

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“ESTUDIO TÉCNICO E IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE
ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (END) PARA EL ÁREA DE CIENCIA Y
TECNOLOGÍAS DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA”**

**Tesis previa a la obtención del
Título de Ingeniero Mecánico**

Autor:

Christian Fernando Bernal Reinoso

Director:

Ing. Fran Reinoso

Cuenca, Agosto 2014

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**“ESTUDIO TÉCNICO E IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE
ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (END) PARA EL ÁREA DE CIENCIA Y
TECNOLOGÍAS DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA”**

**Tesis previa a la obtención del
Título de Ingeniero Mecánico**

Autor:

Christian Fernando Bernal Reinoso
crisfern1@hotmail.com

Director:

Ing. Fran Reinoso
freinoso@.ups.edu.ec

Cuenca, Agosto 2014

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD Y DERECHOS DE AUTOR

El trabajo de grado que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana. En tal virtud los fundamentos teóricos - científicos y los resultados son exclusiva responsabilidad del autor.

A través de la presente declaración concedo los derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Universidad Politécnica Salesiana, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la Normativa Institucional Vigentes.



Christian Fernando Bernal Reinoso

CERTIFICO

Que el presente proyecto de tesis “Estudio Técnico e Implementación del Laboratorio de Ensayos No Destructivos para el Área de Ciencia y Tecnologías de la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca”, realizado por el estudiante Christian Fernando Bernal Reinoso, fue dirigido por mi persona.



Ing. Fran Reinoso

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por las bendiciones y fortalezas recibidas que me permitieron concluir con un objetivo más en mi vida.

Al Ing. Wilson Calle y a mi director de tesis Ing. Fran Reinoso, por el apoyo recibido en el transcurso de mi proyecto de tesis.

DEDICATORIA

Un logro mas en mi vida, y sin duda es gracias a dos pilares fundamentales, mi padre Luis Bernal y mi madre Edita Reinoso, por su confianza, por el apoyo incondicional que siempre me brindaron, por sus consejos y regaños, este sueño, este objetivo cumplido, es dedicado especialmente para ustedes, gracias por todo.

A mis hermanos, Andrea, Fabricio y David, que por todo lo que se ha pasado, siempre les tengo presente, y son mi fortaleza.

A todas aquellas personas especiales para mí, que de una u otra manera siempre estuvieron presentes y me apoyaron para cumplir un objetivo más en mi vida.

Y como olvidarme, Freddy y Andrés, por esa amistad generada, y por ese apoyo que siempre nos tuvimos, éxitos siempre.

ÍNDICE

ÍNDICE	1
ÍNDICE DE FIGURAS	4
ÍNDICE DE TABLAS	6
CAPITULO I.....	7
ESTUDIO DE LOS DIFERENTES PROCESOS DE END, DESCRIPCIÓN, CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS Y APLICACIONES DE CADA UNO DE SUS EQUIPOS.....	7
1.1. Técnicas de Inspección Superficial.....	8
1.1.1. Inspección Visual.....	8
1.1.1.1. Requisitos de la Inspección Visual.....	9
1.1.1.2. Aplicaciones.....	9
1.1.1.3. Herramientas para la Inspección Visual.....	10
1.1.1.4. Boroscopios.....	10
1.1.1.5. Ventajas y Limitaciones de la Inspección Visual.....	11
1.1.2. Tintas Penetrantes	11
1.1.2.1. Aplicaciones.....	12
1.1.2.2. Clasificación de los Líquidos Penetrantes.....	13
1.1.2.3. Etapas de la Inspección por Tintas Penetrantes.....	13
1.1.2.4. Ventajas y Limitaciones de los Líquidos Penetrantes.....	18
1.1.3. Partículas Magnéticas.....	18
1.1.3.1. Aplicaciones.....	19
1.1.3.2. Características de las Partículas Magnéticas.....	19
1.1.3.3. Etapas básicas de Inspección.....	20
1.1.3.4. Clasificación de los materiales por sus características magnéticas....	20
1.1.3.5. Campo Magnético.....	21
1.1.3.6. Temperatura de Curie.....	21
1.1.3.7. Técnicas de Magnetización.....	22
1.1.3.8. Modos de Magnetización.....	22
1.1.3.9. Yugos.....	22
1.1.3.10. Desmagnetización.....	24
1.1.3.11. “Área de examinación.....	25
1.1.3.12. Ventajas y Limitaciones de las Partículas Magnéticas.....	26
1.1.4. Termografía Industrial.....	27
1.1.4.1. Aplicaciones.....	28
1.1.4.2. Consideraciones para la Inspección.....	29
1.1.4.3. Etapas Básicas de Inspección.....	29
1.1.4.4. Emisión, Reflexión, Transmisión.....	31
1.1.4.5. Técnicas de Termografía Infrarroja.....	33

1.1.4.6.	Ventajas y Limitaciones de la Inspección Termográfica	34
1.2.	Técnicas de Inspección Volumétrica.	34
1.2.1.	Radiografía Industrial.....	34
1.2.1.1.	Propiedades de las radiaciones ionizantes.	36
1.2.1.2.	Rayos X.....	36
1.2.1.3.	Aplicaciones.....	40
1.2.1.4.	Etapas de Inspección por Radiografía Industrial.	41
1.2.1.5.	Ventajas y Limitaciones.....	41
1.2.1.6.	Seguridad	41
1.2.2.	Ultrasonido.....	46
1.2.2.1.	Aplicaciones.....	46
1.2.2.2.	Palpadores (Transductores).....	47
1.2.2.2.1.	Tipos de Palpadores.....	49
1.2.2.2.2.	Selección del Palpador.....	52
1.2.2.3.	Líquido Acoplante.....	53
1.2.2.4.	Bloques de Calibración.	54
1.2.2.5.	Procedimiento del Ensayo por Ultrasonido.	55
1.2.2.6.	Métodos de Ensayo.	57
1.2.2.7.	Ventajas y Limitaciones.....	59
1.2.3.	Pruebas Hidrostáticas.	59
1.2.3.1.	Fluido de Prueba.	60
1.2.3.2.	Presión de Prueba.....	60
CAPITULO II		62
ANÁLISIS DE REQUERIMIENTOS TÉCNICOS Y DE INFRAESTRUCTURA. 62		
2.1.	Normativas de las diferentes técnicas de Ensayos No Destructivos.	62
2.1.1.	Normas de las diferentes técnicas de Ensayos No Destructivos.....	63
2.1.2.	Norma de calificación y certificación.....	64
2.2.	Estudio y análisis del área del laboratorio de Ensayos No Destructivos (END).71	
2.3.	Especificaciones Técnicas de cada uno de los Bancos de Pruebas.....	73
2.3.1.	Ficha técnica del equipo de Inspección Visual.	74
2.3.2.	Ficha técnica del equipo de Inspección por Tintas Penetrantes.....	74
2.3.3.	Ficha técnica del equipo de Inspección por Partículas Magnéticas.	75
2.3.4.	Ficha técnica del equipo de Inspección por Termografía Industrial.....	75
2.3.5.	Ficha técnica del equipo de Inspección por Radiografía Industrial.	76
2.3.6.	Ficha técnica del equipo de Inspección por Ultrasonido.	76
2.3.7.	Ficha técnica del equipo de Inspección por Pruebas Hidrostáticas.	77
CAPITULO III.....		78
DISEÑO TÉCNICO PARA LA IMPLEMENTACIÓN Y ADECUACIÓN DEL ESPACIO FÍSICO.		78

3.1.	Capacidad.....	78
3.2.	Instalaciones e instrumentación.	79
3.3.	Requerimientos eléctricos, de agua y drenaje.	79
3.4.	Requerimientos de seguridad.	81
3.5.	Distribución de los equipos del laboratorio.	81
CAPITULO IV.....		83
ELABORACIÓN Y VALIDACIÓN DE LAS GUÍAS DE PRÁCTICAS.....		83
4.1.	Manejo y reconocimiento de los equipos del laboratorio.	83
4.2.	Formulación de las guías de práctica.	88
4.2.1.	Guía de práctica para Inspección Visual.	89
4.2.2.	Guía de práctica para Inspección por Tintas Penetrantes.....	93
4.2.3.	Guía de práctica para Inspección por Partículas Magnéticas.	98
4.2.4.	Guía de práctica para Inspección por Termografía Industrial.....	103
4.2.5.	Guía de práctica para Inspección por Ultrasonido.	109
4.2.6.	Guía de práctica para Inspección por Radiografía Industrial.	114
4.2.7.	Guía de práctica para Inspección por presión Hidrostática.....	120
4.3.	Ejecución y validación de la guía de prácticas.....	127
4.3.1.	Práctica de Inspección Visual.	127
4.3.2.	Práctica de Inspección por Tintas Penetrantes.	132
4.3.3.	Práctica de Inspección por Partículas Magnéticas.	157
4.3.4.	Práctica de Inspección por Termografía Industrial.	165
4.3.5.	Práctica de Inspección por Ultrasonido.	173
4.3.6.	Práctica de Inspección por presión Hidrostática.	193
CONCLUSIONES		201
RECOMENDACIONES		203
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		204
ANEXOS		208

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mojabilidad.....	11
Figura 2. Limpieza, Tintas Penetrantes.....	13
Figura 3. Aplicación penetrante, Tintas Penetrantes.....	14
Figura 4. Remoción exceso, Tintas Penetrantes.....	15
Figura 5. Aplicación revelador, Tintas Penetrantes.....	16
Figura 6. Inspección final, Tintas Penetrantes.....	17
Figura 7. Campo magnético generado.....	18
Figura 8. Características magnéticas de los materiales.....	21
Figura 9. Polos magnéticos.....	21
Figura 10. Yugo de patas articuladas.....	24
Figura 11. Inspección por Termografía Industrial.....	27
Figura 12. Espectro Electromagnético.....	28
Figura 13. Emisión, Reflexión y Transmisión de la radiación infrarroja.....	31
Figura 14. Emisividad.....	32
Figura 15. Reflexión.....	32
Figura 16. Transmisión.....	33
Figura 17. Inspección por Radiografía Industrial.....	35
Figura 18. Esquema de un Tubo de Rayos X.....	37
Figura 19. Tubo de rayos X.....	38
Figura 20. Simbología Radiación.....	45
Figura 21. Ensayo por ultrasonido.....	46
Figura 22. Diversos tipos de palpadores utilizados en la industria.....	47
Figura 23. Esquema que muestra en detalle el palpador de contacto.....	50
Figura 24. Propagación de la onda Ultrasónica.....	50
Figura 25. Esquema que muestra en detalle el palpador de Elemento Dual.....	51
Figura 26. Propagación de la onda Ultrasónica.....	51
Figura 27. Esquema que muestra en detalle el palpador de Elemento Dual.....	52
Figura 28. Propagación de la onda Ultrasónica.....	52
Figura 29. Bloque de calibración.....	55
Figura 30. Inspección de Elemento Defectuoso.....	56
Figura 31. Método Pulso-Eco.....	57
Figura 32. Método de Transmisión.....	58

Figura 33. Ejemplo Cartas de Ishijara.....	68
Figura 34. Área para el Laboratorio de END.....	73
Figura 35. Ficha técnica, Inspección Visual.....	74
Figura 36. Ficha técnica, Tintas Penetrantes.....	74
Figura 37. Ficha técnica, Partículas Magnéticas.....	75
Figura 38. Ficha técnica, Termografía Industrial.....	75
Figura 39. Ficha técnica, Radiografía Industrial.....	76
Figura 40. Ficha técnica, Ultrasonido Industrial.....	76
Figura 41. Ficha técnica, Pruebas Hidrostáticas.....	77
Figura 42. Distribución eléctrica para el Laboratorio de END.....	80
Figura 43. Distribución agua y drenaje para el Laboratorio de END.....	80
Figura 44. Distribución de los equipos para el Laboratorio de END.....	82
Figura 45. Modelo de codificación.....	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ventajas y limitaciones, Inspección Visual.	11
Tabla 2. Clasificación de los líquidos penetrantes.	13
Tabla 3. Tiempos de penetración mínimos recomendados, Tintas Penetrantes.....	15
Tabla 4. Ventajas y limitaciones, Tintas Penetrantes.....	18
Tabla 5. Ventajas y Limitaciones, Partículas Magnéticas.....	26
Tabla 6. Valores de Emisividad.	32
Tabla 7. Ventajas y limitaciones, Termografía Industrial.....	34
Tabla 8. Longitudes de onda.	36
Tabla 9. Ventajas y Limitaciones, Radiografía Industrial.....	41
Tabla 10. Limitación de dosis Individual.....	42
Tabla 11. Límites de dosis Ocupacional y para el Público.	43
Tabla 12. Límites de dosis Ocupacional y para el Público.	43
Tabla 13. Elementos de Protección Radiológica.....	44
Tabla 14. Material de Descontaminación.....	45
Tabla 15. Características de los materiales Piezoeléctricos.	48
Tabla 16. Características de los materiales Piezoeléctricos.	48
Tabla 17. Ventajas y Limitaciones, Ultrasonido Industrial.....	59
Tabla 18. Normas ASTM para Ensayos No Destructivos.....	63
Tabla 19. Grafica de Snellen e Interpretación de Resultados.	67
Tabla 20. Requerimientos para la adecuación del Espacio Físico, para el Laboratorio de END.....	72
Tabla 21. Instalaciones e instrumentación para el Laboratorio de END.....	79
Tabla 22. Recomendaciones y Seguridad para el Laboratorio de END.	81
Tabla 23. Listado de Equipos del Laboratorio de END.	83
Tabla 24. Asignación de áreas.	84
Tabla 25. Codificación de laboratorios y secciones del área de Mecánica.	85
Tabla 26. Código de Identificación de los Equipos de END.	86
Tabla 27. Codificación Completa de los Equipos de END.....	87

CAPITULO I

Estudio de los diferentes procesos de END, descripción, características técnicas y aplicaciones de cada uno de sus equipos.

Introducción

Los Ensayos No Destructivos (END), son técnicas que se aplican para verificar la calidad de los elementos y sus respectivos materiales, tanto externa como internamente, antes, durante y después del proceso de fabricación, sin afectar o alterar sus propiedades físicas, químicas y mecánicas.

Los END son un campo de la ingeniería que se está desarrollando rápidamente, lo cual está permitiendo un crecimiento continuo de la Industria, ya que gracias a las diferentes técnicas que se están aplicando, se están determinando fallas en elementos mecánicos y soldaduras, previniendo grandes daños y pérdidas considerables de dinero a nivel industrial.

Los objetivos a cumplir al ejecutar las técnicas de END, son:

- “Detectar discontinuidades¹ en materiales y estructuras sin destrucción de los mismos (**DETECCIÓN**).
- Determinar la ubicación, orientación, forma, tamaño y tipo de discontinuidades (**EVALUACIÓN**).
- Establecer la calidad del material, basándose en el estudio de los resultados y en la severidad de las discontinuidades y/o defectos de acuerdo a las normas de calidad y los objetivos del diseño (**CALIFICACIÓN**).”²

Existen diferentes técnicas para dar alcance a estos objetivos, las cuales de acuerdo a su aplicación se dividen en:

- Técnicas de Inspección Superficial.
- Técnicas de Inspección Volumétrica.
- Técnicas de Inspección de la Integridad o Hermeticidad.

¹ DISCONTINUIDAD es la PERDIDA de la HOMOGENEIDAD del MATERIAL.

²<http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Manual%20Introduccion%20a%20los%20END.pdf>

Mediante la ejecución de estas técnicas, se puede verificar la integridad superficial o sub-superficial (hasta 3mm de la superficie), de un material, en lo que respecta a Técnicas de Inspección Superficial, aplicando ensayos de Inspección Visual, Partículas Magnéticas, etc. También se pueden detectar discontinuidades internas de un material aplicando las técnicas de Inspección Volumétrica mediante ensayos de Radiografía Industrial, Ultrasonido, etc. Además se pueden verificar si existen fugas en recipientes sometidos a presión, realizando Pruebas Hidrostáticas, variando la presión, en lo que concierne a Técnicas de Hermeticidad.

El método y la técnica seleccionada, debe ser la adecuada al objeto y a lo que se pretende detectar, tomando en consideración ciertos parámetros importantes como:

- “La norma de diseño.
- El método de fabricación.
- Los controles realizados durante la fabricación e instalación.
- Los datos operativos.
- Los desvíos de la operación normal.
- Los antecedentes históricos del elemento.”³

1.1. Técnicas de Inspección Superficial.

Aplicando estas técnicas se verifica la sanidad de un material que se encuentra en la superficie o a profundidades no mayores a 3mm, realizando los siguientes ensayos, según la aplicación y necesidad requerida.

1.1.1. Inspección Visual.

Es una técnica que requiere de una gran cantidad de información de las características del elemento a ser inspeccionado, para una acertada interpretación de las posibles indicaciones generadas por las discontinuidades.

Consiste en revisar la calidad de las superficies, durante y después del proceso de fabricación de las piezas, detectando daños por abrasión, mecánicos, corrosión y discontinuidades en uniones como soldadura, sellados, etc.

³ http://www.uruman.org/TrabajosTec/END_Mantenimiento.pdf

“La inspección visual es aquella que utiliza la energía de la porción visible del espectro electromagnético. Los cambios en las propiedades de la luz, después de entrar en contacto con el objeto inspeccionado, pueden ser detectados por el ojo humano o por un sistema de inspección visual. La detección puede realizarse o puede ser resaltada mediante el uso de espejos, amplificadores, boroscopios y otros accesorios o instrumentos visuales.”⁴

1.1.1.1. Requisitos de la Inspección Visual.

- Realizar un examen de agudeza visual cada 6 o 12 meses, a todo el personal que va a realizar la Inspección Visual.
- En algunos casos sería de gran importancia realizar un examen de discriminación cromática, para que el personal a realizar la inspección, pueda detectar variaciones de color o tonos cromáticos, ya que en algunos casos es crítica la detección de estas variaciones o la apreciación de un color en particular. Este examen solo se realiza una vez, ya que pueden producir alteraciones genéticas que no son corregibles.
- Conocimiento del Inspector de las características del elemento a inspeccionar y de los tipos de discontinuidades que se pueden detectar mediante esta técnica.

1.1.1.2. Aplicaciones.

Esta técnica es la primera en considerar al momento de inspeccionar algún elemento, para dar una evaluación del estado en el que se encuentra dicho elemento.

Generalmente se aplican para:

- Adquirir una evaluación general de un elemento tubular, herramienta o componente.
- Detectar tempranamente los defectos antes que alcancen el tamaño crítico.
- Detectar errores de manufactura.
- Obtener información sobre las condiciones en las que se encuentran los elementos que muestran algún defecto.

⁴ <http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/MANUAL%20DE%20INSP.%20VISUAL.pdf>

1.1.1.3. Herramientas para la Inspección Visual.

Existen algunas herramientas que se pueden utilizar para la detección de discontinuidades mediante este método, entre las más utilizadas se encuentran.

- a) "Lentes de aumento o lupas: normalmente tienen aumentos de 5X y de 10X, como máximo para los estudios llamados macroscópicos. Sus ventajas son, tener un costo bajo y que abarcan una amplia gama de inspección.
- b) Sistemas de interferencia cromática o con luz polarizada: consiste en emplear luz polarizada sobre una superficie reflejante y por medio de los patrones cromáticos formados son determinadas las zonas con discontinuidades, como el caso de la inspección de porcelanas o recubrimientos vidriados.
- c) Endoscopios (Boroscopios): este sistema ha sido ampliamente difundido en las nuevas técnicas de Inspección Visual, principalmente porque permiten la observación del interior de una parte o componentes sin desarmar el equipo."⁵

1.1.1.4. Boroscopios.

Son equipos utilizados para realizar inspecciones visuales indirectas, ya que son empleados en lugares de difícil alcance por el inspector o en áreas de alto riesgo.

Los boroscopios son frecuentemente utilizados en la inspección de turbinas a gas, estructuras aeronáuticas, reactores nucleares, partes internas de motores automotrices y líneas de conducción. Los boroscopios especializados son utilizados en ambientes corrosivos o explosivos.

Se utilizan boroscópios rígidos o flexibles, videoscópios y fibroscópios (fibra óptica), con los cuales, mediante una sonda adaptada a una cámara digital, se puede llegar a la mayoría de las cavidades internas y lugares inaccesibles para el inspector.

⁵ <http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Manual%20Introduccion%20a%20los%20END.pdf>

1.1.1.5. Ventajas y Limitaciones de la Inspección Visual.

Tabla 1. Ventajas y limitaciones, Inspección Visual.

VENTAJAS.	LIMITACIONES.
Es un método de bajo costo.	Solamente se pueden inspeccionar discontinuidades superficiales. Hay que considerar las limitaciones de la visión humana.
Se puede aplicar en cualquier etapa de un proceso productivo.	Se requiere una fuente efectiva de iluminación.
Se realiza en forma rápida y sencilla.	Es necesario el acceso a la superficie a inspeccionar.
La geometría de las piezas no presenta problema, al momento de la inspección.	Se requiere de personal capacitado y experimentado para realizar el proceso de inspección.

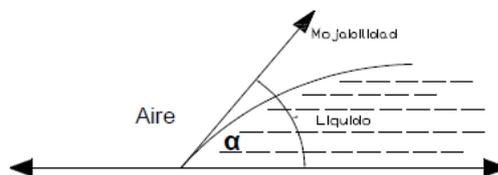
Fuente: <http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/MANUAL%20DE%20INSP.%20VISUAL.pdf>

1.1.2. Tintas Penetrantes

Con la aplicación del ensayo mediante tintas penetrantes, se pretende detectar fisuras en la superficie abierta del material, basándose en la capilaridad de los líquidos, que permite su penetración y retención en las pequeñas aberturas existentes en los materiales a los que se llaman discontinuidades.

“La capacidad de penetración (capilaridad) de los líquidos depende principalmente de las propiedades de mojabilidad (ángulo de contacto entre líquido y sólido: α), tensión superficial (T) y viscosidad (μ). Un buen poder de penetración se consigue con un líquido de elevada tensión superficial, pequeño ángulo de contacto (menor a 90°) y baja viscosidad.”⁶

Figura 1. Mojabilidad.



Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/751/1/CD-1160.pdf>

⁶ <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/751/1/CD-1160.pdf>

Para la efectividad de este ensayo es importante seleccionar un líquido penetrante que reúna las siguientes características:

- Alta penetración en discontinuidades muy finas.
- Baja pérdida de solventes por evaporación.
- Relativa facilidad para ser removido de la superficie, pero no de la discontinuidad.
- Permanecer en estado líquido y ser afín con el revelador.
- Capaz de formar películas muy finas.
- De color o fluorescencia muy estable y fácilmente visible.
- No debe reaccionar con el material inspeccionado.
- Inodoro, atóxico y con alto punto de inflamabilidad.
- Estable bajo condiciones de almacenamiento.
- Ser económico.

1.1.2.1. Aplicaciones.

La Inspección por Tintas Penetrantes tiene una amplia gama de aplicación entre las más frecuentes se encuentran:

- Procesos de Fabricación.
- Inspección de materia prima.
- Elementos de máquinas.
- Componentes aeronáuticos.

También se aplican a otros materiales, entre los cuales se encuentra:

- Cerámicos Vidriados.
- Plásticos.
- Porcelanas.
- Recubrimientos electroquímicos, etc.

1.1.2.2. Clasificación de los Líquidos Penetrantes.

Según la norma ASTM E-165, los líquidos penetrantes se clasifican en:

Tabla 2. Clasificación de los líquidos penetrantes.

MÉTODO	TIPO	PIGMENTO	REMOCIÓN DEL PENETRANTE
A	I	Fluorescente	Lavable con agua
B	I	Fluorescente	Post-emulsificante
C	I	Fluorescente	Removible con solvente
D	I	Fluorescente	Postemulsificable hidrofílico
A	II	Coloreada	Lavable con agua
B	II	Coloreada	Post-emulsificante
C	II	Coloreada	Removible con solvente

Fuente: <http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/LP.pdf>

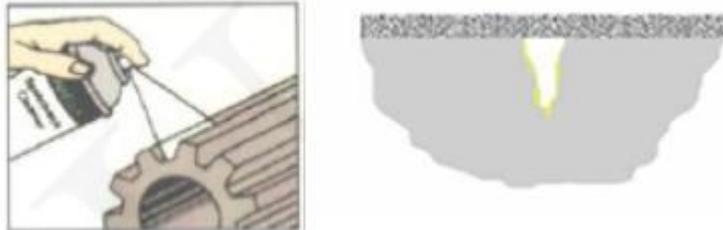
El método C tipo I, método A y C tipo II, son los que se pueden aplicar dentro del Laboratorio de END de la UPS sede Cuenca.

1.1.2.3. Etapas de la Inspección por Tintas Penetrantes.

Esta técnica consta de las siguientes etapas:

1. Limpieza de la superficie a examinar.

Figura 2. Limpieza, Tintas Penetrantes.



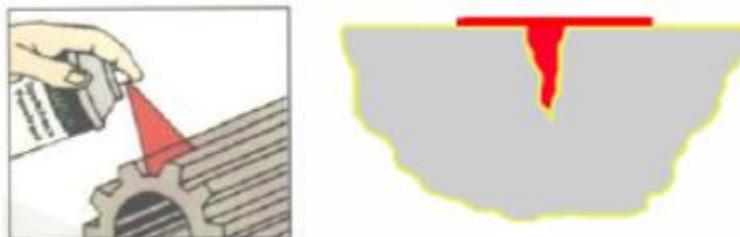
Fuentes: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/751/1/CD-1160.pdf>

<http://juankasandoval.wikispaces.com/file/view/Trab.+NTICS+1.pdf>

Es importante que la superficie se encuentre libre de cualquier tipo de contaminante, ya sea polvo, grasa, óxidos, pintura, entre otros, que puedan intervenir en la entrada del líquido penetrante a las discontinuidades, pudiendo dificultar el procedimiento y afectar el resultado del ensayo.

2. Aplicación del Penetrante.

Figura 3. Aplicación penetrante, Tintas Penetrantes.



Fuentes: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/751/1/CD-1160.pdf>

<http://juankasandoval.wikispaces.com/file/view/Trab.+NTICS+I.pdf>

Existen varias maneras de aplicar el líquido penetrante sobre la superficie a examinar, para poder detectar alguna discontinuidad o fisura:

- Por Inmersión: utilizado en elementos de pequeñas dimensiones, consiste en sumergirlos en un recipiente lleno de líquido penetrante.
- Por Pulverización: consiste en colocar líquido penetrante pulverizado a la superficie a examinar, por medio de un chorro de aire a baja presión.
- Con Brocha: a diferencia con la técnica de pulverización, este método consiste en colocar el líquido penetrante específicamente en la superficie a examinar, reduciendo de esta manera el consumo de penetrante y el tiempo de limpieza.

Independientemente de la técnica a utilizar es importante tener en cuenta el tiempo de penetración, que es el tiempo necesario para que el penetrante ingrese en la discontinuidad, el cual puede variar entre 10 a 30 minutos.

Generalmente los tiempos de penetración vienen recomendados por el fabricante, hay que considerar que estos tiempos son mínimos, y deberá controlarse que el penetrante permanezca húmedo en este lapso. Hay que tomar en cuenta que dichos tiempos vienen dados en ciertos rangos de temperatura (15 a 50 °C).

En la tabla 2 se presentan algunos tiempos mínimos recomendados de acuerdo al tipo de material.

Tabla 3. Tiempos de penetración mínimos recomendados, Tintas Penetrantes.

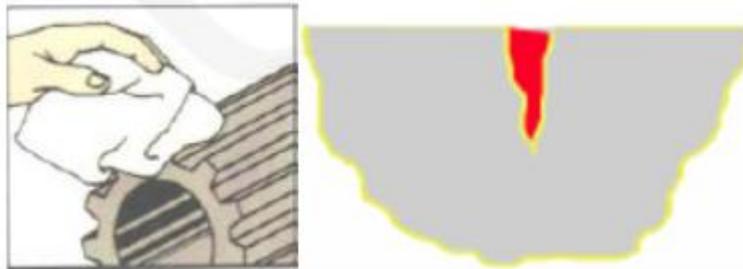
Material.	Forma.	Tipo de Discontinuidad.	Tiempo de Penetración. (minutos)	
			Penetrante	Revelador
Aluminio, Magnesio, Acero, Latón y Bronce, Ti y Aleac. Alta Temp.	Fundición y soldaduras.	Gotas frías, porosidad, falta de fusión, fisuras (todas las formas)	5	10
	Materiales forjados-extrusión Forja, planchas	Traslape, fisuras (todas las formas)	10	10
Herramientas Carburos		Falta de fusión, porosidad, fisuras	5	10
Plásticos	Todas las formas	Fisuras	5	10
Vidrio	Todas las formas	Fisuras	5	10
Cerámicos	Todas las formas	Fisuras, porosidad	5	10

- ❖ Para el rango de Temperaturas de 50 a 100F (10 a 38 C) para los penetrantes fluorescentes y 50 a 125 F (10 a 52 C) para penetrantes visibles.
- ❖ El máximo tiempo de penetración de acuerdo con 8.5.2
- ❖ El tiempo de revelado empieza tan pronto como la capa de revelado húmedo ha secado en la superficie de las piezas (mínimo recomendado).

Fuente: es.scribd.com/doc/36945080/ASTME165

3. Remoción del exceso de penetrante.

Figura 4. Remoción exceso, Tintas Penetrantes.



Fuentes: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/751/1/CD-1160.pdf>

<http://juankasandoval.wikispaces.com/file/view/Trab.+NTICS+1.pdf>

Esta fase del método es la más importante y se lleva a cabo luego de pasado el tiempo de penetración, la manera de realizar la remoción dependerá del tipo de líquido penetrante utilizado:

- a) Lavable con Agua: los de este tipo son los adquiridos para el Laboratorio de END, que se está implementando en la Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca.

