

APLICACIÓN Y SELECCIÓN DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS PARA LA EVALUACION DE UNIONES SOLDADAS

Application and selection of non-destructive test for the evaluation of welded joints

RESUMEN

La soldadura de materiales metálicos se presenta como uno de los procesos de conformación más importante en el amplio espectro que nos ofrecen los campos de la tecnología industrial. Cualquiera que sea el proceso de soldadura seguido se trata, en realidad, de un proceso metalúrgico y hay que considerar, por lo tanto, los diversos y específicos factores que intervienen en el mismo. El proceso de soldadura deberá ser el más idóneo para los fines perseguidos, que se traducen en una unión reuniendo las condiciones exigidas por los Códigos, las Normas y las especificaciones correspondientes. La aplicación de los ensayos no destructivos (END), para evaluar el estado final de una unión soldada, tienen una finalidad fundamental: asegurar que se cumplen rigurosamente los criterios de aceptación estipulados.

Dado que son varios los tipos de END, se pretende dar aquí, algunos apartes para la selección dependiendo de la destinación final del producto.

PALABRAS CLAVES: Aceptación, códigos, END, ensayos, especificaciones, evaluar, Normas, producto, soldadura.

ABSTRACT

The welding of metallic materials is presented as one of the most important processes shaping the broad spectrum that we offer the fields of industrial technology. Whatever the welding process is followed, in fact, in a metallurgical process and must be considered, therefore, different and specific factors in the same. The welding process should be the most suitable for the purpose intended, resulting in a union meeting the conditions required by the Codes, Rules and specifications for. The application of nondestructive testing (NDT) to evaluate the final state of a welded joint, have a fundamental purpose: to ensure strict compliance with the eligibility criteria set.

Since there are several types of NDT is to give here some excerpts for selection depending on final destination of the product.

KEYWORDS: Acceptance, codes, END, tests, specifications, evaluate, standards, products, welding.

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años los ensayos no destructivos han llegado a ser una herramienta indispensable en la industria, siendo el medio primordial para determinar el nivel de calidad alcanzado por los diferentes productos. En la industria de fabricación de piezas metálicas, construcción de estructuras, ensamble de partes y montajes de plantas industriales, se requiere de métodos de evaluación y diagnóstico del estado final de las uniones soldadas existentes. El procedimiento de elaboración de los materiales a emplear como metal base,

tratamientos mecánicos que hayan experimentado, su mayor o menor homogeneidad estructural, etc., deberán ofrecer las necesarias garantías de no presentar anomalías que se traduzcan en variaciones de la resistencia mecánica exigida; el proceso de soldadura deberá ser el más idóneo para los fines perseguidos, que se traducen en una unión reuniendo las condiciones exigidas por los Códigos, Normas y especificaciones correspondientes. Los métodos de comprobación de la homogeneidad estructural, metalúrgica y de sanidad final de una unión soldada, son conocidos como Ensayos No Destructivos (END). Estos proporcionan, en tiempo casi real, y sin

RICAURTE OSPINA LOPEZ

Profesor Asistente, M. Sc.

Universidad Tecnológica de Pereira

ricaospi@utp.edu.co

CARLOS HERNANDO TRUJILLO

Profesor Asistente

Universidad Tecnológica de Pereira

cetepe@utp.edu.co

HERNANDO PARRA L

Profesor Asociado, M. Sc.

Universidad Tecnológica de Pereira

heparra@utp.edu.co

detrimento alguno, un diagnóstico, total con algunos ensayos y superficial con otros, del estado final de la unión soldada evaluada.

Estudiaremos en este caso, la pertinencia de los diversos ensayos no destructivos en uniones soldadas, según el sector de la construcción; para que sirva de guía a los involucrados en el área de la inspección y control de productos, obtenidos a partir de materiales metálicos.

2. DEFECTOS DE LAS UNIONES SOLDADAS

Por discontinuidad se entiende cualquier interrupción, la cual puede ser intencional o no intencional en la estructura física o configuración de una parte [1].

