



**Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Mecánica**

**LABORATORIO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS  
DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC**

**ENRIQUE HUMBERTO SORIA LEMUS**

Asesorado por Ing. Roberto Alejandro Aguilar Rivas

Guatemala, Noviembre de 2,004

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**LABORATORIO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS  
DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**ENRIQUE HUMBERTO SORIA LEMUS**

ASESORADO POR ING. ROBERTO ALEJANDRO AGUILAR RIVAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO MECÁNICO**

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2004

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

|             |                                      |
|-------------|--------------------------------------|
| DECANO      | Ing. Sydney Alexander Samuels Milson |
| VOCAL I     | Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos      |
| VOCAL II    | Lic. Amahán Sánchez Álvarez          |
| VOCAL III   | Ing. Julio David Galicia Celada      |
| VOCAL IV    | Br. Kenneth Issur Vides Leiva        |
| VOCAL V     | Br. Elisa Yazminda Vides Leiva       |
| Secretario: | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco   |

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

|            |                                      |
|------------|--------------------------------------|
| DECANO     | Ing. Sydney Alexander Samuels Milson |
| EXAMINADOR | Ing. Roberto Alejandro Aguilar Rivas |
| EXAMINADOR | Ing. Carlos Aníbal Chicojay Coloma   |
| EXAMINADOR | Ing. Carlos Humberto Pérez Rodríguez |
| SECRETARIO | Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco   |

**HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a consideración mi trabajo de graduación titulado:

**LABORATORIO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS  
DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA, USAC**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Carrera de Ingeniería Mecánica el 24 de febrero de 2003.

Enrique Humberto Soria Lemus

## DEDICATORIA

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| Al Supremo Creador          | Inspiración de un ideal de gratitud y semejanza    |
| A Don Luis Enrique Soria H. | El gran mentor de mi vida, dulce figura imborrable |
| A Doña Graciela L. de Soria | Quien con amor me trajo al mundo                   |
| A mis hermanos              | Compañeros de juegos, penas y alegrías             |
| A mi esposa                 | Bastón y apoyo de mi camino                        |
| A mis hijos                 | Amores por los cuales he batallado día a día       |
| A mis sobrinos              | Por su cariño desinteresado                        |
| A mis amigos                | En especial a Gilberto Rosas y Roberto Aguilar     |
| A Guatemala                 | Madre tierra que merece un futuro mejor            |

## AGRADECIMIENTOS

|   |   |
|---|---|
| Al Ingeniero Agustín Aguilar Sánchez                  | Maestro de mis primeros pasos en los END; que el Todopoderoso lo tenga en su Gloria |
| Al Ingeniero Roberto Aguilar                          | Maestro constante y dilecto amigo   |
| Al Ingeniero Calos Pérez                              | Por su tenaz empuje para que culminara este paso                                    |
| Al Ingeniero Luis Estrada                             | Por su valiosa colaboración e interés   |
| Al Ingeniero Carlos Chicojay                          | Por su interés en la conclusión de mi carrera                                       |
| Al Instituto Técnico Industrial Gerog Kernshensteiner | Centro de aprendizaje y forjador de mi vida profesional                             |
| A Gloria Juárez de Soria                              | Por su colaboración invaluable y compañera de penas y alegrías                      |
| A la Universidad de San Carlos de Guatemala           | Cobijo de mis inquietudes   |

## ÍNDICE GENERAL

|   |      |
|---|------|
| <b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>  | III  |
| <b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>  | IV   |
| <b>GLOSARIO</b>   | V    |
| <b>RESUMEN</b>  | VI   |
| <b>OBJETIVOS</b>  | VIII |
| <b>INTRODUCCIÓN</b>   | X    |
| <br>  |      |
| <b>1. MARCO TEÓRICO</b>   | 1    |
| 1.1 Definición y clasificación de los ensayos no destructivos                     | 1    |
| 1.2 Métodos de ensayo superficiales   | 3    |
| 1.2.1 Método de ensayo visual   | 4    |
| 1.2.2 Método de ensayo por líquidos penetrantes                                   | 6    |
| 1.2.3 Método de ensayo por partículas magnéticas                                  | 8    |
| 1.2.4 Método de ensayo por corrientes de Eddy                                     | 10   |
| 1.3 Métodos de ensayo volumétricos  | 12   |
| 1.3.1 Método de ensayo por ultrasonido  | 12   |
| 1.3.2 Método de ensayo por radiografía industrial                                 | 14   |
| <br>  |      |
| <b>2. ANTECEDENTES</b>  | 17   |
| <br>  |      |
| <b>3. EQUIPAMIENTO DE UN LABORATORIO DE END Y GUÍA PARA LA PRÁCTICA PROPUESTA</b> | 19   |
| 3.1 Ensayo visual   | 19   |
| 3.1.1 Equipo necesario  | 19   |
| 3.1.2 Práctica propuesta  | 20   |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| 3.2       | Ensayos por líquidos penetrantes y/o partículas magnéticas      | 22        |
| 3.2.1     | Equipo necesario  | 22        |
| 3.2.2     | Práctica propuesta  | 23        |
| 3.3       | Ensayo por corrientes de Eddy                                   | 31        |
| 3.3.1     | Equipo necesario  | 31        |
| 3.3.2     | Práctica propuesta  | 32        |
| 3.4       | Ensayo por ultrasonido  | 34        |
| 3.4.1     | Equipo necesario  | 34        |
| 3.4.2     | Práctica propuesta  | 35        |
| 3.5       | Ensayo por radiografía industrial                               | 46        |
| 3.5.1     | Equipo necesario  | 46        |
| 3.5.2     | Práctica propuesta  | 49        |
| <b>4.</b> | <b>ÁREA FÍSICA DE UN LABORATORIO PARA END</b>                   | <b>57</b> |
| 4.1       | Área física para ensayo visual                                  | 57        |
| 4.2       | Área física para líquidos penetrantes y/o partículas magnéticas | 57        |
| 4.3       | Área física para corrientes de Eddy                             | 58        |
| 4.4       | Área física para ultrasonido                                    | 58        |
| 4.5       | Área física para radiografía industrial                         | 58        |
|           | <b>CONCLUSIONES</b>   | <b>63</b> |
|           | <b>RECOMENDACIONES</b>  | <b>65</b> |
|           | <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>                               | <b>66</b> |
|           | <b>BIBLIOGRAFÍA</b>   | <b>67</b> |

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

|    |  |    |
|----|--|----|
| 1  | Fotografía de una pieza sometida a ensayo visual                                   | 22 |
| 2  | Fotografía de una pieza sometida a ensayo por líquidos penetrantes                 | 25 |
| 3  | Fotografía que muestra una pieza sometida a ensayo por partículas magnéticas       | 31 |
| 4  | Fotografía que presenta un ejemplo de aplicación del ensayo por corrientes de Eddy | 34 |
| 5  | Aplicación del palpador  | 41 |
| 6  | Forma de observación del oscilograma   | 42 |
| 7  | Oscilograma del ejercicio de verificación de resolución                            | 43 |
| 8  | Cotas que deben obtenerse en el ejercicio  | 45 |
| 9  | Fotografía que muestra un ejemplo de aplicación del ensayo ultrasónico             | 46 |
| 10 | Ilustración para la identificación radiográfica                                    | 51 |

## LISTA DE SÍMBOLOS

|             |   |
|-------------|---|
| <b>ASTM</b> | Sociedad Americana de ensayos y materiales (ASTM por sus siglas en inglés). |
| <b>END</b>  | Ensayos no destructivos   |
| <b>Mm</b>   | Milímetros  |
| <b>cm</b>   | Centímetros   |
| <b>dB</b>   | Decibeles   |
| <b>MHz</b>  | Mega Hertz  |
| <b>°C</b>   | Grados centígrados  |
| <b>°F</b>   | Grados Fahrenheit   |
| <b>KV</b>   | Kilovoltio  |
| <b>mA</b>   | Miliamperio   |

## GLOSARIO

|                             |   |
|-----------------------------|---|
| <b>Falta de fusión</b>      | Defecto de soldadura que se presenta cuando el proceso no logra fundir uno o ambos bordes del material base   |
| <b>Falta de penetración</b> | Defecto de soldadura que se da cuando la soldadura no llena todo el espesor del material que se está uniendo por medio de este proceso              |
| <b>Fisura</b>               | Defecto de soldadura que indica una separación o la pérdida de homogeneidad ya sea del material base o bien, en el material de soldadura depositado |
| <b><i>Pitting</i></b>       | Término anglosajón que indica una oquedad en un metal   |
| <b>Porosidades</b>          | Son burbujas de gas atrapadas dentro de un cordón de soldadura, las cuales no permiten una homogeneidad en la misma                                 |
| <b>Socavado</b>             | Defecto de soldadura que se define como una oquedad localizada a la par de una soldadura  |

## **RESUMEN**

En el marco teórico se define el concepto de ensayos no destructivos, explicando la diferencia entre éstos y los ensayos destructivos. En el mismo, se da una concepción somera de los conceptos básicos de cada uno de los métodos esenciales de los más utilizados en Guatemala, así como también, el campo de acción de los mismos. De la misma manera, se agrupan los métodos de ensayo en superficiales y volumétricos para que el lector tenga una diferenciación entre los diferentes métodos y su utilidad, dependiendo de la necesidad en cuanto a la inspección se refiere.

En el capítulo de los antecedentes, se narra la historia de la utilización y aplicación de los END en Guatemala, contando para esto, con el testimonio vivido por el autor del presente trabajo de tesis hasta la fecha, así como lo expresado por personas que de alguna forma u otra, han tenido noticias y datos históricos de dichos métodos de ensayo en los diferentes proyectos donde se utilizaron.

En el capítulo del equipamiento de un laboratorio de ensayos no destructivos se enlista el equipo y accesorios necesarios para cada uno de los métodos de ensayo propuestos, así como la guía práctica propuesta; en esta se enumeran los pasos de cada una de ellas, con la finalidad de que tanto el instructor de práctica, como los alumnos asistentes a la misma sigan un procedimiento digerible. También merece capítulo aparte el área física que se propone en este trabajo de tesis, para edificar o adecuar el espacio necesaria y suficiente en cada caso.

Finalmente, en las conclusiones del trabajo de graduación se resalta la importancia de la aplicación de los ensayos no destructivos para la elaboración de productos terminados como un control de calidad de los mismos, que sustentan la base del desarrollo tecnológico del país.

De la misma manera se resalta la importancia que tienen los END en la formación de criterios básicos que sustentan las decisiones de los ingenieros mecánicos en la identificación de una posible falla o defecto en particular y si esta es o no causal de aceptación o rechazo.

En las recomendaciones que se presentan, se resalta la necesidad de diseñar y desarrollar cursos necesarios para la formación de los estudiantes de ingeniería mecánica, así como la urgencia de implementar los laboratorios necesarios para la realización de las prácticas en el desarrollo de los cursos mencionados.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Diseñar e implementar la metodología de operación de un Laboratorio de ensayos no destructivos para el aprendizaje y la práctica de los mismos, en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala con la finalidad de que los estudiantes de la misma, los conozcan, puedan identificar sus alcances y beneficios y se familiaricen con su uso.

### **Específicos**

1. Lograr con la elaboración del diseño, se alcance la creación del Laboratorio de ensayos no destructivos de la Escuela de Ingeniería Mecánica.
2. Buscar con la posterior puesta en marcha del laboratorio, que los estudiantes sepan distinguir las ventajas y desventajas de cada uno de los métodos de ensayo.
3. Ofrecer al docente una herramienta para enseñar al estudiante el uso de los diferentes métodos de ensayo y con ello, aprenda a seleccionar el Método más adecuado con base en la norma, código o especificación que esté utilizando.

