

# Ajuste de equipo de medición por ultrasonido usando un brazo robótico

**Francisco Arroyo Torres**

Instituto Tecnológico de Celaya

*the\_frank\_at@hotmail.com*

## Resumen

Este artículo presenta el desarrollo de un sistema de apoyo para el ajuste de equipos de inspección por ultrasonido usando un brazo robótico de cinco grados de libertad. El sistema cuenta con dos componentes: una interfaz gráfica que facilita el manejo del brazo robótico, un dispositivo que sujeta a los transductores ultrasónicos para mantener a los transductores acoplados a la superficie del bloque de referencia y un brazo robótico que posiciona y desplaza al transductor a lo largo del bloque.

Se realiza un ajuste del equipo de inspección ultrasónico PANAMETRICS EPOCH 4 acoplado un transductor ultrasónico de haz angular de 45° con ayuda del brazo robótico. Además se analiza la repetibilidad de la señal ultrasónica en el posicionamiento del transductor con el robot.

**Palabra(s) Clave(s):** Ajuste, interfaz, repetibilidad, robot, ultrasonido.

## 1. Introducción

El laboratorio de ultrasonido del Centro Nacional de Metrología (CENAM) necesita de un sistema de apoyo que reduzca el número de ajustes que se realizan en el equipo de detección de fallas de soldadura por ultrasonido PANAMETRICS EPOCH 4, con el fin de reducir el tiempo en la preparación del equipo de detección. Los ajustes en el equipo normalmente se realizan de forma manual, por lo que deben realizarse varios ajustes

hasta que las mediciones correspondan a los valores de referencia. Este proceso puede llevar varias horas, pero es necesario para garantizar que el equipo está correctamente ajustado para la detección de fallas de soldadura por ultrasonido.

Por otro lado, el laboratorio de ultrasonido del Centro Nacional de Metrología (CENAM) cuenta con un brazo robótico de la marca ST Robotics modelo R12-500 donde se pretende usar como apoyo para ajustar el equipo de detección de fallas de soldadura PANAMETRICS EPOCH 4, a fin de aumentar la repetibilidad en las mediciones y reducir el número de ajustes antes de realizar un servicio.

Para la operación del brazo robótico se desarrolla una interfaz gráfica para que facilite la operación del robot. Además se diseña un dispositivo para sujetar a los transductores ultrasónicos del equipo PANAMETRICS EPOCH 4.

Se analiza la repetibilidad de la medición del arco de 101.60 mm del bloque de referencia usando el transductor de haz angular de 45° acoplado sobre la superficie del bloque de referencia con ayuda del brazo robótico.

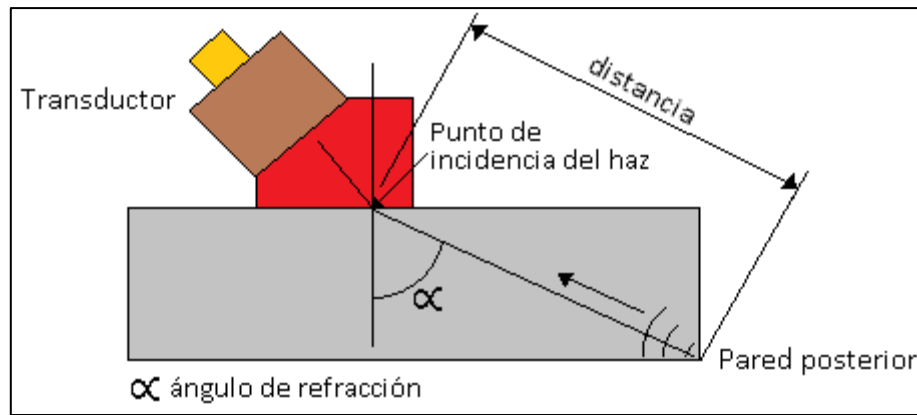
Por último se muestra el procedimiento y los resultados del ajuste del equipo de inspección PANAMETRICS EPOCH 4 para un transductor de haz angular de 45° sobre el bloque de referencia.