Estas se pueden clasificar en tres categorías:

- **Inherentes:** Introducidas durante la producción inicial del estado de fundición tales como arena, etc.
- **De proceso:** Causadas por procesos posteriores al estado de fundición, incluyendo la fabricación.
- **De servicio:** Surgen debido al uso del producto final por condiciones de carga y/o ambientales.

Un defecto es una discontinuidad o grupo de discontinuidades cuyas indicaciones no cumplen con los criterios de aceptación especificados [1].

Los defectos que pueden presentarse en las uniones soldadas dependen y obedecen a diversas causas y factores. Podemos citar, en nuestro caso, los siguientes: proyecto y diseño no adecuado; influencia del procedimiento seguido y uso de parámetros incorrectos; clase y calidad de los materiales (metal base y electrodos); influencia del medio ambiental y, muy importante, errores humanos (preparación y pericia del operador). No debe olvidarse el orden metalúrgico, ya que los ciclos térmicos del proceso de soldadura ofrecen zonas de transición en sus propiedades físico-metalúrgicas que, en ocasiones, conducen a configuraciones heterogéneas influyentes en el método de ensayo aplicado.

Los defectos que pueden presentarse vienen ampliamente recogidos y responden a seis grupos principales: 1. Fisuras y Grietas; 2. Inclusiones Gaseosas; 3. Cavidades y Poros; 4. Inclusiones sólidas; 5. Falta de fusión y penetración; 6. Defectos de forma externos; 7. Defectos varios no incluidos en los grupos anteriores.

2.1 Fisuras y Grietas

Aparecen por efecto de una rotura local que podría ser provocada durante el proceso de soldadura, bien por efecto de tensiones o por enfriamiento. De acuerdo con su orientación, se tratará de defectos longitudinales, transversales, radiales, discontinuidades ramificadas y de cráter, presentándose como interfaces rugosas. Electrodos inadecuados también influyen en su formación. Otros factores influyentes son la presencia en exceso de carbono, azufre o fósforo en el metal base; una excesiva rigidez da origen a tensiones, y finalmente debe citarse

altas corrientes al soldar y cordones de sección muy pequeña.

2.2 Inclusiones Sólidas

Corresponden a inclusiones de escorias, fundentes, óxidos y metálicas, que quedaron aprisionadas durante el proceso, teniendo su origen en una falta de limpieza inicial, siendo más comunes en las uniones por pasadas múltiples. Cordones mal distribuidos; electrodos no apropiados; avance lento y débil corriente son otros factores. Aparecen de formas irregulares.

2.3 Falta de Fusión y de Penetración

Es el resultado de una falta de unión entre el metal base y el de aporte, localizándose en los bordes laterales del cordón, o muy próximo al mismo, entre pasadas o en la raíz. Muy semejante es la falta de penetración, asociada en ocasiones con la presencia de escorias. Este defecto se presenta en la raíz debido a que el metal de aporte no rellenó la misma. Su orientación es paralela al cordón estando situada, aproximadamente, en el centro del mismo.

2.4 Inclusiones Gaseosas

Cavidades y porosidades que se deben a la presencia de gases aprisionados, presentándose en forma de poros circulares o vermiculares (manchas semejantes a las de inclusiones sólidas); en ocasiones se habla de sopladuras. Estas son, realmente, cavidades alargadas o tubulares, constituidas por inclusiones gaseosas que comprenden: poros esferoidales, aislados o uniformemente repartidos; poros localizados; porosidad alineada y alargada; porosidad vermicular (tubular) y picaduras, poros de pequeñas dimensiones y, en ocasiones, abiertos a la superficie.

2.5 Rechupes

Son cavidades debidas a la contracción del metal durante la solidificación. Los denominados interdendríticos se presentan como cavidad alargada producida entre dendritas y por aprisionamiento gaseoso. Es un defecto perpendicular a las superficies exteriores de la unión; el rechupe de cráter es la cavidad producida en un final de cordón y que no se ha eliminado en la pasada siguiente. Existen los micro-rechupes que sólo son visibles con ayuda del microscopio. En general, se consideran los rechupes como una forma de cavidades.

