

# Aseguramiento metrológico en los ensayos no-destructivos por ultrasonido

Ana Lilia López Sánchez, Rogelio Amezola Luna, Alfredo A. Elías Juárez  
Grupo de Ultrasonido\*, División de Vibraciones y Acústica,  
Centro Nacional de Metrología (CENAM), El Marqués, Querétaro C. P. 76241

## Resumen

Las técnicas de examinación por ultrasonido son una herramienta no destructiva de evaluación de sanidad de materiales cada vez más utilizada por la industria nacional. Estas examinaciones generalmente son realizadas por técnicos certificados y algunos laboratorios acreditados. Sin embargo, dadas las condiciones de examinación, capacitación del personal, condiciones de los instrumentos de medición, entre otros factores; es común que en las relaciones cliente-proveedor se presenten casos de discrepancias en los criterios de aceptación/rechazo de los elementos examinados. Este trabajo describe algunas de las causas comunes que generan este tipo de discrepancias y detalla cómo llevando a cabo acciones de aseguramiento metrológico puede mejorarse la confiabilidad de las examinaciones. Destacando entre esas acciones, calibrar adecuadamente la instrumentación utilizada y hacer uso de los resultados de la calibración, emplear el equipo de medición apropiado, identificar las variables de mayor influencia en los resultados de la examinación, validar o confirmar los métodos utilizados y atender los requisitos de normas nacionales e internacionales (ej. NMX-EC-17025-IMNC-2006) relativos a las competencias de medición del laboratorio.

## 1. Introducción

En el campo de las mediciones, se afirma que el resultado de una medición está incompleta si no va acompañado de su correspondiente incertidumbre de medición; esta última definida como el parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían razonablemente atribuirse al mensurando [1]. Con lo cual, claramente, se espera que exista una variación en los resultados de varias mediciones. Aun en aquellas mediciones realizadas con el mayor cuidado posible por un mismo operador, con el mismo equipo en periodos relativamente cercanos; a esto se le conoce como repetibilidad de las mediciones. Si a esto se aplica a situaciones en donde los operadores son distintos, con diferentes equipos y el uso de técnicas de medición diferentes, la dispersión de los resultados seguramente será mayor; a esto se le conoce como reproducibilidad de las mediciones [2] Es evidente que una medición deficiente impacta directamente en la calidad de los resultados obtenidos en una inspección por ultrasonido. Particularmente si no se presta atención a aspectos como la calibración del equipo, la trazabilidad de las mediciones y la incertidumbre de medición. Los ensayos de aptitud y la implantación de sistemas de gestión conforme a la norma NMX-EC-17025-IMNC-2006 [3] en los laboratorios de calibración y ensayo; constituye un importante valor agregado en los servicios que presta o recibe una empresa. Lo anterior constituye un área de oportunidad para contribuir a la uniformidad de las mediciones por ultrasonido en el país. Particularmente, si se considera el reducido número de laboratorios acreditados a la fecha con capacidades de medición en ultrasonido; en total, alrededor de diez laboratorios.

Es común escuchar diferentes aseveraciones relativas a la globalización de los mercados, la integración de las economías y el ensamble o combinación de diversos procesos de fabricación. También se está volviendo cotidiano escuchar inquietudes en torno a la productividad, la competitividad y la calidad de los productos fabricados en México. Sin embargo, la atención que en ocasiones se presta al aseguramiento metrológico de los procesos de producción, generalmente es insuficiente. La adecuada medición implica contar con una importante herramienta de decisión. El avance de la tecnología implica también un avance en la metrología, contar con la capacidad de medición para soportar el desarrollo tecnológico es el reto de los Institutos Nacionales de Metrología (INMs). Las grandes empresas han comprendido, a través de la implantación de sistemas de gestión tipo ISO 9001, ISO/TS 16949, entre otros, que la calibración de sus instrumentos y cadenas de medición reduce el riesgo de incurrir en fallas de proceso que provocan la fabricación de producto fuera de especificaciones. El producto no-conforme o fuera de especificaciones representa pérdidas para la empresa dado que reduce la productividad, afecta la competitividad y pone en duda la calidad de los productos o servicios ofrecidos por una empresa.