## **2. Desarrollo**

Se describe como se localiza una reflexión dentro de un material, además se describen los módulos principales de la interfaz gráfica, el diseño del dispositivo para sujetar al transductor ultrasónico y la base para fijar el bloque de referencia.

### **2.1. Detección de una reflexión dentro del material**

El principio para realizar una medición consiste en generar las ondas de ultrasonido por medio de un transductor que está acoplado al material, estas ondas de ultrasonido se propagan en el material y se reflejan nuevamente al transductor cuando se encuentra la reflexión dentro del material. El transductor genera una señal eléctrica que es proporcional a la energía de las ondas reflejadas. Esta señal eléctrica es procesada por el equipo de medición ultrasónico y muestra la distancia desde el punto de incidencia a la pared posterior reflejada (ver Fig. 1).



**Fig. 1. Medición del borde del material (pared posterior).**

La distancia de la reflexión se determina utilizando la siguiente relación:

$$d = c \frac{t}{2} \quad (1)$$

Donde  $c$  es la velocidad de propagación de las ondas de ultrasonido en el material y  $t$  es el tiempo de vuelo. La velocidad de propagación depende del tipo de material que se mide, y se considera constante en un material homogéneo e isotrópico [1].

## **2.2. Interfaz gráfica**

El brazo robótico modelo R12-500 de la marca ST Robotics tiene una interfaz por línea de comandos desarrollada por el fabricante, esta interfaz está basada en el lenguaje de programación FORTH [2]. Sin embargo se ha desarrollado una interfaz gráfica en el entorno de desarrollo LabVIEW versión 13.01 (32-bit) y cuenta con los siguientes módulos principales:

- Panel de selección.
- Módulo de posicionamiento cartesiano.
- Módulo de posicionamiento por articulación.

En el panel de selección el usuario puede establecer los elementos de puesta en marcha del brazo robótico como es: el ajuste de los sensores de las articulaciones del brazo, el establecimiento de una posición inicial de referencia, la posibilidad de activar o desactivar los motores del brazo, y seleccionar los diferentes módulos de posicionamiento (ver Fig. 2).



**Fig. 2. Interfaz gráfica. Panel de Selección.**

En el módulo de posicionamiento cartesiano el brazo robótico se posiciona usando las coordenadas cartesianas de acuerdo a la posición inicial de referencia configurada en el panel de selección de la interfaz gráfica. También se pueden guardar puntos y crear trayectorias lineales (ver Fig. 3).



Fig. 3. Interfaz gráfica. Módulo de posicionamiento cartesiano.

El módulo de posicionamiento por articulación se utiliza principalmente para establecer una posición inicial de referencia (ver Fig. 4).

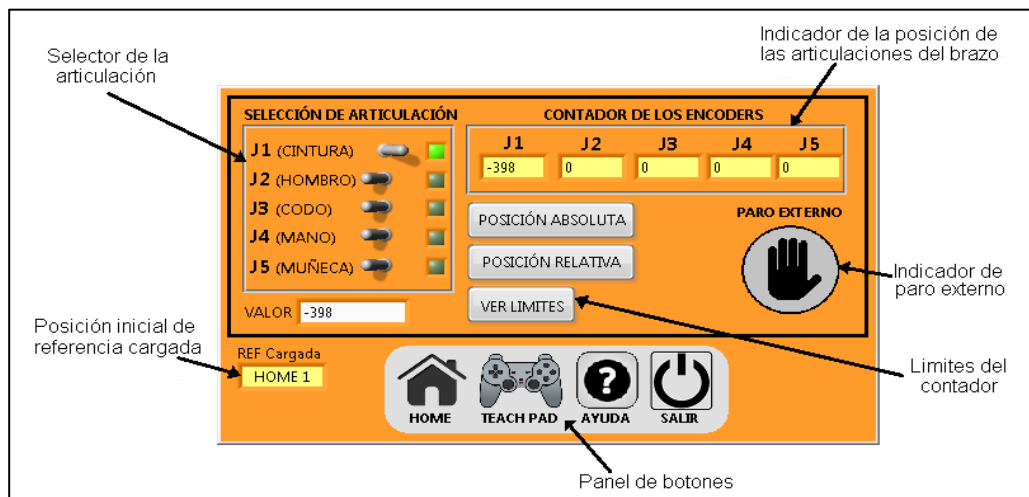


Fig. 4. Interfaz gráfica. Módulo de posicionamiento por articulación.

