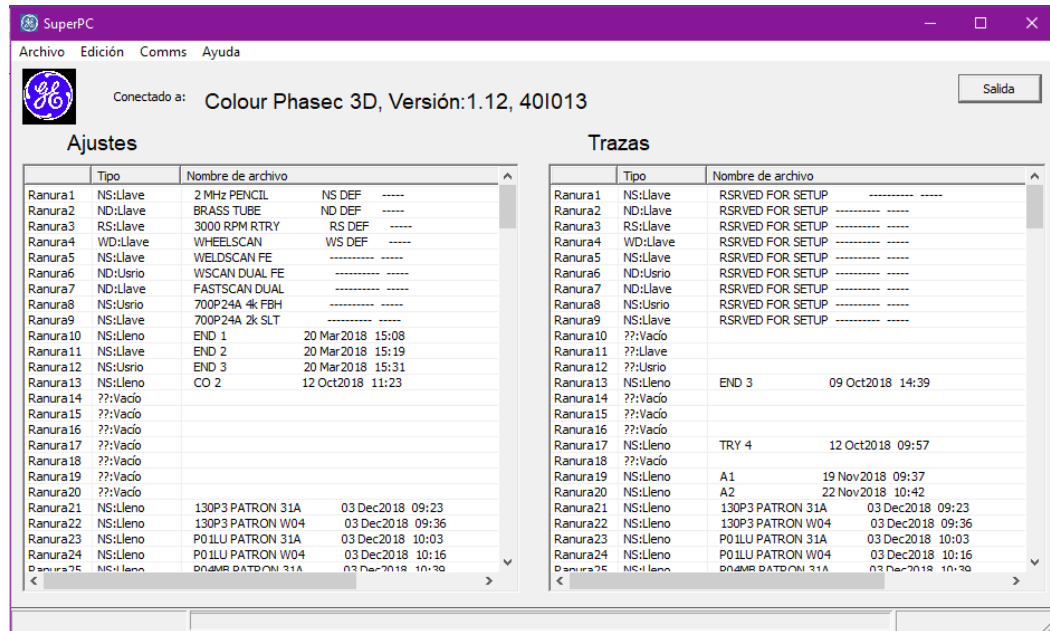


Al completar esta configuración se oprime en “Listo” y se procede a conectar el equipo al programa, como se indica a continuación.



Después de oprimir la opción de Conectar el software cargará automáticamente los datos guardados en el equipo Phasec 3d y se dividirán en ajustes y trazas, como lo indica la figura 3.5.

Figura 3.5. Software PC 5.



3.2.2 Error de huella digital. Un error que puede presentarse a la hora de instalar los controladores, es que estos no cuentan con una huella digital certificada, para esto se debe deshabilitar la opción de Windows que obliga la instalación de programas con huella digital certificada. Al quitarse esta opción, se procede a la instalación manual de los controladores como se especificó en la sección 3.2.1.

4. PROCEDIMIENTO DE CALIBRACIÓN

Como se vio anteriormente, los parámetros necesarios que deben configurarse para calibrar el equipo para un material dado se encuentran en los menús 1 y 2, explicados en el capítulo 2. En este caso, la pieza usada para calibrar el equipo es la placa de calibración 31 A008 hecha de acero de bajo carbono. Los parámetros más importantes a modificar manualmente son la ganancia, la frecuencia, el nivel de ganancia y los filtros pasa altos y pasa bajos.

El procedimiento general necesario para calibrar el equipo con cualquier sonda, teniendo en cuenta las variables necesarias se detallará a continuación:

1. Encender el equipo.
2. Conectar la sonda requerida para realizar la inspección como se indicó en la sección 1.2 del capítulo 1. La punta de la sonda debe estar protegida con una lámina de desgaste para evitar cualquier daño por fricción (No es necesario que el equipo esté apagado para conectar la sonda).
3. Oprimir la tecla de balance para que la señal se reestablezca en las coordenadas (0,0) del plano seleccionado. No es necesario que la sonda esté en contacto con la placa de calibración.
4. Seleccionar el bloque de calibración a usar. En este caso, se usará el bloque patrón 31 A008, que está hecho de acero de bajo carbono. Se debe usar una frecuencia normal para este tipo de material, la cual es de 100 KHz para los aceros. Este valor de frecuencia no se modificará a no ser que la sonda opere a un distinto rango de frecuencia.
5. Ubicar la punta de la sonda sobre la placa de calibración 31A008 (no se requiere acoplante), fijándose que la señal en la pantalla desaparezca. Cuando esto pase, oprimir la tecla de balance para que la señal vuelva al punto de origen.
 - 5.1 Lo siguiente es verificar la fase del equipo, como al cambiar o conectar una sonda este parámetro se desajusta, es necesario calibrarlo de nuevo, para esto se debe mantener presionada la tecla de balance por 2 segundos con la sonda posicionada sobre la superficie del bloque patrón hasta que salga un anuncio en el centro de la pantalla indicando levantar la

sonda, al hacer esto se deberá volver a poner en contacto la sonda con la placa de calibración para que se registre el ajuste de fase. A este procedimiento se le llama prueba de “lift off” (ver sección 1.3). Este proceso debe hacerse sobre el material base y no sobre la indicación a inspeccionar.

5.2 Al realizar el paso anterior, la señal debería estabilizarse y al realizar la prueba de “lift off”, la señal debe ser horizontal hacia el cuadrante negativo del eje X (ver figura 2.1). En ciertos casos, puede ocurrir que la señal no se estabiliza, esto ocurre porque el valor de frecuencia seleccionado no es el adecuado para el material a inspeccionar, para solucionar esto se debe escoger otro valor de frecuencia y repetir el proceso de balance.

5.3 Otro parámetro a calibrar es la carga de la sonda. Para configurar automáticamente esta variable, se debe mantener presionada la tecla ejecutar “EXEC” por 2 segundos, esto hará que el equipo reconozca la sonda conectada y ajuste el valor de carga automáticamente. El orden en que se ejecuta el “Lift off” y el ajuste de carga no importa.

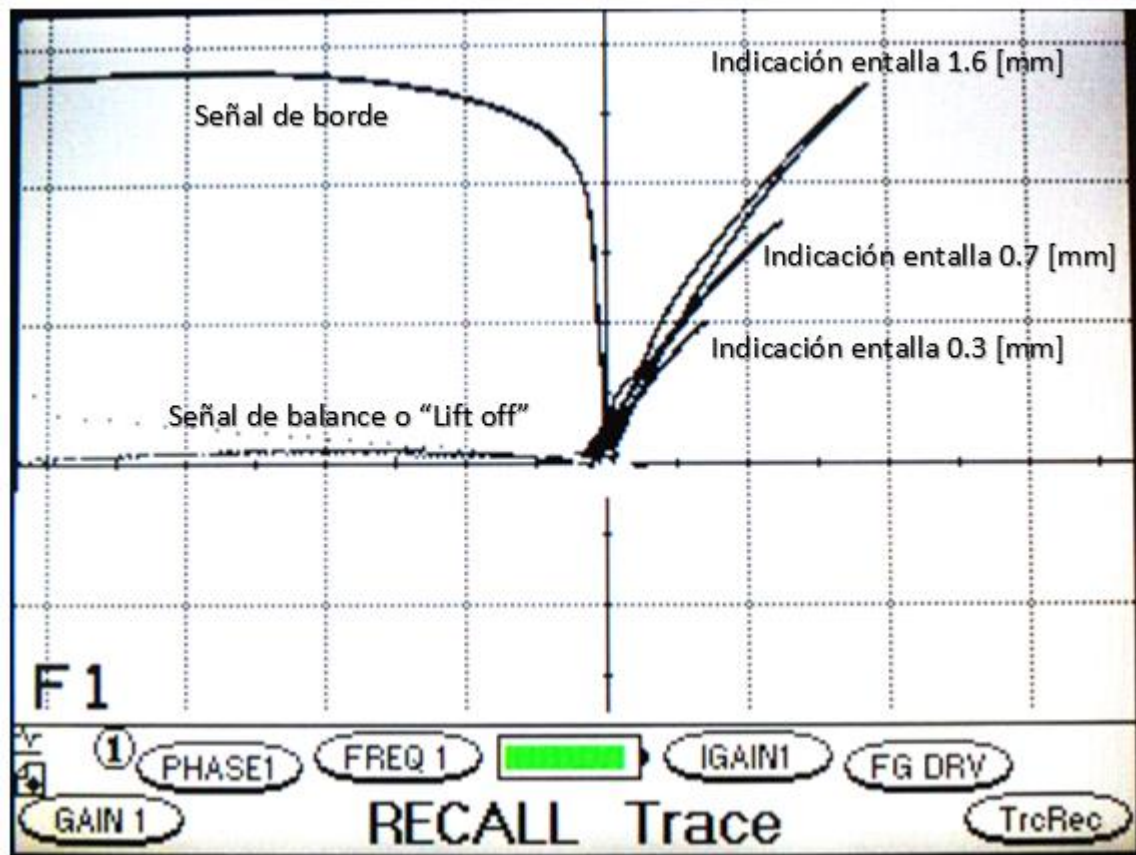
6. Teniendo el valor de fase y frecuencia establecido, lo siguiente es pasar la sonda a través de la entalla de mayor tamaño (1.6 [mm] de profundidad) sin despegarla de la placa a una velocidad constante y sin variar el ángulo de la sonda respecto a la superficie, ya que ésta siempre debe estar de forma perpendicular a la superficie a inspeccionar. La variación en la velocidad de inspección y en el ángulo de la sonda puede ocasionar que la señal recibida no sea la adecuada.