Consiste en realizar la remoción del exceso de penetrante mediante un lavado con agua, el cual puede ser realizado manualmente, por el uso de un equipo automático o semiautomático de atomizado de agua, o por inmersión.

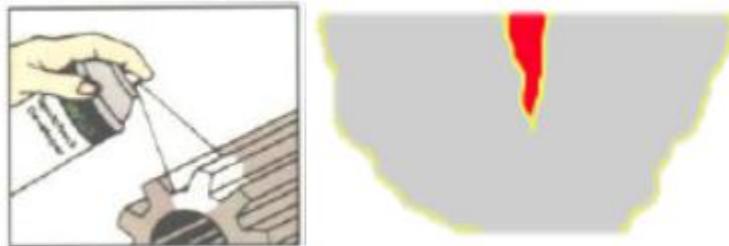
Hay que evitar completamente la acumulación de agua en pequeños agujeros que se encuentran en la superficie del elemento inspeccionado.

Para el lavado con agua se tomara en cuenta ciertas consideraciones:

- "La temperatura del agua debería ser relativamente constante y debería ser mantenida dentro del rango de 50 a 100F (10 a 38C).
 - La presión de agua del atomizado de enjuague no debería ser más grande de 40 Ksi (280 kPa).
 - El tiempo de enjuague no excederá 120 segundos a menos que se especifique otra cosa en la especificación de la pieza o material."⁷
- b) Post Emulsificable: (Normalmente para Líquidos Penetrantes Fluorescente), consiste en aplicar un emulsionante directamente sobre el penetrante, se le deja actuar un tiempo determinado (tiempo de emulsificación), y luego se elimina el exceso mediante un lavado con agua.
- c) Removible con Solvente: consiste en primera instancia en eliminar gran parte el exceso del penetrante utilizando paños de algodón, y posteriormente utilizando algunos solventes de limpieza para humedecer los paños, se eliminara la totalidad del exceso.

4. Aplicación del revelador.

Figura 5. Aplicación revelador, Tintas Penetrantes.



Fuentes: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/751/1/CD-1160.pdf>

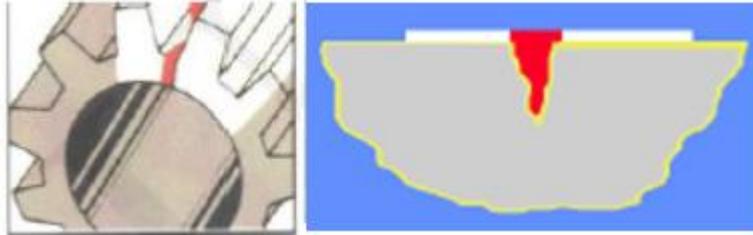
<http://juankasandoval.wikispaces.com/file/view/Trab.+NTICS+I.pdf>

⁷ es.scribd.com/doc/36945080/ASTME165

En esta etapa se obtienen los resultados de la superficie ensayada, aplicándole un medio revelador, cuya función es generar una película en la discontinuidad (fisura). El medio revelador puede ser talco o sustancia mineral fina como polvo seco o en suspensión acuosa, alcohólica o en solvente.

5. Inspección Final.

Figura 6. Inspección final, Tintas Penetrantes.



Fuentes: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/751/1/CD-1160.pdf>

<http://juankasandoval.wikispaces.com/file/view/Trab.+NTICS+1.pdf>

“La inspección visual que se realiza después de la preparación de la superficie por las etapas anteriormente explicadas puede ser realizada bajo luz blanca o visible cuando el Líquido Penetrante utilizado es del tipo rojo. En este caso la incidencia de la luz visible en el punto de la inspección debe tener una intensidad luminosa de no menos 1000 lux, según la recomendación de la Norma ASTM E 1417.

En el caso del uso de Líquido Penetrante Fluorescente la inspección final deberá ser realizada bajo luz ultravioleta (Negra) y también en una cabina oscura exenta de luz visible (luz común). Para este caso la intensidad de luz ultravioleta mínima exigida por la Norma ASTM E 1417 es de 1000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$.”⁸

El criterio para definir los resultados, dependerá de la experiencia y capacitación del inspector a cargo del ensayo, así como también de la norma de referencia.

⁸ <http://juankasandoval.wikispaces.com/file/view/Trab.+NTICS+1.pdf>

1.1.2.4. Ventajas y Limitaciones de los Líquidos Penetrantes.

Tabla 4. Ventajas y limitaciones, Tintas Penetrantes.

Ventajas.	Limitaciones.
Sensibilidad alta a discontinuidades abiertas en la superficie, y materiales metálicos y no metálicos.	Solo son aplicables a discontinuidades superficiales y materiales no porosos.
Aplicable a cualquier tipo de geometría.	Es difícil remover de roscas, ranuras y agujeros no visibles.
Ensayo de fácil aplicación.	Se requiere que los inspectores posean una amplia experiencia y habilidad.
No requiere de equipos complejos para su ejecución.	Se requiere una correcta combinación del revelador y penetrante, para resultados eficientes.

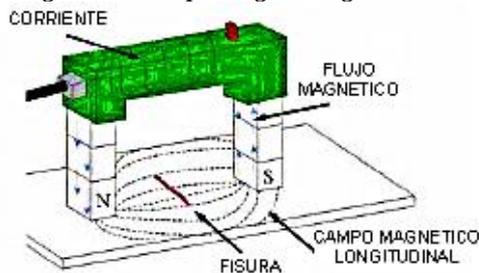
Fuente: El Autor.

1.1.3. Partículas Magnéticas.

Aplicando el ensayo mediante partículas magnéticas, se pretende detectar discontinuidades (fisuras) superficiales y sub-superficiales, solamente en materiales ferromagnéticos (Hierro, aceros, níquel y cobalto), mediante la magnetización del elemento a inspeccionar.

El principio básico en el que se basa esta técnica es el magnetismo que consiste en aplicar un campo magnético sobre el elemento a inspeccionar, para luego espolvorearlo con partículas ferromagnéticas, las cuales mostraran algunas distorsiones en el campo magnético generado, revelando así las discontinuidades existentes en el elemento ensayado. Este resultado se da ya que dichas discontinuidades son aproximadamente perpendiculares al campo magnético.

Figura 7. Campo magnético generado.



Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/751/1/CD-1160.pdf>

1.1.3.1. Aplicaciones.

Esta técnica es aplicada en diferentes ramas de la industria como, metalmecánica, aeronáutica, naval, construcción, etc. Dentro de sus principales aplicaciones se encuentran:

- Inspección de materia prima.
- Inspección en proceso de producción.
- Inspección de producto terminado.
- Mantenimiento de equipo y maquinaria.
- Se utiliza para la inspección de materiales soldados, fundidos, forjados, rolados, etc.

1.1.3.2. Características de las Partículas Magnéticas.

Consisten en partículas de óxido ferromagnético, finamente divididas, las cuales pueden tener forma esferoidal, alargadas o alongadas. Las propiedades más importantes se describen a continuación.

- Alta Permeabilidad, la cual permite que las partículas sean atraídas específicamente donde se encuentra la discontinuidad, debido al bajo nivel de fuga de campo magnético, formando una indicación visible.
- Fuerza Coercitiva baja, para impedir la acumulación de las partículas sobre la superficie de ensayo, dificultando la aplicación de la técnica.
- Alta visibilidad y contraste, las cuales se obtienen seleccionando un adecuado color de partícula (blanco, negro, rojo, azul y amarillo. La selección del color depende de la superficie del elemento a realizar el ensayo y de las condiciones de iluminación del ambiente.

Existen tres tipos de partículas magnéticas, y son las siguientes:

- a) Partículas Secas. Son las más utilizadas y son una mezcla de partículas alargadas, con partículas pequeñas y finas, las cuales ayudan a la movilidad y sensibilidad, mientras que las partículas largas ayudan a dar forma a las indicaciones largas.
- b) Partículas húmedas visibles. Son usualmente más pequeñas que las usadas en el método seco, normalmente se encuentran en un rango de 1 a 25 μm , mientras que las partículas secas están en el rango de 100 a 1000 μm .

- c) Partículas Fluorescentes en suspensión. La selección del tipo de partículas está en función de las siguientes consideraciones:
- Tipo de discontinuidad, para discontinuidades sub-superficiales el método seco es el más sensible.
 - Tamaño de la discontinuidad, el método de partículas en suspensión es el más adecuado para partículas poco profundas.

1.1.3.3. Etapas básicas de Inspección.

- Limpieza previa. No deben existir grasa, aceites u otros materiales que impidan la movilidad de las partículas magnéticas.
- Establecer un campo magnético.
- Inspección de las indicaciones debidas a discontinuidades, luego de aplicado las partículas magnéticas.
- Desmagnetización.
- Limpieza final.

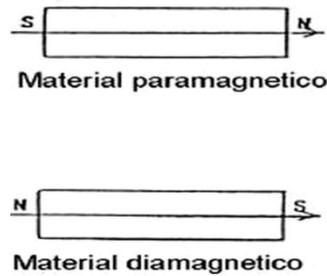
1.1.3.4. Clasificación de los materiales por sus características magnéticas.

Basándose en el principio de la inspección por partículas magnéticas, los materiales pueden clasificarse según su comportamiento al aplicársele un campo magnético, o por su facilidad de ser atraído por el mismo.

- a) Ferromagnéticos: son materiales que son fuertemente atraídos por un campo magnético. " (Son ferromagnéticos, elementos como el hierro, níquel, cobalto y gadolinio, óxidos como la magnetita, y algunas aleaciones como Heusler (30% de Mn y 70% de Cu) y Permalloy (22% Fe, 78% Ni), casi todos los aceros.
- b) Paramagnéticos: Son materiales que son levemente atraídos por un campo magnético, entre los que se encuentran platino, aluminio, cromo, potasio, estaño, etc.
- c) Diamagnéticos: son materiales que no son atraídos por un campo magnético, entre los que se encuentran la plata, plomo, cobre, mercurio, etc."⁹

⁹ <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/1366/Tesis%2085%20-%20Villac%20C3%ADs%20Soria%20Johnny%20Danilo.pdf?sequence=1>

Figura 8. Características magnéticas de los materiales.



Fuente: www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Defectol

1.1.3.5. Campo Magnético.

Es el conjunto de líneas de fuerza cuya intensidad depende de la fuente que genero el campo. Estas líneas de fuerza son continuas, y siempre van a formar un circuito cerrado semicircular.

Las fuerzas de atracción o de Repulsión se manifiestan en aquellas zonas donde entran o salen líneas de fuerza, o sea en las denominadas POLOS del imán.

- Polos magnéticos iguales se repelen.
- Polos magnéticos diferentes se atraen.

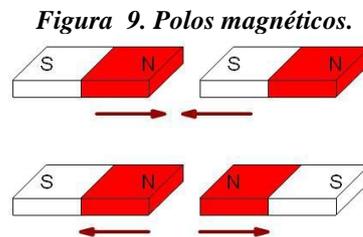


Figura 9. Polos magnéticos.

Fuente:http://cmapspublic3.ihmc.us/rid=1J3XYF98M-1WSYXN1-QVR/atraccion_repulsi%C3%B3n.jpg.

1.1.3.6. Temperatura de Curie.

Es aquella temperatura en la cual los materiales ferromagnéticos no pueden ser magnetizados por fuerzas externas. "El cambio de material ferromagnético a paramagnético en el punto de Curie se invierte cuando se enfría el material y vuelve a ser ferromagnético, habiéndose perdido su magnetismo residual. La mayoría de los metales presentan un punto de Curie comprendido entre 650 y 870 °C."¹⁰

¹⁰A. Ruiz Rubio, J Serrano Sanchez, Aplicación de los métodos de Ensayos no Destructivos al examen de uniones soldadas, Editorial Urmo, S.A. 2004.

1.1.3.7. Técnicas de Magnetización.

- a) Técnica del campo residual o remanente.

Se aplica esta técnica cuando el elemento es de alta retentividad. Luego de sometido a un campo magnético, se aplican las partículas sobre la superficie a ensayar.

Este magnetismo es siempre menor al que existe cuando la corriente está fluyendo.

- b) Técnica del campo continuo.

Se aplica esta técnica para elementos con alta permeabilidad y baja retentividad, y consiste en aplicar las partículas magnéticas mientras se mantiene constante el campo magnético.

Esta técnica es más sensible que la del campo residual, ofreciendo una mejor indicación de la discontinuidad, debido a que es mayor el flujo disperso y por ende la atracción sobre las partículas magnéticas.

En el presente proyecto se utilizara la técnica del Campo Continuo, de acuerdo a lo adquirido para el Laboratorio de END de la UPS, sede Cuenca.

1.1.3.8. Modos de Magnetización.

- Magnetización Circular
- Magnetización Longitudinal
- Magnetización por corrientes inducidas
- Magnetización combinada circular y longitudinal.

En el presente proyecto se utilizara la magnetización longitudinal con ayuda de un Yugo Electromagnético.

1.1.3.9. Yugos.

Un yugo es un elemento de metal en forma de "U" con una bobina alrededor de la barra horizontal, la cual transporta la corriente eléctrica.

Generalmente se fabrican de hierro dulce de baja retentividad, y existen de dos tipos:

- a) Yugos de imanes permanentes:

Utilizados para generar campo magnético en ambientes donde no está permitido arcos eléctricos (por ejemplo en atmosferas explosivas). Este tipo de yugos presenta las siguientes limitaciones:

- “Grandes áreas o piezas no pueden ser magnetizadas con la intensidad suficiente para que las fisuras produzcan indicaciones.
- La densidad de flujo no puede ser variada.
- Si el imán es muy fuerte, es difícil despegarlo de la pieza.
- Las partículas se pueden adherir al imán con posibilidad de enmascarar indicaciones.

b) Yugos electromagnéticos:

Consisten en un arrollamiento sobre un cuerpo en forma de U hecho de hierro blando (chapas al Si).

Sus patas pueden ser fijas o articuladas. Estas últimas sirven para variar la distancia de contacto y para adaptarse a diferentes geometrías de la pieza.

Una diferencia con los yugos permanentes es que los electroimanes pueden ser fácilmente encendidos o apagados lo que facilita separarlos de la pieza de ensayo.

El yugo puede estar diseñado para trabajar con CC, CA o ambas. La densidad de flujo producida por CC puede ser cambiado variando la intensidad de la corriente que fluye en la bobina; Cuando se trabaja con CC, hay gran penetración del campo mientras que con C.A. el campo magnético se concentra en la superficie de la pieza, dando muy buena sensibilidad para discontinuidades superficiales sobre una amplia zona.

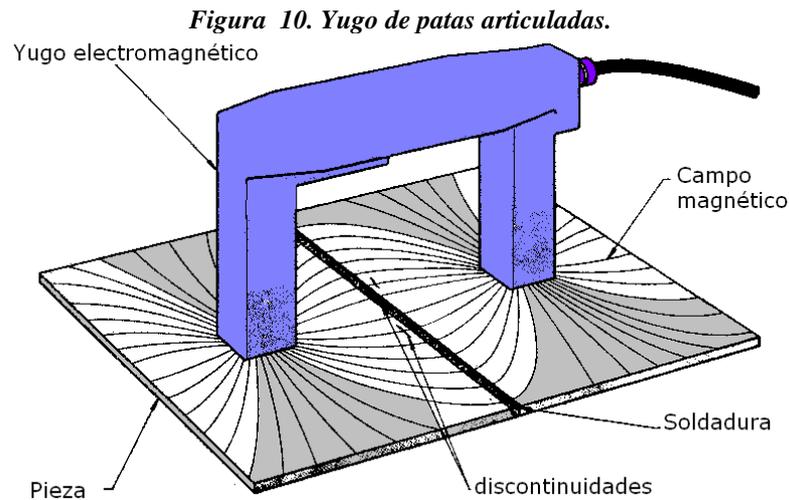
En general, las discontinuidades a ser reveladas deberían estar entre los dos polos del yugo y orientadas perpendicularmente a la línea imaginaria que los conecta.

Se debe tener en cuenta que en la vecindad de los polos se producen escapes de campos que producen una aglomeración excesiva de partículas.

Cuando se opera, la pieza cierra el circuito del flujo magnético entre los polos producidos por el yugo (fuente del campo).

Los yugos que utilizan C.A. para la magnetización tienen numerosas aplicaciones y pueden también utilizarse para desmagnetizar.”¹¹

¹¹ <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/1366/Tesis%2085%20-%20Villac%20C3%ADs%20Soria%20Johnny%20Danilo.pdf?sequence=1>



Fuente: <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/1366/Tesis%2085%20-%20Villac%C3%ADs%20Soria%20Johnny%20Danilo.pdf?sequence=1>

1.1.3.10. Desmagnetización.

Todos los materiales ferromagnéticos, después de que han sido magnetizados, retendrán un campo magnético residual, este campo magnético puede ser muy pequeño en metales suaves, pero en metales muy duros, este campo puede ser similar al campo de un imán permanente.

No siempre es necesario desmagnetizar las piezas, considerando el tiempo de este proceso y el costo, sin embargo existen casos en los que es necesario desmagnetizar las piezas luego del ensayo por partículas magnéticas.

Entre las razones por las que se aconseja desmagnetizar una pieza, se destacan las siguientes:

- a) Que el campo magnético residual, generado después del ensayo, pueda afectar la utilización de elementos de precisión.
- b) Que las virutas generadas al momento de mecanizar las piezas que han sido ensayadas, se adhieran a las superficie y puedan interferir en el acabado final de la pieza.
- c) Que el campo magnético residual generado luego del ensayo, puede afectar a la estabilidad del arco eléctrico, durante algunas operaciones de soldadura.
- d) Que puedan retener material abrasivo en la superficie, causando daños a elementos móviles.

- e) Debido al campo magnético residual, puede afectar a los terminados de las piezas (plaqueado o pintura), ya que pueden retener impurezas metálicas.

También existen casos en los que no es necesario desmagnetizar una pieza, entre las cuales se encuentran:

- a) Que el material sea de acero suave de baja retentividad.
- b) Que las piezas vayan a ser sometidas a un tratamiento térmico a una temperatura superior a la de Curie (770°C).
- c) Que el campo magnético residual no afectara al funcionamiento de la pieza ensayada.
- d) Que la pieza vaya a ser magnetizada en posteriores procesos de fabricación.

1.1.3.11. “Área de examinación.

Intensidad de luz para inspección: Las indicaciones magnéticas encontradas, usando partículas magnéticas no fluorescentes son examinadas bajo luz visible. Las indicaciones magnéticas encontradas, usando partículas magnéticas fluorescentes deben ser examinadas bajo luz negra (ultravioleta). Esto requiere un área oscurecida acompañado de un control de intensidad de luz visible.

- a) Intensidad de luz visible– La intensidad de la luz visible en la superficie de la parte/pieza de trabajo a ser examinada deber tener un mínimo de 100 pie-candela (1000 lux). La intensidad de luz visible ambiente en un área oscurecida cuando se está realizando inspección con partículas magnéticas fluorescentes no debe exceder los 2 pie-candela (20 lux).
 - Inspección de campo– Para algunas inspecciones de campo usando partículas no fluorescentes, las intensidades de luz tan bajas como 50 pies-candela (500 lux) pueden ser usadas cuando exista un convenio con la agencia que contrata el servicio.
- b) Intensidad de luz negra (Ultravioleta): La intensidad de luz negra en la superficie de examinación no debe ser menor que 100 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ cuando se mide con un fotómetro negro conveniente.

- Precalentamiento del a luz negra– Permita que la luz negra caliente un mínimo de 5 min. antes de su uso o medida de la intensidad de luz ultravioleta emitida.

El área de examinación debe mantenerse libre de cualquier tipo de ruido o interferencia. Si los materiales fluorescentes están envueltos, el área también debe mantenerse libre de objetos fluorescentes no relacionados a la parte/pieza a ser examinada.”¹²

1.1.3.12. Ventajas y Limitaciones de las Partículas Magnéticas.

Tabla 5. Ventajas y Limitaciones, Partículas Magnéticas.

Ventajas.	Limitaciones.
Requiere un menor grado de limpieza.	Las películas delgadas de pintura y otros recubrimientos no magnéticos afectan a la sensibilidad del ensayo.
Es un método más rápido y económico.	Solamente son aplicables a materiales ferromagnéticos.
Pueden revelar discontinuidades sub-superficiales.	No tienen una gran capacidad de penetración. (Máximo 6.35mm).
Portabilidad y adaptabilidad a muestras pequeñas o grandes.	Solamente detectan discontinuidades perpendiculares al campo.

Fuente: El Autor.

Seguridad.

No requiere precauciones de seguridad especiales, que no sean las normalmente requeridas cuando se trabaja con aparatos de bajo voltaje eléctrico. Se deben utilizar lentes de seguridad. Los relojes de pulsera, indicadores de campo y equipos similares se pueden ver adversamente afectados al estar expuestos a campos magnéticos fuertes.

¹² <http://es.scribd.com/doc/73834229/ASTM-E-709-01>

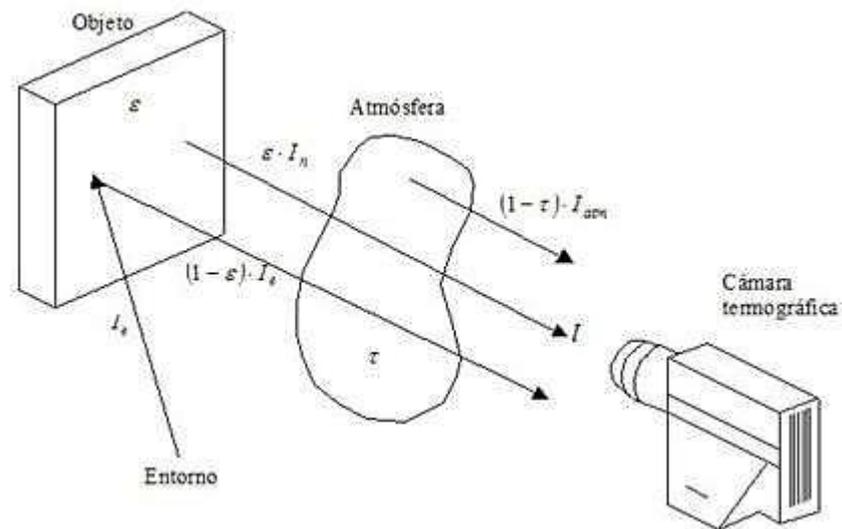
1.1.4. Termografía Industrial.

Este ensayo consiste en la detección de áreas calientes o frías de un objeto, mediante una cámara termografía, la cual detecta la emisión natural de radiación infrarroja procedente de un objeto y genera una imagen térmica, comúnmente llamada Termografía, donde se podrán detectar las discontinuidades existentes en dicho objeto, observando las variaciones de temperatura.

La energía infrarroja emitida por el objeto, es la suma de tres componentes:

- “La energía infrarroja, proveniente del objeto.
- La energía reflejada por dicho objeto.
- La energía emitida por el ambiente.”¹³

Figura 11. Inspección por Termografía Industrial.



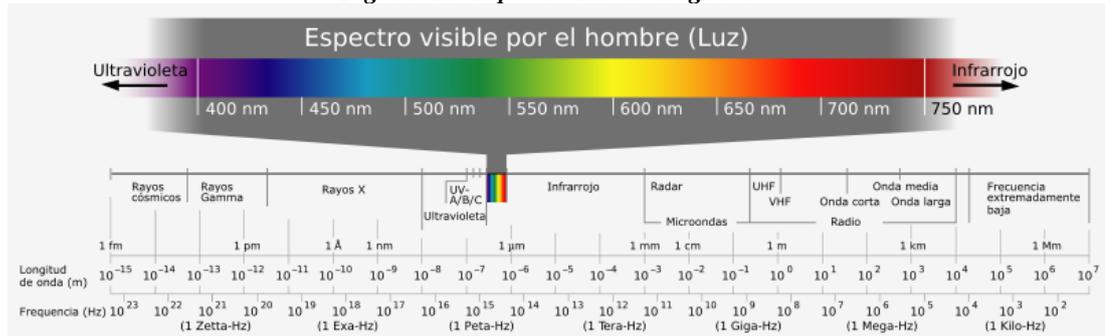
Fuente: <http://es.scribd.com/doc/36374268/Informe-de-Ensayos-No-Destructivos>

Todo cuerpo a temperatura superior al cero absoluto (-273.15 °C) emite radiación en forma de calor. La cantidad de radiación emitida es proporcional a la variación de temperatura del cuerpo.

Las radiaciones infrarrojas se encuentran entre las zonas visibles e invisibles del espectro electromagnético (longitudes de onda en el rango de 0.75 y 10 μm).

¹³ <http://es.scribd.com/doc/36374268/Informe-de-Ensayos-No-Destructivos>

Figura 12. Espectro Electromagnético.



Fuente: <http://cs-fs-primero.blogspot.com/2011/04/espectro-electromagnetico.html>

1.1.4.1. Aplicaciones.

Todos los objetos eléctricos, electrónicos o mecánicos sufren alteraciones en su temperatura debido principalmente a malos funcionamientos, falsos contactos, altas fricciones, rozamientos etc. Esta pérdida de calor no puede ser apreciada a simple vista por el ojo humano, por ello se utilizan equipos termográficos (Cámara Termográfica).

“Algunas de las aplicaciones de la termografía en el campo eléctrico son:

- Estado de conexiones, bornes y aisladores.
- Estudio e histórico de transformadores
- Estado de bobinados de motores / generadores, Armónicos, Inducciones,
- Desequilibrio de fases, etc...

Las principales aplicaciones de la termografía en sistemas mecánicos son:

- Análisis de motores y generadores.
- Análisis de rodamientos y poleas.
- Diagnóstico de estado de cojinetes.
- Diagnóstico en sistemas de transmisión.
- Desalineamientos.
- Estado de los lubricantes.
- Inspección de soldaduras.

Algunos casos típicos para los que se aplica la termografía son:

- Estado y estudio de válvulas.
- Detección de tuberías subterráneas.
- Nivel de líquido de tanques (y sólidos).
- Estudio de refractarios.
- Estudio de pérdidas térmicas.
- Fugas de vapor.
- Pérdidas de vacío.”¹⁴

1.1.4.2. Consideraciones para la Inspección.

- “La emisividad de un material depende en gran medida de la estructura de su superficie.
- Hay que tener en cuenta el ajuste correcto de emisividad según el recubrimiento en la superficie del objeto a medir.
- Evitar medir en superficies húmedas o superficies recubiertas de nieve o escarcha, ya que pueden distorsionar el resultado de la inspección, por lo que es una técnica de inspección superficial.
- Evitar medir sobre superficies sucias (polvo, hollín o lubricante), ya que pueden intervenir en el resultado de la inspección.
- Al realizar la inspección en superficies lisas, hay que tener en cuenta cualquier posible fuente de radiación cercana (el sol, radiadores, etc.)”¹⁵

1.1.4.3. Etapas Básicas de Inspección.

1. Selección de la Instalación a Inspeccionar.

Se debe contar con un programa de inspecciones termográficas, donde debe estar claramente identificado el alcance y los tipos de instalaciones a inspeccionar.

¹⁴ <http://ri.ues.edu.sv/165/1/10136159.pdf>

¹⁵ http://www.testosites.de/export/sites/default/thermalimaging/es_ES/local_downloads/testo_thermalimager_pocketguide.pdf

2. Preparación y conexión del equipo.

Se refiere a la puesta a punto del equipo, se debe verificar el correcto ajuste entre conexiones de la cámara, el sistema suministro de carga y el sistema de grabación de imágenes térmicas.

3. Identificación de parámetros operacionales.

Para una evaluación óptima de los resultados obtenidos durante la inspección, es importante conocer la temperatura y presión de operación de los elementos a inspeccionar, así como también características de diseño del sistema.

4. Calibración del equipo.

Es importante conocer la emisividad del material a inspeccionar, ya que debe ser introducido en el equipo, en el que viene incorporado una tabla con diferentes materiales y su valor.

5. Verificar que el mecanismo a inspeccionar este en operación.

Este tipo de inspección solo se realiza a elementos en funcionamiento. Deberá tomarse la siguiente información, ya que de esta dependerá la evaluación y análisis de los resultados de la inspección:

- Rango de temperaturas de operación del mecanismo.
- Tipo de fluido manejado.
- Rango de presiones normales de operación.

6. Aplicación del ensayo.

Se debe realizar un barrido por toda la superficie del mecanismo a inspeccionar haciendo énfasis en las zonas inferiores o críticas.

7. Emitir un Informe.

Se debe plasmar en un informe todos los resultados obtenidos, identificando claramente cuáles son los daños y problemas detectados, también se deberá identificar claramente la localización de los mismos y recomendaciones que amerite el caso, además deberán demarcarse en una fotografía a color la extensión de los daños.

8. Archivar la Información.

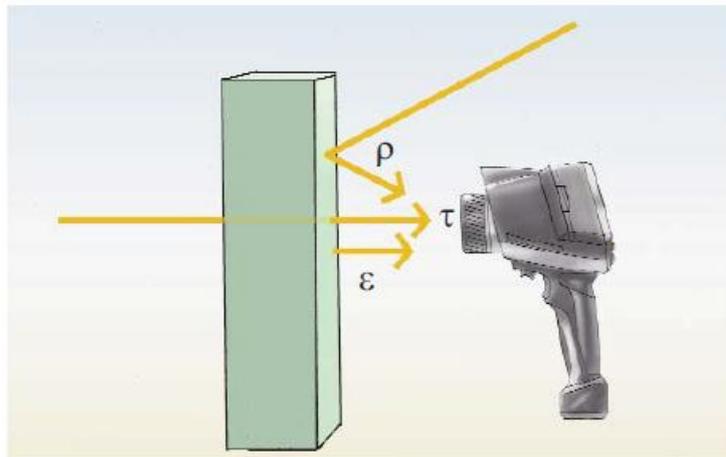
Esta información es muy útil para estudios estadísticos, análisis y comportamiento del índice de fallas por lo que el uso y manejo de esta información como herramienta fundamental para la aplicación del mantenimiento predictivo es de suma importancia por lo que es recomendable archivar copia de todos los reportes emitidos.

