



# Ensayos no Destructivos:

## Inspección por Ultrasonido y Radiografía

**Emmanuel Naranjo Blanco, Ernesto Pocasangre Kreling**

ME-3209 Laboratorio de Tecnología de Materiales

Fecha de entrega: 05/10/2020

Profesor: MSc. Ricardo Esquivel Isern

Estudiantes de Ingeniería en Mecatrónica. Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), Cartago 159-7050, Costa Rica

**Palabras clave:** Inspección, radiografía, ultrasonido, ondas electromagnéticas, rayos X.

### Resumen

Los ensayos no destructivos permiten determinar la presencia o no de discontinuidades. Esta familia de ensayos incluye las técnicas de inspección por ultrasonido y por radiografía, las cuales se abordarán en este informe. En términos generales, la inspección por ultrasonido se fundamenta en el fenómeno de la reflexión de las ondas acústicas y la inspección por radiografía se basa en el proceso de generar imágenes mediante partículas de radiación u ondas electromagnéticas. De este modo, el objetivo de este experimento fue analizar las ventajas y características de estos ensayos no destructivos respecto a las demás pruebas; donde se llegó a la conclusión de que estas técnicas permiten determinar la presencia o no de las discontinuidades interiores y superficiales, y su ubicación exacta.

### 1 Introducción

En este informe se abordarán algunos de los métodos no destructivos más importantes: inspección por ultrasonido y por radiación. Los END y las técnicas de inspección son usadas comúnmente para evaluar defectos o fallas en sistemas ingenieriles, donde su principal característica es que las propiedades del material no se ven afectadas [1].

#### Inspección por Ultrasonido

La inspección por ultrasonido es uno de los métodos más usados en la familia de los END. Según Smith, W. (1994): “El ensayo no destructivo de ultrasonido se basa en la emisión de ondas ultrasónicas que atraviesan el material o pieza ensayada, y que son reflejadas por la cara opuesta de la pieza o por sus defectos internos” [2]. Su aplicación principal en el análisis de estructuras es la detección de discontinuidades superficiales, subsuperficiales e internas de una gran variedad de materiales.

Según Smith W. (1994), las ondas ultrasónicas que atraviesan la pieza en estudio son generadas mediante cristales piezoeléctricos, que se caracterizan por generar vibraciones cuando son sometidos a una tensión eléctrica. Así, los pulsos emitidos y reflejados por los defectos son visualizados en un osciloscopio.

Los palpadores son los elementos que se encargan de emitir y recibir las ondas ultrasónicas que atraviesan la pieza. Hay dos métodos para efectuar el ensayo: método de transparencia y método de reflexión. En términos generales, si la pieza ensayada tiene defectos, en el osciloscopio se reflejarán picos de energía inusuales. [2]

#### Inspección por Radiografía

Según Tanjore V. (2018), la radiografía es el proceso o técnica de producir imágenes de un material sólido en una película fotográfica o en una pantalla fluorescente mediante partículas de radiación u ondas electromagnéticas de longitud de onda corta [3].

Para analizar una pieza por radiografía, según Smith, W. (1994), “se coloca en la parte trasera de la pieza un sobre que contiene una placa formada por una base de acetato de celulosa revestida con una emulsión sensible a los rayos X. Entre cada cara de la placa y el sobre, se ubica una pantalla intensificadora para reforzar el contraste. Todo este conjunto forma el chasis. El chasis se pone en contacto con la muestra a radiografiar; luego, se aplica la radiación que atraviesa la muestra y llega a la placa sensible, produciendo el efecto fotográfico. Una vez finalizada la exposición de la pieza a los rayos X, la película debe ser revelada.”

De este modo, cuando los rayos X atraviesan un material sin fallas, la película queda impresionada en forma uniforme; y cuando el material tiene imperfecciones, la cantidad de radiación absorbida por cada sector del material varía. En las zonas en que la pieza tiene fallas, el material tiene menor densidad y es atravesado por mayor cantidad de radiación [2].

La aplicación de ambos ensayos es muy amplia, y en cada área de uso hay ventajas y desventajas. En este informe se analizarán dos experimentos donde se aplica cada END con el fin de satisfacer el objetivo general de esta práctica: analizar el comportamiento, las ventajas y las características de los ensayos de materiales no destructivos en el análisis de distintas piezas. Finalmente, como parte de los objetivos específicos del experimento, se intentará identificar los alcances de la radiografía y del ultrasonido, y conocer los procedimientos para efectuarlos.

## 2 Materiales y Métodos

En el presente informe se exponen procedimientos particulares para recolectar datos cualitativos y cuantitativos del estado de estructuras y materiales específicos. En este experimento se analizó, por un lado, estructuras metálicas y láminas de acrílico PMMA mediante ultrasonido y, por otro lado, trabajos de soldadura en tarjetas PCB mediante radiografía. En base a la teoría expuesta en la introducción, a continuación, se explica el procedimiento seguido en el experimento.