6.1 Para que la lectura de la señal recibida sea lo más acertada posible, la sonda debe estar totalmente perpendicular a la pieza a inspeccionar. La señal de la entalla de mayor tamaño debe cubrir como mínimo 80% de la altura total de la pantalla desde el punto de origen, así que, si la señal percibida es muy variante de este porcentaje, se debe modificar la ganancia, disminuyendo o aumentando su valor hasta que la señal cumpla con la condición de porcentaje. El valor de ganancia se puede modificar por aparte en los ejes X y Y, pero lo recomendable es que estos parámetros tengan el mismo valor.

6.2 Al completar la primera señal, se realiza el mismo barrido sobre las otras 2 entallas de la placa (0.7 [mm] y 0.3 [mm] de profundidad) a la misma velocidad e inclinación de la sonda, asegurándose de que las señales sean visibles una de otra y no se solapen.

7. Una vez completado esto, el proceso de calibración del equipo habrá terminado. Con esto ya es posible realizar la inspección de una soldadura del mismo material del bloque de calibración 31A008, teniendo en cuenta que los parámetros de calibración no pueden alterarse. Las curvas obtenidas al realizar la calibración en el bloque 31A008 deben verse como en la siguiente figura 4.1.

Figura 4.1. Señales percibidas del bloque de calibración.



Para las tres diferentes sondas del kit de soldadura, el único parámetro que no cambiará es la frecuencia de uso, ya que este no depende de la sonda si no del material. Si se requiere

cambiar de sonda para realizar una nueva inspección, el proceso de calibración es el mismo, donde se debe ajustar de forma manual la ganancia al medir las entallas del bloque de calibración como ya se explicó y de forma automática los valores de ganancia y carga.

Nota 1

La señal recibida de una entalla para los aceros de bajo carbono, siempre deben ser en el primer cuadrante. Si se está usando la sonda 800P01 o 800P04 y la señal da en un cuadrante diferente, significa que se está realizando la inspección de forma errónea debido a que la posición con la cual se encuentra la sonda frente a la discontinuidad no es la adecuada, para corregir esto, se debe girar la sonda 90° respecto a su eje. De esta forma, la señal recibida debería ubicarse en el primer cuadrante.

Nota 2

Para inspeccionar un material dado, es necesario tener un bloque de calibración hecho del mismo material, ya que la inspección por Corrientes de Eddy se realiza mediante comparación de señales. Si no se posee el bloque de calibración del mismo material a inspeccionar, es necesario que el operario fabrique su propio bloque de calibración, sabiendo que las entallas que éste debe tener son de 2 mm, 1 mm y 0,5 mm de profundidad según la norma ISO 17643.