Resumido de: Mantenimiento Industrial. Termografía. <http://ubal.bligoo.com/mantenimiento-industrial-termografia>

1.1.4.4. Emisión, Reflexión, Transmisión.

La radiación registrada por la cámara termográfica consiste en la radiación de onda larga emitida, reflejada y transmitida que surge de los objetos presentes en el campo de visión de la cámara.

Figura 13. Emisión, Reflexión y Transmisión de la radiación infrarroja.



Fuente: Termografía, guía de bolsillo. TESTO.

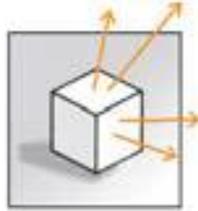
http://www.testosites.de/export/sites/default/thermalimaging/es_ES/local_downloads/testo_thermalimager_pocketguide.pdf

Emisividad (ϵ).

La emisividad es la capacidad de un material de emitir (propagar) radiación infrarroja. La emisividad es una propiedad de la superficie, material y en algunos de los casos de la temperatura del elemento a inspeccionar.

El factor de emisividad de los cuerpos normales es inferior a la unidad (100%), a diferencia de los cuerpos negros que es igual a 1.

Figura 14. Emisividad.



Fuente: Termografía, guía de bolsillo. "TESTO".

En la tabla 6, se encontrara el valor de emisividad de materiales comunes.

Tabla 6. Valores de Emisividad.

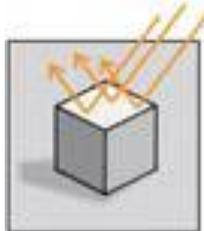
Material.	Emisividad.
Acero brillante	0.18
Acero Oxidado	0.85
Latón brillante	0.10
Latón Oxidado	0.61
Aluminio Brillante	0.05
Aluminio Oxidado	0.30
Cemento	0.90
Asfalto	0.90
Ladrillo Rojo	0.93
Grafito	0.85
Cloth	0.85

Fuente: http://www.landinst.es/infrarroja/descarga_de_ficheros/pdf/Termografia_Guia_Basica.pdf

Reflexión (ρ).

La reflexión es la capacidad de un material de reflejar la radiación infrarroja. La reflexión depende de la superficie, la temperatura y tipo de material. Las superficies lisas y pulidas presentan una mayor reflexión, que las superficies irregulares y sin pulir.

Figura 15. Reflexión.

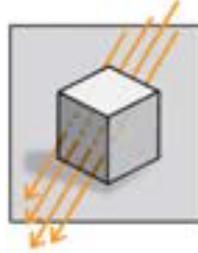


Fuente: Termografía, guía de bolsillo. TESTO.

Transmisión (τ).

La reflexión es la capacidad de un material de transmitir (permitir el paso) de la radiación infrarroja. La reflexión es una propiedad del tipo de material y de su espesor.

Figura 16. Transmisión.



Fuente: Termografía, guía de bolsillo. TESTO.

1.1.4.5. Técnicas de Termografía Infrarroja.

a) Termografía Pasiva.

La termografía pasiva permite inspeccionar piezas sin que estas sean sometidas a ningún tipo de calentamiento o enfriamiento externo para provocar un flujo de calor en la pieza. Es la propia pieza, por el hecho de estar involucrada en un proceso industrial que genere o elimine calor, la que produce un patrón de temperaturas. En esta situación, un defecto daría lugar a una distribución anormal de temperaturas.

Esta técnica será la aplicada en el Laboratorio de END de la UPS sede Cuenca.

b) Termografía Activa.

La termografía activa requiere de una estimulación externa de la pieza a inspeccionar para provocar un flujo de calor en dicha pieza. Un defecto interno puede alterar ese flujo, provocando una distribución anómala de la temperatura. Existen diferentes técnicas de termografía activa en función de cómo se realiza el calentamiento o enfriamiento externo de la pieza a inspeccionar:

- Termografía activa pulsada.
- Termografía de pulso largo.
- Termografía "lock-in".
- Termografía de fase pulsada.

1.1.4.6. Ventajas y Limitaciones de la Inspección Termográfica.

Tabla 7. Ventajas y limitaciones, Termografía Industrial.

Ventajas.	Limitaciones.
La inspección se realiza durante la operación normal de elementos e instalaciones.	Es limitada en la detección de defectos internos.
Permite la detección exacta del punto defectuoso en tiempo cuasi-real, lo que permite cuantificar la gravedad y repercusión del defecto además de programar las acciones necesarias de mantenimiento.	Requiere operarios con formación especializada y una amplia experiencia.
Ofrece resultados inmediatos mediante la obtención de una imagen térmica.	Requiere el empleo de programas informáticos, que suponen una inversión significativa.

Fuente: <http://es.scribd.com/doc/36374268/Informe-de-Ensayos-No-Destructivos>.

1.2. Técnicas de Inspección Volumétrica.

Mediante la aplicación de estas técnicas, es posible detectar discontinuidades internas, verificando la sanidad del material en todo su espesor. Existen varias tipos de estas técnicas, entre las cuales se describen las siguientes:

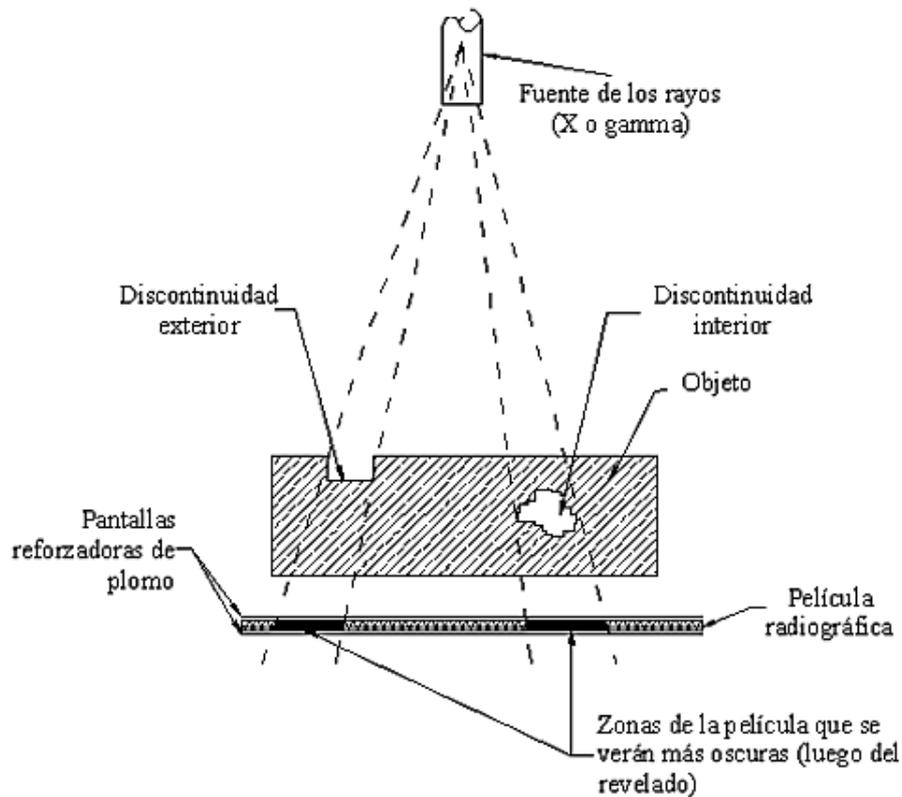
1.2.1. Radiografía Industrial

Este método es utilizado para detectar discontinuidades superficiales e internas de piezas de una amplia gama de materiales empleados en la industria.

El principio en el que se basa este método consiste en la capacidad que contienen los materiales de absorber una parte de la energía de radiación cuando son expuestos a esta. “Este método utiliza la radiación ionizante de alta energía que al pasar a través de un material sólido, parte de esta energía, es atenuada debido a diferencias de espesores, densidad o presencia de discontinuidades”¹⁶.

¹⁶ bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4630/1/CD-4260.pdf

Figura 17. Inspección por Radiografía Industrial.



Fuente: http://www.ing.unlp.edu.ar/aeron/catedras/archivos/RAYOS%20X_2006.PDF

“Las radiaciones ionizantes tienen la propiedad de producir iones al interactuar con la materia (desequilibrio eléctrico por desplazamiento de electrones).”¹⁷

Luego de aplicada la radiación ionizante, se obtiene un registro visual permanente, aprovechando su efecto fotoquímico sobre una película sensible (radiografía), de la sanidad interna del material inspeccionado.

Los rayos X y gamma son formas de radiación electromagnética, y presentan menores longitudes de onda, por lo que son altamente penetrantes en la materia.

La principal diferencia entre los rayos X y rayos gamma está en el origen de la radiación electromagnética, ya que mientras los rayos X son generados por un alto potencial eléctrico, los rayos gamma se producen por desintegración radioactiva de un núcleo atómico inestable, como por ejemplo: iridio 192, cobalto 60, y cesio 137.

¹⁷ http://www.ing.unlp.edu.ar/aeron/catedras/archivos/RAYOS%20X_2006.PDF

1.2.1.1. Propiedades de las radiaciones ionizantes¹⁸.

Algunas de estas propiedades pueden ser similares a las de la luz.

- Se propagan en línea recta y a la velocidad de la luz.
- Producen, en ciertas sustancias, fluorescencia y fosforescencia.
- Tienen acción sobre emulsiones fotográficas.
- No son afectados por campos eléctricos o magnéticos.
- No pueden ser desviados por lentes o prismas, pero si por medio de una red cristalina (difracción).
- Las longitudes de onda son muchísimo menores que las del espectro de la luz visible:

Tabla 8. Longitudes de onda.

Luz visible	3900 a 7700 Å
Rayos X	5 a 0,01 Å
Rayos Gamma	0,01 a 0,005 Å

Fuente: http://www.ing.unlp.edu.ar/aeron/catedras/archivos/RAYOS%20X_2006.PDF

- Atraviesan la materia, depende de la capacidad de penetración del material, y de la energía de los rayos.
- Al igual que la luz, pueden producir fenómenos de interferencia, polarización y difracción.
- Pueden deteriorar o destruir las células vivas y provocar alteraciones genéticas o cromosómicas.
- No son visibles ni pueden ser detectados por ninguno de nuestros sentidos (su presencia solo puede ser advertida mediante el uso de equipos detectores especiales). Esto junto a la propiedad anterior, constituye el mayor factor de riesgo del uso de radiaciones ionizantes.

1.2.1.2. Rayos X

Se pondrá más énfasis en este tipo de radiación ionizante ya que son los que se obtendrán en el equipo adquirido para el Laboratorio de END de la UPS sede Cuenca.

¹⁸ http://www.ing.unlp.edu.ar/aeron/catedras/archivos/RAYOS%20X_2006.PDF

“Los rayos X son ondas cortas que atraviesan espesores apreciables de materia opaca a la luz y proporciona imágenes de la estructura interna del cuerpo humano o cualquier material denso¹⁹”.

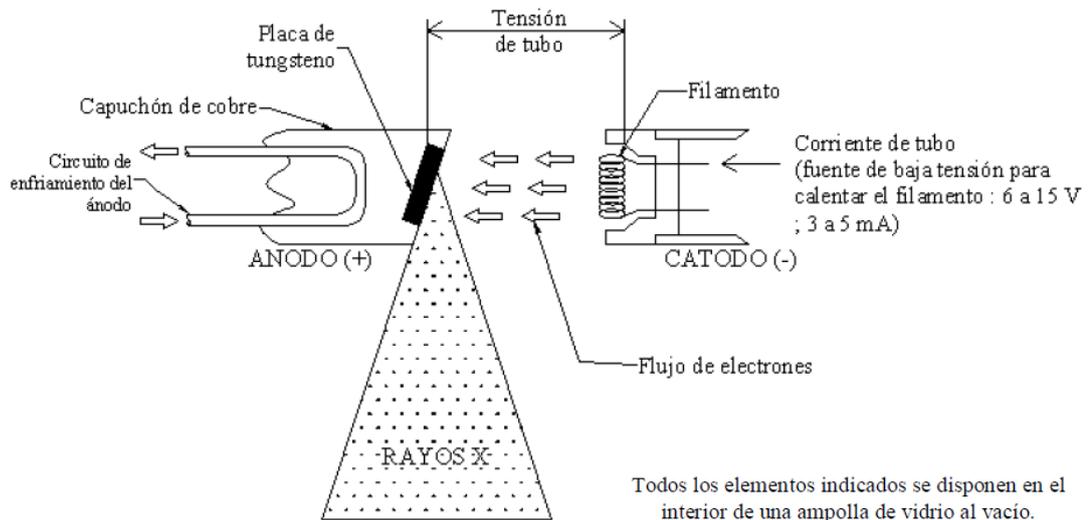
Entre sus propiedades más importantes se encuentran:

- “Causan Fluorescencia.
- Ennegrecen placas fotográficas.
- Son radiaciones de tipo electromagnético, pues no sufren desviaciones en campos eléctricos o magnéticos.
- Producen radiaciones secundarias en todos los cuerpos que atraviesan.
- Se propagan en línea recta (desde el punto focal) para todas las direcciones.
- Transforman gases en conductores eléctricos (ionización)”²⁰.

Los rayos X son producidos por un equipo de rayos X, que generalmente se conoce como, Tubo de rayos X, estos se generan por una desaceleración brusca que sufren los electrones que provienen del cátodo, al impactarse contra el ánodo.

Equipo de Rayos X

Figura 18. Esquema de un Tubo de Rayos X.



Fuente: http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/catedras/archivos/RAYOS%20X_2006.PDF.

¹⁹ Libro de Protección Radiológica_FUENTES DE RADIACION IONIZANTE_RAYOS X.

²⁰ Libro de Protección Radiológica_FUENTES DE RADIACION IONIZANTE_RAYOS X.

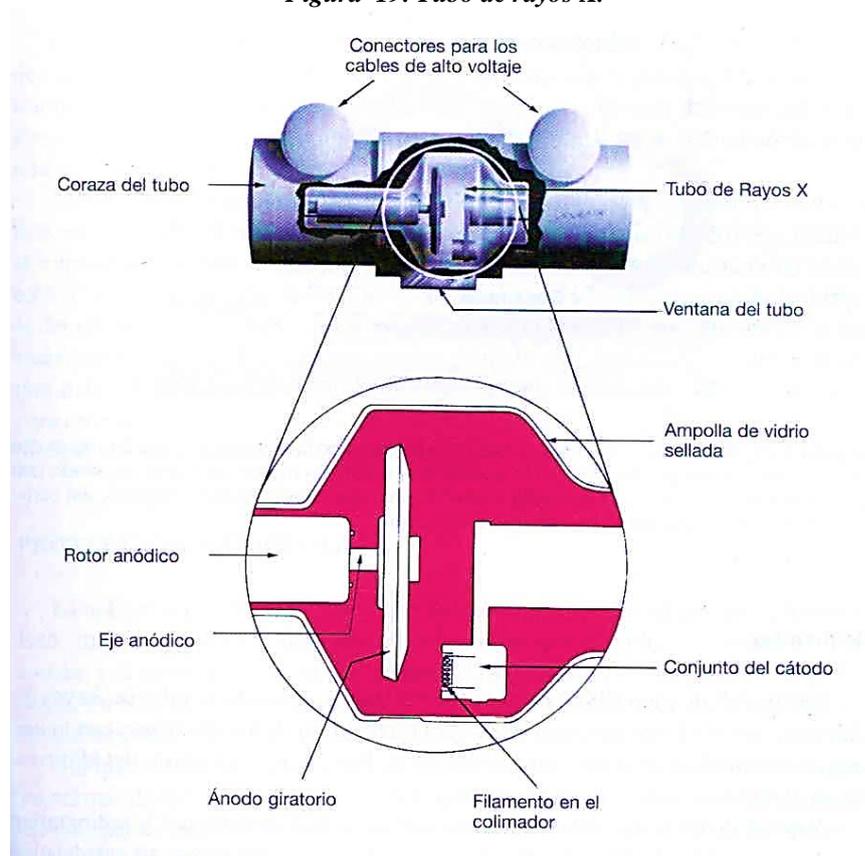
El equipo de rayos X consiste en proporcionar una intensidad suficiente y controlada del flujo de electrones para producir un haz de rayos X con la cantidad y calidad deseadas. El flujo de electrones se obtiene a partir del calentamiento de un material adecuado.

A continuación se describe las tres partes principales de las que consta un equipo de rayos X.

a) Tubo de Rayos X.

El tubo es el lugar donde se van a generar los rayos x, y consiste en una ampolla de vidrio al vacío, que se encuentra protegido por una carcasa recubierta de plomo, que lo hace inaccesible al operador que realiza la inspección y a cualquier persona en particular.

Figura 19. Tubo de rayos X.



Fuente: Libro de Protección Radiológica, FUENTES DE RADIACIÓN IONIZANTE, RAYOS X.

Las partes más importantes del tubo de rayos X, se describen a continuación.

- **Carcasa Protectora.** Cuando se producen los rayos X, estos son emitidos de forma Isotrópica, es decir con la misma intensidad en todas las direcciones. Solo se emplean los que constituyen el haz útil, que emergen

a través de una sección de cristal fino de aproximadamente 5cm² denominada ventana. Por ello el tubo consta de una carcasa protectora que tiene un recubrimiento de plomo y su función principal es la de controlar la exposición excesiva a la radiación que generaran los haces no utilizados y también a un posible peligro de descarga eléctrica.

También proporciona un soporte mecánico al tubo, protegiéndole de daños causados por la mala manipulación del mismo.

- **Envoltura de cristal.** Es la envoltura donde se encuentran los componentes del tubo, y está construido de un material (cristal pyrex), que pueda soportar las altas temperaturas que se producen al generar los rayos X. “Si éste estuviese lleno de gas, disminuiría el flujo de electrones desde el cátodo hacia el ánodo, se producirían menos rayos X y se crearía más calor”²¹, por lo que se debería mantener un vacío en su interior evitando de esta manera la colisión con las partículas de aire que podrían generar pérdidas de energía.
- **Cátodo (-).** Es un filamento de tungsteno, por el cual circula una corriente eléctrica, de tal manera que se calienta hasta el punto de liberar electrones, los cuales permanecerán en órbita hasta que alguna fuerza externa los haga salir de la misma, desplazándoles hacia una sola dirección, generando un flujo de electrones.
- **Ánodo (+).** Esta construido de un material de alto punto de fusión, generalmente cobre, y es en el cual se hará chocar el flujo de electrones provenientes del cátodo a gran velocidad, produciendo de esta manera los rayos X, dando lugar a una gran emisión de calor debido a las perturbaciones atómicas producidas.

Para realizar la aceleración del flujo de electrones se aplica una diferencia de potencial de varios miles de voltios entre cátodo y ánodo (Tensión de Tubo), para que los electrones se dirijan en dirección a la placa anódica a gran velocidad.

²¹ Libro de Protección Radiológica, FUENTES DE RADIACIÓN, IONIZANTE RAYOS X.

Importante.

1. A mayor temperatura del filamento, mayor emisión de electrones. Por ende, la salida de Rayos X es proporcional a la corriente de tubo.
2. A mayor tensión de tubo, mayor será la velocidad de los electrones que impactan contra la placa anódica. El resultado es una menor longitud de onda y por ende una mayor penetración de los rayos X en el material. Estos son usados para la inspección de materiales de grandes espesores y/o densidades más elevadas.

Resumido de: http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/catedras/archivos/RAYOS%20X_2006.PDF.

b) “Consola de Control.

La consola del operador, es el aparato que permite comprobar la corriente y la tensión del tubo de rayos X, de forma que el haz útil tenga la intensidad y la capacidad de penetración apropiadas, para obtener una radiografía de buena calidad.

c) Sección de Alta tensión (Generador).

La sección de alta tensión de una máquina de rayos X, es la responsable de convertir el voltaje bajo que facilita la compañía eléctrica, en kilovoltaje con la forma de onda apropiada. La sección o generador de alta tensión, suele estar ubicada en una gran caja metálica, en una esquina de la sala de rayos X. El generador de alta tensión, contiene tres partes principales: transformador elevador de alta tensión, transformador de filamento y rectificadores; todos estos componentes están sumergidos en aceite. Aunque en esta sección se genera algo de calor, el aceite se usa fundamentalmente para fines de aislamiento eléctrico”²².

1.2.1.3. Aplicaciones.

Las propiedades particulares de la radiografía facilitan su aplicación a nivel industrial, médico y de investigación.

- Esta técnica se utiliza para realizar el control de calidad de procesos de fabricación como fundiciones, soldaduras, forjas, etc. También es utilizado para detectar discontinuidades internas tales como grietas, socavados, falta de fusión, etc.

²² Libro de Protección Radiológica, FUENTES DE RADIACIÓN IONIZANTE, RAYOS X.

- En mantenimiento de elementos y piezas que se encuentran en funcionamiento.

1.2.1.4. Etapas de Inspección por Radiografía Industrial.

1. Conocer las características del material a inspeccionar, para seleccionar el kilovoltaje adecuado para la inspección.
2. Se deberá calcular las distancias entre la fuente de radiación, el objeto a inspeccionar y la película radiográfica, para un registro óptimo de la radiación que pasa a través del material.
3. Se ubica el emisor de radiación a la distancia calculada, se coloca la película en el lugar correspondiente, y se realiza el disparo, emitiendo radiación sobre el material, durante un tiempo previamente calculado.
4. Una vez que el elemento a inspeccionar ha sido sometido a radiación ionizante, se retira la película y se realiza el revelado correspondiente, comprobando que la imagen sea la deseada.
5. Luego se realiza la interpretación de los resultados obtenidos, utilizando una fuente de iluminación con intensidad adecuada.
6. Se realiza un informe de dichos resultados, con la interpretación correspondiente de las discontinuidades presentes en el material inspeccionado.

1.2.1.5. Ventajas y Limitaciones.

Tabla 9. Ventajas y Limitaciones, Radiografía Industrial.

Ventajas.	Limitaciones.
Es una excelente técnica de inspección.	Requiere el cumplimiento de estrictas normas de seguridad.
Se obtiene un registro permanente.	Es una técnica de inspección costosa.
Es utilizado en la mayoría de materiales metálicos y en algunos cerámicos y polímeros.	Requiere de instalaciones especiales. (área de exposición, equipo de seguridad y un cuarto oscuro para el revelado de la película)
Determina el tipo, tamaño y ubicación de la discontinuidad con exactitud.	Requiere personal altamente capacitado, calificado y con experiencia.
De gran utilidad para realizar un mantenimiento correctivo.	El elemento a inspeccionar debe tener acceso por lo menos dos lados.

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/751/1/CD-1160.pdf>

Seguridad

El establecimiento de medidas que garanticen la protección de los trabajadores expuestos y el público en general contra riesgos resultantes de la exposición a las radiaciones ionizantes, es de suma importancia, debido a los altos riesgos a los que se está expuesto.

Una persona puede estar sometida a la acción y los efectos de las radiaciones ionizantes (persona expuesta), de varias maneras:

- **“Externa:** Exposición del organismo a fuentes exteriores a él.
- **Interna:** Exposición del organismo a fuentes interiores a él.
- **Total:** Suma de las exposiciones externa e interna.
- **Continua:** Exposición externa prolongada, o exposición interna por incorporación permanente de radio nucleídos, cuyo nivel puede variar con el tiempo.
- **Única:** Exposición externa de corta duración o exposición interna por incorporación de radio nucleídos en un corto periodo de tiempo.
- **Global:** Exposición considerada como homogénea en el cuerpo entero.
- **Parcial:** Exposición sobre uno o varios órganos o tejidos, sobre una parte del organismo o sobre el cuerpo entero, considerada como no homogénea.”²³

Tabla 10. Limitación de dosis Individual.

ÓRGANO.	DOSIS MÁXIMA PERMITIDA.
Cuerpo entero, gónadas, medula ósea	5 rem/año 3 rem/trimestre
Hueso, piel de todo el cuerpo, tiroides	30 rem/año 15 rem/trimestre
Manos, antebrazo, pies, tobillos	75 rem/año 40 rem/trimestre
Todos los otros órganos	15 rem/año 8 rem/trimestre
Personal femenino en edad reproductiva	1.25 rem/trimestre
Mujer en estado de gravidez	1 rem /período de embarazo
Miembros del público en general	10 % de los límites establecidos para el POE

POE: Personal Ocupacional Expuesto.

Fuente: Libro de Protección Radiológica. PROTECCIÓN.

²³ http://www.uca.es/serv/prevencion/higiene/inst_radioac/NTP_614.PDF

En 1990 la Comisión Internacional de Protección Radiológica emitió sus nuevas recomendaciones para los límites de dosis ocupacional y para el público.

Tabla 11. Límites de dosis Ocupacional y para el Público.

APLICACIÓN.	OCUPACIÓN	PUBLICO
Dosis efectiva	20 mSv/año	1 mSv/año
Dosis equivalente anual		
Cristalino	150 mSv	15 mSv
Piel	500 mSv	50 mSv
Manos y pies	500 mSv	
Mujer embarazada	2 mSv/período de embarazo	

1 Sv = 100 rem

1 rem = 10 mSv

Fuente: Libro de Protección Radiológica. PROTECCIÓN.

Las enfermedades causadas por una sobre exposición de radiación ionizante se detallan en la tabla a continuación:

Tabla 12. Límites de dosis Ocupacional y para el Público.

DOSIS (Rem)	EFFECTOS
0 -50	Efectos no detectables inmediatamente
30-120	Náuseas y vómitos por un día. Fatiga por tiempo variable Efectos tardíos.
130-160	Enfermedades manifiestas. Síntomas de vómitos y fatiga persistente por tiempo variable. Efectos tardíos.
180-220	Mortalidad en un 5%. Difícil recuperación total. Efectos tardíos.
270-330	Lo mismo que lo anterior. Síntomas más acentuados.
400-750	Mortalidad en un 100%

Fuente: Libro de Protección Radiológica. PROTECCIÓN.

Para la práctica de Radiografía Industrial, se aplicarán las restricciones de dosis efectiva siguiente:

- 10 mSv por año para trabajadores que cumplan una jornada laboral de ocho horas o la parte proporcional a este valor cuando la jornada sea menor;
- 0.5 mSv por año para miembros del público²⁴.

²⁴ http://www.medioambiente.cu/oregulatoria/cnsn/Docs/Res_12_2004.pdf

Normas Generales de Protección Radiológica

- a. Colocar avisos de precaución en las puertas de ingreso a las zonas controladas
- b. Toda persona ocupacionalmente expuesta deberá portar un dosímetro personal que permita determinar las dosis recibidas en el desempeño de sus actividades y deberá mantenerse un registro de las mismas.
- c. El personal que trabaja en contacto directo con radiaciones ionizantes deberá someterse anualmente a un examen médico laboral.
- d. Ninguna persona menor de 18 años podrá trabajar en contacto directo con radiaciones ionizantes.
- e. Toda operación que involucre exposición a las radiaciones, deberá ser realizada por personas debidamente instruidas en los procedimientos de operación y reglas de seguridad, que demuestren ser competentes en el uso de dicho equipo o material y porten la licencia de protección radiológica correspondiente.

Tabla 13. Elementos de Protección Radiológica.

MATERIAL	PROPÓSITO
Cinta adhesiva de precaución, tizas y señales.	Delimitar el área y prevenir al personal
Fundas de plástico de varios tamaños	Cubrir los zapatos, contenedores y para almacenar material de desecho
Cinta adhesiva (masking tape)	Ajustar y adherir la cubierta de plástico a los zapatos y para cualquier otra actividad que se requiera.
Instrumentos mecánicos, tenazas largas	Manejo seguro de material contaminado (esponja, papel, etc.)
Etiquetas: varias leyendas	Identificación
Papel filtro	Pruebas de contaminación.
Tijeras	Cortar papel, etiquetas, etc.
Cera, vinil, concreto, etc.	Cubrir el área contaminada.
Detector de radiaciones	Medición de la radiación.

Fuente: Libro de Protección Radiológica. PROTECCIÓN.

- f. Toda instalación que use radiaciones ionizantes, deberá poseer licencia de protección radiológica. Para obtenerla deberá presentar una solicitud a la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica (CEEAA), adjuntando los planes de operación normal dentro de la instalación, los planes de operación en caso de emergencia radiológica (accidente o incidente) y gestión de desechos

radiactivos, etc., en el caso de tratarse de instalaciones que utilizan fuentes radiactivas.

- g. Todo licenciatarario está en la obligación de comunicar a la CEEA, cualquier traslado, venta o arrendamiento de material radiactivo o máquina generadora de radiación, así como también presentar la contabilidad semestral del uso de material radiactivo.
- h. Si miembros del público ingresan a zonas controladas, éstos deberán acatar las normas de protección que se apliquen para permanecer en esta zona.

Tabla 14. Material de Descontaminación.

MATERIAL	PROPÓSITO
Papel absorbente	Cubrir y limpiar el área contaminada.
Guantes plásticos desechables	Protección de las manos
Radiacwash, jabón o detergente	Lavar el área contaminada
Pinzas	Evitar contacto directo con materiales contaminados
Fundas plásticas	Colocar el material contaminado

Fuente: Libro de Protección Radiológica. PROTECCIÓN.