4. Lograr que los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Mecánica aprendan a aplicar varios de los métodos de ensayo no destructivos, sin llegar a tener la destreza de un operador calificado, pero que conozcan la aplicación adecuada de los mismos.
5. Proporcionar a los estudiantes los criterios básicos, para que sepan diferenciar entre una discontinuidad y un defecto, con base en un documento de referencia.

## INTRODUCCIÓN

En este trabajo se pretende presentar a las autoridades de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería, de la USAC, un diseño de lo que en el futuro podría ser el LABORATORIO DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS, para la carrera de Ingeniería Mecánica.

Para ofrecer los lineamientos de este diseño, es necesario conocer los fundamentos teóricos de los ensayos no destructivos y el uso que se hace de ellos actualmente en Guatemala.

El punto total, que se pretende con este trabajo, es poner en marcha, de manera paulatina, el laboratorio de estos métodos de ensayo, con la finalidad de que el futuro profesional de la ingeniería recurra a ellos de manera eficaz, con el conocimiento que se requiere de los mismos, como instrumentos para el control de calidad de soldaduras, miembros estructurales y en general, piezas metálicas y equipos utilizados en la industria, así como el análisis de falla de los diferentes elementos de máquinas y estructurales en general.

Adicionalmente, se presenta una propuesta que para el inicio de operaciones, se principie con la instalación del laboratorio de uno de los métodos de ensayo, que sirva como punta de lanza de esta especialidad. Pensando que, en el futuro, la Facultad de Ingeniería sirva como un ente certificador para soldadores y que esta especialidad funcione como un curso alternativo, como lo es en varios países.

El presente trabajo también pretende dejar sentadas las bases para la elaboración de las guías para las prácticas de laboratorio, así como el requerimiento mínimo de equipo para la iniciación de las prácticas de cada uno de los métodos de ensayo más comunes, utilizados en Guatemala.

# 1 MARCO TEÓRICO

## 1.1 Definición y clasificación de los Ensayos No Destructivos

Los ensayos no destructivos se definen como “aquellos que se realizan sobre piezas semiacabadas o acabadas, sin interferir con el uso futuro de las mismas”.<sup>1</sup>

“Los ensayos no destructivos (END) son técnicas que emplean métodos físicos indirectos para la inspección de productos, partes, piezas o componentes en servicio, para detectar las discontinuidades o defectos que afecten su calidad o utilidad”.<sup>2</sup>

“Los métodos de ensayo no destructivos permiten la inspección del 100% de la producción, si ello es requerido y la obtención de datos de todo el volumen de un producto o pieza; con lo que contribuyen a mantener un nivel de calidad uniforme, con la consiguiente conservación y el aumento del prestigio del producto y a asegurar la calidad funcional de los sistemas y elementos”.<sup>3</sup>

“Generalizando este concepto, se puede decir entonces que, los métodos de ensayo no destructivos son una modalidad de inspección y análisis de una de las mencionadas piezas, que permite la aplicación o utilización de la misma sin la introducción a través del Ensayo, de modificaciones en sus características físicas, químicas o mecánicas que puedan perjudicar su uso posterior, sola o como parte de un equipo o estructura en particular.”<sup>4</sup>

Los métodos de ensayo no destructivos se diferencian de los ensayos destructivos porque en los segundos es necesario destruir parcial o totalmente la pieza sujeta a ensayo para llevar a cabo el examen.

La diferencia entre ambos métodos de ensayo se puede visualizar mejor por medio del siguiente ejemplo.

Para verificar si un melón está maduro o no, un vendedor de frutas tiene dos opciones:

Golpea la corteza de la fruta y ve la coloración de la misma.

Corta la fruta para ver el color y la textura de la parte interna.

En el primer caso, el vendedor de fruta aplicó un **ensayo no destructivo**, mientras que en el segundo caso aplicó un **ensayo destructivo**.

En síntesis, se puede decir que los **ensayos destructivos**:

- Sirven para verificar las propiedades físicas del material.
- Para la aplicación de los mismos es necesario destruir parcial o totalmente la pieza sujeta a ensayo.
- Pueden aplicarse solamente una vez a la misma pieza de ensayo.

Con respecto a los **ensayos no destructivos** podemos sintetizar:

- Sirven para garantizar la confianza en la pieza.
- Se utilizan para verificar el control de calidad de las mismas.

- No se destruye parcial o totalmente la pieza de ensayo.
- No existe introducción a través del ensayo, de modificaciones en sus características físicas, químicas o mecánicas que puedan perjudicar su uso posterior.
- Puede aplicarse “n” veces el mismo método de ensayo o varios de ellos a la misma pieza sin que ella sufra deterioro o modificación.
- También sirve para prevenir accidentes y evitar riesgos de vidas humanas y- o paralización de servicios básicos.
- Mejorar el desempeño en las empresas.

Finalmente se puede decir que ninguno de los métodos de ensayo -tanto destructivos como no destructivos- es excluyente, sino que al contrario, todos son complementarios.

Los métodos de ensayo no destructivos se pueden clasificar originalmente en dos grupos:

## **1.2 Métodos de ensayo superficiales**

Estos métodos son utilizados para la detección de discontinuidades superficiales; es decir, las que están en la superficie de la pieza sujeta a examen. Solamente existe el caso del método por partículas magnéticas, el cual también tiene la capacidad de detección de discontinuidades sub-superficiales; sin embargo, está enmarcado dentro de este primer grupo.

Cabe aclarar que discontinuidad es toda irregularidad detectada por algún método de ensayo; defecto es toda aquella discontinuidad que es rechazada por los requerimientos mínimos de un código, norma o especificación.

Dentro de estos, los más comunes en cuanto a su utilización en Guatemala se pueden mencionar los siguientes:

- 1.2.1 Método de ensayo visual
- 1.2.2 Método de ensayo por líquidos penetrantes
- 1.2.3 Método de ensayo por partículas magnéticas
- 1.2.4 Método de ensayo por corrientes inducidas

A continuación, una descripción general de cada uno de los métodos de ensayo arriba indicados:

#### **1.2.1 Método de ensayo visual**

Es el método más simple y ampliamente utilizado; sin embargo, tiene su metodología y sigue un procedimiento ordenado. Acarrea resultados rápidos y normalmente tiene costos bajos.

De acuerdo a todos los códigos y normas conocidas, este método de ensayo es obligatorio y debe aplicarse a la pieza sujeta a control de calidad, antes que cualquier otro método que se quiera o deba utilizarse.

Por ejemplo, el ensayo visual de una soldadura por un inspector calificado, puede revelar entre otras cosas, la siguiente información sobre la calidad de la misma:

❖ La ausencia o presencia de discontinuidades superficiales tales como: socavado, falta de penetración, falta de fusión, porosidades, así como la orientación de estas en relación con las varias regiones de la soldadura.

De esta manera, los resultados obtenidos en la inspección visual pueden auxiliar en mucho, la aplicación posterior de otros ensayos no destructivos.

El principio básico del ensayo visual es iluminar bien la pieza, en la región a inspeccionar; esta será examinada entonces, directamente al ojo humano o por medio de un accesorio tal como un baroscopio o una lupa.

En este sentido, el equipo requerido para el ensayo visual es extremadamente simple, siendo por tanto primordial una buena iluminación como ya dijimos, además de una buena limpieza de la pieza sujeta a inspección, antes de ser examinada.

Dentro del equipo básico necesario para aplicar adecuadamente el ensayo visual está la lupa, el espejo de dentista, la regla metálica, el metro, el calibrador vernier, el micrómetro, una lámpara común o una de baterías; el uso del baroscopio es necesario para lugares confinados, aunque no esencial.

Para el caso específico de la soldadura, es necesario contar con galgas para medir las soldaduras y las discontinuidades, tales como: el socavado, la concavidad, la convexidad, etc.

### **1.2.2 Método de ensayo por líquidos penetrantes**

La inspección por líquidos penetrantes es un método de ensayo no destructivo para la detección de discontinuidades que haya en la superficie de la pieza sujeta a examen.

El método puede ser considerado como una extensión de la inspección por ensayo visual ya que muchas de las discontinuidades podrían no ser detectadas a través de este último, pero dicho ensayo debe ser llevado a cabo por un inspector experimentado.

Se dice que este método de ensayo se utilizó por primera vez en los orígenes de la industria del automovilismo, para detectar fisuras en los bloques de los motores y/o en las culatas de los mismos; en ese entonces, se aplicaba una capa generosa de aceite sobre la superficie a ser ensayada; este fluido se lo dejaba por un período aproximado de 24 horas, transcurrido ese tiempo, se removía el exceso de aceite y finalmente se aplicaban talcos sobre dicha superficie; el talco extraía el aceite alojado sobre una posible fisura y la revelaba, dibujando la discontinuidad.

Actualmente se utiliza el mismo procedimiento, con la diferencia que ahora se emplean fluidos con alto grado de capilaridad, permitiendo estos que ahora se dejen sobre la superficie a inspeccionar por un tiempo no mayor de 30 minutos.

El efecto que se produce es el mismo; es decir, el líquido penetrante se aloja en la posible fisura; se remueve el exceso de penetrante por medio de un líquido removedor o agua, según sea el caso.

Finalmente, se aplica talco atomizado ( en “spray” ) llamado revelador, haciendo éste el mismo efecto de “chupar” y revelar el penetrante alojado en la discontinuidad, dibujando literalmente la fisura.

Para este método de ensayo se utilizan penetrantes generalmente de color bermejo o fluorescente para aprovechar el contraste adecuado con el revelador que como debemos suponer, es de color blanco. Para el primer tipo de líquidos es necesario el auxilio de la luz natural o luz artificial, necesitando para el segundo tipo, una lámpara de luz ultravioleta.

Los líquidos penetrantes revelan una discontinuidad en una extensión tal que la inspección dependa menos del elemento humano para su visualización.

Esto hace que el método de ensayo se adapte más a un sistema de producción, aumentando la credibilidad en la rapidez de inspección.

Puede ser utilizado tanto en materiales ferromagnéticos como en otro tipo de metales, teniendo la ventaja de ser un ensayo rápido, fácil de aplicar y relativamente barato.

Sin embargo, tiene la desventaja de que solamente puede ser aplicado para revelar discontinuidades en la superficie de la pieza, que esta no tenga una geometría compleja y que su superficie sea lo más lisa posible.

Además, todas las discontinuidades reveladas pueden tener una indicación de profundidad y tamaño aproximados, dependiendo de varios factores tales como el grado de dureza de material, combinado con el ancho de la indicación.

El equipo que se requiere para la aplicación de este método de ensayo es extremadamente simple, de bajo costo, siendo sin embargo fundamental, la calidad de los líquidos utilizados.

### **1.2.3 Método de ensayo por partículas magnéticas**

Este método de ensayo se utiliza para la detección y localización de discontinuidades superficiales y sub-superficiales (próximas a la superficie mas no abiertas a la misma) en materiales ferromagnéticos.

Su operación está basada en el hecho de que cuando la pieza a examinar, o un área de la misma, se magnetiza, las discontinuidades existentes causarán un campo de fuga en el campo magnético.

La presencia de este campo de fuga será detectada a través del uso de partículas ferromagnéticas finamente divididas, aplicadas sobre la superficie magnetizada, pues las mismas serán atraídas por el campo de fuga y se aglomerarán en el contorno del mismo, indicando su localización, forma y extensión.