2.6 Defectos Externos

También se conocen como defectos de forma. A simple vista se observa en ocasiones irregularidades en la forma del cordón, afectando a su geometría. Una corriente excesiva; velocidad de avance demasiado lenta; longitud excesiva del arco; movimiento transversal irregular y pieza recalentada son factores que dan origen a aquellas heterogeneidades. Así resultan las mordeduras de borde, que se presentan como ranuras o gargantas en la

superficie de la pieza y a lo largo del cordón o bien en la raíz. Una incorrecta posición del electrodo y un diámetro excesivo del mismo influyen en su formación. En realidad se trata de insuficiencia o de falta de metal.

Otros tipos de defectos externos son: sobre espesores excesivos; convexidad excesiva; exceso de penetración; defectos de alineación; deformación angular; ángulos de sobre espesor excesivo; falta de espesor; defectos de simetría de la soldadura en ángulo; anchura irregular;

quemones y empalme defectuoso. La figura 1 representa algunos de los defectos más importantes a que se ha hecho referencia. Existen además los conocidos como defectos varios, no incluidos entre los anteriores, como son: corte de arco; proyecciones o salpicaduras de metal fundido y también de partículas de volframio; desgarre o deterioro local del metal base y, finalmente, las marcas de amolado y picaduras que provocan deterioros locales, así como el amolado excesivo que reduce el espesor.

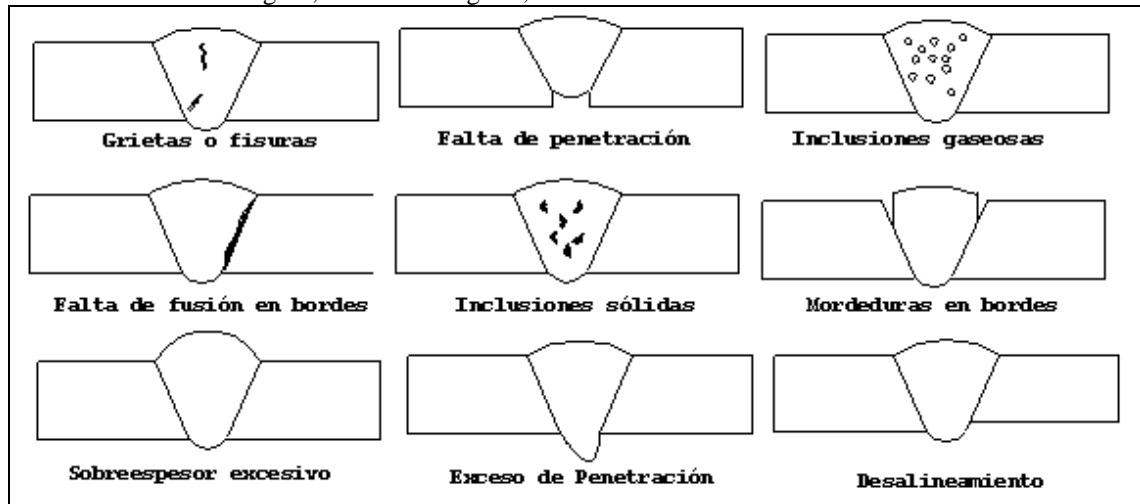


Figura 1. Defectos en las uniones soldadas

3. ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Los ensayos no destructivos son técnicas aplicadas a la inspección de productos acabados y semi-acabados para la detección de heterogeneidades internas y superficiales a través de principios físicos, sin perjudicar la posterior utilización de los productos inspeccionados.

Las etapas básicas de la inspección de un material estructural, mediante los métodos de ensayos no destructivos, en lo que respecta a los problemas de defectología, caracterización y metrología, es decir su calidad intrínseca pueden resumirse en los cuatro siguientes:

- Elección del método y técnicas operatorias idóneos.
- Obtención de una indicación propia.
- Interpretación de la indicación.
- Evaluación de la indicación.