Simbología²⁵.

El símbolo de radiación internacional es el adoptado en este reglamento y consiste en 3 hojas en forma de trébol, de color magenta o púrpura sobre fondo amarillo.

Figura 20. Simbología Radiación.



Fuente: Libro de Protección Radiológica. REGLAMENTO.

Además de este símbolo, deberán añadirse las señales de precaución correspondientes a cada área donde se genere o emita radiación; así mismo, todo envase de material radiactivo deberá llevar una etiqueta que identifique a una fecha determinada sus características: Nombre del radioisótopo, período de semi-desintegración, actividad o tasa de exposición.

²⁵ Libro de Protección Radiológica_REGLAMENTO.

1.2.2. Ultrasonido

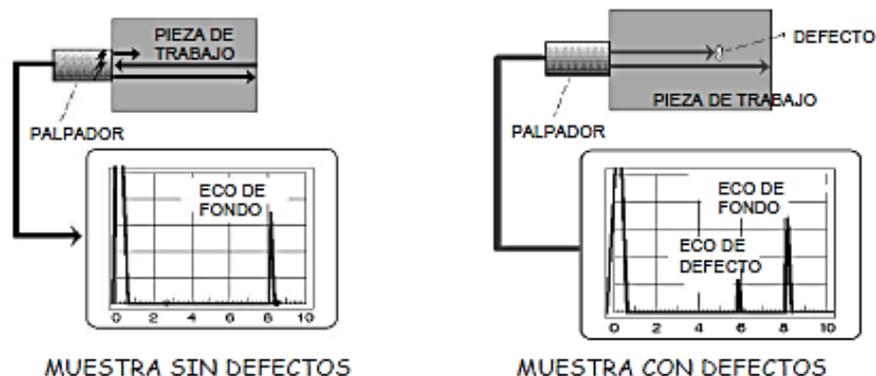
Esta técnica se basa en el uso de una onda acústica de alta frecuencia que no es perceptible por el oído humano, que se transmite a través de un medio físico (palpador), para la detección de discontinuidades internas y superficiales o para medir espesores de paredes.

Las ondas utilizadas son ondas mecánicas, las cuales consisten en vibraciones de las partículas atómicas o moleculares, de un material, alrededor de sus posiciones de equilibrio.

El tipo de discontinuidad a detectar depende del palpador utilizado, de las frecuencias que para que sean ultrasónicas deben estar dentro de un rango de 0.25 a 25 MHz. Dentro del palpador se encuentra un cristal o un cerámico piezoeléctrico, que, al ser excitado eléctricamente y por efecto piezoeléctrico, hace vibrar a el palpador a altas frecuencias, generando estas ondas ultrasónicas, las cuales son transmitidas al material que se desea realizar la inspección.

Las ondas ultrasónicas generadas se propagan a través del material hasta que se encuentran con alguna interface, como una discontinuidad o algún otro material, y es cuando se produce una reflexión de la onda, la cual es amplificada e interpretada en el equipo de medición utilizado.

Figura 21. Ensayo por ultrasonido.



Fuente: http://jmcacer.webs.ull.es/CTMitop/Practicas%20Laboratorio_archivos/END.pdf

1.2.2.1. Aplicaciones.

La técnica de inspección por ultrasonido, ha sido, en los últimos años, muy utilizado en el área médica, como también en el campo industrial, naval, aeronáutico.

En el campo industrial su aplicación se da principalmente en:

- Detección y caracterización de discontinuidades en el interior de materiales.
- Medición de espesores, extensión y grado de corrosión presente en un elemento o pieza.
- Determinación de características físicas.
- Características de enlaces entre materiales²⁶.

1.2.2.2. Palpadores (Transductores).

Es un dispositivo mediante el cual la energía eléctrica se convierte en energía mecánica (ondas sonoras), o viceversa. Es de vital importancia en la inspección ya que de este dependen las características del haz ultrasónico que se propaga en el material.

Estos dispositivos operan debido al efecto piezoeléctrico, el cual consiste en que ciertos cristales cuando se tensionan, se polarizan eléctricamente y generan voltaje eléctrico entre las superficies opuestas. Esto es reversible en el sentido de que al aplicar un voltaje a través las caras de un cristal, se produce una deformación del mismo. Este efecto microscópico se origina por las propiedades de simetría de algunos cristales.²⁷

Figura 22. Diversos tipos de palpadores utilizados en la industria.



Fuente: <http://ri.ues.edu.sv/165/1/10136159.pdf>

Existen diversos materiales piezoeléctricos, los cuales su utilización dependerá de la necesidad de la inspección. A continuación se muestran algunas tablas de algunos de estos materiales con sus respectivas características.

²⁶<http://es.scribd.com/doc/105822227/Curso-de-Ultrasonido-Nivel-I-y-II>

²⁷ <http://ri.ues.edu.sv/165/1/10136159.pdf>

Tabla 15. Características de los materiales Piezoeléctricos.

Material	Eficiencia como transmisor	Eficiencia como receptor	Sensibilidad	Poder de resolución	Características mecánicas
Cuarzo	Mala	Mediana	Escasa	Optima	Buena
Sulfato de litio	Mediana	Buena	Buena	Optima	Soluble en agua
Titanato de bario	Buena	Mediana	Optima	Mediana	Frágil
Metaniobato de bario.	Buena	Mediana	Optima	Optima	Buena
Zirconato titanato de plomo	Buena	Mediana	Optima	Mediana	Buena

Fuente: <http://ri.ues.edu.sv/165/1/10136159.pdf>

Estos materiales también presentan ciertas ventajas y desventajas, las cuales se muestran en la tabla siguiente.

Tabla 16. Características de los materiales Piezoeléctricos.

Material	Ventajas	Desventajas
Cuarzo	Se obtiene a partir de cristales naturales. Posee excelentes características estabilidad térmica, química y eléctrica. Es muy duro y resistente al desgaste así como al envejecimiento.	Sufre interferencias en el modo de conversión Es el menos eficiente de los generadores de energía acústica. Requiere alto voltaje para su manejo a bajas frecuencias. Se debe emplear a temperaturas menores de 550 °C, pues por arriba de ésta pierde sus propiedades piezoeléctricas.
Sulfato de Litio	Receptor más eficiente. Facilidad de obtener una amortiguación acústica óptima. Mejor poder de resolución. No envejece. Es poco afectado por la interferencia en el modo de conversión.	Es muy frágil Soluble en agua Se debe emplear a temperaturas menores de 75 °C.
Cerámicos Polarizados	Se obtienen por sinterización y se polarizan durante el proceso de fabricación. Se consideran como los generadores más eficientes de energía ultrasónica cuando operan a bajos voltajes de excitación. Prácticamente no son afectados por la humedad Algunos pueden emplearse hasta temperaturas de 300 °C.	Resistencia mecánica relativamente baja. En algunos casos existe interferencia en el modo de conversión. Presentan tendencia al envejecimiento. Además poseen menor dureza y resistencia al desgaste que el cuarzo.

Titanato de Bario	Es un buen emisor debido a su elevado modulo piezoeléctrico.	Problemas de acoplamiento y amortiguación. Su empleo está limitado a frecuencias menores de 15 MHz, debido a su baja resistencia mecánica y alta impedancia acústica.
Metaniobato de Bario	Presenta un módulo piezoeléctrico elevado lo que lo califica como buen emisor. Posee excelente estabilidad térmica, similar al cuarzo, lo que le permite ser empleado a altas temperaturas. Posee un elevado coeficiente de amortiguación interna, por lo que se considera como el mejor material para generar impulsos cortos.	Presenta una baja frecuencia fundamental y una mala resistencia mecánica, por lo que se aplica principalmente a frecuencias altas. Presenta interacción entre varios modos de vibración.
Zirconato Titanato de Plomo.	Se considera como el mejor emisor por su alto modulo piezoeléctrico.	Es el más difícil de amortiguar por su alto coeficiente de deformación. Se recomienda su empleo cuando existen problemas de penetración.

Fuente: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/7897/1/CD-4734.pdf>

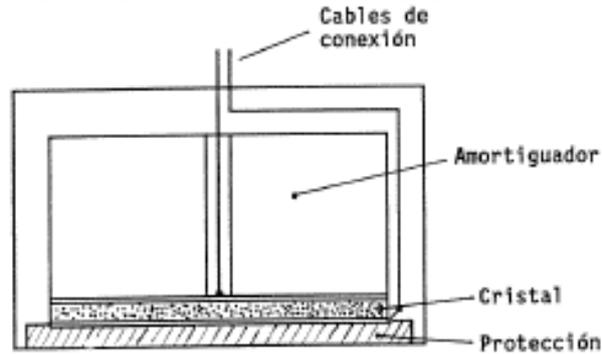
1.2.2.2.1. Tipos de Palpadores.²⁸

- a) Palpador de contacto o Palpadores de haz recto. Se coloca directamente en la superficie de prueba aplicando presión y un medio de acoplamiento. Se fabrica para inspecciones de haz recto. Para proteger el transductor de la abrasión, generalmente se cubre con un material duro como el óxido de aluminio.

Emite ondas longitudinales con frecuencias de 0.5 a 10 MHz. Se emplea generalmente para la inspección de piezas en las que se puede colocar directamente la unidad de prueba sobre el área de interés, las discontinuidades son paralelas a la superficie de contacto. También es útil en la detección de discontinuidades y en la medición de espeso

²⁸ <http://ri.ues.edu.sv/165/1/10136159.pdf>

Figura 23. Esquema que muestra en detalle el palpador de contacto.



Fuente:http://www.idepa.es/sites/web/idepaweb/Repositorios/galeria_descargas_idepa/EnsayosNoDestructivosUltras.pdf

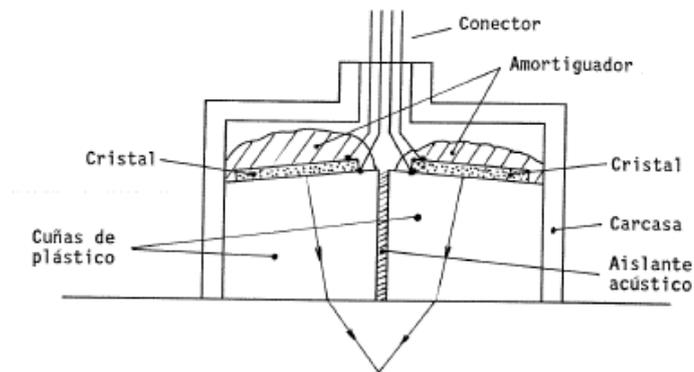
Figura 24. Propagación de la onda Ultrasónica.



Fuente: <http://ri.ues.edu.sv/165/1/10136159.pdf>

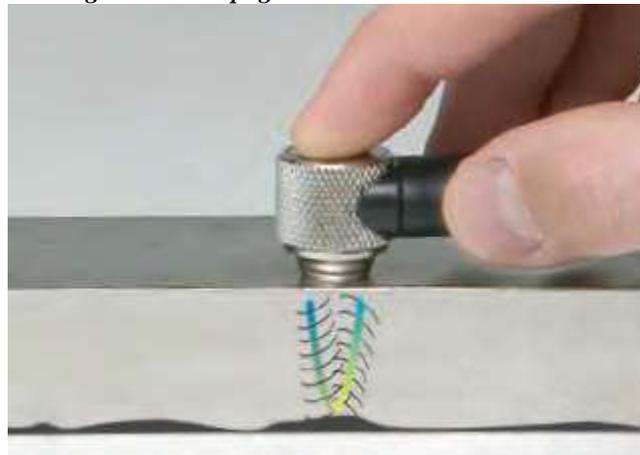
- b) Palpador de elemento dual. Consiste en dos cristales que emiten ondas longitudinales (una transmisora y una receptora) encapsulados en la misma pieza y aisladas una de la otra por una barrera acústica. Los cristales se encuentran en un ángulo determinado uno del otro de modo tal que la señal rebote al alcanzar el final de la pieza analizada con un patrón en forma de V. Los palpadores de elemento dual generalmente ofrecen lecturas más consistentes en partes corroídas, y también puede ser usado en ambientes con alta temperatura.

Figura 25. Esquema que muestra en detalle el palpador de Elemento Dual.



Fuente: http://www.idepa.es/sites/web/idepaweb/Repositorios/galeria_descargas_idepa/EnsayosNoDestructivosUltras.pdf

Figura 26. Propagación de la onda Ultrasónica.

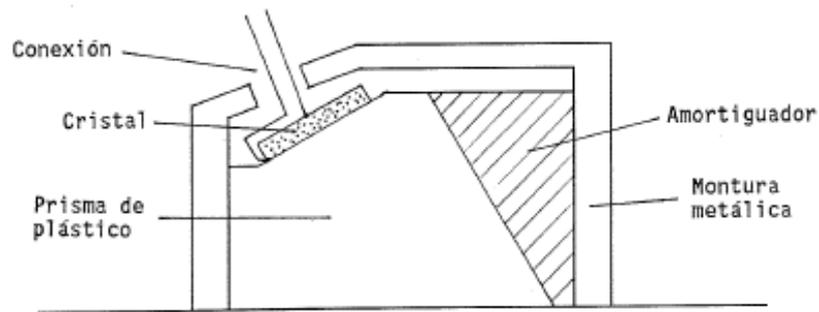


Fuente: <http://ri.ues.edu.sv/165/1/10136159.pdf>

- c) Palpadores de incidencia angular. Genera ondas de corte, de superficie y de placa. Se construye acoplando una unidad de haz recto a una de las caras de una zapata de plástico, al cual presenta determinado ángulo de refracción. Se emplean los equipos de pulso eco y su aplicación es casi exclusiva en la detección de discontinuidades orientadas perpendicularmente a la superficie de prueba.

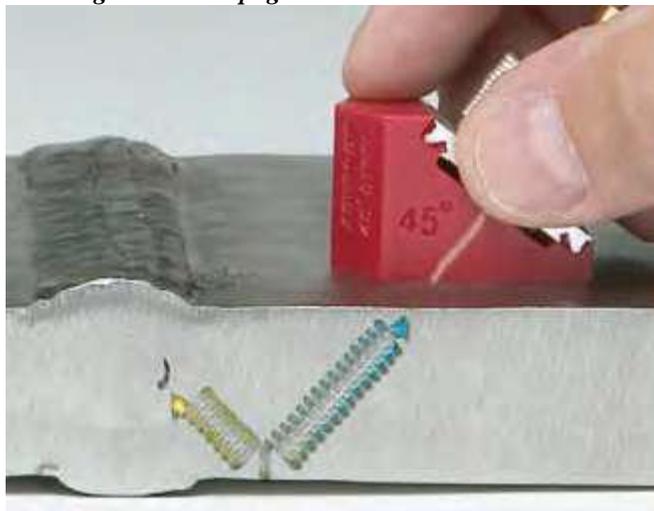
Tienen marcado en la zapata el ángulo de refracción del sonido dentro del material de prueba, los ángulos comerciales para el acero son 35, 45, 60, 70, 80, 90 grados.

Figura 27. Esquema que muestra en detalle el palpador de Elemento Dual.



Fuente: http://www.idepa.es/sites/web/idepaweb/Repositorios/galeria_descargas_idepa/EnsayosNoDestructivosUltras.pdf

Figura 28. Propagación de la onda Ultrasónica.



Fuente: <http://ri.ues.edu.sv/165/1/10136159.pdf>

1.2.2.2.2. Selección del Palpador.

Antes de iniciar la inspección por ultrasonido es importante seleccionar el palpador más adecuado, ya que de este depende la facilidad y la calidad de la inspección.

A continuación se presentan los factores a ser tomados en cuenta para la selección de un palpador:

- Número de elementos piezoeléctricos.
- El tipo de inspección.
- El diámetro del elemento piezoeléctrico.
- La frecuencia de emisión.
- En su caso el ángulo de refracción.
- El tipo de banda.

- El tipo de protección antidesgaste.²⁹

Existen normas que establecen las condiciones mínimas que deben cumplir los Palpadores.

1.2.2.3. Líquido Acoplante.

Es necesaria la aplicación de líquido acoplante, con el objetivo de eliminar la delgada capa de aire entre el palpador y la superficie del elemento a inspeccionar, ya que el aire presenta una elevada impedancia acústica que dificultaría la transmisión del haz ultrasónico.

Entre las características más importantes del líquido acoplante tenemos:

- Viscosidad adecuada.
- Humectabilidad. (capaz de mojar la superficie y el palpador)
- Baja atenuación. (que el sonido se transmita al 100%)
- Bajo costo.
- Removible.
- No toxico.
- No corrosivo.
- Impedancia acústica adecuada.³⁰

La utilización de un acoplante es de mucha importancia al momento de realizar una inspección por ultrasonidos, entre los más utilizados tenemos:

- Agua
- Aceite
- Grasa
- Glicerina
- Vaselina
- Propilenglicol
- Aceite de Silicón.³¹

El agua y las preparaciones acuosas como puede ser el engrudo, son muy buenos acoplantes, pero pueden oxidar la superficie de la pieza.

²⁹ <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/751/1/CD-1160.pdf>

³⁰ <http://ri.ues.edu.sv/165/1/10136159.pdf>

³¹ <http://ri.ues.edu.sv/165/1/10136159.pdf>

La glicerina es muy buen conductor, pero presenta el inconveniente de que no moja bien la superficie de los materiales a ensayar, pero son muy utilizados, sobre todo en superficies con acabado fino.

Los acoplantes más utilizados son las grasas y los aceites minerales de diversos grados de viscosidad. Cuanto mayor sea la rugosidad superficial, mayor debe ser la viscosidad del aceite.

Para ensayos en caliente se pueden utilizar aceites de elevado punto de ebullición, superior a 300° o silicona, a pesar de su elevado precio.³²

1.2.2.4. Bloques de Calibración.

Un correcto procedimiento de ensayo mediante ultrasonido, señala que no se debe iniciar la inspección sin antes haber ajustado el conjunto equipo-palpador. Este conjunto deberá ser ajustado cada vez que se produzca una variación fundamental en la inspección, como puede ser el cambio de palpador o la calidad del material a ensayar.

Es adecuado realizar el ajuste del conjunto cada dos horas,³³ si no existen modificaciones fundamentales en la inspección. Este ajuste se realiza mediante la utilización de bloques de calibración.

Los patrones de referencia pueden ser un bloque o juego de bloques con discontinuidades artificiales y/o espesores conocidos. Que son empleados para calibrar equipos de ultrasonido y para evaluar las indicaciones de las discontinuidades de la muestra inspeccionada.

³²http://www.idepa.es/sites/web/idepaweb/Repositorios/galeria_descargas_idepa/EnsayosNoDestructivosUltras.pdf

³³http://www.idepa.es/sites/web/idepaweb/Repositorios/galeria_descargas_idepa/EnsayosNoDestructivosUltras.pdf

Figura 29. Bloque de calibración.



Fuente: <http://ri.ues.edu.sv/165/1/10136159.pdf>

Los bloques de calibración deben de tener las mismas propiedades físicas, químicas y de estructura que el material a inspeccionar.

Por medio de los bloques de calibración haremos:

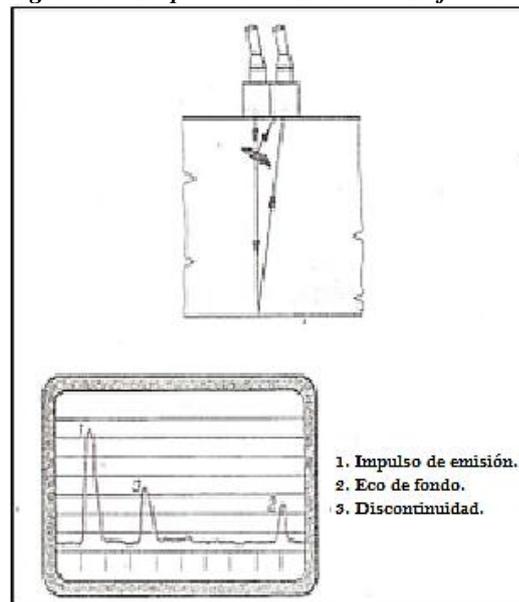
- a. Verificar que el sistema compuesto por el transductor, cable coaxial y el equipo funciona correctamente.
- b. Fijar la ganancia o la sensibilidad con la cual se detectará las discontinuidades equivalentes a un tamaño especificado o mayores.

1.2.2.5. Procedimiento del Ensayo por Ultrasonido.

1. Calibración inicial del equipo de acuerdo con el elemento a inspeccionar. La calibración debe hacerse periódicamente cada dos horas o cada vez que se cambia el palpador, para eliminar errores al momento de realizar la inspección, del equipo y los palpadores utilizados.
2. Preparación de la superficie de la pieza a inspeccionar, con el propósito de garantizar un acople perfecto entre el palpador y la pieza.
3. Aplicación del acoplante sobre la superficie a inspeccionar. Existen diferentes tipos de acoplante, en los cuales se deberá seleccionar el más adecuado de acuerdo a nuestra necesidad.

4. Acople del palpador (transductor) con la superficie del elemento a inspeccionar. Existen diferentes tipos de palpadores, se deberá seleccionar el más adecuado dependiendo de la necesidad.
5. Realizar la inspección. Se debe guiar el palpador en diferentes orientaciones para encontrar posibles discontinuidades en el elemento inspeccionado. Aquí se determinaran las posiciones de inspección, zonas de espesor a checar y cualquier otra forma relativa de inspección.

Figura 30. Inspección de Elemento Defectuoso.



Fuente: <http://www.ginersg.org/TECNOLOGIA/T.Industrial%20II/Ensayos%20no%20destruictivos.pdf>

pdf

En la mayoría de los casos el equipo de inspección acusa:

- Un pico correspondiente al impulso de emisión.
 - Una sucesión de pequeños picos debidos a imperfecciones superficiales de las caras.
 - Eventualmente un pico debido al eco de una discontinuidad.
 - Un pico debido al eco de fondo.
6. Interpretación y registro de los resultados obtenidos. Es de mucha importancia tener el registro de los resultados obtenidos, con las discontinuidades y su ubicación para una inspección posterior, luego de que el elemento se haya sometido a algún proceso de corrección.

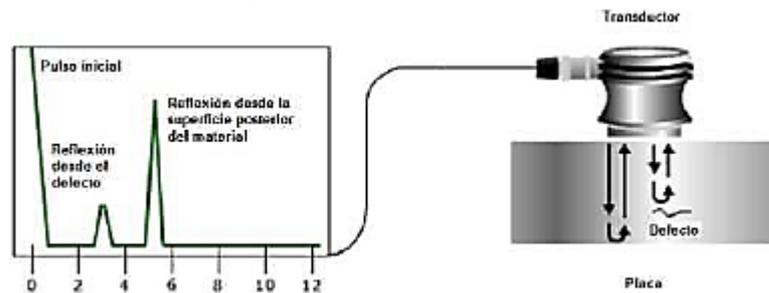
1.2.2.6. Métodos de Ensayo.

a) Método de Pulso-Eco.

Utiliza la porción reflejada del sonido para evaluar los defectos. El palpador funciona tanto como emisor como receptor. Como la energía recibida es mucho más débil que la emitida, aquí no puede operarse sobre la base de sonido continuo, se emplean exclusivamente impulsos de sonido (pulsos ultrasónicos de corta duración).

Un impulso eléctrico de cortísima duración genera una onda ultrasónica, inmediatamente después, mientras aún se está propagando la onda el mismo oscilador está listo para la recepción. La onda penetra el material hasta que, como resultado de una superficie límite, tiene lugar una reflexión total o parcial.³⁴

Figura 31. Método Pulso-Eco.



Fuente: bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4630/1/CD-4260.pdf

Este método permite un revelamiento selectivo de las discontinuidades, su evaluación y localización dentro del material. La ubicación del eco en las abscisas del osciloscopio da la información de la distancia a la cual se encuentra la discontinuidad, mientras que la amplitud y la forma del eco dan la información sobre la dimensión y características del defecto³⁵.

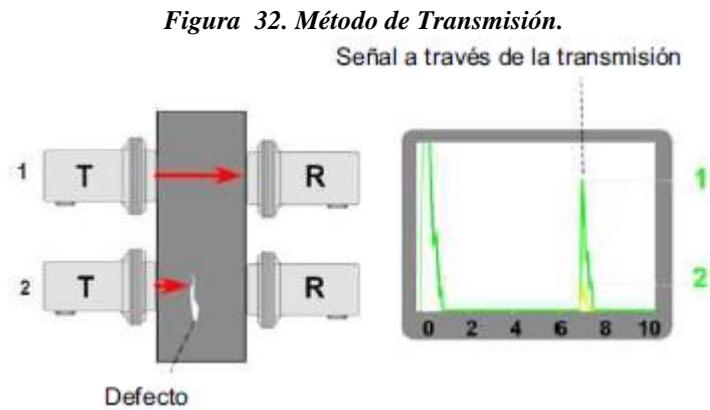
b) Método de Transmisión.

Este método requiere la utilización de dos palpadores, el uno actuara como emisor y el otro como receptor. Se pueden utilizar pulsos ultrasónicos continuos, o de corta duración, lo importante es que los palpadores deben estar alineados de tal manera que la emisión ultrasónica se transmita a través del material y sea entonces detectada por el palpador receptor.

³⁴ <http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/catedras/archivos/Apunte%20Ultrasonido%202012.pdf>

³⁵ bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4630/1/CD-4260.pdf

La presencia de una discontinuidad es revelada por una disminución de la energía ultrasónica que llega al palpador que actúa como detector.



Fuente: bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4630/1/CD-4260.pdf

La determinación de defectos mediante este método es menos sensible y menos selectiva en comparación con el método de pulso-eco. También no da información sobre la profundidad a la que se encuentra la discontinuidad.

Su ventaja principal es que puede ser aplicada para espesores mínimos del elemento a examinar.

Este método es aplicado en materiales cerámicos, plásticos, refractarios, etc., que tienen un elevado coeficiente de absorción de energía ultrasónica, en el control de adherencia de metálica entre dos superficies planas, y en evaluación de variaciones de estructura del material capaces de modificar la absorción del haz ultrasónico.³⁶

³⁶ bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4630/1/CD-4260.pdf

1.2.2.7. Ventajas y Limitaciones.

Tabla 17. Ventajas y Limitaciones, Ultrasonido Industrial.

VENTAJAS	LIMITACIONES
Detecta discontinuidades superficiales, sub-superficiales e internas.	La operación manual requiere la atención cuidadosa de técnicos experimentados.
Alta sensibilidad, permitiendo la detección de fallas extremadamente pequeñas.	Acopladores se requieren usualmente para proporcionar la transferencia de la energía de onda ultrasónica entre los transductores y las partes que se inspeccionan.
Portabilidad y operación sin riesgos.	Las partes pequeñas o delgadas son de complicada inspección.
La operación es electrónica, lo que proporciona indicación casi instantánea de las fallas.	Se necesitan estándares de referencia física, tanto para el equipo para calibrar el equipo como para definir las fallas.

Resumido de: <http://www.aws.org/wj/esp/2009/05/wjesp0509-40.pdf>

Técnicas de Inspección de la Integridad o Hermeticidad.

Son técnicas utilizadas para verificar el grado de hermeticidad de un equipo o sistema que contiene un fluido tal como líquido o gas, a una presión inferior, igual o superior a la atmosférica.

1.2.3. Pruebas Hidrostáticas.

Una prueba hidrostática es la prueba de presión que se realiza a tuberías y equipos para verificar su hermeticidad, confirmar su integridad mecánica y avalar que estén en óptimas condiciones de operación, de acuerdo a las normas, especificaciones, códigos o estándares aplicables.

La presión de prueba debe mantenerse todo el tiempo que dure la inspección visual del circuito o equipo en prueba.

La mencionada inspección debe iniciar 15 minutos después de haber alcanzado la presión máxima de prueba.

La prueba hidrostática también aplica cuando se reemplaza o se reparan líneas existentes. La prueba hidrostática nos permite:

- Determinar la calidad de la ejecución del trabajo de fabricación o reparación de la línea o equipo.
- Comprobar las condiciones de operación para garantizar la seguridad tanto de las personas como de las instalaciones.
- Detectar fugas.
- Verificar la resistencia mecánica.
- Probar la hermeticidad de los accesorios.³⁷

1.2.3.1. Fluido de Prueba.³⁸

Se deberá usar agua potable entre 16 °C y 38 °C como fluido de prueba. El contenido de cloro no deberá exceder las 100 ppm.

En casos en que se presenten las situaciones siguientes, se deberá usar otro medio no inflamable para hacer las pruebas.

- a) Posibilidad de daño causado por congelamiento.
- b) El producto transportado podría deteriorarse por la humedad.
- c) El material de la tubería podría deteriorarse por el contacto con el agua.

Las tuberías de acero inoxidable para el aceite de lubricación, aceite de transmisiones o líquido de sistemas hidráulicos, deberá probarse con aceite de lavado o aceite de operación.

1.2.3.2. Presión de Prueba.³⁹

- a) Tuberías y equipos nuevos.

Sistema de tubería:

$$P_{ph} = 1.5 * P_d \frac{S_{tp}}{S_{td}}$$

Recipientes a presión:

$$P_{ph} = 1.3 * P_d \frac{S_{tp}}{S_{td}}$$

³⁷ <http://www.alianzaend.com/ensayos4.html>

³⁸ <http://es.scribd.com/doc/45918181/305112D0-Especificaciones-Pruebas-Hidrostaticas>

³⁹ <http://www.pemex.com/files/content/PROY-NRF-150.pdf>

Dónde:

P_{ph} = Presión de prueba hidrostática en kPa (kg/cm²).

P_d = Presión de diseño en kPa (kg/cm²).