Por ello el interés de desglosar brevemente en este trabajo algunos aspectos sobre el aseguramiento metrológico en las mediciones ultrasónicas y errores de medición en examinaciones no-destructivas.

---

\* correos electrónicos: [alopez@cenam.mx](mailto:alopez@cenam.mx), [romezola@cenam.mx](mailto:romezola@cenam.mx), [aalias@cenam.mx](mailto:aalias@cenam.mx)

## 2. Casos y causas comunes de discrepancia en una examinación

### 2.1 Sensibilidad de la cadena de medición

La sensibilidad es una medida de la habilidad del sistema para detectar discontinuidades produciendo señales de relativamente baja amplitud debido a tamaño, geometría o distancia de la discontinuidad. En ocasiones el inspector realiza una examinación en busca de fallas de tamaño reducido “suponiendo” que su cadena de medición es capaz de percibirlo, sin embargo; no siempre el transductor o las configuraciones de ajuste del detector son las indicadas para realizar dicha exploración y se termina en un servicio de “cero fallas”. Situación que puede contraponerse a los resultados obtenidos con un transductor de una frecuencia diferente, acorde a la inspección. Dando como resultado que las fallas buscadas sí sean detectadas en el material y puedan cuantificarse. Un ejemplo muy sencillo de esta situación se muestra en las figuras 1a y 1b; en donde, al inspeccionar una fundición de hierro utilizando un transductor de 10 MHz no es posible percibir falla alguna en el material. Sin embargo, cuando la cadena de medición utiliza un transductor de menor frecuencia 2,25 MHz, la falla se detecta.

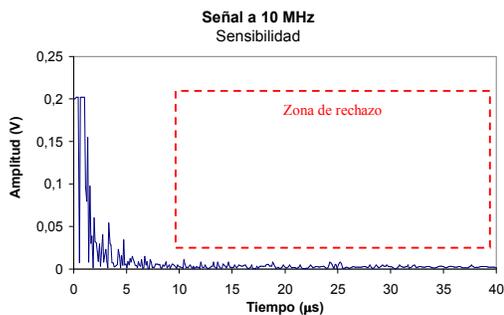


Figura 1 a) Detección de fallas usando un transductor de 10 MHz en fundición de hierro

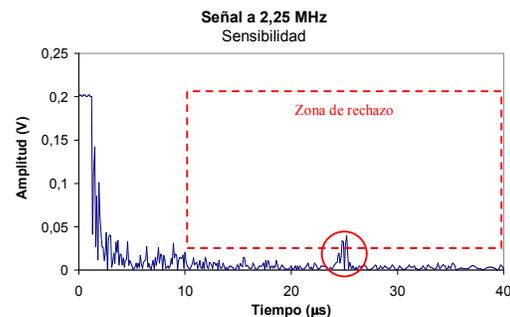


Figura 1 b) Detección de fallas usando un transductor de 2,25 MHz en fundición de hierro

En estos casos lo recomendable es realizar una *confirmación metroológica* de la cadena de medición para asegurarse que es capaz de detectar las fallas que se intenta localizar. Esto puede ser logrado usando un juego de bloques de referencia calibrados en tamaño de falla, abarcando desde la superficie de entrada al material y hasta su término, en el mayor número de pasos intermedios posible. Los bloques de referencia deben fabricarse del mismo material y con las mismas condiciones superficiales, de tratamiento, etc., es decir; lo más apegado al material inspeccionado. La calibración del bloque de referencia es un aspecto cuya correcta realización mejorará la calidad y confiabilidad de los resultados obtenidos. Este procedimiento permitirá al inspector confiar en su cadena de medición.