Entonces el objetivo de cada método de control es analizar si hay discontinuidades, caracterizarlas y posteriormente evaluarlas, estas se evalúan según el código de contrato el cual define los criterios de aceptación o rechazo para cada aplicación específica. Esta evaluación se hace según la mecánica de fractura.

4. TIPOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS, SELECCIÓN, DESCRIPCIÓN Y APLICACIÓN.

Existen numerosos los tipos de ensayos no destructivos actualmente en uso, los cuales están permanentemente en

evolución. Entre los que aplican en el campo de la soldadura, se pueden citar los siguientes:

- Inspección o ensayo visual
- Ensayo por líquidos penetrantes
- Ensayo por partículas magnéticas
- Ensayos radiográficos
- Inspección o ensayo por ultrasonido

4.1 Criterios para la selección del ensayo adecuado.

Como puede verse, es muy extensa la lista de los END, ofreciendo entonces grandes opciones para la selección del tipo de prueba indicado para cada caso en particular. Por lo tanto, es de fundamental importancia que el que se tenga un buen fin de que se pueda aplicar, en cada caso, la prueba que genere los mejores resultados.

Para la selección de los métodos de ensayos no destructivos se debe tener presente que, un método puede complementar a otro y que diversas pruebas normalmente deben ser aplicadas en una misma pieza de ensayo.

La selección del método debe basarse en uno de los siguientes criterios:

- Tipo y origen de discontinuidad a ser detectada
- Proceso de fabricación y tipo de material
- Accesibilidad a la región de ensayo
- Nivel de aceptabilidad deseada
- Disponibilidad de equipos
- costos.

Por tanto es necesario un análisis profundo de la selección de la prueba indicada, evitándose así, errores en la escogencia que podrían redundar en una ineficiencia del ensayo por sub-dimensionamiento o a un elevado costo por sobre-dimensionamiento.

4.2 Ensayo Visual (VT)

Es probablemente el tipo de ensayo no destructivo más ampliamente utilizado. Es el más fácil de aplicar, acarrea resultados rápidos y normalmente tiene un costo bajo. Usualmente, una pieza antes de ser sometida a otros tipos de ensayo no destructivos, debe ser inspeccionada visualmente. Por ejemplo la inspección visual de una soldadura por un inspector entrenado, puede revelar entre otras las siguientes informaciones sobre la calidad de la misma: La presencia u ausencia de discontinuidades superficiales, la orientación de estas en relación a las varias regiones de la soldadura, porosidades superficiales, mordeduras, etc.

De esta manera, los resultados de la inspección visual pueden auxiliar, en mucho, la aplicación posterior de otras pruebas no destructivas.

El principio básico de la prueba no destructiva visual es iluminar bien la zona de la pieza a inspeccionar. La pieza será examinada, entonces, directamente al ojo o a través de algún accesorio como un endoscopio o fibroscopio.

El equipo requerido para la inspección visual es extremadamente simple, siendo por tanto, primordial una buena iluminación de la pieza. Conviene observar también que la superficie de la pieza este limpia antes de efectuar el examen.

4.3 Líquidos penetrantes (PT)

La inspección por líquidos penetrantes es un método de END usado para la detección de discontinuidades que aparezcan en la superficie de la pieza. El uso de líquidos penetrantes puede ser considerado como una extensión de la inspección visual. Muchas discontinuidades reveladas por el método de líquidos penetrantes no podrían ser detectadas a través de la inspección visual realizada por un inspector experimentado.

Los líquidos penetrantes revelan una discontinuidad en una gran extensión haciendo que la inspección dependa menos del elemento humano, esto hace que este método sea más adaptado a un sistema de producción, aumentando la credibilidad en la rapidez de inspección. El método de los líquidos penetrantes es utilizado en materiales magnéticos como no magnéticos ofreciendo así, una ventaja en relación con la prueba de partículas magnéticas que no pueden ser empleadas en el último caso.