El campo magnético se produce por medio de un simple imán o un electroimán, siendo este último el más comúnmente utilizado, teniendo el mismo forma de yugo o bien de una bobina; otra de las formas es utilizando la pieza como un conductor, creando el campo magnético alrededor de dicha pieza.

Las partículas aplicadas pueden ser secas o húmedas en suspensión en líquidos como agua o aceite; dichas partículas pueden ser de color rojo, anaranjado, gris, negras o de otros colores, para facilitar su visualización en la pieza sujeta a ensayo.

No obstante, hay ciertas limitaciones que tiene este método de ensayo y que deben ser plenamente conocidas por el inspector, tales como:

- a. Películas de pintura u otra capa no magnética sobre la pieza que pueden ocultar indicaciones, lo que hace que el resultado sea inexacto e inadecuado.
- b. El método solamente es aplicable a materiales ferromagnéticos.
- c. 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 orientaciones del campo magnético.
- d. Es necesaria la desmagnetización de la pieza, después de haber concluido el ensayo.
- e. Para piezas de gran tamaño, son requeridas altas corrientes eléctricas.

#### **1.2.4 Método de ensayo por corrientes de Eddy**

Es una técnica que se utiliza, tanto para la detección de discontinuidades en materiales, como para medir indirectamente características mecánicas, metalúrgicas y físicas que se correlacionan con las propiedades eléctricas y magnéticas del objeto ensayado.

El método es utilizado principalmente en materiales delgados; si se utiliza en materiales gruesos, las limitaciones de penetración hacen que la inspección se limite a capas superficiales finas.

El ensayo se basa en la interacción de campos electromagnéticos con el objeto examinado; los componentes básicos son:

- ❖ Una bobina conduciendo corriente alterna.
- ❖ Un medio de detección de dicha corriente.
- ❖ El objeto metálico sujeto a ensayo.

La corriente alterna en la bobina induce un campo magnético orientado perpendicularmente a la corriente; este campo es modificado si un componente metálico está presente. Si el campo magnético interseca un componente conductor no magnético, se generan o inducen corrientes parásitas también llamadas de eddy las cuales fluyen normales al campo magnético.

Las corrientes inducidas a su vez establecen un campo magnético secundario el cual resulta opuesto al de la bobina, lo que causa una cancelación parcial del mismo. La reducción del flujo magnético en la bobina

produce un cambio en su impedancia y es precisamente el monitoreo de este cambio lo que constituye el ensayo por corrientes inducidas.

Las corrientes inducidas pueden utilizarse en la medición de la conductividad eléctrica del material sujeto a ensayo.

Así también, es posible medir espesores tales como: la medición del espesor total de productos metálicos delgados cuando el espesor medido es menor que la profundidad de penetración efectiva.

De la misma manera, es posible medir el espesor de recubrimientos no conductores de la electricidad, sobre bases o sustratos metálicos.

También se puede lograr la medición de recubrimientos metálicos sobre una base conductiva o magnética. Esta aplicación presenta las variantes de recubrimientos de baja y alta conductividad y recubrimientos de baja y alta permeabilidad sobre sustratos de alta o baja conductividad o permeabilidad, según sea el caso.

Por último y siendo esta su mayor utilización, el método sirve para la detección de fisuras y la clasificación de materiales.

Como desventajas de este método de ensayo podemos mencionar que el mismo es efectivo en espesores delgados; es decir, si el espesor de la pieza sujeta a ensayo aumenta, la inexactitud de los resultados esperados aumenta.

Otra desventaja es que únicamente es aplicable donde se requiera de un método superficial.

El método de ensayo también necesita patrones de calibración los cuales deben duplicar la geometría del material ensayado, así como sus propiedades eléctricas y magnéticas.

### **1.3 Métodos de ensayo volumétricos**

Estos métodos son utilizados para la detección de discontinuidades tanto superficiales, como las que se localizan dentro del material sujeto a ensayo.

Los utilizados actualmente son:

1.3.1 Método de ensayo por ultrasonido.

1.3.2 Método de ensayo por radiografía industrial.

A continuación, la descripción general de estos dos Métodos de Ensayo.

#### **1.3.1 Método de ensayo por ultrasonido**

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 utilizadas para detectar discontinuidades superficiales e internas.

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 localización de discontinuidades.

El ensayo ultrasónico se basa en el hecho de que la presencia de una discontinuidad o un cambio en la densidad del material actuará como si fuese un reflector de propagaciones de alta frecuencia impuesto allí mismo.

El equipo de ultrasonido posee un cabezal o palpador hecho de cuarzo o cualquier otro material piezoeléctrico; cuando una diferencia de potencial es aplicado, el cristal o palpador vibra a alta frecuencia y al ponerlo en contacto con la pieza sujeta a ensayo, esta vibración es transmitida a dicha pieza, viajando a través de 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 palpador y transmitiendo la misma al cristal del elemento piezoeléctrico, la cual se transformará en pulsos eléctricos que a la vez, podrán ser visualizados en la pantalla de un osciloscopio.

La señal en el osciloscopio muestra la distancia a la que fue reflejada la misma la cual en realidad es la respuesta de la velocidad de propagación de la onda sónica de muy alta frecuencia que viajó a través del material inspeccionado.

El método de ensayo presenta muchas ventajas entre las cuales podemos mencionar:

- ❖ Alto poder de penetración, el cual permite la identificación de discontinuidades en grandes espesores.
  
- ❖ Alta sensibilidad del ensayo, permitiendo la detección de discontinuidades muy 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 por una de las superficies de la pieza sujeta a ensayo.

- ❖ Indicación instantánea de las discontinuidades.

- ❖ Portabilidad del equipo.

Entre las desventajas del método de ensayo podemos mencionar:

- ❖ La aplicación del método de ensayo requiere conocimientos y experiencia profundos por parte del operador.

- ❖ No es apropiado para examinar superficies rugosas o mal acabadas.

- ❖ Discontinuidades que se presenten muy próximas a la superficie pueden no ser detectadas.

- ❖ Requiere siempre de la calibración del equipo; esta no siempre es de ejecución simple.

### **1.3.2 Método de ensayo por radiografía industrial**

Es probablemente el método de ensayo más utilizado en la actualidad en Guatemala; sin embargo, es el más delicado en cuanto a su uso, debido a que para su ejecución aprovecha la energía de radiación a través de material radiactivo o bien, por medio de rayos "X".

Algunas de las bondades de este método de ensayo, es que éste es objetivo, ya que por medio de él, se pueden “ver” las posibles discontinuidades existentes en la pieza sujeta a examen; otra de ellas lo constituye el hecho de que es archivable, bajo condiciones adecuadas, por supuesto.

Entre las desventajas más relevantes tenemos que en espesores mayores de 70 milímetros, el método se torna cada vez más difícil de llevar a cabo pues la energía de radiación debe incrementarse de tal manera que se vuelve más peligrosa su utilización.

Otra de las limitaciones es que debe tenerse acceso al espécimen de prueba, por ambos lados.

Además, las discontinuidades que no estén paralelas al haz de radiación se tornan difíciles o imposibles de detectar.

El método consiste en la obtención de una imagen del espécimen de prueba por medio de una película sensible a la radiación, la cual registra tanto la parte interna, como la parte externa de dicha pieza, incluyendo todas las discontinuidades paralelas al haz de energía de la radiación que puedan estar dentro del área de incidencia.

La imagen que mencionamos se obtiene atravesando la pieza a examinar, con la energía de radiación “X” o Gamma, la cual es detectada por el otro lado de la pieza por medio de una película sensible, compuesta por aluros de Plata; esta está alojada dentro de una funda con pantallas de plomo de muy bajo espesor (0,010”) las cuales producen electrones que ayudan a impresionar la imagen en la película radiográfica.

Para entender la imagen que se impresiona en la película radiográfica, hay que tener presente que la misma presenta una gama de tonos grises y claros, teniendo que identificar las que interesan para efectos de la interpretación, como una fotografía con imágenes peculiares y particularmente propias del objeto que se está examinando.

La radiografía industrial es entonces, utilizada para detectar características de una región, de un determinado material o región de éste, que presente una diferencia en el espesor o densidad, comparada con una región adyacente.

Diferencias muy grandes son más fácilmente detectadas; generalmente, el ensayo radiográfico puede detectar solo aquellas características diferentes de una región, que presente un espesor razonable en el plano paralelo a la dirección del haz de radiación. Esto quiere decir que la capacidad del proceso de detectar discontinuidades con pequeños espesores en planos perpendiculares al haz de radiación, tales como fisuras, dependerá en mucho de la técnica utilizada.

Discontinuidades como vacíos e inclusiones que presentan un espesor variable en todas direcciones, serán más fácilmente detectadas siempre que no sean muy pequeñas en relación al espesor de la pieza. En general, variaciones de espesor que representan el 2% o más de la variación de absorción en relación al espesor total de la pieza, pueden ser detectadas con facilidad por este método de ensayo.

## 2. ANTECEDENTES

El uso de los ensayos no destructivos en el campo de la industria en Guatemala y que se tenga noticia testimonial, data de la década de 1960 aproximadamente fue el método radiográfico, el cual se utilizó en varios proyectos de la empresa TIPIC, S. A., con un tubo de rayos "X"; posteriormente, el departamento de Materiales de la Facultad de Ingeniería a principios de la década de 1970, tuvo a su cargo una fuente de Cesio 137 para la toma radiográfica por Gammagrafía, de algunos proyectos en Guatemala.

Más adelante, fueron empresas extranjeras ( de México y Canadá ) las que utilizaron algunos métodos de ensayo y cubrieron proyectos de envergadura, tales como el Teatro Nacional "Miguel Ángel Asturias" y el edificio del Ministerio de Finanzas Públicas.

Ya por el año de 1974, el Instituto Nacional de Energía Nuclear (actualmente convertido en Dirección General de Energía del Ministerio de Energía y Minas) adquirió equipos de Iridio 192, siempre para el uso del método radiográfico; así también, importó materiales para la aplicación de líquidos penetrantes y partículas magnéticas. Para esto, tuvimos una entrevista con la subdirección de la Dirección General de Energía, quien nos aportó algunos datos relacionados con el tema.

A partir de 1975, a la par de la fase 2 del proyecto Xayá Pixcayá, el autor de este trabajo inicia una labor de pionerismo en cuanto al uso y principalmente la divulgación de los ensayos no destructivos para todas las industrias.

Esta labor se centró principalmente las de manufactura y transformación del acero, tanto en Guatemala como en Centro América, a través de charlas, cursos y demostraciones, labor que afortunadamente no termina y cuyos frutos son más que evidentes y afortunadamente ya se han visto sus frutos; cabe resaltar que el autor del presente trabajo ha colaborado semestralmente, con el laboratorio del curso de Materiales de Construcción en la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad, desde el año 1979 a la fecha; actualmente se ha iniciado una nueva etapa de este tipo de charlas para la Escuela de Ingeniería Mecánica.

En 1979, nace una empresa privada que se dedica a atender la industria en la rama de los ensayos no destructivos y actualmente posee el equipo necesario para prestar servicios en esta importante rama de la ingeniería; esta empresa es Servicios Industriales Especializados y Compañía Limitada ( S. I. E. LTDA. )

Como puede verse, la labor de introducción y conocimiento de los distintos métodos de ensayo ha sido ardua pero gratamente fructífera; lamentablemente esta tarea se ha hecho solamente en la escuela antes aludida a nivel de charla semestral.