Nota 3

La selección de la sonda se encuentra en función del ancho del defecto a inspeccionar y de la frecuencia de operación, ya que para cada sonda el ancho mínimo de una discontinuidad que puede detectar es la mitad del ancho de su diámetro. Siendo así, que la sonda 130P3 al tener un menor diámetro que las sondas 800P01 y 800P04, puede detectar mejor grietas más angostas y pequeñas.

5. PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN

En este capítulo se detallará el procedimiento a seguir para realizar una inspección en una soldadura de un material ferromagnético, sabiendo que los parámetros a calibrar deben configurarse como se detalló en el capítulo 4.

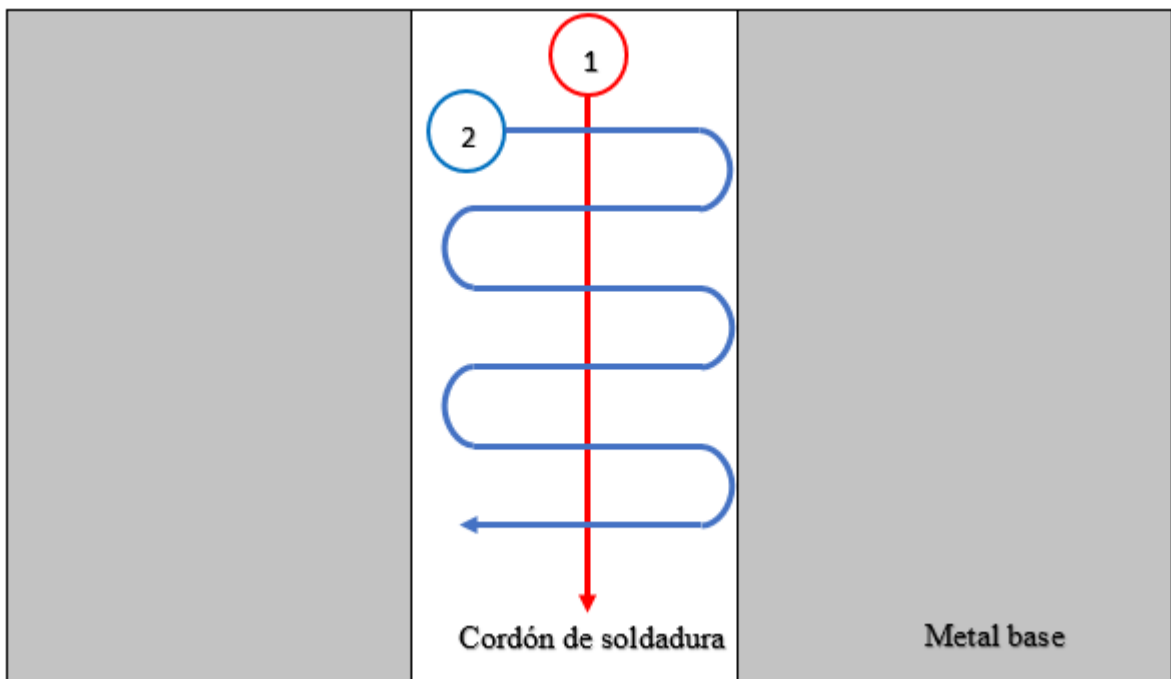
El paso inicial para comenzar con la inspección de una soldadura es realizar la calibración del equipo de acuerdo a un bloque patrón de calibración del mismo material de la soldadura (revisar capítulo 4). Una vez hecha la calibración correspondiente, se puede iniciar con el análisis de la soldadura.

5.1 TIPOS DE INSPECCIÓN

Para inspeccionar una soldadura, se debe hacer de dos formas según la norma ISO 17643: longitudinal y transversal (Ver figura 5.1).