La prueba de líquidos penetrantes tiene la ventaja de ser un ensayo rápido, fácilmente aplicable y relativamente

barato. Sin embargo, ofrece la desventaja de que solamente revela discontinuidades existentes en la superficie de la pieza.

Todas las fallas encontradas a través de los líquidos penetrantes dan solamente una indicación aproximada de la profundidad y tamaño del defecto.

La técnica por líquidos penetrantes consiste en la aplicación sobre la pieza, luego de la limpieza de la misma, de un líquido “penetrante” de un color generalmente rojo de baja viscosidad que, en función de esto, penetra en las discontinuidades existentes en la superficie, bajo principios de capilaridad, después, se limpia nuevamente la pieza por medio de un líquido removedor cuya función es la de eliminar el exceso de líquido penetrante que ha quedado en la superficie, para aplicar posteriormente otro líquido llamado “revelador” que normalmente tiene talco en suspensión. El líquido penetrante aprisionado en la discontinuidad de la pieza será absorbido por el revelador y como el primero posee una coloración roja, mostrara las discontinuidades existentes en la pieza.

También en el caso de los líquidos penetrantes el equipo requerido es extremadamente simple, de bajo costo siendo, por lo tanto, fundamental la calidad de los líquidos requeridos.

4.4 Partículas magnéticas (MT)

La inspección por partículas magnéticas es un método para la localización de defectos superficiales y sub-superficiales (próximos a la superficie más no abiertos a la misma) en materiales ferro-magnéticos. Su operación está basada en el hecho de que, cuando la pieza a examinar es magnetizada, las discontinuidades existentes causan un campo de fuga, en el flujo magnético. Este campo de fuga, generado por discontinuidades, será detectada a través del uso de partículas ferro-magnéticas finamente divididas, aplicadas sobre la superficie, pues las mismas serán atraídas por el campo de fuga y se aglomeraran en el contorno del mismo, indicando su localización, forma y extensión.

Estas partículas son aplicadas en la superficie de forma seca o húmeda en suspensión en líquidos como agua o aceite, pueden ser visibles con luz blanca o con luz ultravioleta.

Hay, no obstante, ciertas limitaciones en cuanto a este método que deben ser de conocimiento del inspector. Entre estas limitaciones se pueden destacar las siguientes:

- Películas de pintura u otra capa no magnética sobre la pieza que puedan ocultar los resultados.

- El método sólo es aplicable a materiales ferromagnéticos (aleaciones ferrosas exceptuando aceros inoxidables austeníticos).
- Para mejores resultados, el campo magnético debe tener una dirección que intercepte el plano principal de la discontinuidad. Debido a esto, normalmente son requeridas dos o más secuencias de operaciones en una misma región de la pieza, en diferentes direcciones.
- Es necesario desmagnetizar la pieza después de realizado el ensayo.
- Para piezas de gran tamaño son requeridas altas corrientes eléctricas.

4.5 Ultrasonido (UT)

La inspección ultrasónica es un método de ensayo no destructivo para el cual grupos de ondas de alta frecuencia introducidas en el material inspeccionado son utilizados para detectar defectos superficiales e internos. Las ondas atraviesan el material con cierta atenuación y son reflejadas en las interfaces. Este haz reflejado es detectado y analizado definiendo entonces la presencia y la localización de las discontinuidades.

El ensayo ultrasónico es basado en el hecho de que la presencia de una discontinuidad o un cambio en la densidad del material actuará como si fuese reflector de propagaciones de alta frecuencia en ese punto. El equipo de ultrasonido posee un cabezal o palpador, que contiene un cristal de cuarzo (u otro material piezo-eléctrico). Cuando un voltaje es aplicado, el cristal vibra a alta frecuencia. Cuando el cabezal ultrasónico es colocado sobre la pieza con su acoplante adecuado, esta vibración es transmitida a la misma hasta encontrar una discontinuidad o cambio de densidad. En este punto, parte de esta energía (vibración) es reflejada de vuelta, llegando nuevamente al cabezal, transmitiendo la vibración al cristal el cual la transformará en pulsos eléctricos que podrán ser visualizados en la pantalla del osciloscopio.