Es por lo referido anteriormente, que se ha considerado como una meta de primordial importancia, la realización del presente trabajo, que deje como una aportación del suscrito a la Escuela de Ingeniería Mecánica, el diseño preliminar del laboratorio de ensayos no destructivos, para que el estudiante y futuro profesional conozca las bondades y limitaciones de dichos métodos de ensayo como elementos básicos de apoyo en la definición y toma de decisiones ingenieriles en el vasto campo de la metal mecánica.

### **3. EQUIPAMIENTO DE UN LABORATORIO DE END Y GUÍA PARA LA PRÁCTICA PROPUESTA**

Se parte de la experiencia, equipos y metodología empleados por S. I. E. Ltda., con los siguientes alcances:

- 3.1 Equipamiento para Ensayo Visual y práctica propuesta
- 3.2 Equipamiento para Líquidos Penetrantes y Partículas Magnéticas, prácticas propuestas
- 3.3 Equipamiento para Corrientes de Eddy y práctica propuesta
- 3.4 Equipamiento para Ultrasonido y práctica propuesta
- 3.5 Equipamiento para Radiografía Industrial y práctica propuesta

#### **3.1 Ensayo visual**

##### **3.1.1 Equipo necesario**

El equipamiento que se necesita para el método de ensayo visual es:

- Un metro
- Un calibrador Vernier
- Un micrómetro
- Una lupa

- Una lámpara portátil
- Una regla metálica calibrada
- Un juego de galgas para soldaduras
- Un cepillo manual, para cada clase de metal
- Paño de género suave para limpieza

### **3.1.2 Práctica propuesta**

Determinar si una barra rectangular de acero al carbono de 20 mm x 10 mm x 200 mm sometida a tensión, ha sobrepasado la zona elástica y alcanzado por lo tanto, la zona plástica.

Para esto se necesita del auxilio de un metro, una regla calibrada, un calibrador Vernier, una lupa, una lámpara portátil y un cepillo manual para acero al carbono. El procedimiento de inspección de la barra es el siguiente.

- Limpiar adecuadamente toda la barra para eliminar suciedad y corrosión, con un paño para limpieza, así como con el auxilio del cepillo manual, si es necesario.
- Medir las dimensiones generales originales de la barra sujeta a ensayo con la ayuda del metro o la regla metálica calibrada; comprobar dichas medidas efectuando varias mediciones.
- Si las medidas no coinciden, comprobar estas dimensiones con la ayuda del calibrador Vernier, principalmente en las correspondientes a su ancho y espesor en varios puntos a lo largo de la barra.

- Descartar esta práctica en lugares donde la barra presente deformaciones evidentes, tales como golpes o lugares con rebaba.
- Si se comprueba que estas últimas dimensiones son menores en alguna sección de la barra, hacer un rastreo adecuado de medidas; medir la longitud donde el ancho y/o el espesor son menores a las medidas originales. Evitar la toma de medidas en áreas lastimadas de la barra.
- Con la ayuda de la lupa, descartar la presencia de posibles fisuras en la barra; si se detecta alguna, localizarla adecuadamente con medidas, en un dibujo ilustrativo (sin escala) y anotar su ancho y longitud.
- Rastrear áreas de posible corrosión y anotarlas en el dibujo mencionado arriba, con medidas de localización, así como del ancho y largo de dichas áreas.
- Si se localiza un área de corrosión, indicar si esta es intergranular por exfoliación o por “pitting” (oquedades).
- Con base en la información recabada durante el ensayo, determinar si la barra efectivamente sobrepasó la zona elástica del material.
- Elaborar un reporte, enumerando todos los pasos del procedimiento descritos arriba, anotando además, la fecha de práctica del Ensayo, todas las discontinuidades que presenta la barra y determinar claramente el resultado del Ensayo Visual llevado a cabo, así como anotar el nombre y firma de quien llevó a cabo el mismo.

Un ejemplo de una pieza sometida a ensayo visual se puede observar en la figura 1.

**Figura 1. Fotografía de una pieza sometida a ensayo visual**



### **3.2 Ensayos por líquidos penetrantes y/o partículas magnéticas:**

#### **3.2.1 Equipo necesario**

El equipamiento que se necesita para el método de ensayo por líquidos penetrantes es:

- Unidades en aerosol de limpiador/removedor.
- Unidades en aerosol de penetrante colorante removible con solvente.
- Unidades en aerosol de penetrante colorante removible con agua.
- Unidades en aerosol de penetrante fluorescente removible con agua.
- Unidades en aerosol de revelador para líquido penetrante colorante.

- Unidades en aerosol de revelador para líquido penetrante fluorescente.
- Una lámpara de luz ultravioleta.
- Un dispensador para agua a presión.
- Género para limpieza y secado de las probetas sujetas a ensayo.

El equipamiento que se necesita para el método de ensayo por partículas magnéticas es:

- Un yugo con alimentación de 120 Voltios para magnetización.
- Una bobina con alimentación de 120 Voltios para magnetización.
- Un banco para magnetización (opcional pero necesario).
- Unidades en aerosol de medio de contraste.
- Partículas Magnéticas secas de diferentes colores.
- Partículas Magnéticas húmedas negras.
- Género para limpieza y secado de las probetas sujetas a ensayo.

### **3.2.2 Prácticas propuestas**

Práctica con líquidos penetrantes: Utilizando una barra rectangular de acero al carbono (pletina) de 20 mm x 3 mm x 200 mm recubierta con baño de cromo, previamente doblada, para que dicho recubrimiento pierda su continuidad y la pieza presente la apariencia de fisuras.

Para esta práctica necesitamos de líquido limpiador/removedor, penetrante colorante y revelador (estos tres, en presentaciones de aerosol), agua tomada directamente de un grifo y paños limpiadores.

- La pletina debe ser generosamente limpiada de cualquier impureza, con el auxilio de un paño mojado con el limpiador/removedor.
- Aplicar el penetrante colorante a la pletina, mojando un paño con este líquido, hasta observar que la pieza sujeta a ensayo quede totalmente cubierta y adquiera el color rojo bermejo.
- Dejar pasar un tiempo no menor de quince (15) y no mayor de treinta (30) minutos.
- Pasado el tiempo anterior, remover el penetrante aplicando agua a la pieza, con la presión que sale del grifo, hasta que no queden rastros de penetrante a la vista; dejar escurrir el agua y que la pieza se seque completamente.
- Agitar generosamente el frasco de líquido revelador en aerosol y aplicarlo a la pieza, colocando éste a una distancia aproximada de 30 cms del elemento. El aerosol debe aplicarse como si fuera pintura; es decir, debe hacerse con una oscilación de izquierda a derecha o de arriba hacia abajo, por ejemplo.
- Esperar un tiempo no menor de seis (6) y no mayor de treinta (30) minutos antes de interpretar las indicaciones que se revelen.
- Anotar las indicaciones que se revelen, haciendo una suerte de dibujo para el efecto; medir las longitudes de cada indicación y tratar de describir cada una de ellas.

- Elaborar un reporte, enumerando todos los pasos del procedimiento descritos arriba, anotando además, la fecha de práctica del Ensayo, todas las discontinuidades que presenta la pieza ensayada y determinar claramente el resultado del Ensayo por Líquidos Penetrantes llevado a cabo, así como anotar el nombre y firma de quien llevó a cabo el mismo.
- Finalmente, limpiar muy bien la pieza ensayada, con el limpiador/removedor, para dejarla lista para una nueva sesión de ensayo y además, para evitar la acumulación de penetrante alojado en las indicaciones observadas en la pieza.

La figura 2 muestra una pieza sometida a ensayo por líquidos penetrantes colorantes, a manera de ejemplo.

**Figura 2. Fotografía de una pieza sometida a ensayo por líquidos penetrantes**



Práctica de aplicación de partículas magnéticas: Utilizando una barra rectangular de acero al carbono de 20 mm x 6 mm x 200 mm con baño de cromo (pletina), previamente doblada, para que dicho recubrimiento pierda su continuidad y la pieza presente la apariencia de fisuras. Además, a la misma habrá de taladrarse tres agujeros de 1 mm de diámetro separados convenientemente entre sí y a diferente distancia, medida desde una de las caras de 20 mm, cada uno de ellos.

Para esta práctica necesitamos un yugo o bien, una bobina con alimentación de 120 Voltios para magnetización, medio de contraste en aerosol (si se hace necesario utilizarlo), partículas magnéticas secas de cualquier color y género para limpieza de la probeta sujeta a ensayo.

- Primeramente, debe limpiarse generosamente la pieza, eliminando cualquier tipo de suciedad o impureza.
- Si se decide utilizar el yugo para la magnetización de la probeta, colocar la pieza en una posición plana, de acuerdo al ancho de ésta, y ajustar las patas articuladas a una distancia tal que dé una luz no mayor de 125 mm entre ellas.
- Colocar el yugo sobre la pieza de tal manera que las patas del mismo queden sobre cada uno de los extremos de la pieza sujeta a ensayo, tomando en cuenta la separación entre patas indicada arriba.
- Presionar el interruptor de corriente del yugo y aplicar las partículas magnéticas sobre la pieza, al centro de la misma, a manera de rociado.

- Tomar en cuenta que se formará el campo magnético solamente cuando el interruptor de corriente del yugo permanezca presionado; el tiempo máximo de manutención del campo magnético no debe ser mayor de quince (15) segundos, debido a que el equipo puede dañarse.
- Soplar suavemente con la boca o con soplador de aire manual, para eliminar el exceso de partículas magnéticas y aclarar la figura de la o las indicaciones.
- Observar detenidamente las indicaciones que se revelen por medio de este tipo de ensayo pudiendo en este caso, dejarlas impresas en cinta adhesiva o bien haciendo un dibujo para el efecto; medir las longitudes de cada indicación y tratar de describir cada una de ellas.
- Si no es posible observar con suficiente claridad las indicaciones dibujadas por las partículas magnéticas, aplicar una capa muy delgada de medio de contraste, previo a la formación del campo magnético y repetir los tres puntos anteriores al presente.
- Eliminar el magnetismo residual que queda en la pieza, colocando la pieza dentro de la bobina, como se indicó en un párrafo anterior, presionando el interruptor y manteniéndolo de esa forma; luego, se aleja la pieza muy lentamente de la bobina, hasta una distancia de aproximadamente 50 cm. de longitud; al llegar a dicha distancia, dejar de presionar el interruptor para cortar el campo magnético.

- Comprobar que la pieza ha quedado exenta de magnetismo residual por medio de un medidor de campo, el cual se coloca sobre la pieza; el medidor no debe marcar más de  $\pm 2$  Gauss para indicar que la probeta está prácticamente sin magnetismo residual.
- Finalmente, limpiar muy bien la pieza ensayada, con el limpiador/ removedor que se utiliza en el ensayo de líquidos penetrantes o bien con solvente mineral, gasolina o cualquier otro limpiador semejante, para dejarla lista para una nueva sesión de ensayo y además, para evitar que el medio de contraste se afiance sobre la superficie de la pieza así como la acumulación de partículas magnéticas en las indicaciones existentes en la probeta.
- Limpiar cuidadosamente de toda suciedad el equipo y guardarlo convenientemente.
- Elaborar un reporte, enumerando todos los pasos del procedimiento descritos arriba, anotando además, la fecha de práctica del ensayo, todas las discontinuidades que presenta la pieza ensayada y determinar claramente el resultado del ensayo por líquidos penetrantes llevado a cabo, así como anotar el nombre y firma de quien llevó a cabo el mismo.
- Colocar la bobina en sentido vertical y la pieza sujeta a ensayo dentro del diámetro interno de la misma.
- Presionar el interruptor de corriente de la bobina y aplicar las partículas magnéticas sobre la pieza, a manera de rociado.