### 2.2 Resolución

Esta propiedad de un detector de fallas es importante cuando se tienen reflectores (o fallas) muy próximos entre sí o cercanos a alguna de las superficies de inspección (de entrada o posterior). Esta situación se presenta cuando la cadena de medición no es capaz de resolver o distinguir entre dos indicaciones continuas. En la figura 2 se muestra la inspección de una pieza de acero usando un transductor de 2,25 MHz y se percibe aparentemente que no existen fallas en el material. Sin embargo, si se utiliza un transductor de 10 MHz, la cadena de medición es capaz de resolver una falla cercana a la superficie posterior. Como consecuencia, lo que aparentemente era una pieza OK se convierte en una pieza de rechazo o lote de producto no-conforme.

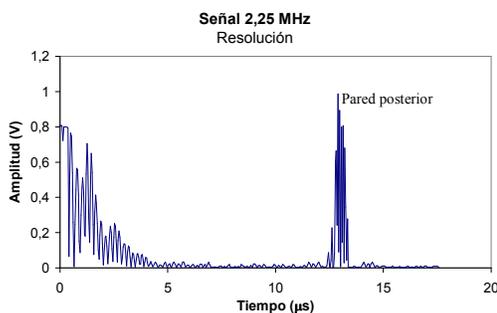


Figura 2 a) Detección de fallas usando un transductor de 2,25 MHz

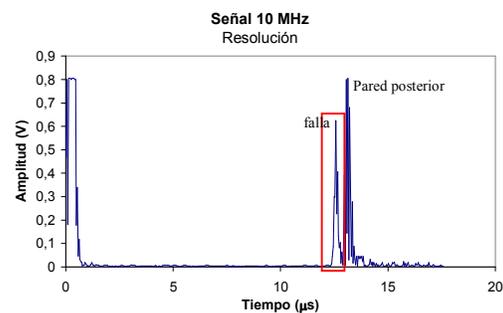


Figura 2 b) Detección de fallas usando un transductor de 10 MHz

Al igual que para el caso de sensibilidad se recomienda el uso de bloques de referencia de resolución calibrados en diferentes profundidades. Las discontinuidades de referencia pueden ser con respecto a otra discontinuidad interna o con respecto a alguna de las caras de examinación.

### 2.3 Ruido

El ruido presente en una inspección de un material muy atenuante puede limitar la detectabilidad de discontinuidades por enmascaramiento de las indicaciones. Su fuente puede ser eléctrica o acústica y representa una posible limitación al método de medición. Generalmente, la sensibilidad, resolución y razón señal-ruido son dependientes y deben ser evaluadas en condiciones similares.

En las siguientes gráficas se muestra la inspección de un material altamente atenuante y generador de ruido blanco. En el caso de la figura 3 a) la falla se enmascara entre el ruido producido por el material y la propia instrumentación. Sin embargo, en el caso de la figura 3 b) cuando la señal es promediada y se disminuye el ruido aleatorio se puede percibir de mejor manera la presencia de una discontinuidad en el material. Dado que los equipos comerciales de inspección no siempre cuentan con una opción de promediación, en este tipo de casos se deben buscar técnicas alternativas de análisis y presentación de las señales usando los controles de rechazo (reject), ajustando los filtros del instrumento o intercomunicando el equipo a alguna computadora para realizar la promediación, cuando sea posible. Cuando se utilizan los controles de rechazo se debe tener particular cuidado de no eliminar las fallas buscadas. Nuevamente, el uso de bloques de referencia calibrados permite realizar este tipo de análisis para confirmar las capacidades de detección del sistema de medición utilizado previo a la examinación.