Como toda prueba no destructiva, los ensayos por ultrasonido ofrecen ventajas y desventajas entre las que se pueden relacionar:

- **Ventajas:**
 - ⇒ Alto poder de penetración, el cual permite la detección de discontinuidades en grandes espesores.
 - ⇒ Alta sensibilidad permitiendo la detección de discontinuidades sumamente pequeñas.
 - ⇒ Mayor capacidad que otros métodos de ensayo no destructivo en la determinación de la posición de discontinuidades externas, estimando su forma, orientación, dimensión y naturaleza.
 - ⇒ Necesidad de acceso únicamente a una de las superficies de la pieza.

- **Desventajas:**

- ⇒ La operación requiere conocimientos y experiencia profundos por parte del operador.
- ⇒ No es apropiado para la inspección de superficies mal terminadas.
- ⇒ Discontinuidades que se presentan muy próximas a la superficie, no pueden ser detectadas.
- ⇒ Requiere siempre la calibración del equipo, la cual no siempre es simple.
- ⇒ Solo da información de la indicación instantánea de las discontinuidades en equipos convencionales (Scan tipo A).

4.6 Radiografía industrial (RT)

La radiografía es un método usado para la inspección no destructiva, que se basa en la absorción diferencial de radiación penetrante por la pieza que ésta siendo inspeccionada. Debido a diferencias en las características de absorción causada por las variaciones de masa, composición y estructura del material, diferentes regiones de una misma pieza absorberán cantidades diferentes de radiación penetrante. Esa absorción diferencial de radiación penetrante podrá ser detectada a través de una película, o a través de un tubo de imagen, o la misma podrá ser medida por tipos de detectores electrónicos de radiación. Esa variación de la cantidad de radiación absorbida, detectada a través de un medio, indicará entre otras cosas la existencia de una discontinuidad interna en un material.

La radiografía industrial, es entonces usada para detectar características de una región de un determinado material, comparada con una región cercana. Diferencias muy grandes son más fácilmente detectadas, generalmente, la radiografía puede detectar solamente aquellas características diferentes de una región que presente una variación en el espesor, en el plano paralelo a la dirección del haz de radiación. Esto quiere decir que la capacidad del proceso de detectar discontinuidades con varios espesores en planos perpendiculares al haz, como fisuras, dependerá mucho de la técnica de prueba realizada. Discontinuidades como poros e inclusiones que presenten un espesor variable en todas las direcciones, serán fácilmente detectadas siempre que no sean muy pequeñas en relación al espesor de la pieza. En general, variaciones que presentan el 2% o más de la variación de absorción en relación al espesor total, podrán ser detectadas.

La inspección radiográfica es muy usada en la inspección de fundiciones, forja y soldaduras, particularmente donde se exige la necesidad de evitar discontinuidades internas en el material.

Dada su capacidad de revelar discontinuidades en una variedad de materiales, la radiografía industrial es actualmente uno de los principales ensayos no destructivo en uso.

El ensayo radiográfico, generalmente requiere de las siguientes etapas en su proceso:

- ⇒ La exposición de una película a la radiación X o gamma que atraviesa un cuerpo cualquiera.
- ⇒ El procesamiento de esta película.
- ⇒ La interpretación de la radiografía resultante.

Existe variedad de estos procedimientos y el éxito de cualquier ensayo dependerá del conocimiento y del control de esas técnicas.

Ventajas y limitaciones del ensayo radiográfico

Como ventajas de aplicación del ensayo radiográfico, como un medio de inspección y control de calidad, se pueden citar las siguientes:

- Puede ser aplicado a la mayoría de los materiales.
- Puede dejar un registro permanente del resultado del examen.
- Revela la naturaleza interna del material.
- Puede ser aplicado en un proceso, indicando la acción correctiva necesaria en caso de defectos.