### 2.3. Dispositivo para sujetar a los transductores de haz angular

En la Fig. 5 se muestran las partes principales que componen el prototipo de sujetador para los transductores de haz angular. El dispositivo permite el acoplamiento del transductor ultrasónico sobre la superficie del bloque de referencia. Para lograr un buen acoplamiento el dispositivo cuenta con cuatro resortes y una rótula para adaptar al transductor a la superficie del bloque.

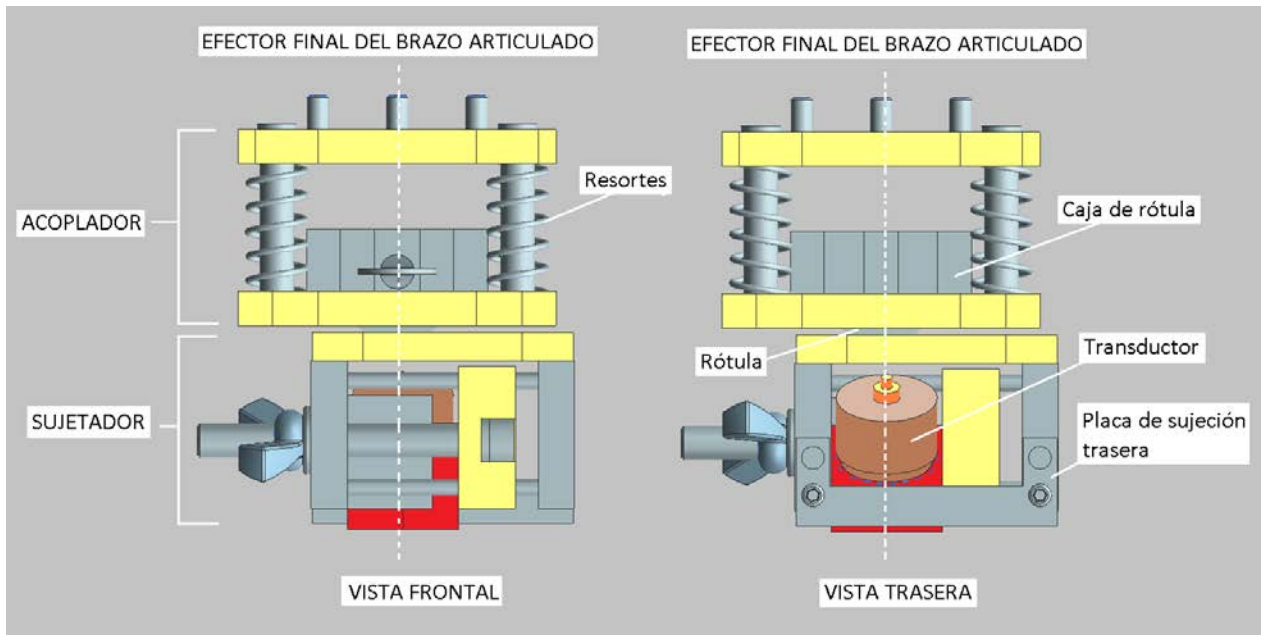
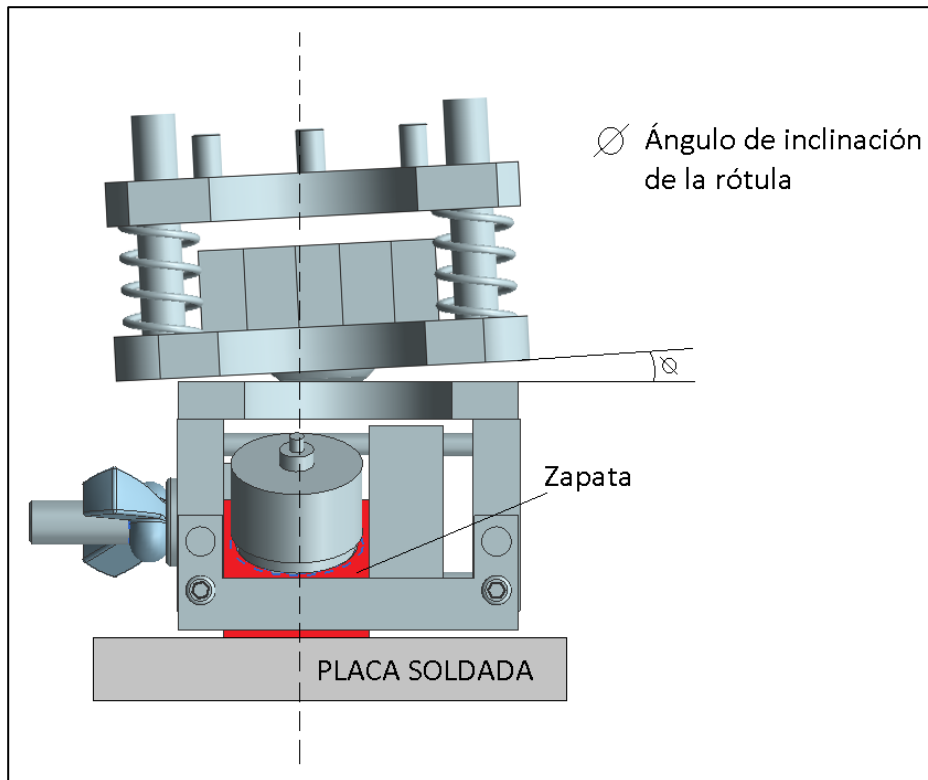