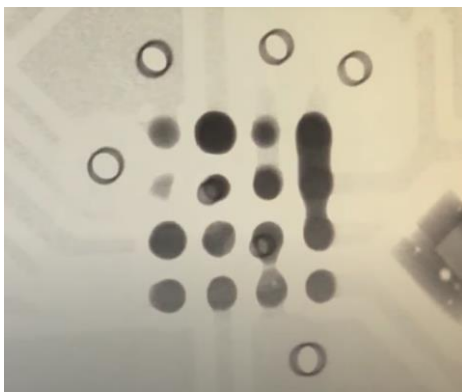
Para la radiografía, se requirió de: 2 tarjetas PCB con sus circuitos electrónicos terminados, equipo de rayos X (incluye el emisor de ondas, el encapsulado de protección y la pantalla fluorescente). Primero se colocaron las tarjetas en un ambiente aislado, con una pantalla fluorescente por debajo. Se colocaron 2 piezas idénticas. Una correspondía a la pieza de referencia y la otra era la pieza a evaluar. La radiografía cubría toda la superficie de la tarjeta pero se centró en una sección que poseía un circuito integrado de 16 pines soldado en la placa. En concreto, la prueba busca imperfecciones en el proceso de unión o soldadura del circuito integrado, pero también encuentra defectos adicionales.

Ahora, con respecto a la prueba del ultrasonido se hicieron dos ensayos. Para esto se requirió del Elcometer MTG8 (equipo de medición que emplea el ultrasonido), gel conductor, recipiente de hierro, lámina de acrílico PMMA. Primero, se calibró el equipo, cosa que se hace con una referencia antes de hacer las mediciones. Para el recipiente de hierro, se aplicó el gel conductor y se movió la boquilla emisora en un patrón de “zig-zag”. Con esto se tomaron las mediciones del espesor del recipiente. Por otro lado, para el segundo experimento se hizo lo mismo. Se aplicó el gel conductor sobre la lámina de acrílico y se recorrió la superficie, anotando los valores medidos.

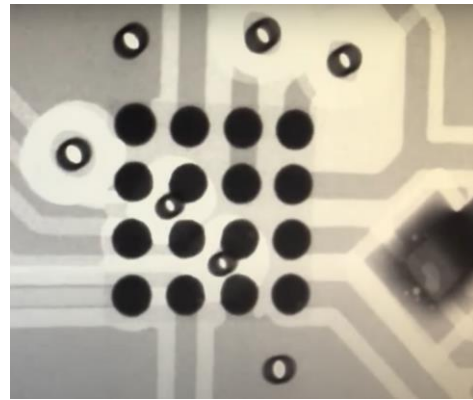
Una vez realizado cada experimento, es importante llevar un registro de la información obtenida de cada uno para así facilitar su análisis. De este modo, al comparar los resultados de cada ensayo se podrá determinar las ventajas y beneficios de cada uno.

## 3 Resultados y su Análisis

Con respecto a los resultados de los experimentos se tienen muchos puntos interesantes a tratar. En la radiografía, se obtuvieron las imágenes de las pruebas realizadas en las tarjetas PCB. A continuación, se puede observar en las figuras 1 y 2, los resultados de las radiografías.



**Figura 1.** Radiografía de tarjeta a evaluar



**Figura 2.** Radiografía de tarjeta de referencia.

Para estos resultados se pueden destacar varios puntos. Primero, se pueden observar los diferentes tipos de materiales que componen la tarjeta y sus divisiones. Esto sucede debido a que las ondas de los rayos X atraviesan más fácilmente ciertos materiales, y otros no tanto. De manera que en la radiografía se puede observar la superficie no conductora y la superficie conductora de la tarjeta; y además se muestran los puntos de soldadura que corresponden a la unión del circuito integrado a la misma.

En la figura 1, se pueden observar imperfecciones entre los puntos negros en la parte derecha de la imagen. Como esta parte corresponde a la soldadura de los pines, existe un error en esta soldadura. Concretamente se trata de un cortocircuito entre varios de los pines de este circuito integrado. Esto es de suma importancia ya que en una soldadura correcta no puede existir un corto circuito. Se puede observar en la figura 2 que la pieza de referencia no tiene esta “mancha” y por lo tanto la pieza a evaluar no es aceptable. Se concluye que la tarjeta se debe desechar, o se debe realizar el proceso de unión nuevamente.

Al realizar las pruebas de radiografía se encontraron ventajas y desventajas a considerar. En las ventajas, se puede hablar de una claridad de imagen y de detalle muy grande. Se pueden ver imperfecciones no presentes a simple vista. También se notó que es un proceso sumamente rápido que no requiere mucha experiencia por parte de los operadores. Ahora con respecto a las desventajas, la más importante viene a ser la radiación. Las ondas electromagnéticas emitidas producen radiación ionizante, de manera que no es seguro tener una exposición de los trabajadores a esta. Los operadores deben estar protegidos de estas ondas, ya sea por un medio como el encapsulado, o por una distancia considerada del punto de experimento.