Existen tanto limitaciones físicas, como económicas en la utilización del ensayo radiográfico, así requisitos geométricos hacen que dicho ensayo sea impracticable en piezas de forma compleja. Cuando una orientación apropiada de la fuente de radiación, de la pieza y de la película, no pueden ser obtenidas, la prueba radiográfica es de poco valor.

De la misma forma, cualquier pieza que no permita la colocación de la película de lado opuesto a la fuente, no puede ser evaluada por este método. Debemos considerar también, que la radiografía se basa en las diferencias de densidad y de absorción de los materiales y por esto mismo tienen poco valor en la detección de pequeñas discontinuidades que no sean paralelas a la línea de radiación. Defectos laminares difícilmente son detectados. Las condiciones de seguridad radiológica impuesta para rayos X y gamma también pueden ser consideradas como limitaciones.

La sumisión a los reglamentos de seguridad exigidos en los ensayos radiográficos, demanda tiempo y equipos especiales de protección aumentando los costos.

La inspección radiográfica es un medio relativamente caro de ensayo no destructivo. Se torna más económico cuando es aplicado a materiales de fácil manipuleo y geometría simple. El examen de piezas de gran espesor, exige equipo de alta energía encareciendo el método.

5. CONCLUSIONES

- Dentro de las razones más relevantes para hacer uso de los ensayos no destructivos se tienen:

Garantizar confianza en las piezas y elementos. El simple hecho de que un comprador adquiriera un producto el cual pasa por una prueba no destructiva lo tranquilizara en cuanto al uso futuro del mismo.

- **Prevenir accidentes y evitar riesgos de vidas humanas.** Es considerada como la principal razón para el uso de los END y muy probablemente, fue con esta finalidad que estos fueron desarrollados. En una época en se vive un creciente progreso industrial, la energía nuclear toma cada vez más rigurosas medidas preventivas de seguridad, pues la utilización en equipos de alta presión, de productos inflamables y corrosivos, acarrea un riesgo muy grande en la vida de trabajadores que operen estos equipos, así como a toda la humanidad, es por esto que estas técnicas se han desarrollado en un principio en el sector nuclear y luego se han transferido al sector industrial.

Mejorar el desempeño de las Empresas. Los END mejoran este desempeño por las siguientes razones:

- ⇒ Auxiliando el buen desarrollo de un proyecto. Ejemplo: Un nuevo proceso de soldadura desarrollado, por medio de los END se podrá, a partir de cuerpos de prueba verificar la viabilidad de la aplicación práctica del mismo.
- ⇒ Reduciendo los costos de fabricación. Ejemplo: Se considera una pieza determinada que será sometida a un proceso de utilización de los END, en la pieza en bruto se puede detectar la existencia de algún defecto interno de la misma. Sin la utilización de alguna técnica de ensayos este mismo defecto podría aparecer durante el proceso de utilización, redundando entonces, en grandes gastos adicionales que podrían haber sido evitados.
- ⇒ Controlando el proceso de fabricación. El control es un concepto básico en la industria. Metalúrgicos, inspectores, operadores y personal de producción saben mucho de las dificultades que se encuentran para mantener un proceso controlado. Cuando cualquier etapa de fabricación queda fuera de control fatalmente, la calidad será afectada por la introducción de defectos. Los END contribuyen mucho a mantener un proceso bajo control pues este podrá ser aplicado a varias etapas del mismo, permitiendo que este permanezca bajo control a través de las correcciones oportunas.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] ASTM E 1316 –92, Estándar para la Terminología en Ensayos no Destructivos.
- [2] ASME Sección V. Examen por ensayos no destructivos. Subsección A: Métodos de ensayos no destructivos.
- [3] ASME SE-94. Estándares de prácticas para el ensayo radiográfico.