Fig. 5. Partes principales del dispositivo para sujetar a los transductores de haz angular.

La rótula al ser un par cinemático con tres grados de libertad tiene la ventaja de rotar alrededor de los tres ejes coordenados (x, y, z). Esto permite acoplar al transductor ultrasónico en superficies de hasta tres grados de inclinación, ver Fig. 6.



**Fig. 6. Sonda acoplada a la superficie de la placa soldada con ayuda de la rótula.**

### 3. Resultados

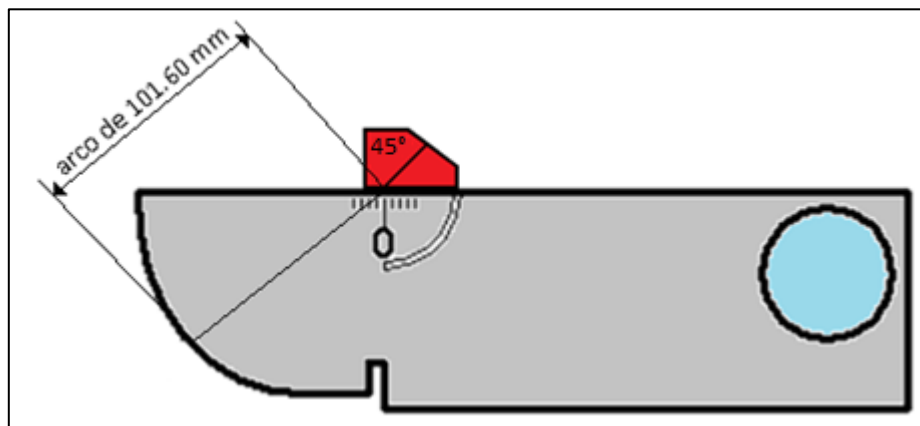
Se muestra el análisis de repetibilidad del brazo robótico al realizar una medición del arco de 101.60 mm de diámetro del bloque de referencia, además se muestra el proceso de ajuste del equipo de detección de fallas PANAMETRICS EPOCH 4 con ayuda del brazo robótico.

#### 3.1. Repetibilidad en el posicionamiento del brazo robótico

Se realizó un análisis de la repetibilidad del brazo robótico al realizar una medición del arco de 101.60 mm de diámetro del bloque de referencia usando un transductor de haz angular de 45° (ver Fig.7).