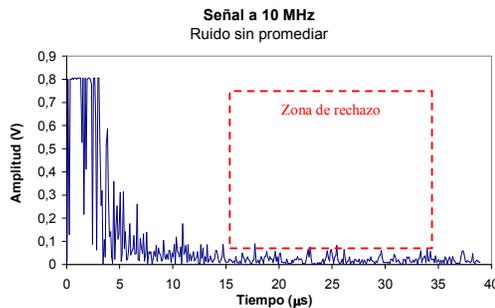


Figura 3 a) Detección de fallas en señales ruidosas sin promediar

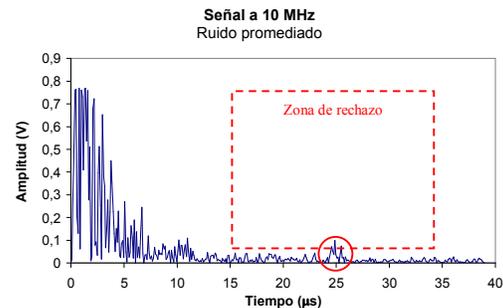


Figura 3 b) Detección de fallas en señales ruidosas promediando

### 2.4 Desconocimiento del estado de los equipos y patrones utilizados

En relación a los bloques de referencia de la sección anterior, el inspector debe asegurarse que estos cumplen con las características mínimas recomendadas para su uso (ver por ejemplo: ASTM E428 y ASTM E127). Por tal motivo, para el caso de mediciones de longitud externas se requiere de una calibración con patrones de longitud; así como una calibración vía un sistema de referencia en ultrasonido para el caso de evaluación de las fallas internas de referencia. La calibración de este tipo de bloques de referencia se vuelve más crítica cuando se utilizan curvas DAC (Distance Amplitude Correction Curves) para la evaluación de piezas del mismo tipo, dimensiones y propiedades mecánicas. Ya que un bloque en condiciones no adecuadas (resultado de mediciones deficientes), trazará igualmente una referencia no adecuada de evaluación que puede diferir con la evaluación realizada por algún otro laboratorio o inspector. Lo cual ejemplifica la presencia y efecto de los errores sistemáticos en ensayos no-destructivos por ultrasonido. Una calibración deficiente o ausencia de la misma generalmente se refleja en resultados sistemáticamente erróneos.

A la propiedad del resultado de una medición o del valor de un patrón, por la cual puede ser relacionado a referencias determinadas, generalmente patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena ininterrumpida de comparaciones, todas ellas teniendo incertidumbres determinadas se le denomina, en metrología, como *Trazabilidad*. La trazabilidad puede ser obtenida directamente de patrones nacionales de medición o a través de servicios de calibración de laboratorios acreditados cuya competencia técnica ha sido evaluada y demostrada respecto a normas como la NMX-EC-17025-IMNC-2006 (equivalente a ISO/IEC-17025:2005). Cuyo conjunto de requisitos constituye, en opinión de los autores de esta nota, un importante valor agregado en los servicios ofrecidos por un laboratorio de ensayos no-destructivos por ultrasonido. Adicionales, a las buenas prácticas de la Sociedad Americana de Ensayos No Destructivos (ASNT, por sus siglas en inglés) utilizadas para la certificación de inspectores.

## 2.5 Desconocimiento sobre la incertidumbre de medición

Cuando se realiza la medición de cualquier magnitud, el valor obtenido debería ser acompañado de un intervalo probable dentro del cual pueden obtenerse otros resultados igualmente probables al valor determinado. Es decir, al reportar un valor de profundidad de falla, dado que no es un valor único y no podemos asegurar que es el valor verdadero de la medición, deberíamos indicar un intervalo de medición dentro del cual es confiable localizar el valor verdadero, ej.  $25,4 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ ; esto proporciona un estimado de la variación del valor reportado. A este parámetro asociado al resultado de la medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían ser razonablemente atribuidos al mensurado (magnitud bajo medición), se le conoce como *Incertidumbre de la medición*.

Ejemplificando este punto, en la figura 4 a) se presentan los resultados de cuatro puntos de medición, evaluados con respecto a un límite de especificación superior y uno inferior. A priori, puede observarse que el primer punto y el último, de izquierda a derecha, son puntos de “rechazo”. El segundo y tercero se “aceptan”. Sin embargo; cuando se incorpora la incertidumbre de la medición asociada a cada punto, como muestra la figura 4 b), puede notarse que el segundo punto es el único que se “acepta” ya que está incluido en su totalidad (considerando la incertidumbre de medición estimada para ese punto) dentro de las barras de tolerancia y el cuarto se “rechaza” ya que está en su totalidad fuera de tolerancia. En el caso de los puntos restantes (primero y tercero), se pone en duda lo afirmado antes de anexar las incertidumbres, ya que los puntos no están definidos hacia un intervalo específico.