- Tomar en cuenta que se formará el campo magnético solamente cuando el interruptor de corriente de la bobina permanezca presionado; el tiempo máximo de manutención del campo magnético no debe ser mayor de quince (15) segundos, debido a que el equipo puede dañarse.
- Soplar suavemente con la boca o con soplador de aire manual, para eliminar el exceso de partículas magnéticas y aclarar la figura de la o las indicaciones.
- Observar detenidamente las indicaciones que se revelen por medio de este tipo de ensayo pudiendo en este caso, dejarlas impresas en cinta adhesiva o bien haciendo un dibujo para el efecto; medir las longitudes de cada indicación y tratar de describir cada una de ellas.
- Si no es posible observar con suficiente claridad las indicaciones dibujadas por las partículas magnéticas, aplicar una capa muy delgada de medio de contraste, previo a la formación del campo magnético y repetir los tres puntos anteriores.
- Eliminar el magnetismo residual que queda en la pieza, colocando el yugo muy cercano a la pieza, presionando el interruptor y manteniéndolo de esa forma; luego alejando el equipo muy lentamente de la probeta, hasta una distancia de aproximadamente 50 cm. de longitud; al llegar a dicha distancia aproximada, dejar de presionar el interruptor, para cortar el campo magnético.

- Comprobar que la pieza ha quedado exenta de magnetismo residual por medio de un medidor de campo, el cual se coloca sobre la pieza; el medidor no debe marcar más de  $\pm 2$  Gauss para indicar que la probeta está prácticamente sin magnetismo residual.
- Finalmente, limpiar muy bien la pieza ensayada, con el limpiador/ removedor que se utiliza en el ensayo de líquidos penetrantes o bien con solvente mineral, gasolina o cualquier otro limpiador del mismo tipo, para dejarla lista para una nueva sesión de ensayo y además, para evitar que el medio de contraste se afiance sobre la superficie de la pieza y para evitar la acumulación de partículas magnéticas en las indicaciones existentes en la probeta.
- Limpiar cuidadosamente de toda suciedad el equipo y guardarlo convenientemente.
- Elaborar un reporte, enumerando todos los pasos del procedimiento descritos arriba, anotando además, la fecha de práctica del ensayo, todas las discontinuidades que presenta la pieza ensayada y determinar claramente el resultado del ensayo por partículas magnéticas llevado a cabo, así como anotar el nombre y firma de quien llevó a cabo el mismo.

Un ejemplo de una pieza sometida al ensayo de partículas magnéticas se muestra en la figura 3; la pieza presenta una fisura.

**Figura 3. Fotografía que muestra una pieza sometida a ensayo por partículas magnéticas**



### **3.3 Ensayo por corrientes de Eddy**

#### **3.3.1 Equipo necesario**

Este equipamiento es muy reducido, aunque el mismo es delicado y su costo es elevado, de tal manera que, en este caso, deberá tenerse cuidado en el uso y el instructor deberá estar presente siempre que se utilice, o bien, entregarlo al grupo de estudiantes demostrando su funcionamiento y recibirlo de la misma forma.

El equipo necesario para la ejecución de una prueba con este Método de ensayo es el siguiente:

- Un aparato para corrientes de Eddy que tenga un metro de indicación de defecto, indicación lumínica de la gravedad del defecto e indicación audible de localización de defecto.
- Una bobina de corriente alterna para metales ferrosos
- Una bobina de corriente alterna para metales no ferrosos
- Una bobina de corriente alterna para materiales austeníticos
- Un cable de conexión entre el aparato de corrientes de Eddy y la bobina
- Una probeta patrón de acero al Carbono o acero inoxidable ferrítico
- Una probeta patrón de acero inoxidable austenítico
- Una probeta patrón de metal no ferroso (puede ser Aluminio)
- Manual de operación del fabricante del instrumento

### **3.3.2 Práctica propuesta**

Se empleará una barra de acero al carbono de 20 mm x 6 mm x 200 mm a la cual deberá hacerse una muesca de 0,3 mm, otra de 0,6 mm y otra de 1,1 mm de profundidad, con un ancho de 0,3 mm en todos los casos.

Para esta práctica se necesita la bobina de corriente alterna para materiales ferrosos, el aparato de corrientes inducidas, el cable de conexión entre el aparato y la bobina y un paño para limpieza de la probeta.

- Limpiar muy bien la probeta, de polvo, grasa, etc.
- Encender el equipo, siguiendo las instrucciones del manual de operaciones que incluye el fabricante, paso a paso; tomar en cuenta que sin este requisito, el ensayo puede resultar inexacto e inadecuado.

- Comprobar el funcionamiento de la bobina con el equipo y ajustarlo debidamente, de acuerdo al manual de operaciones, para que quede listo para llevar a cabo el ensayo.
- Colocar la bobina sobre la probeta, de manera que quede vertical al plano de la misma y deslizar la bobina, sin permitir que se separe de la pieza, viendo el resultado que se registra en el equipo. Tomar muy en cuenta que el deslizamiento de la bobina debe ser firme pero sin aplicar mucha fuerza sobre la bobina, so pena de arruinarla.
- Anotar toda información que dé el equipo y los ajustes que se hagan en el transcurso del ensayo, siguiendo las instrucciones del manual.
- Elaborar un reporte, enumerando todos los pasos del procedimiento descritos arriba, anotando además, la fecha de práctica del Ensayo, todas las discontinuidades que presenta la pieza ensayada y determinar claramente el resultado del Ensayo por Corrientes de Eddy llevado a cabo; anotar todas las incidencias del Ensayo y finalmente, anotar el nombre y firma de la persona que llevó a cabo el mismo.

La figura 4 muestra la forma de aplicación del ensayo por corrientes de Eddy a una pieza de Aluminio, la cual tiene las discontinuidades similares a la pieza que se propone para ensayo.

**Figura 4. Fotografía que presenta un ejemplo de aplicación del ensayo por corrientes de Eddy**



### **3.4 Ensayo por ultrasonido**

#### **3.4.1 Equipo necesario**

En este caso, al igual que en el caso anterior, el equipamiento es reducido y de uso muy delicado. Su costo también es elevado, aunque se quiera tener lo mínimo necesario; por lo tanto, deberá tenerse bastante cuidado en su uso y el instructor deberá estar presente siempre que se utilice y además, estar adiestrado convenientemente para su utilización, así como entregarlo al grupo de estudiantes demostrando su funcionamiento y recibirlo de la misma manera.

El equipo mínimo necesario y material de consumo para la ejecución de una prueba con este método de ensayo depende, en mucho, del tipo de ensayo que se desee aplicar; para el ensayo más sencillo, se propone el siguiente listado.

- Un instrumento ultrasónico detector de fallas del tipo pulso-eco, con barrido tipo "A".
- Cable coaxial con conector BNC-BNC
- Palpador o transductor de haz longitudinal, de un cristal
- Bloque de calibración IIW tipo 1 o tipo 2
- Material acoplante, que puede ser glicerina, vaselina o aceite.
- Manual de operación del fabricante para el instrumento ultrasónico
- Papel absorbente

### **3.4.2 Práctica propuesta**

Para esta práctica se propone hacer una calibración en distancia, un ajuste de sensibilidad, verificación del poder de resolución, medición de espesores empleando reflexiones y lectura digital, así como verificación de la sanidad de la pieza sujeta a ensayo.

En este caso, se necesita todo el equipo y materiales que se enumeraron arriba; es decir:

- El instrumento ultrasónico detector de fallas descrito.
- El palpador de haz longitudinal.
- El cable coaxial.
- El acoplante.
- El manual de operación del fabricante para el instrumento ultrasónico.

Siendo el equipo ultrasónico un instrumento de precisión, necesariamente requiere una calibración y ajuste; este último, independientemente de las revisiones y calibraciones periódicas que por norma deben hacerse, para poder obtener respuestas que se identifiquen con una proporcionalidad lógica.

Es siempre importante calibrar el equipo, antes de realizar cualquier inspección y para ello, se debe conocer el manejo y funcionamiento de los controles de ajuste, en combinación con los demás accesorios del equipo que se está utilizando.

Por lo tanto, antes de iniciar cualquier práctica, es muy importante leer cuidadosamente el manual de operación y adaptar la misma a los lineamientos propuestos por el documento arriba mencionado.

Para llevar a cabo esta práctica, el equipo y accesorios deben cumplir con los siguientes requisitos y observaciones, antes de iniciar la misma.

1. El instrumento ultrasónico debe ser un equipo de ultrasonido del tipo pulso-eco, con pantalla de tubos catódicos ( este es un osciloscopio que registra media onda en la pantalla ), cuya respuesta dinámica debe ser tal que permita la observación de un cambio de amplitud de 1 dB (decibel).
2. La pantalla del equipo debe presentar una escala vertical clara y bien definida en intervalos equivalentes al 2 % del total de la amplitud vertical; la escala debe estar grabada en dicha pantalla.

3. La pantalla debe presentar una linealidad de la escala vertical, de  $\pm 5 \%$  en al menos el 80 % del total de dicha escala calibrada.
4. La pantalla del equipo debe presentar una escala horizontal clara y bien definida, con divisiones en intervalos equivalentes al menos al 2 % del total de la amplitud horizontal; la escala debe estar grabada en dicha pantalla.
5. La pantalla debe presentar una linealidad de la escala horizontal, de  $\pm 2 \%$  del total de dicha escala.
6. El equipo debe tener una ganancia calibrada en pasos de 2 dB o menores y con ámbito de operación no menor de 60 dB, con una precisión de  $\pm 1$  dB.
7. El equipo debe ser capaz de generar frecuencias entre 1 y 6 MHz.; debe contar con un estabilizador interno que evite variaciones mayores de  $\pm 1$  dB por cambios en la corriente de alimentación menores al 15 % del voltaje nominal.
8. El equipo debe tener un indicador de la condición de la carga de la batería.
9. El transductor ( palpador ) debe tener una frecuencia mínima de 2 MHz y la máxima recomendada, de 10 MHz.
10. El diámetro o medida nominal del transductor debe ser de 25 mm y el mínimo de 19 mm; el transductor puede ser circular, cuadrado o rectangular.

El transductor debe tener marcado en forma visible la frecuencia nominal, la medida nominal, la marca, el modelo y el número de serie.

11. La temperatura mínima permisible para estos palpadores es de 5° C y la máxima de 50° C. En caso que las condiciones de inspección cambien a temperaturas fuera de este rango, se debe recalificar el procedimiento utilizando una línea de retardo, lo cual no está contemplado en esta práctica recomendada.
12. El cable coaxial debe estar en buenas condiciones y hacer un buen contacto eléctrico entre el palpador y el equipo de ultrasonido; la longitud del cable puede estar entre 1,5 y 3 metros.
13. El cable a utilizarse deberá poseer conexiones adecuadas al equipo y al palpador; en caso contrario, se pueden utilizar adaptadores.
14. El acoplante sugerido es glicerina; si por alguna razón se cambia a otro acoplante durante la práctica, deberá comprobarse toda la calibración original del sistema; en este sentido, se recomienda no cambiar de acoplante durante la práctica.
15. Antes de iniciar la práctica, leer detenidamente el manual de operaciones del fabricante del equipo, así como verificar que todos los controles estén en posición cero, en el valor mínimo, en la posición de apagado o bien, totalmente girados a la izquierda, antes de encender el equipo.