Como acoplante se utilizó aceite de uso general SINGER para permitir que las ondas ultrasónicas se propaguen efectivamente por el bloque ya que el ultrasonido no se propaga de manera eficiente por el aire [3].



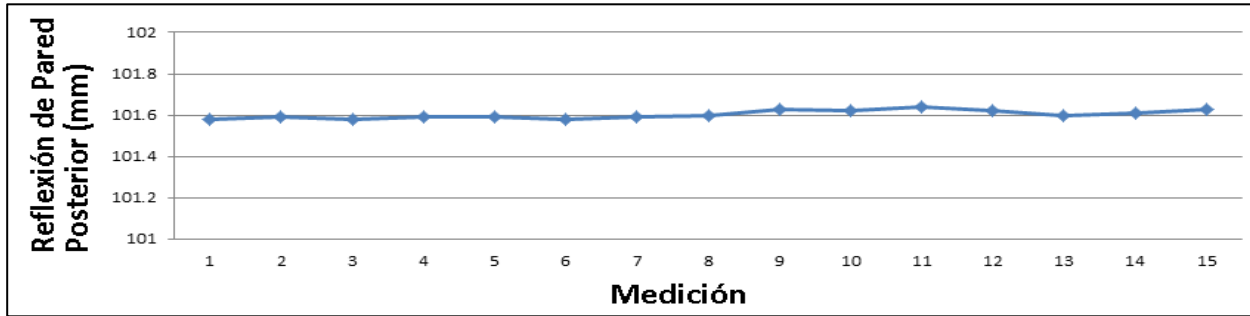
**Fig. 7. Posición del transductor para realizar pruebas de repetibilidad.**

Se realizan 15 mediciones y se identifican los valores mínimo y máximo para encontrar la variación de los valores extremos y se calcula el promedio de las mediciones (ver Tabla 1).

Mínimo	101.58
Máximo	101.64
Variación	0.06
Promedio	101.61

**Tabla 1. Promedio y variación de las mediciones del arco de 101.60 mm.**

En la Fig. 8 se muestra la gráfica de dispersión en las mediciones en el arco de 101.60 mm se observa que las mediciones siguen un patrón constante con una variación de 0.06 mm.



**Fig. 8. Dispersión en las mediciones en el arco de 101.60 mm.**

En la tabla 2 se muestra el error y la incertidumbre en las mediciones del arco de 101.60 mm con respecto al valor de referencia del certificado de calibración del bloque [5]. Se observa que se tiene una incertidumbre en las mediciones de 0.015 mm, lo cual es un valor considerablemente pequeño en base a la resolución del equipo de inspección que es de 0.01 mm. En base al resultado obtenido se concluye que el brazo robótico es repetible para la operación de ajuste del equipo de inspección EPOCH 4.

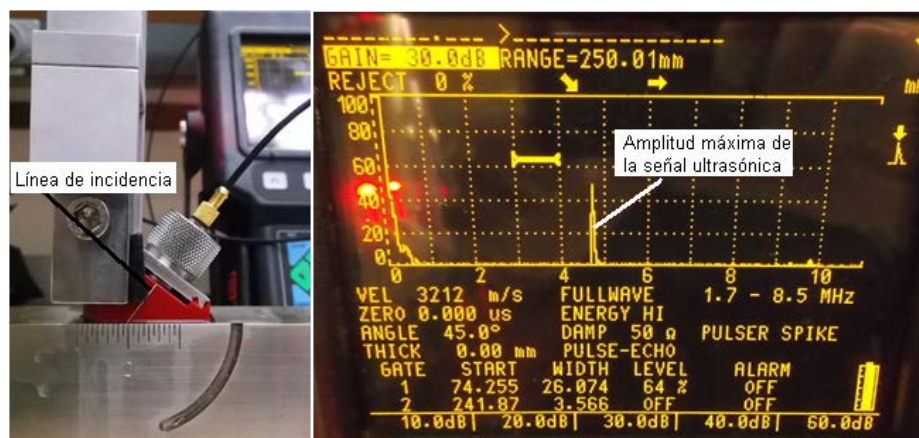
Medición del arco de 101.60 mm	Referencia (mm)	Error de medida (mm) e $\pm$ U (incertidumbre)
101.61	101.60	0.01 $\pm$ 0.015

**Tabla 2. Mediciones de la reflexión de pared posterior del arco de 101.60 mm.**

### 3.2. Ajuste del equipo EPOCH 4

Algunos de los parámetros más importantes son establecer una velocidad de propagación de las ondas ultrasónicas transversales dentro del material; para el acero 1018 la velocidad es 3212 m/s [4]. Además se establece el ángulo de refracción del transductor de haz angular, en este caso es de 45°.