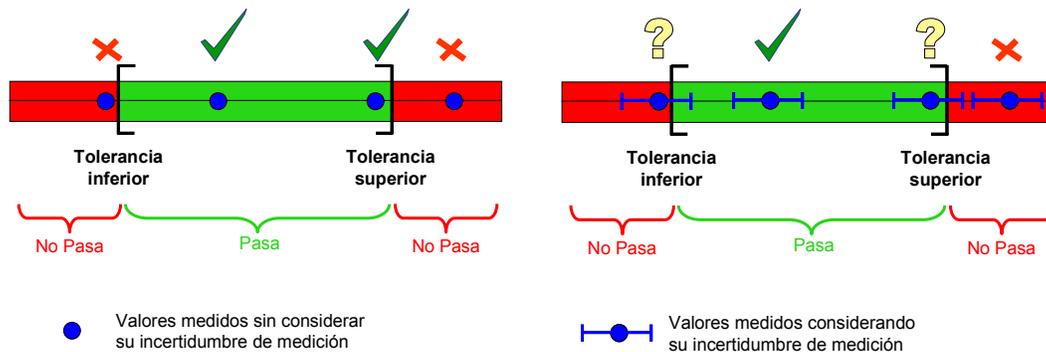


Figura 4 a) Criterio de aceptación/rechazo sin considerar la incertidumbre de la medición

Figura 4 b) Criterio de aceptación/rechazo considerando la incertidumbre de la medición

De lo anterior estriba la importancia de determinar la incertidumbre asociada a las mediciones que se realizan en los procesos productivos. Esto permite tener un mejor conocimiento sobre el valor que se determina y evalúa, por lo que ayuda a dirimir posibles controversias, particularmente cuando se comparan resultados de medición obtenidos con diferentes métodos de medición. O bien, cuando existe uno o varios procedimientos de medición en donde no están claramente definidos los pasos y/o criterios de aceptación/rechazo para realizar las mediciones (inspecciones). Derivado de lo anterior cada una de las partes realiza la medición en diferentes condiciones de medición (ej. medio ambiente, instrumentación, capacitación y técnicas de medición) y/o considera diferentes criterios de aceptación/rechazo sin considerar una posible cuantificación de la variabilidad de los resultados de medición.

## 3. Aseguramiento metrológico

El proceso de asegurar la confiabilidad y validez de una medición en ocasiones es referido como aseguramiento metrológico. Esto implica, cumplir con diversos requisitos tanto de gestión de la calidad como, más importante aún, técnicos que afectan un ensayo, calibración o medición determinada, conforme lo establece la norma internacional ISO/IEC 17025:2005. Entre ellos, los métodos de medición, alcances de medición, el equipo de medición del laboratorio, las condiciones ambientales y las competencias del personal a cargo de una medición; en ocasiones éstas son referidas como las 5Ms, i.e., Métodos, Materia prima, Materiales, Medio ambiente y Mano de obra. Generalmente, aun cuando se utilizan métodos normalizados para una medición, ensayo o calibración, es necesario realizar una confirmación metrológica; esto, con el propósito de asegurar que el laboratorio es capaz de generar resultados confiables y reproducibles. En el caso de los equipos de medición, el término confirmación metrológica se define como el conjunto de operaciones que realiza el usuario del mismo para asegurar que el equipo de medición está conforme a los requisitos de uso pretendido. Lo cual, en tareas de examinación no destructiva por ultrasonido o cualquier otra tarea que conlleve actividades de medición,

está directamente relacionado con las mejores capacidades de medición del laboratorio. Por ejemplo, para examinar un bloque por ultrasonido puede utilizarse un método por contacto o inmersión, en un medio ambiente controlado o en condiciones fuera de control, empleando equipo calibrado o cadenas de medición únicamente verificadas en sitio, con personal ampliamente calificado o personal con la experiencia mínima necesaria para la examinación. La combinación de las situaciones anteriores repercutirá directamente en la detección o no de fallas en el bloque, la repetibilidad y reproducibilidad de las mediciones (y por lo tanto en su incertidumbre), y particularmente en la confiabilidad de la examinación realizada. Lo anterior pretende ilustrar cómo, desde un contexto de aseguramiento metrológico, los alcances de medición o mejores capacidades de medición de un laboratorio pueden verse afectadas por los métodos de examinación, los materiales examinados, el equipo de medición empleado, las condiciones ambientales prevalecientes durante las mediciones y por las competencias del personal a cargo de la examinación.