S_{tp} = Esfuerzo permisible a la temperatura de prueba en kPa (kg/cm²).

S_{td} = Esfuerzo permisible a la temperatura de diseño en kPa (kg/cm²).

Si esta presión calculada produce esfuerzos superiores al esfuerzo de cedencia del material (yield point) a la temperatura de prueba, la presión de prueba debe ser inferior a la máxima presión a la cual se pueda exceder dicho valor de cedencia del material.

b) Equipos y tuberías en servicio.

Se utilizaran las mismas ecuaciones que para los equipos y tuberías nuevos, lo único que varía son las variables, ya que se utilizaran la presión y el esfuerzo permisible a la temperatura de operación en lugar de la de diseño.

CAPITULO II

Análisis de requerimientos técnicos y de infraestructura.

En el presente capítulo, se mostrarán un listado de las normas a las que nos debemos regir para el empleo de las diferentes técnicas de END (Ensayos No Destructivos), ya que estar apegado a normas internacionales, es muy favorable para el almacenamiento e intercambio de datos luego de un ensayo no destructivo. La mejor manera de almacenar la información es basándose en formatos normalizados, con lo cual se garantiza que dicha información esté disponible incluso en elementos con una larga vida útil, de 20, 40 años.

Detallaremos lo más importantes de la norma establecida para la certificación del personal que trabajara en Ensayos no Destructivos, el cual se basa en tres niveles, y describiremos de lo que trata cada uno de ellos.

También se detallará aspectos importantes para la adecuación del espacio físico, en el cual se va a trabajar con cada uno de los equipos adquiridos por la UPS, para el Laboratorio de END.

2.1. Normativas de las diferentes técnicas de Ensayos No Destructivos.

Los ensayos son realizados bajo procedimientos escritos, que atienden a los requisitos de las principales normas o códigos de fabricación, tales como el ASME, ASTM, API y el AWS entre otros.

- A.S.M.E. - (American Society of Mechanical Engineers) Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos.
- A.S.T.M.- (American Society of testing Materials) Sociedad Americana para prueba de Materiales.
- A.W.S.- (American Welding Society) Sociedad Americana de soldadura.

2.1.1. Normas de las diferentes técnicas de Ensayos No Destructivos.

Dentro del Capítulo 1, se analizó los procedimientos de las diferentes técnicas de Ensayos No Destructivos, que se van a aplicar dentro del Laboratorio en la UPS, los cuales se basan en diferentes normas, cuyos códigos se muestran en la tabla 18.

Tabla 18. Normas ASTM para Ensayos No Destructivos.

Técnica de Ensayo	Norma	Especificación Norma
Inspección Visual		
Inspección por Tintas Penetrantes	ASTM E-165 ASTM E-1417	Práctica estándar para Inspección por Líquidos Penetrantes
Inspección por Partículas Magnéticas	ASTM E709 ASTM E1444	Guía estándar para Partículas Magnéticas
Inspección por Termografía Industrial	ASTM e1934 - 99a (2010)	Guía estándar para el examen de equipo mecánico y eléctrico con termografía infrarroja
Inspección por Radiografía Industrial	ASTM E1742-00 ASTM E999 – 10	Guía estándar para el examen radiográfico Guía estándar para el Control de la calidad del procesamiento de películas radiográficas Industriales.
Inspección por Ultrasonido	ASTM E114-95 ASTM E587-00 ASTM E797-95 (2001)	Método Pulso-Eco (Ondas Longitudinales) Método Pulso-Eco (Ondas Angulares) Método Pulso-Eco (Medición de Espesores)
Inspección por Pruebas Hidrostáticas	ASTM D1598 - 02 (2009) ASTM A530 (cañerías) ASTM A 450 (tubos)	Método de prueba estándar para el tiempo transcurrido hasta el fracaso de tuberías de plástico bajo presión interna constante. Especificación estándar de requisitos generales para tubos de acero al Carbono y aleación. Especificación Estándar de requisitos Generales para Tubos de Grafito y Aceros Aleados Austeníticos y Ferríticos

Fuente: www.astm.org.

2.1.2. Norma de calificación y certificación.

Los inspectores son calificados como Nivel I, II y III por la ASNT (American Society for Nondestructive Testing) según los requisitos de la Práctica Recomendada SNT-TC-1A, CP-189.⁴⁰

En marzo de 1991, el Instituto Nacional Americano de Normalización (ANSI), aprobó la publicación de la norma ASNT CP-189-1991, para la calificación y certificación del personal que realiza los ensayos no destructivos, inicialmente solo en tres niveles.

Para obtener una calificación y certificación, el individuo deberá regirse al siguiente proceso:

- **ENTRENAMIENTO**

Es el programa debidamente estructurado para proporcionar los conocimientos teóricos y desarrollar las habilidades prácticas de un individuo; a fin de que realice una actividad definida de inspección. En este punto se establece de forma clara y breve el programa de entrenamiento para cada técnica y nivel, siendo el más actualizado el propuesto por ISO.

- **CALIFICACIÓN**

Es la demostración, por medio de exámenes debidamente preparados, de que un individuo posee los conocimientos teóricos y las habilidades necesarias para desarrollar correctamente una inspección no destructiva; aplicar correctamente los criterios de aceptación y en su caso elaborar un reporte de inspección. Puede incluir la elaboración de un procedimiento para una inspección y/o la interpretación de los criterios de aceptación establecidos por un documento escrito, que puede ser un código, una norma o una especificación.

- **CERTIFICACIÓN**

Es un testimonio escrito extendido por una agencia central certificadora, o por una empresa contratante, que demuestra que un individuo ha sido capacitado; que está

⁴⁰ <http://es.scribd.com/doc/48175633/Ensayos-No-destructivos>

debidamente calificado y tiene la experiencia suficiente para emplear correctamente un método de inspección no destructiva.⁴¹

Existen diferentes niveles de certificación, los cuales se basan en los conocimientos, la experiencia práctica, y responsabilidades que tiene el individuo al realizar la inspección, los cuales se detallan a continuación:

- **APRENDIZ**

Es la persona que está en capacitación para ser calificado y certificado, el cual no podrá realizar por si solo una inspección, interpretar ni emitir un informe de resultados.

En el caso de una Auditoria de calidad, el aprendiz deberá estar anotado como tal en la lista de Personal de Ensayos no Destructivos, el cual contara como registro de la experiencia que va adquiriendo, el cual le servirá al momento de presentar sus exámenes para la calificación y certificación.

- **NIVEL I**

Es la persona que está capacitada para realizar una correcta calibración de un equipo, realizar una inspección específica, validar dicha inspección, y realizar un informe de lo realizado, según lo establecido en la norma para este nivel.

El inspector Nivel I debe ser entrenado por el personal certificado como nivel II o III.

- **NIVEL II**

Es la persona capacitada para realizar las actividades del Nivel I, y también puede interpretar los resultados obtenidos, evaluándolos conforme a un código, norma o especificación aplicable.

Debe estar familiarizado con los alcances y limitaciones de su técnica, y tiene la capacidad de preparar instrucciones de inspección y de organizar y emitir reportes de resultados de las pruebas realizadas por el o bajo su supervisión.

⁴¹ <http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Manual%20Introduccion%20a%20los%20END.pdf>

○ **NIVEL III**

Es la persona capacitada para realizar las actividades del Nivel I y II, además deberá tener un conocimiento general sobre los materiales y procedimientos de fabricación, el cual le permita establecer técnicas y procedimientos generales de inspección, también deberá interpretar los diferentes códigos, normas y especificaciones para establecer, los métodos, técnicas y procedimientos específicos a ser empleados.

Un Inspector de Nivel III debe estar familiarizado con los diferentes métodos de Inspección No Destructiva.

EXÁMENES DE CALIFICACIÓN

Son los que deben rendir los individuos que deseen una certificación, el cual dependerá del nivel a ser adquirido (I, II, III).

NIVELES I y II.

Para estos niveles se realizan los siguientes exámenes:

- **De aptitud física**

Para garantizar que el personal a realizar la inspección pueda observar y evaluar correctamente las indicaciones.

- De agudeza visual lejana.

Se aplica empleando la carta de Snell⁴² cuyo resultado mínimo debe ser una visión 20/40.

⁴² El test de Snellen es una prueba diseñada para evaluar la agudeza visual a distancia, la cual debe ser realizada por un especialista.

Tabla 19. Grafica de Snellen e Interpretación de Resultados.

Carta de Snellen	Snellen pies	Snellen metros	Porcentaje visual	
	1 20/200	20/20	6/6	100%
	2 20/100	20/25	6/8	90%
	3 20/70	20/30	6/10	80%
	4 20/50	20/40	6/13	70%
	5 20/40	20/50	6/16	60%
	6 20/30	20/60	6/20	50%
	7 20/25	20/80	6/26	40%
	8 20/20	20/120	6/40	30%
	9	20/160	6/53	20%
	10	20/200	6/60	10%
	11	20/400	6/130	5%

Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Test_de_Snellen
<http://kepler.uag.mx/uagwbt/oftav10/tutorial/snellen.cfm>

- De agudeza Visual cercana.

Se aplica la carta de Jaeger⁴³ y el resultado mínimo debe ser una visión J2. Se pueden obtener estos resultados utilizando lentes, los cuales se deberán utilizar siempre al realizar una inspección.

Se recomienda realizarse dichos exámenes cada seis meses para el personal de Inspección Visual, y cada año para los Inspectores de las demás técnicas de Ensayo.

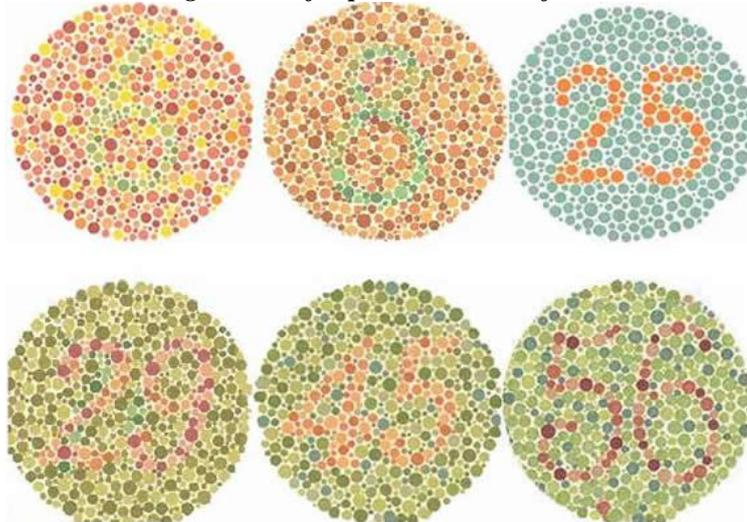
- De Discriminación Cromática.

Solamente se aplica al inicio de las actividades de un inspector, ya que el daltonismo es una deficiencia genética incorregible, que ocasiona dificultad para distinguir los colores.

⁴³ Estas cartas son empleadas para determinar la Agudeza Visual cercana. Todas deben valorarse a una distancia entre 35 (14 pulgadas) y 45 cm.

Para estas pruebas se aplican las cartas de Ishijara⁴⁴, en las cuales el inspector debe ser capaz de discriminar los diferentes tonos o colores, para su aprobación.

Figura 33. Ejemplo Cartas de Ishijara.



Fuente: <http://www.pintoresensanlucar.com/daltonismo.html>.

Para el personal que va a estar expuesto a la radiación ionizante, puede ser necesario realizarles otro tipo de exámenes de carácter físico, los cuales dependerán de la reglamentación de cada país.

- **Exámenes de Conocimientos**

Con estos exámenes se evalúa la capacidad que tiene el individuo de realizar la inspección, tomando en consideración la información teórica mínima que posee, para realizar una interpretación o evaluación confiable de los resultados.

- Examen general del Método.

Trata sobre los principios básicos de la técnica y sus posibles variantes, normalmente este examen se basa tomando en consideración las necesidades de cada empresa o área de aplicación.

- Examen Específico.

Se prepara, tomando como base un procedimiento calificado de inspección.

El cuestionario debe cubrir aspectos técnicos y prácticos de los instrumentos

⁴⁴ La prueba consiste en una serie de cartas de colores, cada una de las cuales contiene círculos de puntos de colores y tamaños aleatorios.

o aparatos de inspección, procedimientos de calibración y operación, técnicas de prueba y especificaciones que normalmente se emplean en el trabajo cotidiano de inspección. Este examen puede incluir la interpretación y aplicación de los criterios de aceptación establecidos por los códigos y normas correspondientes.⁴⁵

- **Exámenes de Habilidad Práctica.**

Para su aprobación el individuo debe demostrar su habilidad para la calibración y operación del equipo de inspección, para la interpretación de los resultados obtenidos, tomando en consideración los códigos o normas establecidos, para su aceptación.

NIVEL III

Para alcanzar este nivel se debe aprobar los siguientes exámenes:

- **De Aptitud Física.**

Son los mismos que para los niveles I y II.

- **De Conocimientos.**

Son los más importantes para este nivel, tienen similitud a la de los niveles I y II, aunque la dificultad de los cuestionarios es mayor. Dichos exámenes son los siguientes:

- Examen de Conocimientos Básicos.

Se refiere a los procesos de fabricación (fundición, forja, laminación, extrusión, soldadura, etc.), y a los defectos más comunes que se dan en los mismos, la aplicación de la técnica de inspección adecuada de END, además los principios de control y aseguramiento de la calidad, tomando en consideración los mecanismos de certificación aplicados en la empresa o en la industria donde se realizara las inspecciones de END.

⁴⁵ <http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Manual%20Introduccion%20a%20los%20END.pdf>

- Examen del Método.

Consiste en una evaluación detallada de una técnica de ensayo específica, en el cual se tomara en consideración el equipo empleado en cada empresa o un área industrial, y las normas o especificaciones de un producto. Incluirá los criterios empleados para la elaboración de informes, de aceptación e interpretación de códigos y normas, para la aplicación e interpretación de procedimientos ya calificados de Inspección no Destructiva.

- **De Habilidad Práctica.**

Estos exámenes pueden ser similares a los niveles I y II, o puede ser la elaboración y calificación de un procedimiento para una inspección determinada.

APROBACIÓN.

Para la aprobación de cualquiera de los niveles la calificación mínima es de 70/100. No se podrá certificar a personal que no tenga ningún tipo de experiencia en la realización de inspecciones, y si lo tuviese deberá ser demostrado mediante documentos, y mantenerla en archivos en caso de ser necesario.

EMISIÓN DE CERTIFICADOS.

Los lineamientos para que se realice la certificación del personal a cualquiera de los niveles antes citados debe estar contenida en una "Especificación para la Capacitación, Calificación y Certificación del personal que realiza Ensayos No Destructivos" ("Practica escrita para SNT-TC-1A" y "Norma Nacional para ISO 9712"). El certificado, APRA que sea válido, es un documento que debe contener como mínimo los siguientes puntos:

- Nivel de escolaridad de los Aspirantes.
- Programa de Entrenamiento.
- Experiencia inicial de los individuos antes de certificarse en cualquier nivel.
- Forma en que se realizaran los exámenes de certificación.
- Vigencia de los certificados.

La ISO y la ASNT establecen un periodo de vigencia de tres años para los niveles I y II, y de cinco años para el nivel III. La certificación expira cuando el individuo deja de laborar con la empresa que lo ha examinado y certificado, (SNT-TC-1 A), o cuando se cambia de una área industrial a otra, para este caso solo sería necesario presentar un examen específico de la nueva área de trabajo.

El documento más frecuente aplicado es el SNT-TC-1 A, por las siguientes razones:

- Es el indicado por las normas americanas, ya que son las más aceptadas dentro de los criterios industriales.
- Es la más “liberal” en cuanto a certificación se refiere.
- La “Norma” ISO 9712 es de emisión reciente (1992).

Si una entidad quiere seguir el esquema de la ASNT, se debe elaborar e implementar un programa de capacitación del personal para END, el cual se recomienda que sea realizado por un Inspector Nivel III.

2.2. Estudio y análisis del área del laboratorio de Ensayos No Destructivos (END).

La Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca, se encuentra implementando una serie de laboratorios, para optimizar las áreas de estudio, logrando un mayor desarrollo de la ciencia y tecnología, lo cual es de gran beneficio para los estudiantes.

En la tabla 20 se detalla el área asignada para la implementación del Laboratorio de Ensayos No Destructivos (END).

El Área General se refiere al espacio libre que se tendrá luego de adecuar los equipos fijos (Tintas Penetrantes, Partículas Magnéticas, Presión Hidrostática), y el mobiliario correspondiente (mesones de Mármol, escritorio, etc.) dependiendo de la necesidad, el cual será determinado en el siguiente capítulo, en la parte que corresponde a la distribución de los equipos de laboratorio.

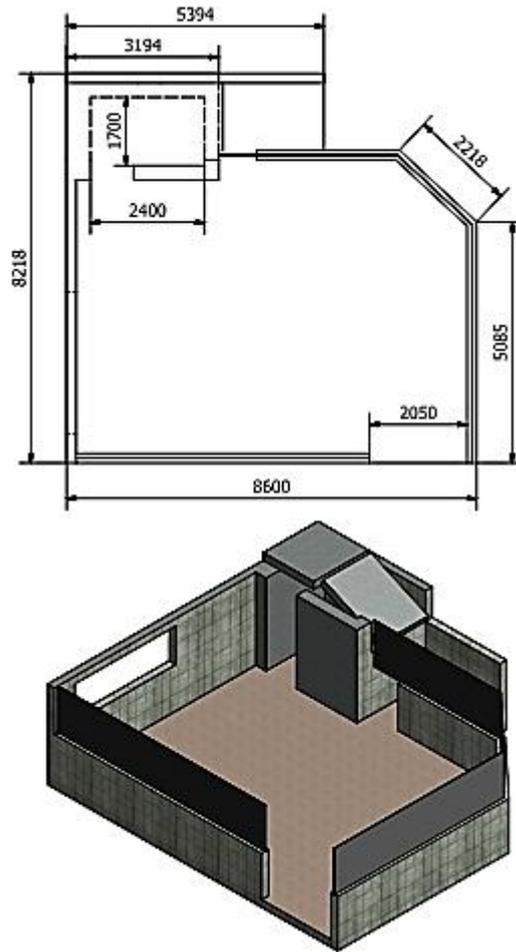
En la figura 34 se muestra el área asignada para la implementación de los equipos de END.

Tabla 20. Requerimientos para la adecuación del Espacio Físico, para el Laboratorio de END.

Técnica de Inspección	Requerimientos
Inspección Visual	<ul style="list-style-type: none"> • Iluminación: Mínima 160 lx (15ftc), para una inspección general, y una mínima de 500 lx (50ftc) para una inspección crítica. • Área: <u>General</u>.
Inspección por Tintas Penetrantes	<ul style="list-style-type: none"> • Iluminación: Normal • Área: (3,53x0,864)m
Inspección por Partículas Magnéticas	<ul style="list-style-type: none"> • Iluminación: Normal • Área: (1,28x0,521)
Inspección por Termografía Industrial	<ul style="list-style-type: none"> • Iluminación: Que no emita radiación Infrarroja, (luces frías, como los LEDs o los neones) • Área: <u>General</u> (se deberá realizar la inspección en lugares, donde exista la menor interferencia de calor)
Inspección por Radiografía Industrial	<ul style="list-style-type: none"> • Iluminación: Normal • Área: Para la inspección (2,4x1,7)m, en la cual las paredes tendrán un espesor de 0,5m aproximadamente, con un recubrimiento de plomo, de igual manera en la puerta de ingreso, y para el controlador y el análisis de resultados una área de (3x2)m.
Inspección por Ultrasonido	<ul style="list-style-type: none"> • Iluminación: Normal • Área: <u>General</u>
Inspección por Pruebas Hidrostáticas	<ul style="list-style-type: none"> • Iluminación: • Área:

Fuente: El Autor.

Figura 34. Área para el Laboratorio de END.



Fuente: El Autor.

2.3. Especificaciones Técnicas de cada uno de los Bancos de Pruebas.

Estas especificaciones se presentan mediante fichas técnicas, para un reconocimiento general del equipo a utilizar en una Inspección de END.

2.3.1. Ficha técnica del equipo de Inspección Visual.

Figura 35. Ficha técnica, Inspección Visual.

		LABORATORIO ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS			
SEDE CUENCA AREA MECÁNICA		FICHA TECNICA			
Equipo		BOROSCOPIO INDUSTRIAL			
Características Generales:		Marca:	Extech Instruments		
Altura:	0.178 m	Modelo:	HDV 610		
Ancho:	0.07 m	Serie No:			
Largo:	0.241 m	Fabricante:	Extech Instruments		
Peso:	1.474 kg	Año:			
		Representante:	ING. JOSE JALIL		
Equipos					
Componentes		Marca	Referencia/Serial	Cant.	Observaciones
Elementos					
	Adaptador de Tension			1	100 a 240 V in / 9 VCD out
	Bateria de Litio Recargable			1	3,7 V
	Cable			30 m	

Fuente: El Autor.

2.3.2. Ficha técnica del equipo de Inspección por Tintas Penetrantes.

Figura 36. Ficha técnica, Tintas Penetrantes.

		LABORATORIO ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS			
SEDE CUENCA AREA MECÁNICA		FICHA TECNICA			
Equipo		SISTEMA DE INSPECCION POR TINTAS PENETRANTES			
Características Generales:		Marca:	Magnaflux		
Altura:	0.914 m	Modelo:	ZA-1633 Metodo A		
Ancho:	0.864 m	Serie No:			
Largo:	353 m	Fabricante:	Magnaflux		
Peso:	0.9 kg	Año:			
		Representante:	ING. JOSE JALIL		
Equipos					
Componentes		Marca	Referencia/Serial	Cant.	Observaciones
Elementos					
	Tanque	Magnaflux		1	27 Galones (15,75 x 33 x 14,75)
	Luz Negra	Magnaflux	600005 ZB-100F7	1	100 Watt, 115V/60Hz/1Phase
	Lampara Fluorecente	Magnaflux		1	110 V
	Bloques de acero inoxidable para pruebas	Magnaflux	1544000	1	1 Juego
	Bloques de aluminio para pruebas	Magnaflux	14755	1	1 Juego

Fuente: El Autor.

2.3.3. Ficha técnica del equipo de Inspección por Partículas Magnéticas.

Figura 37. Ficha técnica, Partículas Magnéticas.

		LABORATORIO ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS			
SEDE CUENCA AREA MECÁNICA		FICHA TECNICA			
Equipo		MAG KIT (Kit De Desmagnetizacion)			
Características Generales:		Marca:	Magnaflux		
Altura:	1.1276 m	Modelo:	MAG KIT		
Ancho:	0.521 m	Serie No:			
Largo:	1.28 m	Fabricante:	Magnaflux		
Peso:	136 kg	Año:			
		Representante:	ING. JOSE JALIL		
Equipos					
Componentes		Marca	Referencia/Serial	Cant.	Observaciones
Elementos					
Sistema de Desmagnetizacion		Magnaflux	Serie S: S-66	1	230V-6 amps
Mesa		Magnaflux		1	
Cabezal		Magnaflux		1	
Contrapunto		Magnaflux		1	
Bobina		Magnaflux	28511	1	16" (41 cm)
Unidad de Alimentacion		Magnaflux	P-1500	1	460 V ; 1500 Amps
Lampara Fluorescente		Magnaflux			110 V
Luz Negra		Magnaflux	ZB-100F		100 Watt, 115V/60Hz/1Phase
Bloques de Aluminio		Magnaflux	14755	1	1 Juego

Fuente: El Autor.

2.3.4. Ficha técnica del equipo de Inspección por Termografía Industrial.

Figura 38. Ficha técnica, Termografía Industrial.

		LABORATORIO ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS			
SEDE CUENCA AREA MECÁNICA		FICHA TECNICA			
Equipo		CAMARA TERMOGRAFICA			
Características Generales:		Marca:	Testo		
Altura:	0.262 m	Modelo:	Testo 882		
Ancho:	0.108 m	Serie No:			
Largo:	0.152 m	Fabricante:	Testo		
Peso:	0.9 kg	Año:			
		Representante:	ING. JOSE JALIL		
Equipos					
Componentes		Marca	Referencia/Serial	Cant.	Observaciones
Elementos					
Tripode		Testo		1	Material: Aluminio
Filtro Protector		Testo		1	Filtro especial de germanio para la óptima protección de la lente de los objetivos contra suciedad y arañazos

Fuente: El Autor.

2.3.5. Ficha técnica del equipo de Inspección por Radiografía Industrial.

Figura 39. Ficha técnica, Radiografía Industrial.

		LABORATORIO ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS			
SEDE CUENCA AREA MECÁNICA		FICHA TECNICA			
Equipo		Detector de fallas de rayos X portátil			
Características Generales:		Marca:	Angstrom		
Altura:	0.285 m	Modelo:	AXFG-2005		
Ancho:	0.285 m	Serie No:	AXFG		
Largo:	0.615 m	Fabricante:	Testo		
Peso:	18 kg	Año:			
		Representante:	ING. JOSE JALIL		
Equipos					
Componentes		Marca	Referencia/Serial	Cant.	Observaciones
Elementos					
Film Visor				1	
Dosimetro				1	Medidor de Radiacion

Fuente: El Autor.

2.3.6. Ficha técnica del equipo de Inspección por Ultrasonido.

Figura 40. Ficha técnica, Ultrasonido Industrial.

		LABORATORIO ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS			
SEDE CUENCA AREA MECÁNICA		FICHA TECNICA			
Equipo		Detector de fallas por ultrasonido digital			
Características Generales:		Marca:	OLIMPUS		
Altura:	0.277 m	Modelo:	EPOCH XT		
Ancho:	0.15 m	Serie No:			
Largo:	0.051 m	Fabricante:	OLIMPUS		
Peso:	2.1 kg	Año:			
		Representante:	ING. JOSE JALIL		
Equipos					
Componentes		Marca	Referencia/Serial	Cant.	Observaciones
Elementos					
Cable standard BNC		Olympus	BCB-74-6	1	
Cable dual BNC		Olympus	BCMD-316-5F	1	
Transductor dual		Olympus	D790-SM	1	
Transductor angular		Olympus	C543-sm	1	
Zapatas (45°, 60°, 70°)		Olympus	ABWM-4T	3	
Bloques de Calibracion		Olympus	Varios		

Fuente: El Autor.

2.3.7. Ficha técnica del equipo de Inspección por Pruebas Hidrostáticas.

Figura 41. Ficha técnica, Pruebas Hidrostáticas.

 UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA ECUADOR		LABORATORIO ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS			
SEDE CUENCA AREA MECÁNICA		FICHA TECNICA			
Equipo		Tanque de prueba para Presion Hidrostatica			
Características Generales:		Marca:		QualiTest	
Altura:	1.22 m	Modelo:		H1	
Ancho:	1.1 m	Serie No:			
Largo:	0.75 m	Fabricante:		QualiTest	
Peso:	kg	Año:			
		Representante:		ING. JOSE JALIL	
Equipos					
Componentes		Marca	Referencia/Serial	Cant.	Observaciones
Elementos					
Unidad de Control		QualiTest	HPT 10I	1	
Mordazas		QualiTest	HPT-EC-SS	10	Diametros (1/2" - 3/4" - 1" - 1 1/2" - 2")

Fuente: El Autor.

CAPITULO III

Diseño técnico para la implementación y adecuación del espacio físico.

En el presente capítulo se determinaran los requerimientos necesarios para la adecuación del espacio físico para el Laboratorio de END, los cuales dependerán de la técnica de Inspección y de cada uno de los equipos a utilizar al aplicarse la misma, ya que los mismos pueden variar en lo que respecta a electricidad, agua y drenaje, requerimientos de seguridad industrial, etc., los que nos ayudaran a realizar una eficiente labor al aplicar cada una de las Técnicas de Ensayos No Destructivos.

Una vez establecidos los requerimientos antes mencionados, se procederá a analizar el área disponible para el laboratorio, para realizar una óptima distribución de los equipos adquiridos por la UPS sede Cuenca, así mismo se realizaran diagramas de flujo del procedimiento a aplicar al utilizar cada uno de dichos equipos.

3.1. Capacidad.

En el capítulo anterior se realizó un croquis del espacio físico disponible para la implementación y adecuación del Laboratorio de END, con sus respectivas dimensiones (fig. 34), en el cual nos debemos ajustar con cada uno de los equipos adquiridos, y con el mobiliario necesario.

Existe una área aproximada de $60m^2$, en la cual se requiere una sección especial para la operación del Equipo de Rayos-X, por la complejidad y peligrosidad del mismo, por lo que se ve la necesidad de establecer una área de (2,4 x 1,7)m para el funcionamiento del Equipo, en la cual el espesor de la pared será de aproximadamente de 0,5m, por recomendación del Ministerio de Electricidad del Ecuador, además contara con un recubrimiento de plomo, tanto en las paredes como en la puerta de ingreso, dicha área debe estar lo más hermética posible para evitar al máximo fugas de radiación. En la misma sección, se deberá apartar una área de (3 x 2) m para el controlador del Equipo de Rayos-X.

Reduciendo lo anterior, tenemos una área aproximada de $50m^2$, la cual no requiere nada en especial en lo que a infraestructura respecta, y es donde se adecuaran los equipos restantes, tres fijos (Inspección por Tintas Penetrantes, Partículas

Magnéticas, y Presión Hidrostática) y tres portátiles (Inspección Visual, Ultrasonido y Termografía).

Para los equipos fijos, se deberá encontrar la posición adecuada, dependiendo de las dimensiones de los mismos, los cuales se encuentra en las respectivas fichas técnicas, presentadas en el capítulo anterior (subcapítulo 2.3), de los equipos portátiles, gracias a su movilidad, pueden operarse en diferentes sectores, fuera o dentro del Laboratorio.