El transductor se acopla en la superficie del bloque de referencia donde se encuentra una parte graduada y con el brazo robótico desplaza al transductor acoplado a lo largo del bloque hasta que se encuentre una señal con amplitud máxima (ver Figura 9).



**Fig. 9. Transductor acoplado sobre el bloque donde la amplitud de la reflexión es máxima.**

En la Fig. 9 se observa que la línea de incidencia del transductor coincide con la marca cero del bloque, lo que indica que en la línea de incidencia del transductor es donde ocurre la refracción de las ondas a un ángulo de 45°.

Se aumentó la ganancia a 37.3 dB para ver la primera reflexión de pared posterior del arco de 25.4 mm (ver Fig. 10).

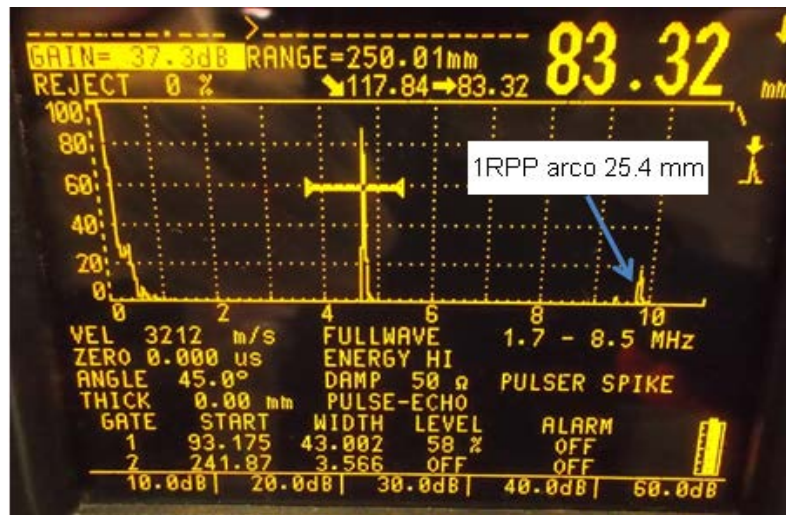


Fig. 10. Primera reflexión de pared posterior (1RPP) del arco de 25.4 mm.

Se debe tomar en cuenta el arco de 25.4 mm del bloque de referencia ya que las ondas ultrasónicas reflejadas inciden sobre este arco para posteriormente regresar al transductor de haz angular, ver Fig. 11.

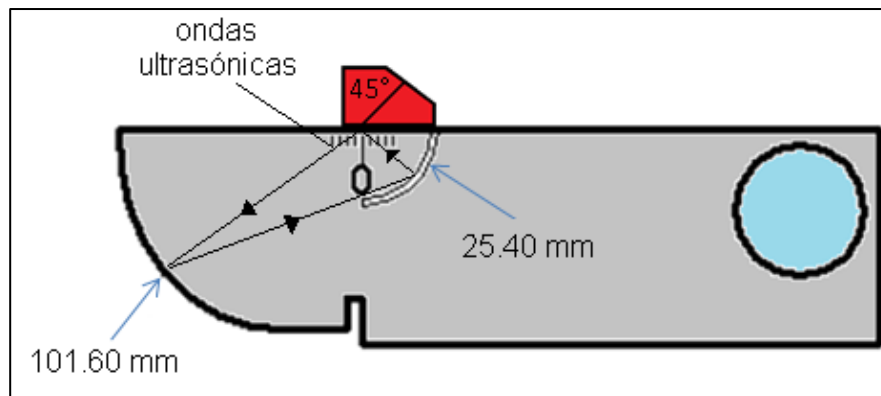


Fig. 11. Recorrido de las ondas ultrasónicas dentro del bloque de referencia.