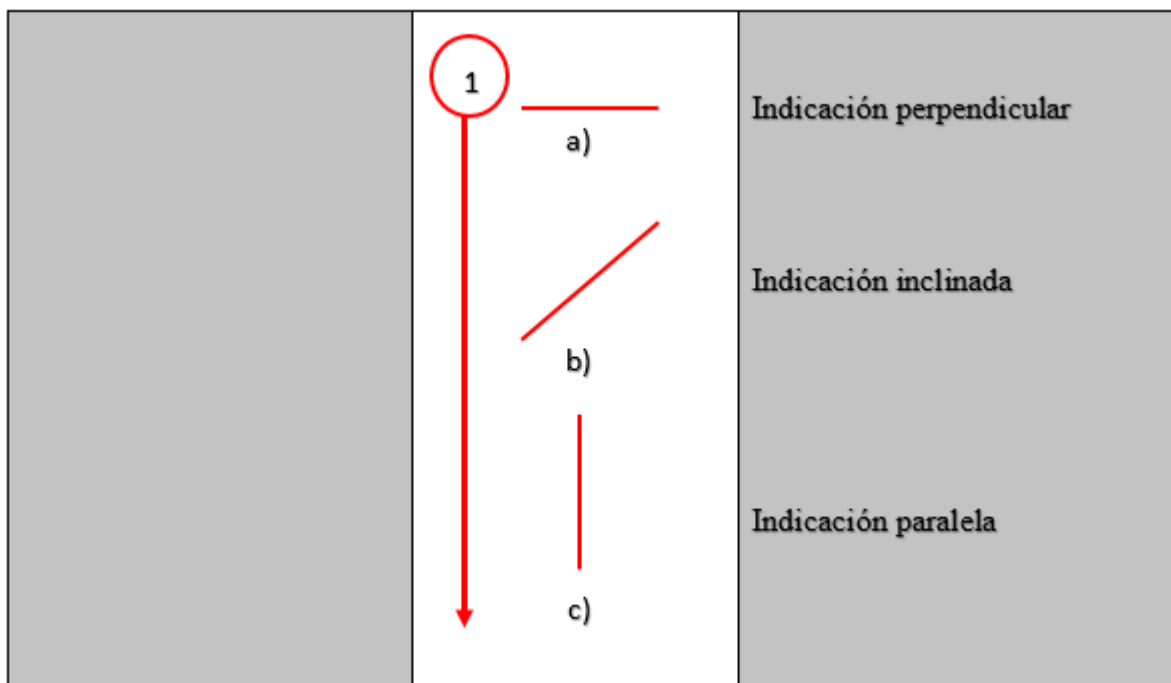
Figura 5.1. Esquema de los dos posibles barridos que se pueden realizar en una soldadura:

1. Longitudinal y 2. Transversal.



1. Lo primero es que la sonda debe realizar un barrido a lo largo del cordón y captar las señales de las indicaciones presentes en este recorrido. Al realizar el barrido de esta forma, las señales percibidas pertenecerán a las indicaciones que estén de forma transversal al cordón, ya que son las que generarán una variación notable en la señal del equipo. En la figura 5.2 se observa cómo debe ser la dirección del barrido y que tipo de indicaciones puede captar.

Figura 5.2. Dirección de barrido longitudinal y posibles indicaciones que detecta.