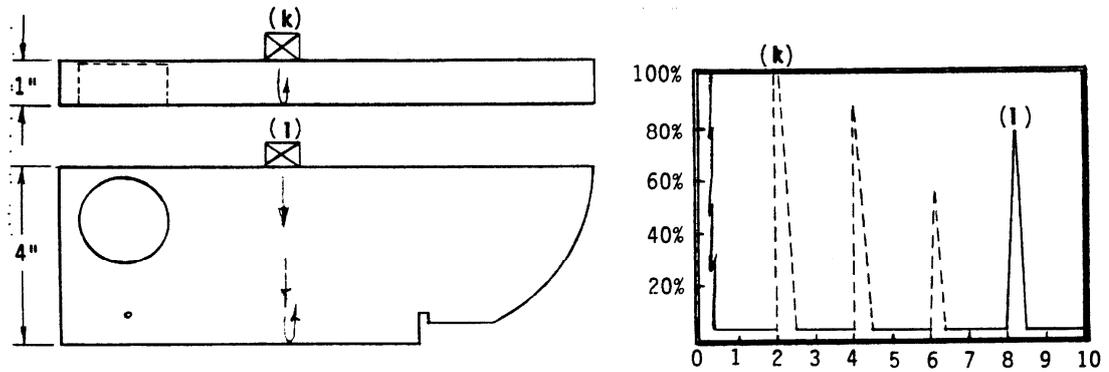
16. También, antes de encender el equipo, conectar el cable coaxial al mismo, con este último ya conectado al palpador; además, la mayoría de equipos poseen un selector para ajustar el instrumento para trabajar con palpador de doble cristal o con cristal sencillo; por lo tanto, seleccionar la función adecuada para el tipo de palpador a emplear y en este caso particular, la posición del selector deberá estar en “sencillo”, “normal” o “T/R”.

Ahora se está en la posición de iniciar la práctica recomendada.

- Para la calibración en distancia empleando un palpador de haz recto y cristal sencillo, debe procurarse un mínimo de un 20 % y un máximo de un 80 % de la escala horizontal de la pantalla; la razón de lo anterior es para evitar errores de medición por aberraciones de la curvatura de las pantallas.
- Excepto que se indique lo contrario, la calibración de la escala horizontal debe efectuarse con un espesor mínimo y uno máximo, intervalo dentro del cual esté el espesor que se desee medir y la relación de la escala horizontal sea lógica y fácil de medir.
- El ajuste de la escala horizontal debe efectuarse de tal manera que la longitud total calibrada en la pantalla presente al menos una vez el espesor total del material a medir o ensayar.

- El ajuste de la sensibilidad o amplitud de la señal (escala vertical de la pantalla) determina el nivel de amplificación (ganancia) en dB que debe suministrarse al sistema para ajustar un valor preestablecido de la escala vertical de la pantalla; este debe ser de una medida normal; es decir, ni muy pequeña, ni muy grande.
- Encender el equipo, observando que indique señal en la pantalla.
- Girar el control de retardo de barrido hacia la derecha o hacia la izquierda hasta observar el pulso inicial, colocarlo en cero de la escala horizontal de la pantalla.
- Aplicar acoplante en el área con el espesor máximo a calibrar en el bloque de calibración; en este caso, la altura del bloque es de 4 pulgadas.
- Colocar el palpador sobre el bloque y ajustar convenientemente el control del rango o ganancia burda, hasta observar la primera reflexión de pared posterior en la pantalla.
- Ajustar la reflexión de la parte posterior con el control de ganancia, hasta una amplitud de aproximadamente el 80 % en la escala vertical.
- Con el control de rango fino (longitud de barrido), colocar la señal (el inicio de la inflexión) en la división 8 de la escala horizontal, como se indica en la figura 5, indicación (I) del oscilograma.

**Figura 5. Aplicación del palpador**

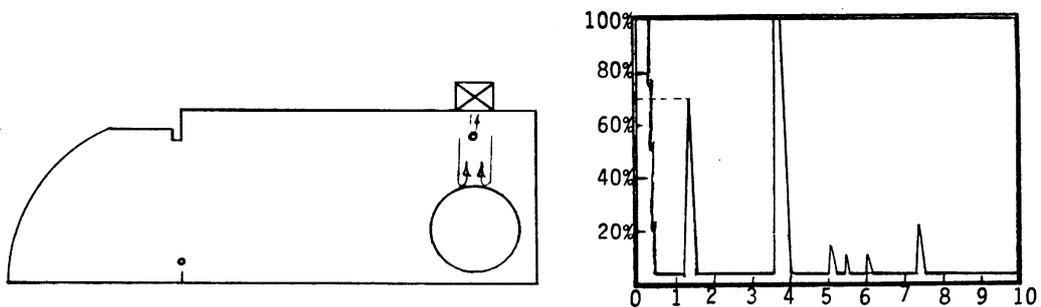


- Aplicar acoplante en el área del espesor mínimo a calibrar, en este caso es el espesor de 1 pulgada en el bloque IIW.
- Colocar el palpador sobre el bloque y con el control de retardo de barrido, ajustar la reflexión de pared posterior en la división 2 de la escala horizontal, como también se muestra en la figura 5, indicación (K) del oscilograma. Al efectuar este paso, no importa si el pulso inicial se sale un poco a la derecha de la escala; esto no es relevante.
- Repetir los cuatro pasos anteriores hasta que las reflexiones de pared posterior se obtengan en las divisiones 8 y 2 respectivamente, sobre la escala horizontal del oscilograma.
- Notar que el control de retardo de barrido es para colocar la reflexión de pared posterior del espesor mínimo en la división 2 y que el control de longitud de barrido es para colocar la reflexión de pared posterior del espesor máximo en la división 8 del osciloscopio.

Si se invierten estas dos operaciones o no se llevan a cabo paso a paso, no se podrá obtener la calibración final que se pretende.

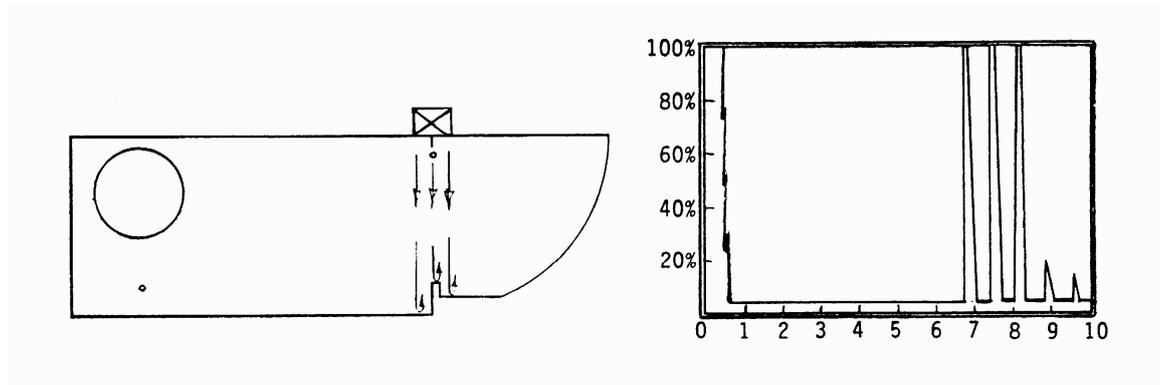
- Verificar las respuestas que deben obtenerse (espesor máximo y espesor mínimo) y fijar los controles para evitar alterar involuntariamente la calibración.
- Para la práctica del ajuste de sensibilidad, colocar el palpador a la altura del agujero o barreno de 0,060 pulgadas (1,52 mm) de diámetro y desplazarlo suavemente hasta obtener la máxima amplitud de la indicación proveniente de dicho barreno.
- Si la calibración en distancia fue efectuada de manera correcta, la indicación iniciará su inflexión en aproximadamente 0,600 pulgadas (15 mm) sobre la escala horizontal del osciloscopio, como se muestra en el oscilograma de la figura 6.

**Figura 6. Forma de observación del oscilograma**



- Una vez obtenida la máxima amplitud de la señal del barrenado en el osciloscopio, ajustarla al 70 % con el control de ganancia de amplitud.
- Observar en el equipo la cantidad de decibeles requeridos para este ajuste; el pico que debe observarse se muestra en el oscilograma de la figura 6.
- Para el ejercicio de verificación del poder de resolución, colocar el palpador a la altura de "0" (centro del radio de 4 pulgadas) marcado a ambos lados del bloque IIW, como se puede observar en la figura 7.

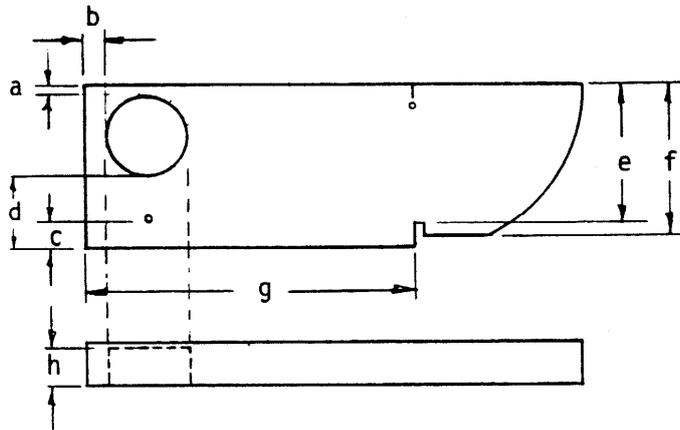
**Figura 7. Oscilograma del ejercicio de verificación de resolución**



- Desplazar suavemente el palpador (siempre centrado sobre el espesor del bloque IIW) hasta obtener tres indicaciones provenientes de los espesores de la pared posterior.

- Nuevamente, si la calibración en distancia fue correctamente efectuada y, si el poder de resolución del palpador es grande, deben obtenerse, sobre la escala horizontal del osciloscopio, las siguientes lecturas: 4,400, 3,600 y 4,000 pulgadas (86,4; 91,4 y 101,6 mm respectivamente), como se observa en el oscilograma de la figura 7
- Recordar que para este caso y a lo largo de toda esta práctica recomendada, la lectura que se observa en la escala horizontal debe dividirse por 2.
- Aplicar acoplante únicamente en los puntos o áreas donde se necesite, para evitar que el bloque de calibración IIW pueda deslizarse o volverse inmanejable, para llevar a cabo el párrafo precedente; se debe recordar que tanto el equipo que se está utilizando, como sus accesorios son piezas, elementos, dispositivos e instrumentos sumamente delicados y caros.
- Finalmente, para el ejercicio de medición de espesores y con la calibración del equipo llevada a cabo anteriormente, obtener el valor numérico de las cotas que se indican en la figura 8.
- Anotar todas las lecturas obtenidas para cada cota.

**Figura 8. Cotas que deben obtenerse en el ejercicio**



- Anotar toda información que dé el equipo y los ajustes que se hagan en el transcurso del ensayo, siguiendo las instrucciones del manual y de esta práctica recomendada, por supuesto.
- Elaborar un reporte, enumerando todos los pasos del procedimiento descritos arriba, anotando además, la fecha de práctica del ensayo, todas las características que presenta la pieza; anotar todas las incidencias del ensayo y finalmente, anotar el nombre y firma de la persona que llevó a cabo el mismo.

Un ejemplo de la aplicación del ensayo ultrasónico se observa en la figura 9

**Figura 9. Fotografía que muestra un ejemplo de aplicación del ensayo ultrasónico**



### **3.5 Radiografía Industrial**

#### **3.5.1 Equipo necesario**

El equipamiento necesario para la radiografía industrial es, además de ser de alto costo, delicado; también, deben observarse las regulaciones que emita La Dirección General de Energía, para obtener lo que sea necesario; esto es, en cuanto a equipo de emisión de radiación y el equipo de detección de radiación correspondiente.