El aseguramiento de las mediciones es un área de oportunidad tanto para los laboratorios e inspectores que realizan ensayos no destructivos por ultrasonido como para los laboratorios que realizan servicios de calibración de equipo de ultrasonido. Si bien es cierto, un importante número de inspectores cuentan con alguna certificación de competencias, como las obtenidas a través de la ASNT, las buenas prácticas a nivel internacional para efectuar ensayos y calibraciones atienden los requisitos generales de la norma ISO/IEC 17025:2005. Actualmente los servicios de calibración para equipo de ultrasonido industrial en México, pueden agruparse como calibraciones a cargo de laboratorios de calibración acreditados versus calibraciones realizadas por inspectores nivel III certificados por ASNT. En opinión de los autores de esta nota, y considerando los diferentes acuerdos de reconocimiento mutuo entre organizaciones internacionales como la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM, por siglas en francés), la Cooperación Internacional para la Acreditación de Laboratorios (ILAC, por sus siglas en inglés) y la Organización Internacional de Metrología Legal (OIML, por sus siglas en francés), así como algunas actividades de normalización internacional por parte de la ISO (International Organization for Standardization), la tendencia internacional hacia la uniformidad y equivalencia en las mediciones está detonando que un mayor número de empresas nacionales y transnacionales soliciten y contraten servicios de ensayos no destructivos por ultrasonido y/o servicios de calibración de equipo de ultrasonido que cumplan con los requisitos de la norma ISO/IEC 17025.

#### **4. Conclusiones**

En situaciones de disputa o conflicto en el resultado de una inspección o en resultados discordantes entre diferentes técnicas o instrumentos de medición es oportuno reflexionar sobre las magnitudes de influencia en una medición. Para abordar el tema de la uniformidad de las mediciones ultrasónicas es indispensable referirse a la sensibilidad de la cadena de medición, la resolución, los patrones utilizados y la incertidumbre de las mediciones. Aspectos de especial interés para los laboratorios de calibración y aquellos laboratorios de ensayo interesados en mediciones de alta confiabilidad.

Las acciones de aseguramiento metrológico en diversos procesos y servicios en empresas usuarias de servicios de inspección no destructiva por ultrasonido sugieren que los inspectores certificados con ASNT deben considerar los aspectos de medición de la norma NMX-EC-17025-IMNC-2006 (equivalente a la norma internacional ISO/IEC 17025:2005); en ésta se establecen los requisitos generales (técnicos y de gestión) para la competencia de los laboratorios que realizan ensayos o calibraciones.

#### **5. Referencias**

- [1] GUM, Guía para la expresión de la incertidumbre de la medición, BIPM, IEC, IFCC, ISO, IUPAC, OIML.
- [2] VIM, Vocabulario internacional de términos básicos y generales en metrología, BIPM, IEC, ISO, OIML.
- [3] NMX-EC-17025-IMNC-2006 (equivalente a ISO/IEC 17025:2005), Requisitos generales para la competencia de laboratorios de ensayo y de calibración.
- [4] ISO 9001:2000, Sistemas de gestión de la calidad – Requerimientos.
- [5] ISO/TS 16949:2002, Quality management systems -- Particular requirements for the application of ISO 9001:2000 for automotive production and relevant service part organizations.
- [6] ASTM E428, Standard practice for fabrication and control of metal, other than aluminum reference, blocks used in ultrasonic examination.
- [7] ASTM E127, Standard practice for fabricating and checking aluminum alloy ultrasonic standard reference blocks.