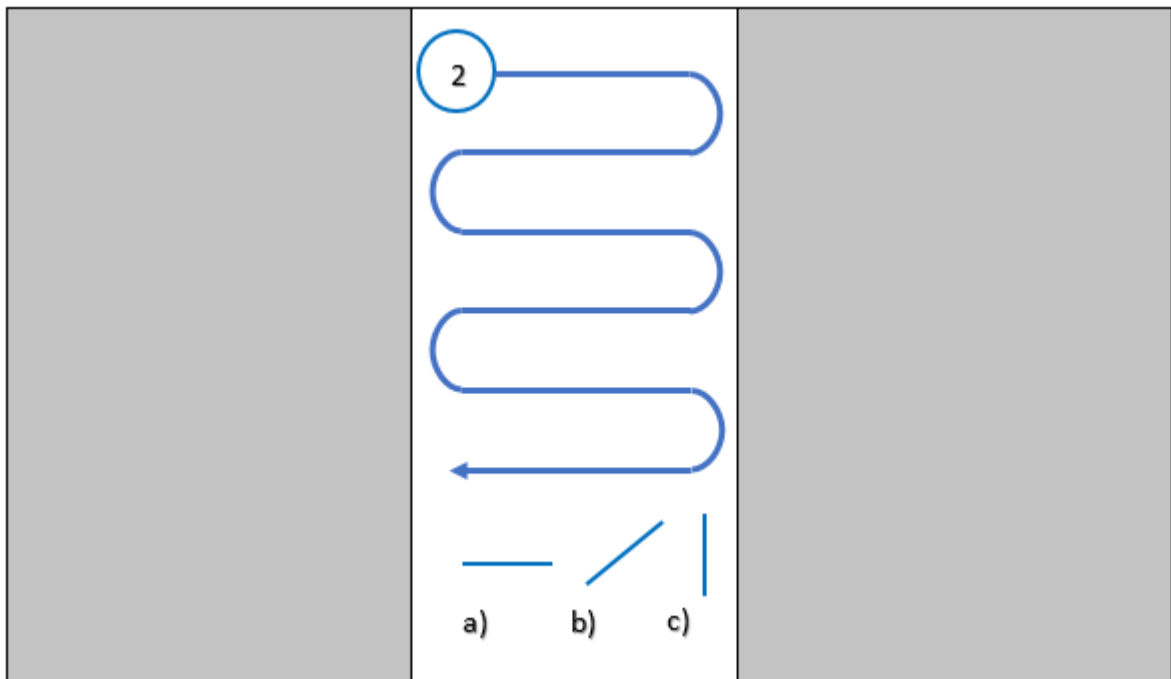


Como se observa en la figura, se puede tener en un cordón de soldadura tres orientaciones de las indicaciones, donde se dividen en perpendicular, inclinadas y paralelas de acuerdo a la dirección de barrido de la sonda. Si la inspección se hace de forma longitudinal, la indicación perpendicular se detectará inmediatamente una vez la sonda pase por encima de ella. Al aumentar la inclinación de la indicación, se disminuye la intensidad de la señal percibida por la sonda. En cuanto a las discontinuidades inclinadas, pueden detectarse, pero la intensidad de la señal percibida es menor que la señal de las discontinuidades perpendiculares. Las

indicaciones paralelas a la dirección de barrido no pueden detectarse, razón por la cual se realiza un barrido perpendicular a la soldadura. Este tipo de barrido se detalla a continuación.

2. Para realizar la inspección de forma transversal, la sonda debe moverse de lado a lado del cordón, fijándose que la sonda no llegue hasta el límite del cordón si éste tiene una sobremonta, ya que el efecto de borde ocasionará que la señal se distorsione. Las señales captadas pertenecerán a indicaciones que estén orientadas en forma longitudinal al cordón. En la figura 5.3 se observa cómo debe ser la dirección del barrido. El barrido debe completarse a lo largo de todo el cordón.

Figura 5.3. Dirección de barrido transversal y posibles indicaciones que detecta.



Como lo indica la imagen, este tipo de barrido se hace a lo ancho del cordón, donde se debe tener en cuenta que la sonda no debe llegar cerca a los bordes del cordón de soldadura ya que la señal de efecto borde que capta el equipo ocasionará una interrupción en las señales de las indicaciones cercanas. En este caso, como en el barrido longitudinal, también se debe tener en cuenta que las indicaciones más fáciles de captar, son las perpendiculares a la dirección de barrido, las cuáles en este caso son los tipos c). Las indicaciones inclinadas o tipo b) se

captan, pero con una disminución en la intensidad de la señal y las paralelas o tipo a) no son captadas por el equipo.

Nota

Las indicaciones detectadas, deben ser revisadas nuevamente a diferentes direcciones para verificar la profundidad máxima de la indicación. En este caso si una indicación inclinada arroja una señal con cierta intensidad, ésta debe ser inspeccionada desde un ángulo perpendicular a la indicación para registrar el pico máximo de la señal y saber que tan profunda es respecto a las señales de referencia obtenidas por el bloque de calibración.