En este sentido, el equipo que recomendamos para este método de ensayo es el siguiente.

- Un equipo de emisión de rayos X direccional, con una energía de radiación de 150 Kilovoltios pico y una intensidad de 5 miliamperios; debe incluir todos los accesorios para que sea un equipo completo como para tomar una radiografía con todos los parámetros disponibles, así como el manual de operación del equipo.
- Un detector de radiación tipo Geiger Müller con metro de lectura en mR/hr y microSv/hr y con rangos de x1, x10, x100, alarma de audio incorporada.
- Una regla de cálculo de exposición para rayos X.
- Cuatro (4) rótulos de aviso y prevención de radiación.
- Una caja de números y letras de Plomo cuya medida de estos últimos sea de  $\frac{1}{4}$  de pulgada.
- Una cinta métrica.
- Indicadores de calidad de imagen tipo ASTM de agujeros o hilos, de diferentes medidas, para Acero en general.
- *Masking Tape*
- Diez (10) fundas ( porta películas, chasises o casetes ) de 70 x 250 mm, flexibles, con pantallas intensificadoras de plomo, 1 anterior y 1 posterior por cada funda, de 0,010 pulgadas de espesor en ambos casos y de las mismas dimensiones que las fundas.

- Diez (10) fundas ( porta películas, chasises o cassetes ) de 5 x 7 pulgadas, flexibles, con pantallas intensificadoras de Plomo, 1 anterior y 1 posterior por cada funda, de 0,010 pulgadas de espesor en ambos casos y de las mismas dimensiones que las fundas.
- Una caja de película de 70 mm x 430 mm cada una de ellas, clasificación ASTM tipo II.
- Una caja de película de 5 x 7 pulgadas cada una de ellas, clasificación ASTM tipo II.
- Una guillotina para cortar la película.
- Químico revelador para rayos X en volumen adecuado para procesar la película radiográfica expuesta a la radiación.
- Químico fijador en volumen adecuado para procesar la película radiográfica expuesta a la radiación.
- Agua potable.
- Recipientes para cada uno de los tres líquidos anteriores; estos pueden ser de plástico o de Acero Inoxidable, pero nunca de otro material.
- Termómetro de respuesta rápida, para introducir dentro de los químicos arriba mencionados, con un rango superior no mayor de 50° (120° F).
- Dos (2) carretes plásticos de 70 mm, para el procesamiento de la película radiográfica.

- Una canasta de acero inoxidable para procesamiento de la película radiográfica.
- Un agitador para químicos, de plástico o de acero inoxidable.
- Un recipiente medidor, con escala en litros.
- Una lámpara de seguridad con filtro de luz tipo 6B; esta puede ser sustituida por un filtro para tubo de Neón.
- Un negatoscopio para la observación e interpretación de las radiografías.

### **3.5.2 Práctica propuesta**

En esta práctica se propone radiografiar una soldadura a tope hecha en la unión de dos pletinas cuyas medidas de la unión ya soldada sean de 200 x 10 x 150 mm; la soldadura por lo tanto, tiene una longitud de 200 mm.

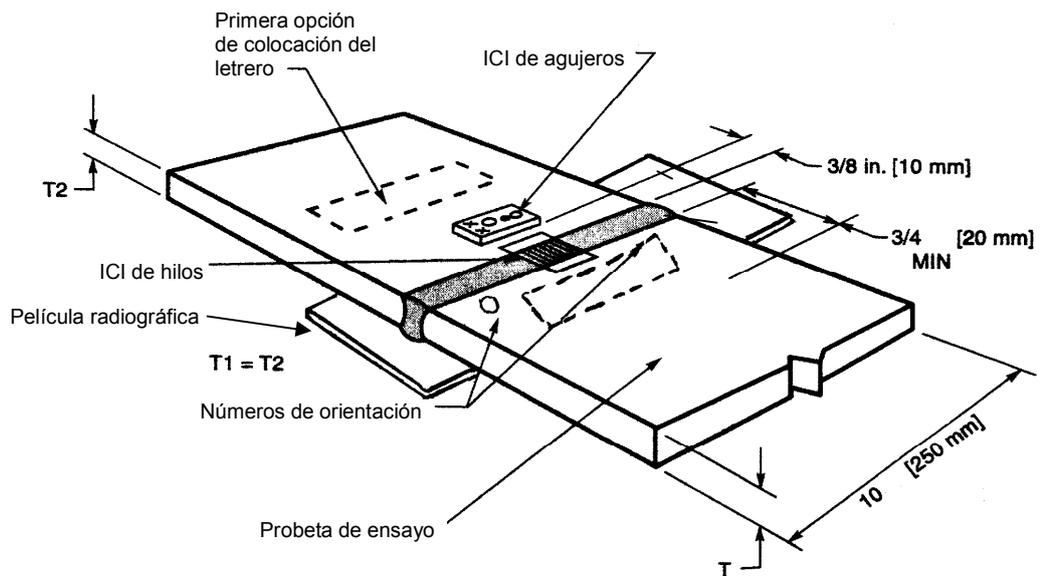
Para esta práctica se necesita el siguiente equipo y accesorios:

- El equipo de emisión de rayos X direccional descrito en nuestra recomendación, con todos los accesorios indicados, así como el manual de operación respectivo.
- Un detector de radiación tipo Geiger Müller también descrito anteriormente.
- Una regla de cálculo de exposición para rayos X.
- Cuatro (4) rótulos de aviso y prevención de radiación.

- Una caja de números y letras de Plomo cuya medida de estos últimos sea de ¼ de pulgada.
- Una cinta métrica.
- Indicadores de calidad de imagen tipo ASTM de agujeros o hilos, de diferentes medidas, para acero en general.
- *Masking Tape*
- Una funda ( porta película, chasis o casete ) de 70 x 250 mm, flexible, con pantallas intensificadoras de plomo, 1 anterior y 1 posterior por cada funda, de 0,010 pulgadas de espesor en ambos casos y de las mismas dimensiones que la funda.
- Una película de 70 mm x 430 mm, clasificación ASTM tipo II.
- Químico revelador para rayos X en volumen adecuado para procesar la película radiográfica expuesta a la radiación.
- Químico fijador en volumen adecuado para procesar la película radiográfica expuesta a la radiación.
- Agua potable.
- Recipientes para cada uno de los tres líquidos anteriores.
- Termómetro de respuesta rápida, para introducir dentro de los químicos arriba mencionados, con un rango superior no mayor de 50° C (120° F).

- Un carrete plástico de 70 mm, para el procesamiento de la película radiográfica.
- Un agitador para químicos, de plástico o de acero inoxidable.
- Una lámpara de seguridad para el cuarto oscuro o laboratorio para el procesamiento de la película.
- Un negatoscopio para la observación e interpretación de la radiografía.
- Preparar el letrero o la identificación de la radiografía, la cual debe llevar las siguientes características, las cuales se comprenderán mejor con la ayuda de la figura 10.

**Figura 10. Ilustración para la identificación radiográfica.**



La orientación de la radiografía; es decir, cada radiografía debe llevar dos números que indiquen el inicio y el final del objetivo que se está radiografiando; en este caso “0” y “1”, cuyos números van colocados a la izquierda y derecha de la placa radiográfica respectivamente o mejor y más frecuentemente, estos números se colocan sobre el objeto que se va a radiografiar, teniendo el cuidado que dichos números de orientación queden dentro del área de la placa radiográfica.

El indicador de calidad de imagen (ICI); este puede ser de agujeros o de hilos y la colocación de cada uno de ellos se indica en la figura 10. En dicha figura se puede observar que si el ICI es de hilos, este debe atravesar el objetivo el cual es en este caso, la soldadura; si por el contrario, el ICI elegido es de agujeros, este debe quedar a la par del objetivo, sin interferir con el mismo.

El letrero o nomenclatura; esta comprende la identificación de la persona o entidad que solicita el ensayo, la identificación de la probeta, la fecha y finalmente, el nombre de la persona o entidad que lleva a cabo dicho ensayo.

- Fijar la película a la pieza sujeta a ensayo, como se indica en la figura 10.
- Colocar la probeta y la película radiográfica de manera que quede normal al tubo de rayos X, al centro del objetivo (imaginar que el tubo está colocado arriba de la probeta de la figura 10) y a una distancia de cincuenta (50) cm. medidos desde el “cero” marcado en el equipo, hasta la parte posterior de la probeta para ensayo.

Es decir, hasta la parte anterior de la funda que contiene la película radiográfica. A esta longitud se le llama Distancia Foco Película (DFP).

- Encender el equipo, observando estrictamente las medidas de seguridad que el instructor indique.
- Cada equipo de rayos "X" trae su propia escala de tiempo de exposición, tomando en cuenta los aspectos importantes tales como: el tipo de material, el espesor del mismo, la DFP y el tipo de película radiográfica que se está utilizando, además del tipo de filtro que tiene el tubo propiamente dicho.

En este sentido, se cree que es un tanto inadecuado proporcionar los parámetros para la exposición de la probeta propuesta; sin embargo, únicamente a manera de orientación y para los parámetros de DFP, material, espesor y tipo de película que se han indicado, proponemos una energía de radiación de 150 KV., con una intensidad de 4 mA. y con un tiempo de exposición de 2 minutos y 45 segundos.

- Colocar los parámetros de exposición en el panel del equipo, cerciorarse que no haya ninguna persona en el área de exposición y finalmente, efectuar la exposición radiográfica.
- Medir también el tiempo de exposición con la ayuda de un cronómetro, para estar seguros de su exactitud. Luego de esto, apagar el equipo y cerciorarse que efectivamente lo esté, con la ayuda de un detector Geiger Müller.

- Tomar la funda que tiene la película ya expuesta y procesarla en el laboratorio, tomando en cuenta que el químico revelador esté a una temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$ ,  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  y que los demás líquidos no estén a  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  de diferencia con respecto al químico revelador.
- Extraer la película radiográfica expuesta, de la funda y colocarla en el carrete plástico, el cual a la vez debe ser colocado en un poste de acero inoxidable; introducirla en el químico revelador por un tiempo de 5 minutos; luego introducirla en el baño de paro y mantenerla por un tiempo de 2 minutos; acto seguido trasladar la película hacia el químico fijador y mantenerla por 10 minutos; por último, cambiarla al lavado final y mantenerla por al menos 20 minutos. En todos los casos, agitar suave pero constantemente la película, por medio del poste que sostiene el carrete plástico.
- Finalmente, secar la película manteniéndola dentro del carrete hasta que esté totalmente seca; manipularla únicamente por los bordes.
- Luego de secada, colocar la radiografía sobre la pantalla del negatoscopio y observar y anotar todas las indicaciones que se presentan dentro de la soldadura, anotando a la vez, el letrero o la nomenclatura que se le colocó antes de exponerla a la radiación.
- Anotar toda información que dé el equipo y los ajustes que se hagan en el transcurso del ensayo, siguiendo las instrucciones del manual del equipo, de esta práctica recomendada y las del instructor.

- Elaborar un reporte, enumerando todos los pasos del procedimiento descritos arriba, anotando además, la fecha de práctica del ensayo, todas las características que presenta la pieza; anotar todas las incidencias del ensayo y finalmente, anotar el nombre y firma de la persona que llevó a cabo el mismo.



