

SISTEMA ULTRASÓNICO PARA INSPECCIÓN SEMI-AUTOMÁTICA DE CORDONES DE SOLDADURA USANDO ULTRASONIDO

Francisco Arroyo T.¹ Ana L. López Sánchez², Alfredo A. Elías Juárez², Gilberto Loera Medrano²

¹Instituto Tecnológico de Celaya
Calle Antonio García Cubas 600 y Avenida Tecnológico, Alfredo V. Bonfil, 38010 Celaya, Guanajuato.
Correo-e: fc.arroyo.torres@outlook.es

² Dirección de Vibraciones y Acústica, Dirección General de Metrología Física, Centro Nacional de Metrología km 4.5 Carretera a Los Cués, Municipio de El Marqués, Querétaro. C.P. 76246, MEXICO

Resumen: Se presenta un sistema semi-automático de medición por ultrasonido desarrollado para inspeccionar cordones de soldadura en placas de acero a tope; utilizando un brazo robótico de cinco grados de libertad. El sistema permite determinar la posición y orientación del transductor ultrasónico acoplado a la placa de acero, cuando se detectan reflectores en el cordón de soldadura (fallas); en base a esta información se determina la profundidad y longitud de cada reflector y su incertidumbre de medida asociada. Los resultados obtenidos con el sistema son, en general, más repetibles en comparación con la detección de reflectores realizada manualmente.

1. INTRODUCCIÓN

El ultrasonido, es una de las técnicas de inspección no destructiva más utilizada para inspeccionar la sanidad de cordones de soldadura en estructuras. Por lo general, la inspección se realiza de forma manual en donde la confiabilidad y repetibilidad de los resultados obtenidos depende en gran medida de la capacidad del usuario para aplicar correctamente la técnica; incluyendo la operación adecuada del equipo [1-2]. Con el fin de reducir la variabilidad en las mediciones que se presentan inherentemente en una inspección manual [1], se desarrolló un sistema semi-automático de inspección por ultrasonido de cordones de soldadura, utilizando un brazo articulado de 5 grados de libertad. El sistema se diseñó en una primera instancia para inspeccionar cordones de soldadura en estructuras más bien simples como son placas de acero al carbono con soldadura a tope. En las siguientes secciones se describe, de manera general, los componentes del sistema, capacidades de medición y resultados obtenidos en la inspección de un par de placas soldadas, en donde el sistema de inspección ha sido probado con éxito.

2. DESARROLLO DEL SISTEMA DE INSPECCIÓN

El sistema consta de un sistema de posicionamiento para sujetar y desplazar el transductor ultrasónico sobre la superficie de inspección; y de un detector ultrasónico de fallas comercial, marca Panametrics, modelo EPOCH-4; se utiliza en modo pulso-eco para transmitir y recibir la señal ultrasónica del transductor de incidencia angular.

El sistema de posicionamiento, mostrado en Fig. 1, consta de a) un brazo articulado marca ST Robotics, modelo R12-500; b) un dispositivo de sujeción para sujetar el transductor ultrasónico de incidencia angular en el efector final del brazo; y c) una base que sirve de marco de referencia para posicionar la placa soldada alineándola con respecto al sistema de coordenadas del brazo robótico. Para configurar y controlar el sistema de posicionamiento se desarrolló en LabView una interfaz gráfica para programar y ejecutar las trayectorias de movimiento del transductor ultrasónico sobre la placa.

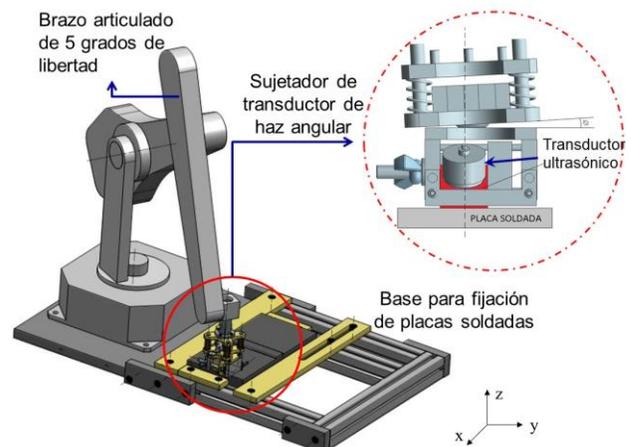


Fig. 1. Diagrama del sistema de posicionamiento.