Nota 2

En los casos donde una indicación se encuentre en el límite entre el cordón de soldadura y el metal base, la inspección debe hacerse de la misma forma explicada en este capítulo sobre tal zona, variando la inclinación de la sonda hasta que se encuentre la señal de mayor tamaño perteneciente a la grieta a inspeccionar.

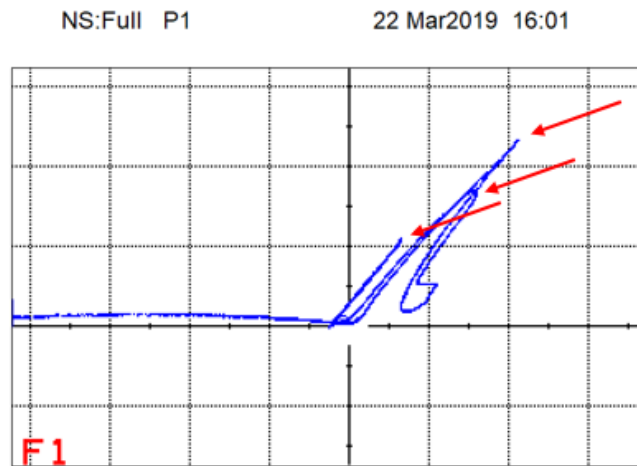
5.2 INSPECCIÓN A UNA SOLDADURA

En una soldadura se deben realizar los dos tipos de inspección, ya que todas las indicaciones que éstas puedan tener no siempre tienen la misma dirección, así que es necesario que el cordón de soldadura sea analizado siguiendo un barrido por ambas direcciones.

Una vez que se complete el barrido y se identifiquen las zonas en que están las indicaciones detectadas, se procede a guardar las señales en el equipo a través de la función “SAVE”, para su posterior análisis y comparación con las señales del bloque de calibración. Como este método de inspección se basa en la comparación de señales, es necesario tener las señales del bloque de calibración para obtener un estimado de la profundidad de la indicación por analizar.

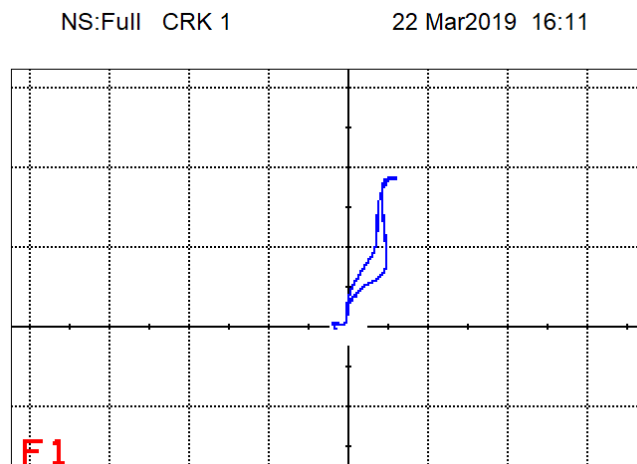
La comparación de las señales es de forma directa, es decir que solo se debe comparar la altitud de las señales para estimar la profundidad. A continuación, se mostrará un ejemplo de las señales de un bloque de calibración y de una grieta en la soldadura a inspeccionar.

Figura 5.4. Señales estándar del bloque de calibración de un acero AISI-SAE1015.



Como se puede observar en la figura 5.3, se diferencian tres picos, perteneciendo el mayor a la entalla de 1.6 [mm], el siguiente a la entalla de 0.7 [mm] y el último a la entalla de 0,3 [mm]. Con esta gráfica ya se podrá analizar cualquier indicación que esté sobre la soldadura de este material, como la mostrada en la figura 5.5.

Figura 5.5. Señal de la grieta 1 de la soldadura de acero AISI-SAE 1015.



Aunque esta grieta posee una inclinación y forma diferente, esto no afecta en la interpretación de la profundidad de la grieta, ya que esto solo indica la forma interna de la fisura más no la profundidad de ella, representada por la altura de la señal. Comparando las señales de la figura 33 y 34, se observa que la señal de la grieta está levemente por encima de la señal de la entalla de 0.7 [mm] del bloque de calibración, lo que indica que la grieta posee una profundidad entre 0.7 [mm] y 1.6 [mm]. Un valor exacto de la profundidad de la grieta no puede ser estimado ya que el bloque estándar de calibración mantiene un rango estable para clasificar las grietas, establecido por la norma ISO 17643.