Además dentro del Laboratorio, serán adecuados unos mesones de mármol, dependiendo de la necesidad, cuyas dimensiones son (1,50 x 0,70 x 0,90)m.

Más adelante se conocerá como quedara implementado y adecuado el Laboratorio, con todos los equipos y mobiliario (subcapítulo 3.5).

3.2. Instalaciones e instrumentación.

Tabla 21. Instalaciones e instrumentación para el Laboratorio de END.

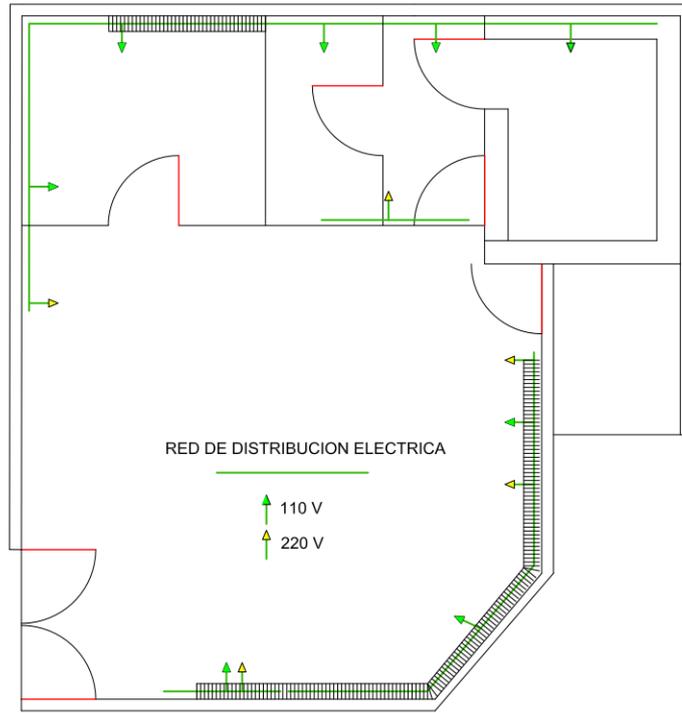
Equipo	Instalación Agua	Instalación Eléctrica
Inspección Visual	-	110 (V)
Tintas Penetrantes	1	110 (V)
Partículas Magnéticas	1	110 (V) – 220(V)
Termografía Industrial		110 (V)
Radiografía Industrial	1	110 (V) - 220 (V)
Ultrasonido		110 (V)
Presión Hidrostática	1	110 (V) – 2 x 220 (V)

Fuente: El Autor.

3.3. Requerimientos eléctricos, de agua y drenaje.

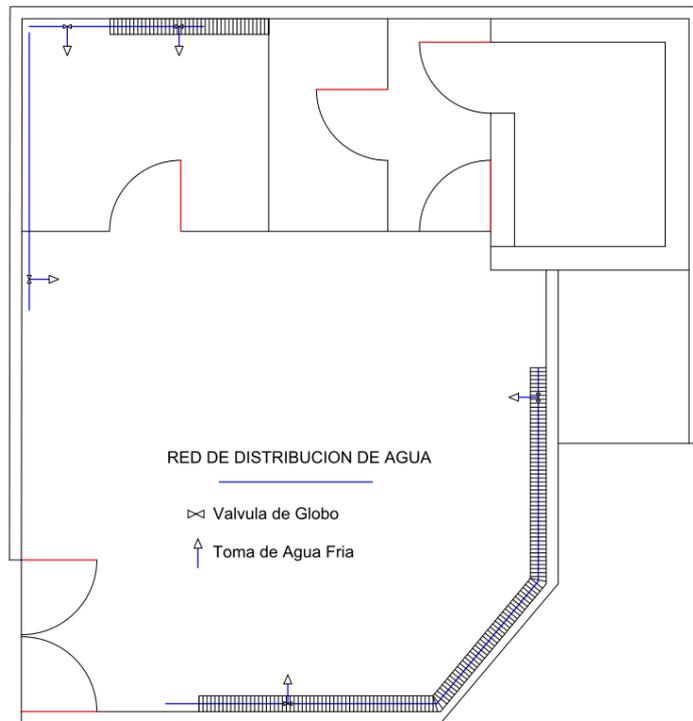
En las figuras 35 y 36 se observa como quedan establecidas las conexiones eléctricas, de agua y drenaje en el laboratorio de END:

Figura 42. Distribución eléctrica para el Laboratorio de END.



Fuente: El Autor.

Figura 43. Distribución agua y drenaje para el Laboratorio de END.



Fuente: El Autor.

3.4. Requerimientos de seguridad.

En la tabla 22 se da algunas recomendaciones importantes, antes de trabajar con los equipos adquiridos por la UPS sede Cuenca, para el Laboratorio de END.

Tabla 22. Recomendaciones y Seguridad para el Laboratorio de END.

Equipo	Recomendaciones y/o Normas de Seguridad
Inspección Visual	No se requiere.
Inspección por Tintas Penetrantes	Protección para las manos. Gafas de Protección. Mascarilla.
Inspección por Partículas Magnéticas	Protección para las manos. Gafas de Protección. Mascarilla.
Inspección por Termografía Industrial	No se requiere.
Inspección por Radiografía Industrial	Equipo de seguridad industrial para radiación.
Inspección por Ultrasonido	No se requiere.
Inspección por Presión Hidrostática	No se requiere.

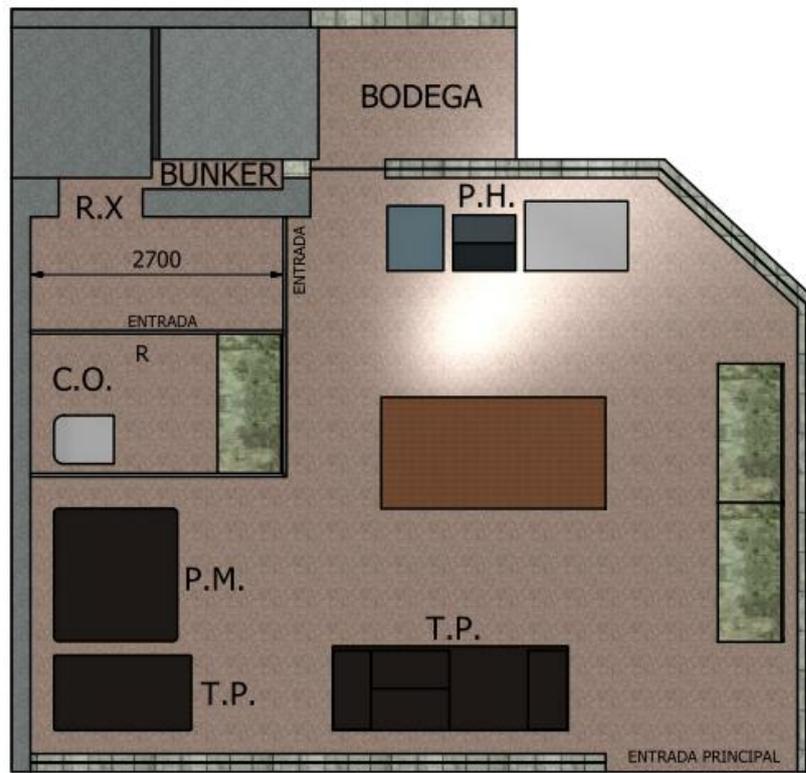
Fuente: El Autor.

Se recomienda revisar los catálogos de cada uno de los equipos, con el fin de conocer más sobre normas de seguridad y recomendaciones de uso, dados por los fabricantes de los equipos ya mencionados.

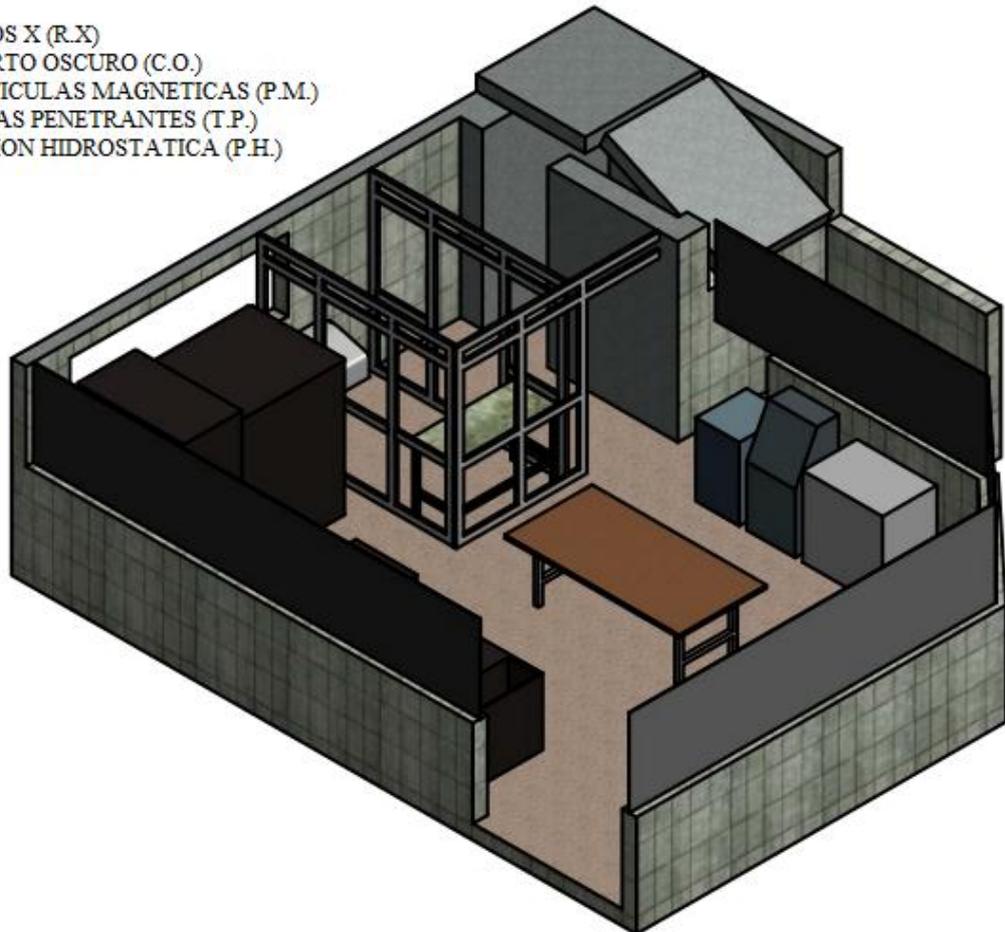
3.5. Distribución de los equipos del laboratorio.

Los equipos adquiridos por la UPS sede Cuenca, para el Laboratorio de END, y el mobiliario, quedan distribuidos como se muestra en la figura 37.

Figura 44. Distribución de los equipos para el Laboratorio de END.



RAYOS X (R.X)
CUARTO OSCURO (C.O.)
PARTICULAS MAGNETICAS (P.M.)
TINTAS PENETRANTES (T.P.)
PRESION HIDROSTATICA (P.H.)



Fuente: El Autor

CAPITULO IV

Elaboración y validación de las guías de prácticas.

En el presente capítulo se desarrollaran guías de practica de cada uno de los equipos del Laboratorio de END, siguiendo un procedimiento adecuado, para obtener resultados eficientes, los cuales se verificaran al momento de realizar la ejecución y validación de las mismas. Previamente se realizara un reconocimiento de los equipos, conociendo sus funciones y aplicaciones dentro de los Ensayos No Destructivos, revisando los catálogos entregados por el fabricante.

4.1. Manejo y reconocimiento de los equipos del laboratorio.

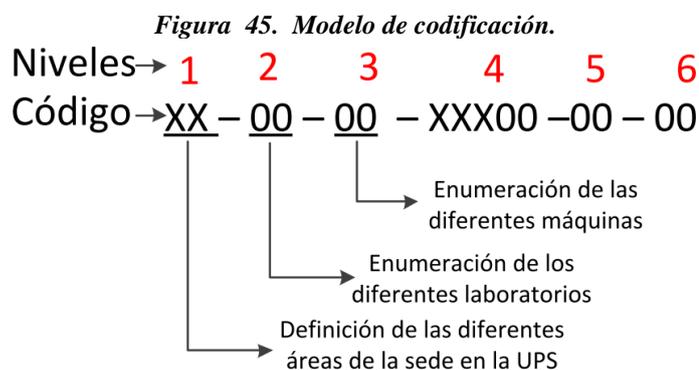
Los equipos que actualmente constan en el laboratorio se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 23. Listado de Equipos del Laboratorio de END.

Técnica.	Descripción y Modelo.
<i>Técnicas de Inspección Superficial.</i>	
Equipo para Inspección Visual	Boroscopio Industrial HDV 610
Equipo para Inspección por Tintas Penetrantes	Sistema de inspección por líquidos penetrantes fluorescentes de lavado de agua ZA-1633 Método A
Equipo para Inspección por Partículas Magnéticas	MAG KIT (kit de desmagnetización)
Equipo para Inspección por Termografía Industrial	Cámara Termográfica Testo 882
<i>Técnicas de Inspección volumétrica.</i>	
Equipo para inspección por Radiografía Industrial	Detector direccional de fallas portátil de Rayos X con tubo de Cerámica TTG-2005
Equipo para inspección por Ultrasonido	Detector de defectos por ultrasonido EPOCH XT
<i>Técnicas de Inspección de Hermeticidad.</i>	
Equipo para Pruebas Hidrostáticas	Unidad de control de presión HPT-10I

Fuente: El Autor.

“La codificación de los equipos está basado en el sistema de registro con el que cuenta la dirección de laboratorios de la Universidad Politécnica Salesiana. Se tomara en cuenta el tipo de los equipos adquiridos así como su funcionalidad dentro de los laboratorios de ingeniería, su ubicación general, la carrera de los que hacen parte, ubicación específica y el código del equipo.



Fuente: DUMAGUALA E. Gestión e Imple. del Plan de Mant. Labs. del Area de Ing. Mec. UPS. 2014.

Nivel 1

Se considera como una planta a cada área de la sede Cuenca, asignándole dos letras que caractericen al nombre propio respectivo, cuya definición se muestra en la tabla 24.

Tabla 24. Asignación de áreas.

Área de la sede Cuenca	Denominación
Mecánica Automotriz	IA-
Mecánica	IM-
Electricidad	EL-
Electrónica	ET-
Ciencias de la Vida	CV-
Audiovisuales	AV-
Sistemas	SI-

Fuente: DUMAGUALA E. Gestión e Imple. del Plan de Mant. Labs. del Area de Ing. Mec. UPS. 2014.

Nivel 2

Se asigna dos dígitos para enumerar los diferentes laboratorios, los cuales se presentan en la tabla 25.

Tabla 25. Codificación de laboratorios y secciones del área de Mecánica.

Ítem	Laboratorios y secciones	Codificación del nivel 2
1	Automatismos	01-
2	Termofluidos	02-
3	Automatización y control totalmente integrado	03-
4	Maquinas térmicas	04-
5	Vibraciones Mecánicas	05-
6	Instrumentación industrial	06-
7	Ensayos destructivos	07-
8	Metrología	08-
9	Soldadura	09-
10	CAV	10-
11	Centro de torneado CNC	11-
12	Centro de mecanizado CNC	12-
13	Ensayos de polímeros	13-
14	Tratamientos térmicos	14-
15	Fundición	15-
16	Ensayos nos destructivos	16-
17	Transformación de polímeros	17-
18	Metalografía	18-
19	Área de compresores y central de gases	19-

Fuente: DUMAGUALA E. Gestión e Imple. del Plan de Mant. Labs. del Area de Ing. Mec. UPS. 2014.

Nivel 3

Se ha asignado dos dígitos para enumerar las maquinas existentes en cada uno de los diferentes laboratorios.

Nivel 4

Se ha asignado tres letras y dos números, dados por el software de mantenimiento.

Nivel 5

Se ha asignado dos dígitos numéricos para registrar los componentes mantenibles de forma ordenada y ascendente de cada equipo.

Nivel 6

Dentro de este nivel se hace referencia a los elementos que conforman cada componente y se le ha asignado dos dígitos.⁴⁶

Ahora se establecerá un código de identificación para cada uno de los equipos que se encuentran dentro del Laboratorio de END.

Tabla 26. Código de Identificación de los Equipos de END.

<i>IDENTIFICACIÓN / CÓDIGO</i>	<i>MAQUINA / DISPOSITIVO / EQUIPO</i>	<i>DESCRIPCIÓN Y MODELO</i>
01	Equipo para Inspección Visual	Boroscopio Industrial HDV 610
02	Equipo para Inspección por Tintas Penetrantes	Sistema de inspección por líquidos penetrantes fluorescentes de lavado de agua ZA-1633 Método A
03	Equipo para Inspección por Partículas Magnéticas	MAG KIT (kit de desmagnetización)
04	Equipo para Inspección por Termografía Industrial	Cámara Termográfica Testo 882
05	Equipo para inspección por Radiografía Industrial	Detector direccional de fallas portátil de Rayos X con tubo de Cerámica TTG-2005
06	Equipo para inspección por Ultrasonido	Detector de defectos por ultrasonido EPOCH XT
07	Equipo para Pruebas Hidrostáticas	Unidad de control de presión HPT-10I

Fuente: El Autor.

Considerando los niveles respectivos, la codificación completa de cada uno de los equipos de END, se muestra en la tabla 27.

⁴⁶ DUMAGUALA E. Gestión e Imple. del Plan de Mant. Labs. del Area de Ing. Mec. UPS. 2014.

Tabla 27. Codificación Completa de los Equipos de END.

Equipo.	Descripción y Modelo.	Cód. Identificación.
Equipo para Inspección Visual	Boroscopio Industrial HDV 610	<i>IM - 16 - 01</i>
Equipo para Inspección por Tintas Penetrantes	Sistema de inspección por líquidos penetrantes fluorescentes de lavado de agua ZA-1633 Método A	<i>IM - 16 - 02</i>
Equipo para Inspección por Partículas Magnéticas	MAG KIT (kit de desmagnetización)	<i>IM - 16 - 03</i>
Equipo para Inspección por Termografía Industrial	Cámara Termografica Testo 882	<i>IM - 16 - 04</i>
Equipo para inspección por Radiografía Industrial	Detector direccional de fallas portátil de Rayos X con tubo de Cerámica TTG-2005	<i>IM - 16 - 05</i>
Equipo para inspección por Ultrasonido	Detector de defectos por ultrasonido EPOCH XT	<i>IM - 16 - 06</i>
Equipo para Pruebas Hidrostáticas	Unidad de control de presión HPT-10I	<i>IM - 16 - 07</i>

Fuente: El Autor.

4.2. Formulación de las guías de práctica.

4.2.1. Guía de práctica para Inspección Visual.

Inspección Visual

Nombre 1 Apellido 1¹, Nombre 2 Apellido 2²

Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de **Ingeniería Mecánica**

Asignatura: **Nombre de la asignatura**, Cuenca – Ecuador, Fecha de entrega: **día-mm- año**

1. Presentación de la práctica

En esta práctica se pretende emplear el equipo de inspección visual, para realizar tomas de imágenes y de video, de diferentes secciones que puedan presentar discontinuidades superficiales internas. Para ello previamente se deberá familiarizarse con el equipo (Boroscopio Industrial), y realizar las configuraciones necesarias antes de iniciar la práctica.



Figura 1. Boroscopio Industrial.

2. Requisitos, precauciones y evaluación

Requisitos

Lecturas recomendadas:

- Proyecto de Tesis “ESTUDIO TÉCNICO E IMPLEMENTACION DEL LABORATORIO DE END”
- Manual de Ensayos no Destructivos mediante la técnica de Inspección Visual

Precauciones

Verificar la batería del equipo, la conexión de la sonda, y del lente.

¹ En el pie de página indicar para cada uno de las (os) estudiantes, indicar el año de la carrera que cursan y el correo para correspondencia.

² Ejemplo: Estudiante de cuarto año de la Carreara de Ingeniería Electrónica, correo electrónico: alumno@ups.edu.ec

Evaluaciones

Para dar inicio a la práctica se deberá conocer el principio y las características más importantes de la Inspección Visual, así como del Equipo de prueba.

3. Objetivos

- Identificar y conocer el equipo de ensayo.
- Verificar el estado superficial de paredes internas mediante la técnica de inspección visual.

4. Equipos, instrumentos y software

Tabla 1. Tabla de equipos, instrumentos y software

Descripción	Marca	Serie
Boroscopio Industrial	EXTECH	HDV 600
Sonda (1m)		
Sonda (30m)		

5. Exposición

La inspección visual es una técnica de END, que requiere de una gran cantidad de información de las características del elemento a ser inspeccionado, para una acertada interpretación de las posibles indicaciones generadas por las discontinuidades.

Consiste en revisar la calidad de las superficies, durante y después del proceso de fabricación de las piezas, detectando daños por abrasión, mecánicos, corrosión y discontinuidades en uniones como soldadura, sellados, etc.

La detección puede realizarse mediante el uso de espejos, amplificadores, boroscopios y otros accesorios o instrumentos visuales.

- Se requiere de una agudeza visual alta, por lo contrario es importante el uso de lentes de aumento o lupas de 5X y de 10X.
- Sistemas de interferencia cromática o con luz polarizada.
- Endoscopios (Boroscopios): Son equipos utilizados para realizar inspecciones visuales indirectas, ya que son empleados en lugares de difícil alcance por el inspector o en áreas de alto riesgo.

6. Proceso y procedimiento

6.1 Proceso



Figura 2. Proceso para Inspección Visual.

6.2 Procedimiento

6.2.1. Calibración del equipo.

Calibrar el equipo con el zoom, el brillo y contraste adecuado, para obtener una calidad óptima de imagen o video de la superficie a inspeccionar.

6.2.2. Selección de la superficie

Mediante la sonda se explorara las paredes internas del elemento, detectando discontinuidades.



Figura 3. Sonda 30m.

6.2.3. Toma de imagen o video

Una vez determinada la discontinuidad, se realizara la toma de imagen o video, con la calibración adecuada realizada anteriormente.

6.2.4. Exportar los archivos

Mediante un cable USB, o mediante la tarjeta de memoria, se realizara la exportación de la imagen o video a un computador.

6.2.5. Análisis de resultados

Se analizará las imágenes obtenidas para determinar si existe algún tipo de discontinuidades.

7. Resultados y/o discusión

7.1 Resultados

Se basan exclusivamente en los datos recolectados. Deben ser presentados de forma objetiva, concisa y en secuencia lógica.

7.2 Discusión

En esta sección los resultados deben ser comparados con conceptos teóricos y hacer énfasis en el aporte de realizar la

práctica. A la par se debe interpretar los resultados y las implicaciones (relación entre el efecto y la causa, consecuencia) que tienen estos en el campo de estudio.

8. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Apartado para que el estudiante desarrolle sus conclusiones, observaciones y recomendaciones sobre la práctica.

Una conclusión consta de dos partes primero escriba la principal interpretación de los resultados y a continuación extienda la importancia de la práctica.

Recomendaciones

En las recomendaciones se debe proporcionar sugerencias orientadas al mejoramiento con base en los resultados, estas podrían ser, sugerencias para la mejora del proceso y procedimiento para prácticas futuras, en otras palabras las sugerencias deben estar dentro del marco de la realización de la práctica.

Referencias

Al final del trabajo liste y enumere todas las referencias bibliográficas con una fuente Times New Roman tamaño 12.

1. Proyecto de tesis "ESTUDIO TECNICO E IMPLEMENTACION DEL LABORATORIO DE END".
2. Manual de Ensayos no Destructivos mediante la técnica de Inspección Visual.

Glosario

En la parte final del documento se debe incluir un glosario.

"Un glosario es un anexo que se agrega al final de libros, investigaciones o tesis. En él,

se incluyen todos aquellos términos poco conocidos, de difícil interpretación, o que no sean comúnmente utilizados en el contexto en que aparecen."

Sonda: elemento adaptado a una cámara digital, cuya función es llegar a un objetivo de difícil alcance para el inspector y capturar una imagen o video.

Discontinuidad: es la pérdida de la homogeneidad del material

4.2.2. Guía de práctica para Inspección por Tintas Penetrantes.

Inspección por Tintas Penetrantes.

Nombre 1 Apellido 1¹, Nombre 2 Apellido 2².

Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de **Ingeniería Mecánica**

Asignatura: **Nombre de la asignatura**, Cuenca – Ecuador, Fecha de entrega: **día-mm- año**

1. Presentación de la práctica

En esta práctica se pretende aplicar la técnica de Inspección por tintas penetrantes para detectar discontinuidades superficiales en piezas o elementos mecánicos. Para ello previamente se deberá familiarizarse con el equipo ZA-1633 Método A (Sistema de inspección por líquidos penetrantes fluorescentes de lavado de agua), y establecer el método a aplicar.



Figura 1. Sistema de inspección ZA-1633 A.

Dependiendo de la sensibilidad de la prueba se establecerá el método a aplicar, ya sea con tintas coloreadas o fluorescentes.

2. Requisitos, precauciones y evaluación

Requisitos

Lecturas recomendadas:

- Proyecto de Tesis "ESTUDIO TÉCNICO E IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE END".
- Manual de Ensayos no Destructivos mediante la técnica de Inspección por Tintas Penetrantes.
- Norma ASTM E-165.

¹ En el pie de página indicar para cada uno de las (os) estudiantes, indicar el año de la carrera que cursan y el correo para correspondencia.

² Ejemplo: Estudiante de cuarto año de la Carrera de Ingeniería Electrónica, correo electrónico: alumno@ups.edu.ec

Precauciones

Verificar la alimentación del equipo de prueba, controlando el correcto funcionamiento de cada una de sus unidades.

Evaluaciones

Para dar inicio a la práctica se deberá conocer el principio y las características más importantes de la Inspección por Tintas Penetrantes, así como del Equipo de prueba.

3. Objetivos

- Identificar y conocer el equipo de ensayo.
- Verificar el estado superficial de elementos mecánicos mediante la técnica de Inspección por Tintas Penetrantes.

4. Equipos, instrumentos y software

Tabla 1. Tabla de equipos, instrumentos y software

Descripción	Marca	Serie
Sistema de inspección por líquidos penetrantes fluorescentes de lavado de agua	Magnaflux	ZA-1633

5. Exposición

Mediante la aplicación de tintas penetrantes se pretende detectar fisuras en la superficie abierta del material, aplicando un líquido coloreado o

fluorescente, el cual penetra en cualquier discontinuidad que pudiera existir debido al fenómeno de capilaridad. La capacidad de penetración (capilaridad) de los líquidos depende principalmente de las propiedades de mojabilidad (ángulo de contacto entre líquido y sólido: α), tensión superficial (T) y viscosidad (μ).

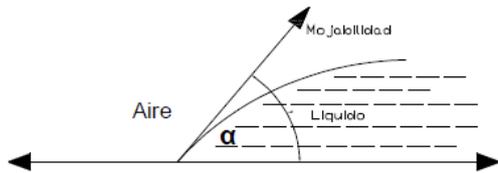


Figura 2. Mojabilidad.

Los líquidos pueden ser:

Penetrantes coloreados: Se inspeccionan a simple vista. Solamente hay que contar con una buena fuente de luz blanca. Tienen menos sensibilidad.

Penetrantes fluorescentes: Se inspeccionan con la ayuda de una lámpara de luz ultravioleta (luz negra). Sin ésta son invisibles a la vista. Tienen mayor sensibilidad.

La superficie en la cual se va aplicar el líquido penetrante deberá estar libre de cualquier tipo de contaminación.

Existe un tiempo estimado de penetración del líquido en la superficie del elemento a inspeccionar, el cual puede variar de entre 10 a 30 minutos (ver tabla de tiempos de penetración mínimos recomendados ASTM165).

Pasado el tiempo de penetración se deberá remover el exceso de líquido, mediante agua o con la aplicación de un solvente dependiendo del tipo de ensayo.

Luego se deberá aplicar algún tipo de revelador, para posteriormente inspeccionar el elemento mecánico y detectar fisuras o algún tipo de discontinuidades. Si se aplica un líquido fluorescente dicha inspección deberá ser realizada bajo luz ultravioleta (negra) y también en una cabina oscura.

6. Proceso y procedimiento

6.1 Proceso



Figura 2. Proceso para inspección por tintas penetrantes.

6.2 Procedimiento

6.2.1. Verificación del equipo.

Verificar el funcionamiento de cada una de las unidades del equipo de prueba.

6.2.2. Selección de la superficie.

Se deberá seleccionar la superficie en la que se considere que puedan existir fisuras o algún tipo de discontinuidades.

6.2.3. Limpieza.

Es importante que la superficie se encuentre libre de cualquier tipo de contaminante (polvo, grasa, oxido, etc.), ya que pueden intervenir en la entrada del líquido penetrante a las discontinuidades.

Se utilizara un solvente SKC-S.



Figura 3. Solvente para limpieza.

6.2.4. Aplicación del Penetrante.

La aplicación del líquido penetrante puede ser por Inmersión, Pulverización, o con brocha. Independientemente de la técnica de aplicación, lo importante es el tiempo de penetración, el cual puede variar de entre 5 a 30 minutos.

Se recomienda revisar la bibliografía recomendada para establecer el tiempo de aplicación del penetrante.

El líquido puede ser coloreado lavable en agua SKL-WP2 o lavable en solvente SKL-SP2 y fluorescente ZL-27A.



Figura 4. Tintas penetrantes.

6.2.5. Remoción del exceso de penetrante.

Esta remoción se puede realizar mediante un lavado utilizando el equipo de atomizado de agua o mediante inmersión, o a su vez aplicando un solvente utilizando

paños de algodón. La pieza o el elemento a inspeccionar, deberá quedar completamente seca, para ello se puede utilizar la cabina de secado.