Una vez detectada la reflexión del arco de 25.4 mm se introducen los valores reales de los arcos del bloque de referencia, estos valores proceden de un certificado de calibración del bloque de referencia [5]. De acuerdo al certificado de calibración y a la ecuación (1), para la primer amplitud se establece un valor de distancia de 101.60 mm. Para la primer reflexión de pared posterior del arco de 25.4 mm se establece un valor de distancia de 288.49 mm, que corresponde al recorrido de las ondas ultrasónicas reflejándose en los arcos hasta que entra nuevamente al transductor por el punto de incidencia a 45° [5] (ver Fig. 11).

#### 4. Discusión y conclusiones

El resultado del proceso de ajuste del equipo EPOCH 4 para un transductor de haz angular de 45° se muestra en la tabla 3 donde se tomaron cinco mediciones de forma manual y cinco con ayuda del brazo robótico, se observa que la estimación de la incertidumbre en las mediciones es mucho menor con ayuda del brazo robótico debido a que este mantiene al transductor acoplado en la misma posición en todo momento.

	Arco de Ø101.60 mm	Error de medida ± incertidumbre	Arco de Ø25.40 mm	Error de medida ± incertidumbre
Robot	101.58	0.02 ± 0.05	288.48	0.01 ± 0.04
Manual	100.98	0.62 ± 0.26	283.54	4.94 ± 0.56

**Tabla 3. Promedio de las mediciones de la reflexión de pared posterior del arco de 101.60 mm.**

Una vez que se conoce el error y la incertidumbre del equipo, se concluye que el equipo está ajustado para realizar mediciones con el transductor de haz angular de 45°.

Con respecto a la interfaz gráfica para controlar el brazo robótico resulto ser efectiva en comparación con la interfaz del fabricante debido a que se ahorra tiempo de configuración y puesta en marcha del robot. Además las funciones se encuentran en iconos que representan de manera visual una operación o instrucción, lo que arroja más información en las ventanas de la interfaz.

En la prueba de repetibilidad en el arco de 101.60 mm se obtuvo una variación de 0.06 mm en las 15 mediciones tomadas. Esa variación se debe a la resolución espacial del brazo robótico. La resolución espacial es el incremento más pequeño de movimiento que el brazo robótico puede alcanzar y depende de dos factores:

- Los sistemas de control de resolución.
- Las inexactitudes mecánicas.

El controlador de resolución divide el intervalo total de movimiento para una articulación particular en incrementos individuales, dependiendo de la resolución del codificador rotativo incremental óptico y de la capacidad de almacenamiento en la memoria del controlador.

Las inexactitudes mecánicas se encuentran estrechamente relacionadas con la calidad en el diseño, fabricación y ajuste de los componentes mecánicos de las articulaciones, por ejemplo la holgura entre los engranajes y la tensión en las poleas.

## 5. Referencias

- [1] Ana L. López S., Alfredo A. Elías J., R. Amezola L. "Estimación de incertidumbre en la medición de espesores usando ultrasonido." Simposio de Metrología, octubre 2012, ISBN 976-607-96162-0-5.
- [2] ROBOFORTH II v11/12/13. Programmers reference manual. David N. Sands. Reino Unido. 2010.

- [3] S. Birks, R. Green Jr. P. Mcltire. *Nondestructive Testing Handbook volume 7 Ultrasonic Testing*. Segunda Edición. Año 1991. Editorial American Society for Nondestructive Testing, INC. 893 páginas. ISBN 0-931403-04-9.
- [4] *Handbook on the Ultrasonic Examination of Welds*. The International Institute of Welding. Doc.IIS/IIW-527-76. England. 1982.
- [5] J. Krautkramer, H. Krautkramer. *Ultrasonic Testing of Materials*. Tercera Edición. Año 1983. Editorial Springer-Verlag. 666 páginas. ISBN 3-540-11733-4.