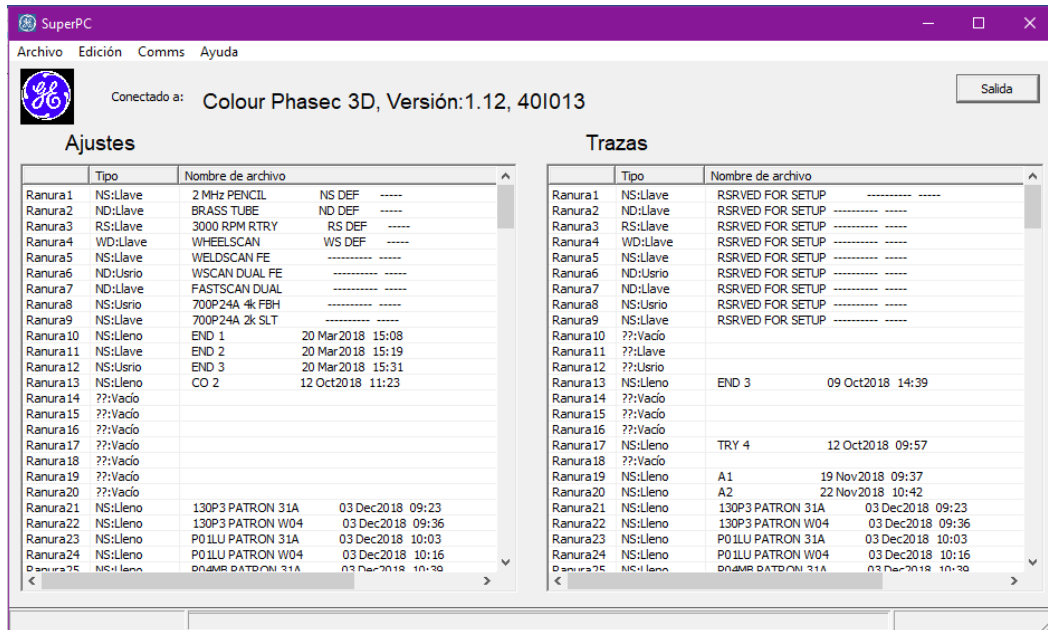
Realizando esta comparación ya se puede determinar en qué rango se encuentra la profundidad de la grieta y dependiendo de la normatividad que se esté siguiendo para el rechazo de los defectos, se puede clasificar la grieta como rechazable o reparable.

6. DESCARGA DE DATOS

Cuando ya se tienen los datos necesarios guardados en el equipo (parámetros de calibración y curvas de señales), estos se pueden descargar del equipo, conectando el equipo Phasec a un computador, tal como se explicó en la sección 3.2.1 del capítulo 3.

La siguiente imagen representa la ventana principal del software PC 5 una vez se ha hecho la debida conexión del equipo al computador.

Figura 6.1. Ventana principal del software PC 5.



Como se observa en la figura 6.1, el software consta de dos listas, una de ajustes y otra de trazas o curvas. Para descargar los ajustes o las trazas se debe dar clic derecho a la ranura que se quiera observar y luego darle clic en abrir. Cuando se haga esto, se abrirá una lista con todos los parámetros de calibración necesarios, si es que se abrió una ranura de ajustes, o se mostrará la curva o traza guardada si es que se abrió una ranura de trazas.

Una vez se abre la ranura seleccionada, los datos en ella se pueden guardar presionando la pestaña de archivo y luego en guardar. Para los datos de ajustes, estos pueden ser copiados

directamente para ponerlos en un archivo de Excel, mientras que las curvas, pueden guardarse de la misma forma, pero en formato de imagen.

Para realizar la comparación de varias curvas, se deben comparar las curvas de las señales de las discontinuidades registradas con la curva del bloque de calibración correspondiente.