## **4. ÁREA FÍSICA DE UN LABORATORIO DE END**

### **4.1 Área física para ensayo visual**

El área para llevar a cabo el ensayo visual debe concebirse de manera que sea un espacio suficiente para poder maniobrar una pieza sujeta a ensayo, sin problemas; pero el principal aspecto que debe tenerse en cuenta es la iluminación, tanto natural como artificial, condición fundamental para poder efectuar un ensayo adecuado.

En este sentido, un área adecuada deberá ser de al menos cuatro (4) por cinco (5) metros; es decir, veinte (20) metros cuadrados, se insiste, con suficiente iluminación.

### **4.2 Área física para líquidos penetrantes y/o partículas magnéticas**

El área para llevar a cabo el ensayo por líquidos penetrantes y/o partículas magnéticas puede ser la misma que la que se propone para la Inspección visual; en ese sentido, la infraestructura física no se incrementa, a menos que se piense en un área diferente, dado el espacio y tomando en cuenta la cantidad de alumnos asistentes a cada práctica.

Nos referimos a la inspección por partículas magnéticas por medio de equipo portátil; si se concibe un equipo estacionario, entonces la magnitud de veinte (20) metros cuadrados debe duplicarse, para pensar en la práctica simultánea de los tres métodos de ensayo ya mencionados.

Es decir, el ensayo visual, el ensayo por líquidos penetrantes y el ensayo por partículas magnéticas; Además, es necesario contar con alimentación de energía eléctrica de 110 y 220 voltios, así como también, suficiente iluminación.

#### **4.3 Área física para corrientes de Eddy**

El área física para aplicar el ensayo por corrientes de Eddy o corrientes inducidas debe ser de aproximadamente 12 metros cuadrados, el cual se puede utilizar también para el laboratorio de ultrasonido; dicha área debe permitir la maniobrabilidad de una pieza sujeta a ensayo; además, el ambiente debe tener alimentación de energía eléctrica de 110 Voltios.

#### **4.4 Área física para ultrasonido**

Como indicamos en el área física para aplicar el ensayo por corrientes de Eddy, este espacio puede ser también el mismo que es emplee para el laboratorio de ultrasonido; en tal sentido, debe ser de aproximadamente 12 metros cuadrados para permitir la maniobrabilidad de una pieza sujeta a ensayo, de proporciones regulares; el ambiente para este caso, requiere de una iluminación normal y alimentación de energía, de 110 Voltios.

#### **4.5 Área física para radiografía industrial**

El área física para la práctica del ensayo por radiografía industrial comprende dos ambientes: el que se utiliza para la exposición de las radiografías o la toma de la radiografía, como quiera llamársele, y al ambiente que se utiliza para el procesamiento de la película radiográfica.

El ambiente para la toma de radiografías es un área especial, tomando en cuenta que el mismo debe ser con paredes blindadas, las cuales deben ser capaces de disminuir los niveles de radiación hacia las vecindades, a niveles permitidos por los parámetros estipulados por la Dirección General de Energía, la cual está adscrita al Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), siendo Guatemala miembro activo de dicho ente internacional y por lo tanto, obligada a observar las regulaciones impuestas por este Organismo.

Este tipo de blindaje está íntimamente ligado al tipo y capacidad del equipo emisor de radiación que se tenga; como el tipo de tubo o equipo de rayos X que estamos proponiendo es direccional, esto es, que emite radiación en un solo sentido, el mismo puede confinarse a que el haz de radiación se dirija únicamente hacia el suelo, condición que exige que este ambiente se ubique en un primer nivel, cuyo piso esté directamente sobre el nivel del suelo.

Para el cálculo del blindaje, será necesario abocarse con el departamento de Radioprotección del ente arriba mencionado, para que dé las directrices necesarias al respecto.

El espacio requerido no debe ser menor de cuarenta (40) metros cuadrados y deberá contar con iluminación adecuada y alimentación de energía eléctrica de 110 y 220 Voltios.

Debe tomarse en cuenta que este ambiente debe estar aislado de los demás y es muy conveniente tomar en cuenta las vecindades que tendrá; como por ejemplo, no deberá estar a la par de aulas de clase o donde permanezcan personas por mucho tiempo, que sea problemática su evacuación en caso de emergencia.

El otro ambiente que se requiere para implementar la práctica del método de radiografía industrial, lo constituye el laboratorio para el procesamiento de la película radiográfica ( inadecuadamente llamado laboratorio de revelado ); este es un ambiente necesariamente oscuro o sea, sin la filtración de luz desde el exterior del recinto.

El ambiente por lo tanto debe carecer de ventanales y su puerta de acceso puede ser del tipo de laberinto o bien de doble puerta, independientes una de la otra.

El recinto debe poseer dos áreas o regiones a saber, el área seca donde se manipula la película radiográfica ya sea virgen, o expuesta a la radiación antes de ser procesada; la otra, llamada área húmeda, donde se encuentran los químicos para procesar la película y para, posteriormente, secarla.

Ambas áreas deben estar totalmente separadas y definidas, una de la otra; la razón de esta clara separación se debe a que si la película radiográfica se humedece o más, se moja antes de ser expuesta a la radiación o procesada se hecha perder, pudiéndose con ello también perderse la labor que implica la obtención de una radiografía.

En este caso, como se trata de un laboratorio para fines educativos que permita al menos la demostración del procesamiento de una radiografía y los cuidados que deben tenerse para que la calidad radiográfica sea adecuada y de acuerdo a los parámetros que exigen los códigos de referencia en cuanto al tema se refiere, se propone un área de al menos treinta (30) metros cuadrados.

El laboratorio deberá estar alejado, por lo menos a dos ambientes de distancia, del recinto donde estará el tubo de rayos x; la razón es que la película radiográfica virgen o expuesta y los químicos para el procesamiento de la misma, se vela la primera y se arruinan los segundos, al estar expuestos a la radiación ionizante.



## CONCLUSIONES

1. Dado que los ensayos no destructivos constituyen una de las herramientas de gran importancia en la aplicación de los diferentes sistemas de control de calidad para la elaboración de productos terminados, así como de la aplicación de los métodos de análisis de discontinuidades, defectos y fallas de los diferentes materiales y elementos de maquinaria y equipo que sustentan la base del desarrollo tecnológico del país, su conocimiento y definición de los diversos campos de aplicación, se hace cada vez más importante en el diario devenir de la Ingeniería Mecánica.
2. La formación de los criterios básicos que sustentan las decisiones de los ingenieros mecánicos en la identificación de una posible falla o defecto en particular y si esta es o no causal de aceptación o rechazo, son aspectos importantes en la preparación de los mismos; esto puede lograrse a través de la ejecución de prácticas de laboratorio relacionadas directamente con el tema, en este caso, a través de la aplicación de los ensayos no destructivos.
3. Hay que resaltar que, si bien el conocimiento de las técnicas analizadas durante el presente trabajo constituye una herramienta fundamental de apoyo a la aplicación de la Ingeniería Mecánica, lo más importante para la interpretación de los resultados obtenidos es el criterio y la experiencia que los estudiantes y profesionales pueden acumular durante su propia formación, y que mejor que a través de la realización de laboratorios especializados.

4. Debe tenerse en cuenta que, el dominio de las tecnologías adecuadas en la definición de problemas y procedimientos ingenieriles, son aspectos importantes que redundan en la justificación económica de su aplicación y a los criterios de costo-beneficio que deciden sobre la misma.

## **RECOMENDACIONES**

1. Diseñar y desarrollar los cursos necesarios para la formación de los estudiantes en el conocimiento y práctica de los END, en las carreras de Ingeniería Mecánica.
2. Implementar los laboratorios necesarios, para la realización de prácticas inherentes al desarrollo de los cursos referidos; una de las formas es buscando ayuda internacional, con entes afines a la Universidad o bien, en embajadas acreditadas en nuestro país.
3. Realizar las gestiones necesarias para la preparación de personal docente en la enseñanza de los END.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1

**Curso de radiografía industrial nivel I.** Proyecto Latinoamericano y del Caribe de Ensayos No Destructivos. O.N.U.-O.I.E.A. (Hojas mimeografiadas) s.n. págs.

2

[www.imende.com/end.html](http://www.imende.com/end.html) 3.abril.2002 Internet. IMENDE, A. C. “Los ensayos no destructivos”

3

Ramírez Gómez, Francisco. **Introducción a los métodos de ensayos no destructivos de control de la calidad de los materiales.** (3ra. Edición; Madrid España: Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, s.a.) p. XXVII

4

Curso de radiografía industrial nivel I. Obra citada s.n. págs.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ASME Boiler and Pressure Vessel Code. **Nondestructive Examination.** (Section V.) New York U. S. A.: Edición 1998. Julio 1998. s.e. 736 págs.
2. García Cueto, Alfonso R. **Ensayos no destructivos por la técnica de ultrasonido industrial.** México: 1ra. Edición. 1989. s.e. 204 págs.
3. General Dynamics, Convair Division. **Nondestructive testing, Eddy current, classroom training handbook.** San Diego, California: 1979. s.e. 179 págs.
4. General Dynamics, Convair Division. **Nondestructive testing, liquid penetrant, classroom training handbook.** San Diego, California: 1977. s.e. 158 págs.
5. General Dynamics, Convair Division. **Nondestructive testing, magnetic particle, classroom training handbook.** San Diego, California: 1977. s.e. 171 págs.
6. General Dynamics, Convair Division. **Nondestructive testing, radiographic testing, classroom training handbook.** San Diego, California: 1967. s.e. 225 págs.
7. General Dynamics, Convair Division. **Nondestructive testing, ultrasonic, classroom training handbook.** San Diego, California: 1981. s.e. 203 págs.
8. ICAEND S. C. **Manual de procedimiento y prácticas de los cursos de Ultrasonido nivel I y II.** México: 1999. 1ra. Edición. Impresos del Valle. 67 págs.
9. Ramírez Gómez, Francisco. **Introducción a los métodos de ensayos no destructivos de control de la calidad de los materiales.** 3ra. Edición. Madrid, España: Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial. Artes Gráficas Reyes, S. A. s. a. 760 págs

## Publicaciones

10. Aguilar Rivas, Roberto Alejandro y Enrique H. Soria Lemus. **Curso de Radiografía Industrial Nivel I**. Proyecto Latinoamericano y del Caribe de Ensayos No Destructivos. Guatemala: PNUD – OIEA s.a.
11. Aguilar Rivas, Roberto Alejandro y Enrique H. Soria Lemus. **Metalografía y Ensayos no destructivos como apoyo al análisis y corrección de fallas en materiales y equipo**. Guatemala: Primer Congreso Nacional de Estudiantes de Ingeniería Mecánica, Universidad de San Carlos de Guatemala. Septiembre, 2004.

## Documentos

13. Toledo Rodríguez, Luis Horacio y Ana Lizbeth Velásquez Figueroa. **Evaluación Integral**. (Trabajo de práctica realizado a la empresa Servicios Industriales Especializados y Compañía Limitada.) Guatemala: Universidad Mariano Gálvez. 1998. 129 págs.

## Entrevistas

14. Del Valle, Leonardo. **Fabricación y montaje de la estructura metálica del edificio del Teatro Nacional del Centro Cultural Miguel Ángel Asturias, Guatemala. Fabricación y montaje de la estructura metálica del edificio del Ministerio de Finanzas, Guatemala. (1970 – 1979)**. Guatemala, 2004. Comunicación personal.
15. Freire de Nave, Diana. **Antecedentes de la Dirección General de Energía y trabajos realizados con equipos de Iridio 192 (1970 – 2004)**, Guatemala, Sub Dirección General de Energía, Ministerio de Energía y Minas, 2004. Comunicación personal.