En el ensayo del ultrasonido, se obtuvieron resultados igual de intuitivos y simples. En las figuras 3 y 4 se pueden observar los resultados de la prueba del ultrasonido en el experimento.



**Figura 3.** Ensayo de ultrasonido en recipiente de hierro.



**Figura 4.** Ensayo de ultrasonido en lámina de acrílico.

En la figura 3 se puede observar la medición del recipiente de hierro. Ahí la medición del espesor corresponde a 4.56 mm. Se notó que esta medición variaba ligeramente al movilizar la boquilla, y en las esquinas esta variación se notaba significativamente más. Ahora con respecto a la figura 4, se midió un espesor de 6.12 mm en la lámina de acrílico. Aquí, este valor también variaba ligeramente a lo largo del ensayo pero se mantuvo cerca de este valor. Las variaciones en ambas mediciones dan a entender que los espesores de ambas estructuras no son constantes.

En estas pruebas de ultrasonido, se notó que la medición dependía mucho de la habilidad del operador. Y cabe mencionar que estas fueron pruebas relativamente sencillas por lo que una medición más complicada como una tubería de dimensiones mucho mayores requiere a un operador capacitado. El ultrasonido presenta muchas ventajas que fueron apreciadas a lo largo del experimento. Entre ellas se encuentran: alta sensibilidad; se puede realizar un registro digital de los datos; no es peligroso para los operadores ni para el personal cercano y no tiene ningún efecto sobre el equipo y los materiales cercanos.

Con respecto a las 2 pruebas, de radiografía y de ultrasonido se rescataron puntos en común que son muy relevantes. Primero, ambas fueron pruebas que se realizaron en tiempos muy cortos, sin una preparación larga. Esto quiere decir que son procesos muy simples y útiles, lo cual es muy importante en la industria. También es importante mencionar que ambas pruebas mostraron una precisión y detalle de mucha calidad. Esto pone a estas dos pruebas en ventaja con otros ensayos no destructivos. Y por

último, dado que son END, tienen la ventaja de que sus piezas pueden ser reutilizadas, de manera que son procesos comúnmente empleados en revisiones del funcionamiento de un equipo que no se va a reemplazar.

#### 4 Conclusiones y Recomendaciones

Para la aplicación exitosa del END por ultrasonido, la técnica de la inspección e implementación en un sistema deben entenderse bien. Además, el operador debe estar suficientemente capacitado y tener experiencia para disminuir el error en el análisis de resultados.

El ensayo por radiografía, además de la inspección visual, por partículas magnéticas y por tintas penetrantes, es una de las técnicas más sencillas de entender debido a que las discontinuidades en las imágenes se pueden hallar sin dificultad y sin una interpretación experta. Sin embargo, hay que al utilizarla deben haber protocolos de seguridad para evitar accidentes debido a los niveles de radiación.

La mayoría de los materiales sólidos, metálicos, no metálicos o compuestos son extensamente inspeccionados por radiografía y por ultrasonido, los cuales permiten detectar grietas, cables rotos, elementos desalineados y discontinuidades. Estos dos procesos se destacan gracias a su enorme precisión y detalle en los resultados, además de su relativa simpleza y rapidez de implementación.

Por último, es importante mencionar la ventaja que poseen estos dos ensayos, así como todos los otros END. Esta ventaja corresponde a la posibilidad de volver a utilizar las estructuras que fueron evaluadas. Es de mucha utilidad esto último, ya que en ocasiones es muy ventajoso ver el estado de una pieza o estructura y seguir usándola después de la prueba.

#### 5 Referencias

- [1] Guide to Nondestructive Testing and Inspection Methods, Metals Handbook Desk Edition, 2nd Ed., 2nd ed., Edited By Joseph R. Davis, ASM International, 1998, p 1254–1256, <https://doiorg.ezproxy.itcr.ac.cr/10.31399/asm.hb.mhde2.a0003228>
- [2] Smith, W. (1994) Fundamentos de la ciencia e Ingeniería de los Materiales. Cuarta Edición. México D.F.: McGraw-Hill.
- [3] Tanjore V. Jayaraman, Principles of Radiography, Nondestructive Evaluation of Materials, Vol 17, ASM Handbook, Edited By Aquil Ahmad, Leonard J. Bond, ASM International, 2018. Disponible en: <https://doi-org.ezproxy.itcr.ac.cr/10.31399/asm.hb.v17.a0006448>
- [4] Leonard J. Bond, Fundamentals of Ultrasonic Inspection, Nondestructive Evaluation of Materials, Vol 17, ASM Handbook, Edited By Aquil Ahmad, Leonard J. Bond, ASM International, 2018. Disponible en <https://doi-org.ezproxy.itcr.ac.cr/10.31399/asm.hb.v17.a0006470>