El sistema de posicionamiento fue caracterizado usando un *laser tracker* en conjunto con un retro-reflector esférico montado en el efector final del brazo. Como resultado se determinó que el brazo

articulado tiene una resolución de 0.1 mm, una precisión en posicionamiento en el plano de la placa (x-y) de 33 µm; y una repetibilidad de 11 µm.

3. RESULTADOS

Se inspeccionó el cordón de soldadura de una placa plana de acero al carbono AISI 1018, de bisel sencillo en V, sin respaldo, con un espesor de 21 mm, y de 2.4 m de largo por 1.2 m de ancho. El cordón de soldadura se inspeccionó de forma manual y también utilizando el sistema de inspección semi-automático desarrollado. En ambos casos, se utilizó un transductor ultrasónico de 2.25 MHz, de 12.7 mm de diámetro, con una zapata con un ángulo de refracción de 45° en acero. La inspección se realizó en segunda y tercera piernas, a fin de cubrir el volumen de la soldadura.

Se detectaron 3 fallas prominentes en la soldadura, y para cada una se determinó su profundidad y longitud. En las Tablas 1 y 2 se muestran los resultados obtenidos entre las mediciones realizadas acoplando manualmente el transductor a la placa y usando el sistema semi-automático desarrollado, así como su respectiva incertidumbre de medida [3]. También se determinó el error normalizado, E_n , con el propósito de evaluar la consistencia de los valores medidos usando el sistema semi-automático, $d_{sistema}$, con respecto a los medidos acoplando el transductor de forma manual, d_{manual} , de acuerdo a la siguiente expresión [4],

$$E_n = \frac{d_{sistema} - d_{manual}}{\sqrt{[U(d_{sistema})]^2 + [U(d_{manual})]^2}} \quad (1)$$

Para $|E_n| \leq 1$ se considera que las mediciones usando cualquiera de las dos formas para acoplar el transductor a la placa son consistentes entre sí. Si $|E_n| > 1$ los resultados no son consistentes. En el caso del sistema semi-automático, los valores presentados son el promedio de 15 mediciones realizadas, mientras que los resultados obtenidos acoplando el transductor de forma manual, corresponden al promedio de 3 mediciones.

4. DISCUSIÓN

Se observa en las Tablas 1 y 2 que las mediciones realizadas con ayuda del brazo robótico, reducen la incertidumbre de las mediciones de longitud y

profundidad de las fallas detectadas; debido principalmente a que la componente por repetibilidad de las mediciones se reduce usando el sistema robótico. Permitiendo mantener acoplado el transductor ultrasónico a la superficie de inspección con la misma presión durante toda la inspección.

Tabla 1. Mediciones de profundidad de las fallas.

Falla	Medición manual		Sistema semi-automático		Consistencia ($ E_n \leq 1$)
	Profundidad (mm)	Incertidumbre k=2, (mm)	Profundidad (mm)	Incertidumbre k=2, (mm)	
1	10.05	0.35	9.63	0.20	1.0
2	10.42	0.35	10.35	0.20	0.2
3	19.34	0.35	19.45	0.20	0.3

Tabla 2. Mediciones de longitud de las fallas.

Falla	Medición manual		Sistema semi-automático		Consistencia ($ E_n \leq 1$)
	Longitud (mm)	Incertidumbre k=2, (mm)	Longitud (mm)	Incertidumbre k=2, (mm)	
1	20.64	1.0	20.27	0.30	0.4
2	20.46	1.0	20.88	0.30	0.4
3	10.00	2.0	10.29	0.30	0.1

5. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos muestran que el uso de un brazo articulado claramente mejora la repetibilidad en la medición. Sin embargo, también deben considerarse como posibles fuentes de incertidumbre: el ajuste inicial del equipo de inspección ultrasónico, y el desgaste de la zapata de contacto del transductor ultrasónico.

REFERENCIAS

- [1] A. L. López Sánchez, R. Amezola Luna, A. A. Elías Juárez, "Aseguramiento metrológico en los ensayos no-destructivos por ultrasonido", en memorias de 7ª Conferencia de Pruebas No Destructivas, México, 2007.
- [2] López Sánchez A. L., Elías Juárez A. A., Loera Medrano G., "Analizando errores de medición comunes en la detección de fallas por ultrasonido", en Memorias del XXIV Congreso Nacional de Metrología, 2013.
- [3] GUM, Guía para la expresión de la incertidumbre de la medición, BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, OIML.
- [4] NMX-EC-17043-IMNC-2010, Evaluación de la conformidad – requisitos generales para los ensayos de aptitud.