El tiempo de lavado con agua no excederá los 120 segundos.

6.2.6. Aplicación del Revelador.

En esta etapa se obtienen los resultados, aplicando un medio revelador sobre la superficie ensayada.

De igual manera se recomienda revisar la bibliografía para establecer el tiempo de aplicación del revelador.



Figura 5. Solvente para revelado.

El revelador utilizado dependerá del líquido penetrante, ya que para penetrantes coloreados se utilizara el revelador SKD-S2 y para penetrantes fluorescentes se utilizara el revelador ZP-9F.

6.2.7. Inspección Final.

La inspección final puede ser realizada bajo una luz blanca o visible cuando el líquido penetrante utilizado es rojo, en el caso de haber utilizado un líquido penetrante Fluorescente la inspección final deberá ser realizada bajo luz ultravioleta (negra) en una cabina oscura.

Los resultados obtenidos se deberán detallar a continuación.

7. Resultados y/o discusión

7.1 Resultados

Se basan exclusivamente en los datos recolectados. Deben ser presentados de forma objetiva, concisa y en secuencia lógica.

7.2 Discusión

En esta sección los resultados deben ser comparados con conceptos teóricos y hacer énfasis en el aporte de realizar la práctica. A la par se debe interpretar los resultados y las implicaciones (relación entre el efecto y la causa, consecuencia) que tienen estos en el campo de estudio.

8. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Apartado para que el estudiante desarrolle sus conclusiones, observaciones y recomendaciones sobre la práctica.

Una conclusión consta de dos partes primero escriba la principal interpretación de los resultados y a continuación extienda la importancia de la práctica.

Recomendaciones

En las recomendaciones se debe proporcionar sugerencias orientadas al mejoramiento con base en los resultados, estas podrían ser, sugerencias para la mejora del proceso y procedimiento para prácticas futuras, en otras palabras las sugerencias deben estar dentro del marco de la realización de la práctica.

Referencias

Al final del trabajo liste y enumere todas las referencias bibliográficas con una fuente Times New Roman tamaño 12.

1. Proyecto de tesis "ESTUDIO TÉCNICO E IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE END".
2. Manual de Ensayos no Destructivos mediante la técnica de Inspección por Tintas Penetrantes.
3. Norma ASTM E-165
4. <http://mx.magnaflux.com/>.

Glosario

En la parte final del documento se debe incluir un glosario.

“Un glosario es un anexo que se agrega al final de libros, investigaciones o tesis. En él, se incluyen todos aquellos términos poco conocidos, de difícil interpretación, o que no sean comúnmente utilizados en el contexto en que aparecen.”

Discontinuidad: es la pérdida de la homogeneidad del material.

Capilaridad: determina el poder de penetración de un líquido a través de las discontinuidades.

Mojabilidad: es la capacidad que tiene un líquido de extenderse y dejar una traza sobre un sólido.

4.2.3. Guía de práctica para Inspección por Partículas Magnéticas.

Inspección por Partículas Magnéticas.

Nombre 1 Apellido 1¹, Nombre 2 Apellido 2².

Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de **Ingeniería Mecánica**

Asignatura: **Nombre de la asignatura**, Cuenca – Ecuador, Fecha de entrega: **día-mm- año**

1. Presentación de la práctica

En esta práctica se pretende aplicar la técnica de Inspección por partículas magnéticas para detectar discontinuidades superficiales en piezas o elementos mecánicos magnetizables. Para ello previamente se deberá familiarizarse con el MAG KIT (banco de prueba), con el equipo portátil Y-7 AC/DC Magnetic Yoke Kit, y con todos los accesorios necesarios para la inspección.



Figura 1. MAG KIT (Banco de prueba).

2. Requisitos, precauciones y evaluación

Requisitos

Lecturas recomendadas:

- Proyecto de Tesis “ESTUDIO TÉCNICO E IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE END”.
- Manual de Ensayos no Destructivos mediante la técnica de Inspección por Partículas Magnéticas.
- <http://mx.magnaflux.com/>.

¹ En el pie de página indicar para cada uno de las (os) estudiantes, indicar el año de la carrera que cursan y el correo para correspondencia.

² Ejemplo: Estudiante de cuarto año de la Carreara de Ingeniería Electrónica, correo electrónico: alumno@ups.edu.ec

Precauciones

Verificar la alimentación del equipo de prueba, tomando las debidas precauciones ya que el equipo trabaja con una intensidad de corriente alta.

Evaluaciones

Para dar inicio a la práctica se deberá conocer el principio y las características más importantes de la Inspección por Partículas Magnéticas, así como del Equipo de prueba.

3. Objetivos

- Identificar y conocer el equipo de ensayo.
- Verificar el estado superficial de elementos mecánicos mediante la técnica de Inspección por Partículas Magnéticas.

4. Equipos, instrumentos y software

Tabla 1. Tabla de equipos, instrumentos y software

Descripción	Marca	Serie
MAG KIT	Magnaflux	
Magnetic Yoke Kit	Magnaflux	

5. Exposición

Aplicando el ensayo mediante partículas magnéticas, se pretende detectar discontinuidades (fisuras) superficiales y sub-superficiales, solamente en materiales ferromagnéticos (Hierro, aceros, níquel y cobalto), mediante la magnetización del elemento a inspeccionar.

El principio básico en el que se basa esta técnica es el magnetismo que consiste en aplicar un campo magnético sobre el elemento a inspeccionar, para luego espolvorearlo con partículas ferromagnéticas, las cuales mostrarán algunas distorsiones en el campo magnético generado, revelando así las discontinuidades existentes en el elemento ensayado. Este resultado se da ya que dichas discontinuidades son aproximadamente perpendiculares al campo magnético.

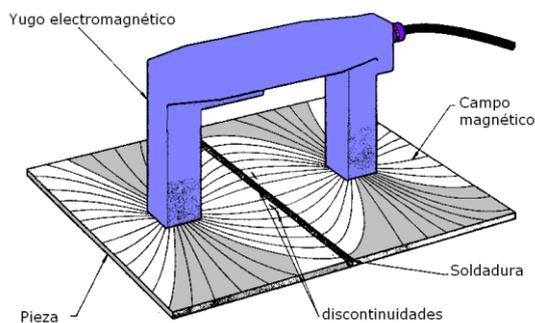


Figura 2. Magnetización.

Técnica del campo residual o remanente. Se aplica esta técnica cuando el elemento es de alta retentividad. Luego de sometido a un campo magnético, se aplican las partículas sobre la superficie a ensayar.

Técnica del campo continuo. Se aplica esta técnica para elementos con alta permeabilidad y baja retentividad, y consiste en aplicar las partículas magnéticas mientras se mantiene constante el campo magnético.

Esta técnica es más sensible que la del campo residual, ofreciendo una mejor indicación de la discontinuidad, debido a que es mayor el flujo disperso y por ende la atracción sobre las partículas magnéticas.

YUGOS

Un yugo es un elemento de metal en forma de "U" con una bobina alrededor de la barra horizontal, la cual transporta la corriente eléctrica.

Para el Laboratorio de END se cuenta con un Kit de Yugo Electromagnético (fig.2) el cual consiste en un

arrollamiento sobre un cuerpo en forma de U hecho de hierro blando (chapas al Si).

Sus patas pueden ser fijas o articuladas. Estas últimas sirven para variar la distancia de contacto y para adaptarse a diferentes geometrías de la pieza. Cuando se trabaja con CC, hay gran penetración del campo mientras que con C.A. el campo magnético se concentra en la superficie de la pieza, dando muy buena sensibilidad para discontinuidades superficiales sobre una amplia zona.



Figura 3. Kit de yugo magnético.

DESMAGNETIZACION

Todos los materiales ferromagnéticos, después de que han sido magnetizados, retendrán un campo magnético residual, este campo magnético puede ser muy pequeño en metales suaves, pero en metales muy duros, este campo puede ser similar al campo de un imán permanente.



Figura 4. Sistema para desmagnetizado.

6. Proceso y procedimiento

6.1 Proceso

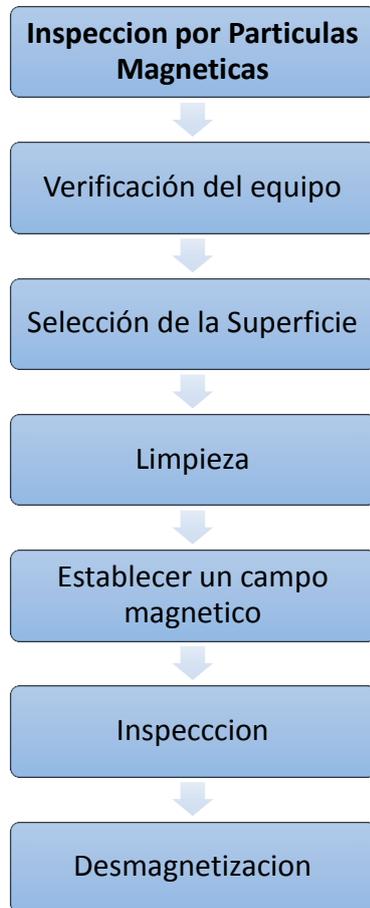


Figura 5. Proceso para inspección por partículas magnéticas.

6.2 Procedimiento

6.2.1. Verificación del equipo.

Verificar el correcto funcionamiento del equipo a utilizar, ya sea fijo o portátil, esto puede hacerse utilizando bloques patrón.

6.2.2. Selección de la superficie.

Se deberá seleccionar la superficie en la que se considere que puedan existir fisuras o algún tipo de discontinuidades.

6.2.3. Limpieza.

Es importante que la superficie se encuentre libre de cualquier tipo de

impurezas ya que pueden intervenir en la inspección, mostrando indicaciones falsas.



Figura 6. Solvente para limpieza.

6.2.4. Establecer un campo magnético.

Una vez limpia la superficie a inspeccionar, se procede a inducir un campo magnético sobre la misma, aplicando las partículas magnéticas simultáneamente, hasta cubrir toda la superficie, para luego desactivar el campo.

Es importante tomar en cuenta que solo se podrá apreciar las discontinuidades que sean perpendiculares al campo magnético.

6.2.5. Inspección.

Se deberá eliminar el exceso de partículas magnéticas de la superficie, esto se hace únicamente soplando uniformemente la pieza, para luego apreciar las indicaciones obtenidas.

6.2.6. Desmagnetización.

Es importante desmagnetizar el elemento inspeccionado ya que al encontrarse inducido un campo magnético, este puede intervenir en el proceso de producción del mismo, afectando en la precisión, acabados, etc.

7. Resultados y/o discusión

7.1 Resultados

Se basan exclusivamente en los datos recolectados. Deben ser presentados de forma objetiva, concisa y en secuencia lógica.

7.2 Discusión

En esta sección los resultados deben ser comparados con conceptos teóricos y hacer énfasis en el aporte de realizar la práctica. A la par se debe interpretar los resultados y las implicaciones (relación entre el efecto y la causa, consecuencia) que tienen estos en el campo de estudio.

8. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Apartado para que el estudiante desarrolle sus conclusiones, observaciones y recomendaciones sobre la práctica.

Una conclusión consta de dos partes primero escriba la principal interpretación de los resultados y a continuación extienda la importancia de la práctica.

Recomendaciones

En las recomendaciones se debe proporcionar sugerencias orientadas al mejoramiento con base en los resultados, estas podrían ser, sugerencias para la mejora del proceso y procedimiento para prácticas futuras, en otras palabras las sugerencias deben estar dentro del marco de la realización de la práctica.

Referencias

Al final del trabajo liste y enumere todas las referencias bibliográficas con una fuente Times New Roman tamaño 12.

1. Proyecto de tesis "ESTUDIO TÉCNICO E IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE END".
2. Manual de Ensayos no Destructivos mediante la técnica de Inspección por Partículas Magnéticas.
3. <http://mx.magnaflux.com/>.

Glosario

En la parte final del documento se debe incluir un glosario.

“Un glosario es un anexo que se agrega al final de libros, investigaciones o tesis. En él, se incluyen todos aquellos términos poco conocidos, de difícil interpretación, o que no sean comúnmente utilizados en el contexto en que aparecen.”

Discontinuidad: es la pérdida de la homogeneidad del material.

Magnetismo: es "La fuerza invisible que tiene la habilidad de desarrollar trabajo mecánico de atracción y repulsión de materiales magnetizables".

4.2.4. Guía de práctica para Inspección por Termografía Industrial.

Inspección por Termografía Industrial

Nombre 1 Apellido 1¹, Nombre 2 Apellido 2².

Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de **Ingeniería Mecánica**

Asignatura: **Nombre de la asignatura**, Cuenca – Ecuador, Fecha de entrega: **día-mm- año**

1. Presentación de la práctica

En esta práctica se pretende emplear el equipo de Termografía Industrial, para visualizar la distribución de temperatura de un sistema o elemento mecánico mediante la obtención de imágenes termográficas (termograma), de diferentes secciones que puedan presentar fallas superficiales o internas. Para ello previamente se deberá familiarizarse con el equipo de prueba (figura 1), para realizar las configuraciones necesarias antes de iniciar la inspección.



Figura 1. Cámara testo 882.

2. Requisitos, precauciones y evaluación

Requisitos

Lecturas recomendadas:

- Proyecto de Tesis “ESTUDIO TÉCNICO E IMPLEMENTACION DEL LABORATORIO DE END”
- Manual de Ensayos no Destructivos mediante la técnica de Inspección por Termografía Industrial.
- Manual del fabricante del equipo termografico.

Precauciones

Verificar la batería del equipo.

Es necesario utilizar un filtro especial, para inspecciones a temperaturas de 350-550 C°.

Evaluaciones

Para dar inicio a la práctica se deberá conocer el principio y las características más importantes de la Inspección mediante Termografía Industrial, así como del equipo de prueba.

3. Objetivos

- Identificar y conocer el equipo de ensayo.
- Visualizar la distribución de temperatura de un sistema o elemento mecánico, mediante la técnica de Termografía Industrial.

¹ En el pie de página indicar para cada uno de las (os) estudiantes, indicar el año de la carrera que cursan y el correo para correspondencia.

² Ejemplo: Estudiante de cuarto año de la Carreara de Ingeniería Electrónica, correo electrónico: alumno@ups.edu.ec

4. Equipos, instrumentos y software

Tabla 1. Tabla de equipos, instrumentos y software

Descripción	Marca	Serie
Cámara Testo 882	TESTO	0882
Trípode	VANGUARD	Tracker S
Filtro protector	TESTO	0882 8805
Software Testo irsoft	TESTO	

5. Exposición

La termografía es un método de inspección de equipos eléctricos y mecánicos mediante la obtención de imágenes de su distribución de temperatura. Este método de inspección se basa en que la mayoría de los componentes de un sistema muestran un incremento de temperatura en mal funcionamiento. El incremento de temperatura en un circuito eléctrico podría deberse a una mala conexión o problemas con un rodamiento en caso de equipos mecánicos.

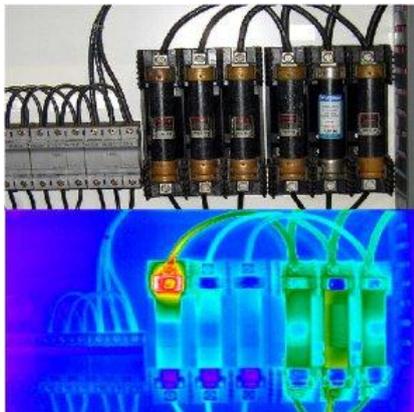


Figura 2. Termograma de una instalación eléctrica.

Este ensayo consiste en la detección de áreas calientes o frías de un objeto, mediante una cámara termografía, la cual detecta la emisión natural de radiación infrarroja procedente de un objeto y genera una imagen térmica, comúnmente llamada Termograma, donde se podrán detectar las

discontinuidades existentes en dicho objeto, observando las variaciones de temperatura.

La energía infrarroja emitida por el objeto, es la suma de tres componentes:

- La energía infrarroja, proveniente del objeto.
- La energía reflejada por dicho objeto.
- La energía emitida por el ambiente.

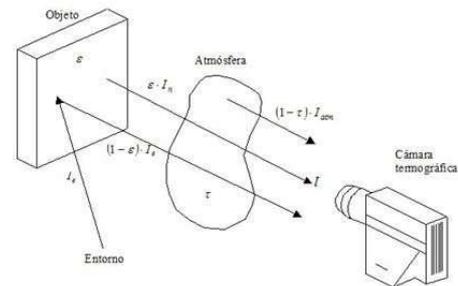


Figura 2. Termografía industrial.

Todo cuerpo a temperatura superior al cero absoluto ($-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$) emite radiación en forma de calor. La cantidad de radiación emitida es proporcional a la variación de temperatura del cuerpo.

Las radiaciones infrarrojas se encuentran entre las zonas visibles e invisibles del espectro electromagnético (longitudes de onda en el rango de 0.75 y $10\text{ }\mu\text{m}$).

Antes de iniciar la inspección se debe tener en cuenta los siguientes factores:

- La emisividad se deberá ajustar según el recubrimiento en la superficie del objeto a medir.
- Evitar realizar la inspección en superficies húmedas o con suciedad (polvo, hollín, o lubricante), ya que pueden intervenir en los resultados.
- Al realizar la inspección en superficies lisas, hay que tener en cuenta cualquier posible fuente de radiación cercana (el sol, radiadores, etc.)

6. Proceso y procedimiento

6.1 Proceso



Figura 3. Proceso para Inspección por Termografía.

6.2 Procedimiento

6.2.1. Selección de la superficie a inspeccionar.

Es importante conocer la temperatura de operación de los elementos a inspeccionar, para una correcta evaluación de los resultados obtenidos. Si la superficie seleccionada emite suciedad, o esta a una temperatura superior a 350°C , es necesario utilizar los filtros especiales que vienen con el equipo, para proteger el lente.



Figura 4. Filtros de protección.

6.2.2. Calibración del equipo.

Es importante conocer la emisividad del material a inspeccionar, ya que debe ser introducido en el equipo, a si como el rango de temperatura a la que se encuentra el elemento a inspeccionar.

El rango de temperatura ingresamos presionando la tecla “OK”, con la ayuda del cursor, seleccionamos “Funciones de medición”, luego “Rango”, y elegimos el mas adecuado para nuestra inspección.

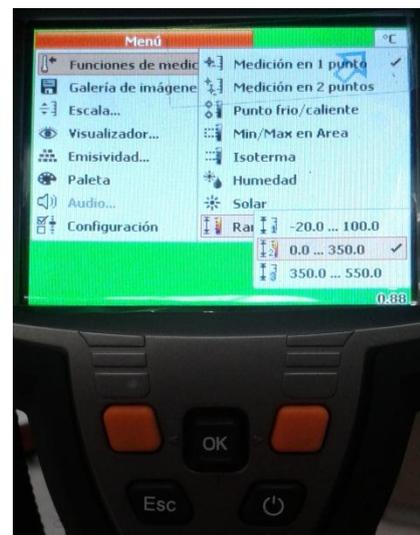


Figura 5. Rango de temperatura.

De igual manera con la tecla “OK”, ingresamos al menú, y seleccionamos el valor adecuado de la emisividad.



Figura 6. Selección de la emisividad.

6.2.3. Toma de imagen.

La inspección se realiza haciendo un barrido a toda la superficie con la cámara termográfica, considerando las zonas críticas, y realizando la toma de imágenes termográficas. Es importante tener presente que este tipo de inspección solo se realiza a elementos en funcionamiento.

Es necesario estabilizar la imagen (figura 7), ya sea de forma manual mediante el anillo del lente (a) o automática mediante el gatillo (b), dos opciones que nos ofrece la cámara termográfica testo 882.



Figura 6. Estabilidad de la imagen.

Previamente se deberá seleccionar la opción automática (A) o manual (M).

6.2.4. Exportar los archivos

Mediante un cable USB, o mediante la tarjeta de memoria, se realizara la exportación de las imágenes obtenidas a un computador, en el cual mediante el software del equipo, se realizara las configuraciones necesarias a las imágenes, dependiendo de los requerimientos, antes de colocarlas en el informe correspondiente.

6.2.5. Análisis de resultados

Se analizará las imágenes obtenidas para determinar si existe algún tipo

de discontinuidades. Este método de inspección se basa en que la mayoría de los componentes de un sistema muestran un incremento de temperatura cuando se encuentran en mal funcionamiento, para ello es importante conocer la temperatura de operación de los elementos a inspeccionar.

7. Resultados y/o discusión

7.1 Resultados

Se basan exclusivamente en los datos recolectados. Deben ser presentados de forma objetiva, concisa y en secuencia lógica.

7.2 Discusión

En esta sección los resultados deben ser comparados con conceptos teóricos y hacer énfasis en el aporte de realizar la práctica. A la par se debe interpretar los resultados y las implicaciones (relación entre el efecto y la causa, consecuencia) que tienen estos en el campo de estudio.

8. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Apartado para que el estudiante desarrolle sus conclusiones, observaciones y recomendaciones sobre la práctica.

Una conclusión consta de dos partes primero escriba la principal interpretación de los resultados y a continuación extienda la importancia de la práctica.

Recomendaciones

En las recomendaciones se debe proporcionar sugerencias orientadas al mejoramiento con base en los resultados, estas podrían ser, sugerencias para la mejora del proceso y procedimiento para prácticas futuras, en otras palabras las sugerencias deben

estar dentro del marco de la realización de la práctica.

Referencias

Al final del trabajo liste y enumere todas las referencias bibliográficas con una fuente Times New Roman tamaño 12.

1. Proyecto de tesis "ESTUDIO TECNICO E IMPLEMENTACION DEL LABORATORIO DE END".
2. Manual de Ensayos no Destructivos mediante la técnica de Inspección por Termografía Industrial.
3. Manual del fabricante del equipo termografico.
4. ASTM E 1934 - 99^a

Glosario

En la parte final del documento se debe incluir un glosario.

"Un glosario es un anexo que se agrega al final de libros, investigaciones o tesis. En él, se incluyen todos aquellos términos poco conocidos, de difícil interpretación, o que no sean comúnmente utilizados en el contexto en que aparecen."

Discontinuidad: es la pérdida de la homogeneidad del material.

Emisividad: es la proporción de radiación térmica emitida por una superficie u objeto debido a una diferencia de temperatura con su entorno.

4.2.5. Guía de práctica para Inspección por Ultrasonido.

Inspección por Ultrasonido.

Nombre 1 Apellido 1¹, Nombre 2 Apellido 2²

Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de **Ingeniería Mecánica**

Asignatura: **Nombre de la asignatura**, Cuenca – Ecuador, Fecha de entrega: **día-mm- año**

1. Presentación de la práctica

En esta práctica se pretende aplicar la técnica de Inspección por Ultrasonido para detectar discontinuidades superficiales, internas en piezas o elementos mecánicos o para la medición de espesores. Para ello previamente se deberá familiarizarse con el equipo de prueba y con todos los accesorios necesarios para la inspección.



Figura 1. Equipo de inspección por Ultrasonido.

Dependiendo de la aplicación se establecerá el método a aplicar y se realizará las configuraciones necesarias al equipo antes de realizar la inspección.

2. Requisitos, precauciones y evaluación

Requisitos

Lecturas recomendadas:

- Proyecto de Tesis "ESTUDIO TÉCNICO E IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE END".

¹ En el pie de página indicar para cada uno de las (os) estudiantes, indicar el año de la carrera que cursan y el correo para correspondencia.

² Ejemplo: Estudiante de cuarto año de la Carrera de Ingeniería Electrónica, correo electrónico: alumno@ups.edu.ec

- Manual de Ensayos no Destructivos mediante la técnica de Inspección por Ultrasonido.
- <http://www.olympus-ims.com>

Precauciones

Verificar el estado de la batería, las conexiones de los accesorios dependiendo de la aplicación, para no tener inconvenientes al momento de realizar la inspección.

Evaluaciones

Para dar inicio a la práctica se deberá conocer el principio y las características más importantes de la Inspección por Ultrasonido, así como del Equipo de prueba.

3. Objetivos

- Identificar y conocer el equipo de ensayo.
- Verificar la sanidad interna de elementos mecánicos mediante la técnica de Inspección por Ultrasonido.

4. Equipos, instrumentos y software

Tabla 1. Tabla de equipos, instrumentos y software

Descripción	Marca	Serie
EPOCH XT Digital Ultrasonic Flaw Detector	Olympus	XT
Bloques de calibración.	Olympus	
Palpadores (transductores)	Olympus	

5. Exposición

Esta técnica se basa en el uso de una onda acústica de alta frecuencia que no es perceptible por el oído humano, que se transmite a través de un medio físico (palpador), para la detección de discontinuidades internas y superficiales o para medir espesores de paredes.

El palpador es dispositivo mediante el cual la energía eléctrica se convierte en energía mecánica (ondas sonoras), o viceversa. Es de vital importancia en la inspección ya que de este dependen las características del haz ultrasónico que se propaga en el material.



Figura 2. Palpador de contacto.

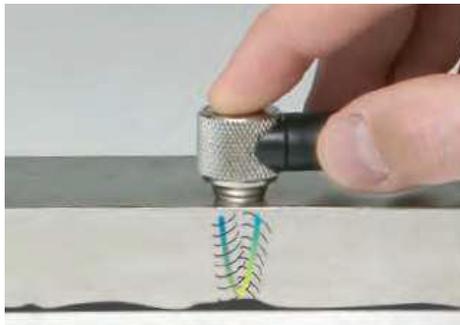


Figura 3. Palpador dual.



Figura 4. Palpador angular.

El tipo de discontinuidad a detectar depende del palpador utilizado, dependiendo del tipo de inspección, de las frecuencias que para que sean ultrasónicas deben estar dentro de un rango de 0.25 a 25 MHz. Dentro del palpador se encuentra un cristal o un cerámico piezoeléctrico, que, al ser excitado eléctricamente y por efecto piezoeléctrico, hace vibrar a el palpador a altas frecuencias, generando estas ondas ultrasónicas, las cuales son transmitidas al material que se desea realizar la inspección.

Las ondas ultrasónicas generadas se propagan a través del material hasta que se encuentran con alguna interface, como una discontinuidad o algún otro material, y es cuando se produce una reflexión de la onda, la cual es amplificada e interpretada en el equipo de medición utilizado Figura 5.

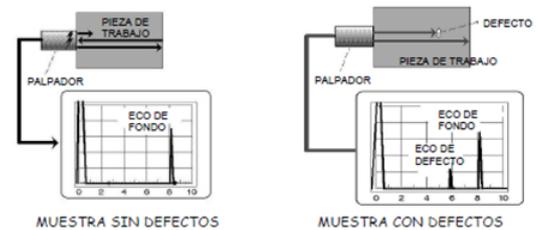


Figura 5. Inspección por Ultrasonido.

Es necesaria la aplicación de un líquido acoplante, con el objetivo de eliminar la delgada capa de aire entre el palpador y la superficie del elemento a inspeccionar, ya que el aire presenta una elevada impedancia acústica que dificultaría la transmisión del haz ultrasónico.

Un correcto procedimiento de ensayo mediante ultrasonido, señala que no se debe iniciar la inspección sin antes haber calibrado el conjunto equipo-palpador, esto se realiza mediante un bloque o juego de bloques con discontinuidades artificiales y/o espesores conocidos (bloques de calibración).



Figura 6. Bloque de calibración.

6. Proceso y procedimiento

6.1 Proceso

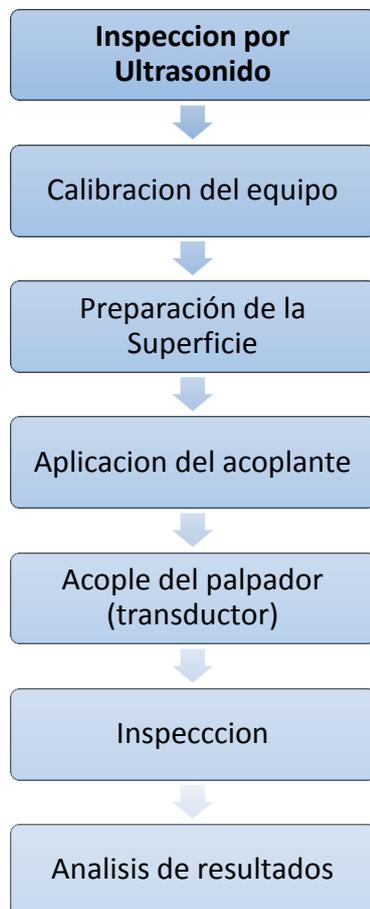


Figura 7. Proceso para inspección por ultrasonido.

6.2 Procedimiento

6.2.1. Calibración del equipo.

Verificar el estado de la batería del equipo. Los bloques de calibración a utilizarse son los de tipo escalonado, utilizados principalmente para la

medición de espesores, y los de AWS D1.1 como el de la figura 6, para realizar la inspección de discontinuidades en diferentes elementos mecánicos.

La calibración debe hacerse periódicamente, cada dos horas o cada vez que se cambia el palpador, con el fin de eliminar errores, del equipo y los palpadores utilizados.

6.2.2. Preparación de la superficie.

La superficie deberá estar completamente limpia, para garantizar un acople perfecto con el palpador.

6.2.3. Aplicación del acoplante.

Para eliminar la impedancia acústica generada por la línea de aire existente entre el palpador y la pieza, se deberá aplicar un líquido acoplante, para garantizar la transmisión del haz ultrasónico.

6.2.4. Acople del palpador(transductor).

Se procede a realizar el acople entre la superficie a inspeccionar y el palpador, el tipo de palpador dependerá del tipo de inspección.

6.2.5. Inspección.

Se debe guiar el palpador en diferentes orientaciones para encontrar posibles discontinuidades en el elemento inspeccionado.

En la mayoría de los casos el equipo de inspección acusa:

- Un pico correspondiente al impulso de emisión.
- Una sucesión de pequeños picos debidos a imperfecciones superficiales de las caras.
- Eventualmente un pico debido al eco de una discontinuidad.
- Un pico debido al eco de fondo.

6.2.6. Análisis de resultados.

Es de mucha importancia tener el registro de los resultados obtenidos, con las discontinuidades y su ubicación para una inspección posterior, luego de que el elemento

se haya sometido a algún proceso de corrección.

7. Resultados y/o discusión

7.1 Resultados

Se basan exclusivamente en los datos recolectados. Deben ser presentados de forma objetiva, concisa y en secuencia lógica.

7.2 Discusión

En esta sección los resultados deben ser comparados con conceptos teóricos y hacer énfasis en el aporte de realizar la práctica. A la par se debe interpretar los resultados y las implicaciones (relación entre el efecto y la causa, consecuencia) que tienen estos en el campo de estudio.

8. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Apartado para que el estudiante desarrolle sus conclusiones, observaciones y recomendaciones sobre la práctica.

Una conclusión consta de dos partes primero escriba la principal interpretación de los resultados y a continuación extienda la importancia de la práctica.

Recomendaciones

En las recomendaciones se debe proporcionar sugerencias orientadas al mejoramiento con base en los resultados, estas podrían ser, sugerencias para la mejora del proceso y procedimiento para prácticas futuras, en otras palabras las sugerencias deben estar dentro del marco de la realización de la práctica.

Referencias

Al final del trabajo liste y enumere todas las referencias bibliográficas con una fuente Times New Roman tamaño 12.

1. Proyecto de tesis "ESTUDIO TÉCNICO E IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE END".
2. Manual de Ensayos no Destructivos mediante la técnica de Inspección por Ultrasonido.
- 3 <http://www.olympus-ims.com>

Glosario

En la parte final del documento se debe incluir un glosario.

“Un glosario es un anexo que se agrega al final de libros, investigaciones o tesis. En él, se incluyen todos aquellos términos poco conocidos, de difícil interpretación, o que no sean comúnmente utilizados en el contexto en que aparecen.”(4)

Discontinuidad: es la pérdida de la homogeneidad del material.

4.2.6. Guía de práctica para Inspección por Radiografía Industrial.

Inspección por Radiografía Industrial

Nombre 1 Apellido 1¹, Nombre 2 Apellido 2².

Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de **Ingeniería Mecánica**

Asignatura: **Nombre de la asignatura**, Cuenca – Ecuador, Fecha de entrega: **día-mm- año**

1. Presentación de la práctica

En esta práctica se pretende emplear el equipo de Radiografía Industrial, para detectar discontinuidades superficiales e internas en piezas o elementos mecánicos. Para ello previamente se deberá familiarizarse con el equipo de prueba (figura 1), para realizar las configuraciones necesarias antes de iniciar la inspección.



Figura 1. Equipo de Rayos-X.

2. Requisitos, precauciones y evaluación

Requisitos

Lecturas recomendadas:

- Proyecto de Tesis “ESTUDIO TÉCNICO E IMPLEMENTACION DEL LABORATORIO DE END”
- Manual de Ensayos no Destructivos mediante la técnica de Inspección por Radiografía Industrial.

- Manual del fabricante del equipo de Rayos-X.

Precauciones

Antes de dar inicio a la inspección, verificar que el área se encuentre despejada.

Revisar el correcto funcionamiento de los indicadores de seguridad.

Evaluaciones

Para dar inicio a la práctica se deberá conocer el principio y las características más importantes de la Inspección mediante Radiografía Industrial, así como del equipo de prueba.

3. Objetivos

- Identificar y conocer el equipo de ensayo.
- Verificar la sanidad superficial e interna de elementos mecánicos mediante la técnica de inspección por Radiografía Industrial.

4. Equipos, instrumentos y software

Tabla 1. Tabla de equipos, instrumentos y software

Descripción	Marca	Serie
Tubo de Rayos-X	Angstrom	AXFQ2005
Unidad de Control	Angstrom	AXFQ2005
Equipo Revelador	JPI	JP-33
Película	JPI	

¹ En el pie de página indicar para cada uno de las (os) estudiantes, indicar el año de la carrera que cursan y el correo para correspondencia.

² Ejemplo: Estudiante de cuarto año de la Carreara de Ingeniería Electrónica, correo electrónico: alumno@ups.edu.ec

5. Exposición

Este método es utilizado para detectar discontinuidades superficiales e internas de piezas de una amplia gama de materiales empleados en la industria. Permite radiografiar objetos de todos los tamaños (desde componentes electrónicos, hasta componentes de la industria pesada), ya sean fabricados por forja, fundiciones, mecanizados, laminados, compuestos, etc.

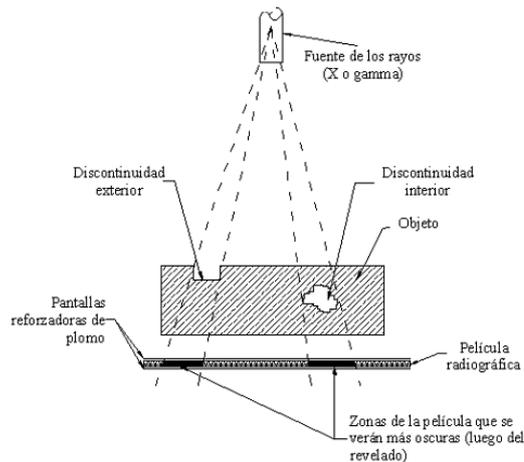


Figura 2. Inspección por radiografía industrial.

La radiografía proporciona un registro visual permanente sobre una película sensible (debidamente procesada luego de la exposición) acerca de las condiciones que presenta la pieza inspeccionada.

El principio en el que se basa este método consiste en la capacidad que contienen los materiales de absorber una parte de la energía de radiación ionizante de alta energía, que al pasar a través de un material sólido, parte de esta energía, es atenuada debido a diferencias de espesores, densidad o presencia de discontinuidades.

El objetivo del tubo de rayos X (figura 3), es proporcionar una intensidad suficiente y controlada del flujo de electrones para producir un haz de rayos X con la cantidad y calidad deseada.

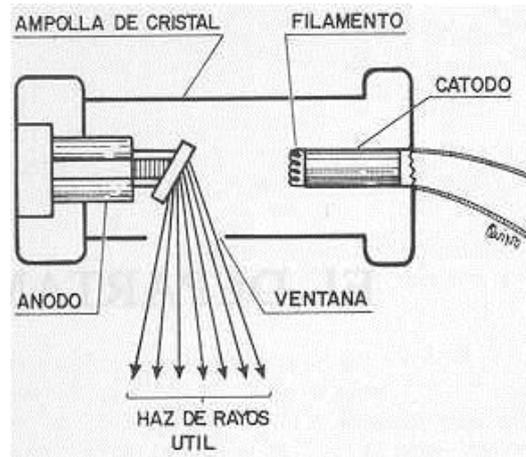


Figura 3. Esquema del tubo rayos-X.

El haz de rayos X se genera por una desaceleración brusca que sufren los electrones que provienen del cátodo, al impactarse contra el ánodo.

Inicialmente, deben conocerse algunas características del material que se va a examinar, como son: tipo del metal, su configuración, el espesor de la pared a ser radiografiada, etc. Todo ello con el fin de seleccionar el radioisótopo o el kilovoltaje más adecuados.

Una vez establecida la fuente de radiación, se deben calcular las distancias entre ésta, el objeto y la película, para así poder obtener la nitidez deseada en la película radiográfica, para una mejor visualización de los resultados obtenidos.

6. Proceso y procedimiento

6.1 Proceso



Figura 4. Proceso para Inspección por radiografía.

6.2 Procedimiento

6.2.1. Selección del elemento a inspeccionar.

Es importante conocer las características del material a inspeccionar, para seleccionar el kilovoltaje y el tiempo adecuado para la inspección. Piezas con geometría compleja y con impurezas sobre la superficie, dificultan, y hasta imposibilitan la correcta aplicación de la técnica.

6.2.2. Calibración del equipo.

En la unidad de control (figura 5), se calibra el kilovoltaje y el tiempo de exposición, dependiendo de las características del elemento.



Figura 5. Unidad de control.

El tiempo y el kilo-voltaje adecuado se seleccionara en la grafica propia del equipo (figura 6), de acuerdo a las características del elemento a inspeccionar.

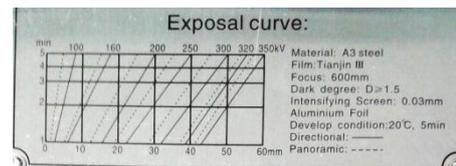


Figura 6. Grafica para calibración.

6.2.3. Inspección.

Se debe calcular la distancia fuente-objeto, mediante la ecuación de la penumbra geométrica:

$$Ug = \frac{Fxe}{D}$$

Donde:

Ug = Penumbra geométrica

F = Tamaño de la fuente. La dimensión máxima efectiva de la fuente de radiación (o punto local).

D = Distancia desde la fuente de radiación a la soldadura u objeto que está siendo radiografiado.

e = Espesor de la soldadura o del objeto a ser radiografiado, asumiendo que la película está junto a la soldadura u objeto. De otra manera será la suma del espesor de la soldadura u objeto a radiografiar y la distancia entre la película y la soldadura u objeto.

La penumbra geométrica debe ser lo más pequeña posible, la cual según ASME sección V, no debe exceder lo siguiente:

	ESPESOR DEL MATERIAL		MAXIMA PENUMBRA GEOMETRICA	
	mm	pulg	mm	pulg
menos	50,8	2	0,508	0,020
50,8 a	76,2	2 a 3	0,762	0,030
76,2 a	101,6	3 a 4	1,016	0,040
mayor	101,6	4	1,778	0,070

Figura 7. Penumbra geométrica.

Luego se coloca el elemento a inspeccionar sobre la mesa del soporte del tubo de rayos-X (figura 8), se verifica que la zona de prueba este despejada, y se realiza el disparo, emitiendo radiación sobre el material, durante el tiempo y con la intensidad calibrados.

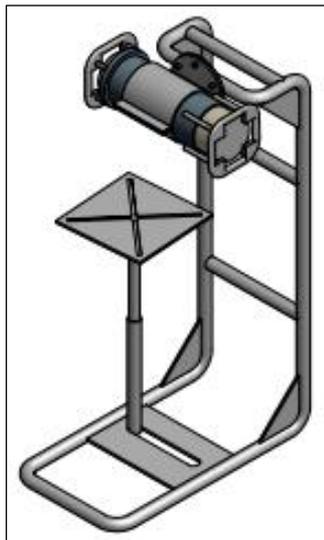


Figura 8. Soporte del tubo de rayos-X.

6.2.4. Revelado.

Una vez que el elemento a inspeccionar ha sido sometido a radiación ionizante, se retira la película y se realiza el revelado correspondiente, comprobando que la imagen sea la deseada.



Figura 9. Equipo de revelado.

6.2.5. Análisis de resultados

La interpretación de los resultados obtenidos, se detallaran en el punto 7, considerando una norma de referencia de acuerdo a la inspección realizada.

7. Resultados y/o discusión

7.1 Resultados

Se basan exclusivamente en los datos recolectados. Deben ser presentados de forma objetiva, concisa y en secuencia lógica.

7.2 Discusión

En esta sección los resultados deben ser comparados con conceptos teóricos y hacer énfasis en el aporte de realizar la práctica. A la par se debe interpretar los resultados y las implicaciones (relación entre el efecto y la causa, consecuencia) que tienen estos en el campo de estudio.

8. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Apartado para que el estudiante desarrolle sus conclusiones, observaciones y recomendaciones sobre la práctica.

Una conclusión consta de dos partes primero escriba la principal interpretación de los resultados y a continuación extienda la importancia de la práctica.

Recomendaciones

En las recomendaciones se debe proporcionar sugerencias orientadas al mejoramiento con base en los resultados, estas podrían ser, sugerencias para la mejora del proceso y procedimiento para prácticas futuras, en otras palabras las sugerencias deben estar dentro del marco de la realización de la práctica.

Referencias

Al final del trabajo liste y enumere todas las referencias bibliográficas con una fuente Times New Roman tamaño 12.

1. Proyecto de tesis "ESTUDIO TECNICO E IMPLEMENTACION DEL LABORATORIO DE END".
2. Manual de Ensayos no Destructivos mediante la técnica de Inspección por Termografía Industrial.
3. Manual del fabricante del equipo termografico.
4. Norma ASME sección V

Glosario

En la parte final del documento se debe incluir un glosario.

"Un glosario es un anexo que se agrega al final de libros, investigaciones o tesis. En él, se incluyen todos aquellos términos poco conocidos, de difícil interpretación, o que no sean comúnmente utilizados en el contexto en que aparecen."(4)

Discontinuidad: es la pérdida de la homogeneidad del material.

Penumbra geométrica: es la mínima distancia posible entre el elemento a inspeccionar y la película radiográfica.

4.2.7. Guía de práctica para Inspección por presión Hidrostática.

Inspección mediante Presión Hidrostática.

Nombre 1 Apellido 1¹, Nombre 2 Apellido 2².

Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de **Ingeniería Mecánica**

Asignatura: **Nombre de la asignatura**, Cuenca – Ecuador, Fecha de entrega: **día-mm- año**

1. Presentación de la práctica

En esta práctica se pretende utilizar el equipo de Presión Hidrostática (figura 1), para someter a especímenes (muestras) de prueba de tubería PVC a una presión constante interna, en un ambiente controlado. La prueba sirve para determinar el tiempo-falla de la tubería, cuando se mantiene bajo una presión hidráulica constante.



Figura 1. Equipo para pruebas hidrostáticas.

2. Requisitos, precauciones y evaluación

Requisitos

Lecturas recomendadas:

- Proyecto de Tesis “ESTUDIO TÉCNICO E IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE END”.
- Manual del fabricante QUALITEST.
- Norma ASTM D 1598-97
- Norma ISO 1167

Precauciones

Verificación de la alimentación de los equipos, las conexiones de todos los accesorios y elementos, siguiendo las

recomendaciones dadas por el fabricante en el catalogo.

Evaluaciones

Para dar inicio a la práctica se deberá conocer el principio y las características más importantes de la Inspección mediante Presión Hidrostática, así como del equipo de prueba.

3. Objetivos

- Identificar y conocer el equipo de ensayo.
- Verificar la resistencia a la presión de una tubería de PVC, mediante la técnica de Presión Hidrostática.

4. Equipos, instrumentos y software

Tabla 1. Tabla de equipos, instrumentos y software

Descripción	Marca	Serie
Tanque de prueba mediante Presión Hidrostática	QUALI TEST	H1
Unidad de Control de Presión	QUALI TEST	HPT-10I
Mordazas (1/2,3/4,1,11/2,2)	QUALI TEST	HPT-EC-SS

5. Exposición

Una prueba hidrostática es la prueba de presión que se realiza a tuberías y equipos para verificar su hermeticidad, confirmar su integridad mecánica y avalar que estén en óptimas condiciones de operación, de acuerdo a las normas, especificaciones, códigos o estándares

¹ En el pie de página indicar para cada uno de las (os) estudiantes, indicar el año de la carrera que cursan y el correo para correspondencia.

² Ejemplo: Estudiante de cuarto año de la Carreara de Ingeniería Electrónica, correo electrónico: alumno@ups.edu.ec

aplicables. La presión de prueba debe mantenerse constante todo el tiempo. Se deberá usar agua potable entre 16 °C y 38 °C como fluido de prueba. El contenido de cloro no deberá exceder las 100 ppm.

La presión de prueba se calculara como se menciona a continuación:

a) Tuberías y equipos nuevos.

Sistema de tubería:

$$P_{ph} = 1.5 * P_d \frac{S_{tp}}{S_{td}}$$

Recipientes a presión:

$$P_{ph} = 1.3 * P_d \frac{S_{tp}}{S_{td}}$$

Dónde:

P_{ph} = Presión de prueba hidrostática en kPa (kg/cm²).

P_d = Presión de diseño en kPa (kg/cm²).

S_{tp} = Esfuerzo permisible a la temperatura de prueba en kPa (kg/cm²).

S_{td} = Esfuerzo permisible a la temperatura de diseño en kPa (kg/cm²).

b) Equipos y tuberías en servicio.

Se utilizaran las mismas ecuaciones que para los equipos y tuberías nuevos, lo único que varía son las variables, ya que se utilizaran la presión y el esfuerzo permisible a la temperatura de operación en lugar de la de diseño.

Para la inspección de tuberías mediante Presión Hidrostática, tomamos de referencia la norma ASTM D 1598-97, la cual entre lo más importante menciona lo siguiente:

El equipo necesario para realizar el ensayo debe mantener la presión constante, por lo general se utiliza una bomba la cual debe estar conectada a un tanque o depósito de agua que mantenga el fluido a una temperatura ambiente (23 ± 2 C°).

Longitud de las muestras de ensayo se determina de la siguiente manera:

- Para tubería de 6 pulgadas o menos, la longitud del espécimen debe ser equivalente a 5 veces el diámetro nominal del tubo, pero en

todo caso no debe ser menor a 12 pulgadas.

- Para diámetros grandes, la longitud debe ser de 3 veces el diámetro exterior, pero no menor a 30 pulgadas.

Se consideran fallas:

- Cualquier pérdida de presión con o sin la transmisión de agua a través del cuerpo del espécimen estando bajo prueba.
- Aumento o expansión del espécimen de tubería, cuando este sometido a presión interna.
- Ruptura o grieta en la pared de la tubería con la inmediata pérdida del fluido.

Luego de permanecer el espécimen a prueba durante las horas establecidas y la muestra no presento ninguno de los efectos considerados como fallas, la prueba se da como satisfactoria.

6. Proceso y procedimiento

6.1 Proceso



Figura 2. Proceso para inspección mediante Presión Hidrostática.

6.2 Procedimiento

6.2.1 Preparación del espécimen (muestra).

La longitud de la muestra se determina de acuerdo a ASTM D 1598-97, como se indica en el punto 5 (exposición).



Figura 3. Muestra de la tubería de PVC.

Conectamos el espécimen con las mordazas (figura 4), con la cadena y el arnés adecuado.



Figura 4. Especimen listo para la prueba.

Previamente se deberá verificar que las mordazas estén con todos sus accesorios (figura 5).



Figura 5. Mordaza y sus accesorios.

6.2.2 Calibración de la Unidad de Control.

Luego de haber sumergido la muestra en el tanque de prueba (figura 6), se calibra el equipo de acuerdo a los datos de la tubería.



Figura 6. Probeta en el tanque de prueba.

Antes de sumergir la probeta se revisa que la manguera esta conectada correctamente (figura 7), en la mordaza y la estación 1 del tanque.



Figura 7. Conexión de la manguera de presión.

Primero se calcula la presión de prueba, la cual según la norma de referencia es 1.5PN (Presión Nominal).

$$\text{Presión de Prueba} = 1.5 (1.25)$$

$$\text{Presión de Prueba} = 1.875 \text{Mpa}$$

De acuerdo al valor calculado se ingresa el limite inferior y superior de presión, los cuales serán $\pm 2 \text{Mpa}$ de la presión de prueba (figura 8), con la ayuda de un destornillador (1).



Figura 8. Panel de control.

Si el led se encuentra encendido (2), indica que el nivel de agua es insuficiente en el mini tanque (figura 9), por lo que se debe abrir la válvula hasta alcanzar el nivel de agua requerido, momento en el cual automáticamente se cierra el paso del agua.



Figura 9. Mini tanque.

Ingresamos el valor de la temperatura de prueba en la unidad de control (figura 10), presionamos “Start” para aceptar.



Figura 10. Temperatura de prueba.

Ahora se ingresa los datos necesarios en la unidad de control (figura 11), para poner en marcha la prueba.



Figura 11. Unidad de control.

Para maximizar el teclado, se lo realiza como se muestra en la figura 112.

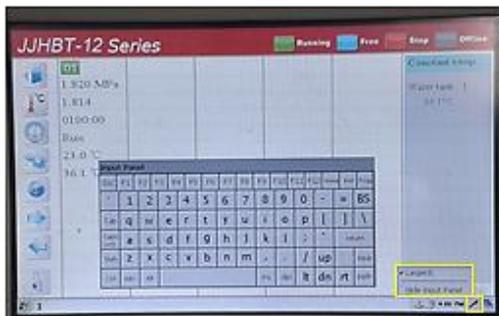


Figura 12. Teclado unidad de control.

Para la guía de calibración del equipo, se considerara la figura 11, ingresando los datos solicitados de acuerdo a la muestra de la tubería, y de la norma de referencia:

- Presionamos (1), se desplegara una pantalla (figura 13), en la cual se ingresara los datos solicitados, seleccionamos “Save” para guardar.

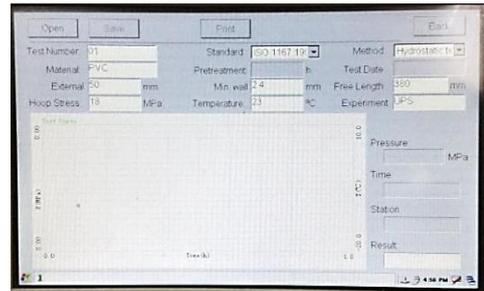


Figura 13. Calibración del equipo.

- Presionamos (2), para ingresar el valor de la temperatura de prueba (figura 14).



Figura 14. Calibración de la temperatura.

Presionamos “Start” para que se mantenga estable la temperatura en toda la prueba.

- Presionamos (3), para ingresar el valor de la presión de prueba (figura 15).



Figura 15. Calibración de la temperatura.

Ingresamos el valor y presionamos “Constant pressure” para que la presión se mantenga constante en toda la prueba.

- Presionamos (4), y se desplegara la pantalla (figura 16) donde se da inicio a la prueba.



Figura 16. Datos de la muestra.

Presionamos “Specimen”, se desplegara una pantalla en la cual se ingresara los datos de la muestra, seleccionamos “OK” para aceptar.

Luego de ingresado todos los datos y parámetros, se da inicio a la prueba, presionando “Start” (figura 16). Si en un máximo de 3 minutos no se visualiza la presión en la unidad de control (figura 17), la prueba se para automáticamente.



Figura 17. Control de presión.

El tanque empezara a llenarse, para ello se debe verificar que la válvula de distribución de agua este abierta.



Figura 18. Válvula de distribución de agua.

En el transcurso de la prueba se debe verifica que la presión sea constante, y que la temperatura no sobrepase los 40C° (figura 19).



Figura 19. Control de temperatura.

Caso contrario se abrirá la válvula (figura 20), que se encuentra en la parte posterior del tanque de prueba, para mantener la temperatura en un rango menor a 40C°. Asegurarse que la válvula de distribución de agua (figura 18) esta abierta.



Figura 20. Válvula, control de temperatura.

Además es importante controlar el avance de la prueba, para ello presionamos (4) (figura 11), y visualizamos la curva (presión-temperatura) de la prueba en proceso (figura 21).

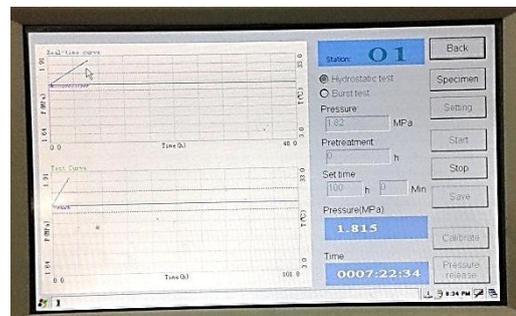


Figura 21. Prueba en proceso.

El equipo calibra automáticamente 100 horas de prueba.

6.2.3 Análisis de resultados.

Luego de finalizado las 100 horas de prueba, guardamos, para luego extraer los resultados obtenidos y analizarlos mediante el software del equipo.

Si no se va a realizar mas pruebas vaciamos el tanque abriendo la válvula de desfogue (figura 22).

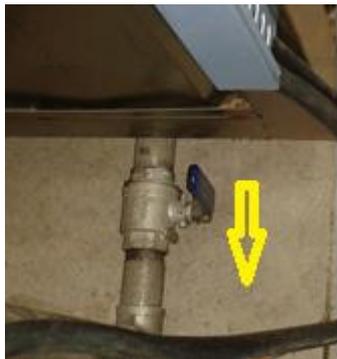


Figura 19. Válvula de desfogue.

Los resultados se analizan en el punto 7, considerando la norma de referencia.

7. Resultados y/o discusión

7.1 Resultados

Se basan exclusivamente es los datos recolectados. Deben ser presentados de forma objetiva, concisa y en secuencia lógica.

7.2 Discusión

En esta sección los resultados deben ser comparados con conceptos teóricos y hacer énfasis en el aporte de realizar la práctica. A la par se debe interpretar los resultados y las implicaciones (relación entre el efecto y la causa, consecuencia) que tienen estos en el campo de estudio.

8. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Apartado para que el estudiante desarrolle sus conclusiones, observaciones y recomendaciones sobre la práctica.

Una conclusión consta de dos partes primero escriba la principal interpretación de los resultados y a continuación extienda la importancia de la práctica.

Recomendaciones

En las recomendaciones se debe proporcionar sugerencias orientadas al mejoramiento con base en los resultados, estas podrían ser, sugerencias para la mejora del proceso y procedimiento para prácticas futuras, en otras palabras las sugerencias deben estar dentro del marco de la realización de la práctica.

Referencias

Al final del trabajo liste y enumere todas las referencias bibliográficas con una fuente Times New Román tamaño 12.

1. Proyecto de Tesis "ESTUDIO TÉCNICO E IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE END".
2. Manual del fabricante del equipo QUALITEST.
3. Norma ASTM D 1598-97
4. Norma ISO 1167

Glosario

En la parte final del documento se debe incluir un glosario.

"Un glosario es un anexo que se agrega al final de libros, investigaciones o tesis. En él, se incluyen todos aquellos términos poco conocidos, de difícil interpretación, o que no sean comúnmente utilizados en el contexto en que aparecen."

4.3. Ejecución y validación de la guía de prácticas.

4.3.1. Práctica de Inspección Visual.

Inspección Visual

Cristian Bernal¹

Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de **Ingeniería Mecánica**

Asignatura: **Ensayos No Destructivos**, Cuenca – Ecuador, Fecha de entrega: **04-06-2014**

1. Presentación de la práctica

En esta práctica se pretende emplear el equipo de inspección visual, para realizar tomas de imágenes y de video, de diferentes secciones que puedan presentar discontinuidades superficiales internas. Para ello previamente se deberá familiarizarse con el equipo (Boroscopio Industrial), y realizar las configuraciones necesarias antes de iniciar la práctica.



Figura 1. Boroscopio Industrial.

2. Requisitos, precauciones y evaluación

Requisitos

Lecturas recomendadas:

- Proyecto de Tesis "ESTUDIO TÉCNICO E IMPLEMENTACION DEL LABORATORIO DE END"
- Manual de Ensayos no Destructivos mediante la técnica de Inspección Visual.

Precauciones

Verificar la batería del equipo, la conexión de la sonda, y del lente.

Evaluaciones

Para dar inicio a la práctica se deberá conocer el principio y las características

más importantes de la Inspección Visual, así como del Equipo de prueba.

3. Objetivos

- Identificar y conocer el equipo de ensayo.
- Verificar el estado superficial de paredes internas mediante la técnica de inspección visual.

4. Equipos, instrumentos y software

Tabla 1. Tabla de equipos, instrumentos y software

Descripción	Marca	Serie
Boroscopio Industrial	EXTECH	HDV 600
Sonda (1m)		
Sonda (30m)		

5. Exposición

La inspección visual es una técnica de END, que requiere de una gran cantidad de información de las características del elemento a ser inspeccionado, para una acertada interpretación de las posibles indicaciones generadas por las discontinuidades.

Consiste en revisar la calidad de las superficies, durante y después del proceso de fabricación de las piezas, detectando daños por abrasión, mecánicos, corrosión y discontinuidades en uniones como soldadura, sellados, etc.

La detección puede realizarse mediante el uso de espejos, amplificadores, boroscopios y otros accesorios o instrumentos visuales.

- Se requiere de una agudeza visual alta, por lo contrario es importante

¹Egresado de la Carrera de Ingeniería Mecánica, correo electrónico: cbernal@ups.edu.ec

el uso de lentes de aumento o lupas de 5X y de 10X.

- Sistemas de interferencia cromática o con luz polarizada.
- Endoscopios (Boroscopios): Son equipos utilizados para realizar inspecciones visuales indirectas, ya que son empleados en lugares de difícil alcance por el inspector o en áreas de alto riesgo.

6. Proceso y procedimiento

6.1 Proceso



Figura 2. Proceso para Inspección Visual.

6.2 Procedimiento

6.2.1. Calibración del equipo.

Calibrar el equipo con el zoom, el brillo y contraste adecuado, para obtener una calidad óptima de imagen o video de la superficie a inspeccionar.

6.2.2. Selección de la superficie

Mediante la sonda se explorara las paredes internas del elemento, detectando discontinuidades.



Figura 3. Sonda 30m.

6.2.3. Toma de imagen o video

Una vez determinada la discontinuidad, se realizara la toma de imagen o video, con la calibración adecuada realizada anteriormente.

6.2.4. Exportar los archivos

Mediante un cable USB, o mediante la tarjeta de memoria, se realizara la exportación de la imagen o video a un computador.

6.2.5. Análisis de resultados

Se analizará las imágenes obtenidas para determinar si existe algún tipo de discontinuidades.

7. Resultados y/o discusión

7.1 Resultados

Se inspecciono las cámaras de lubricación, combustión, y refrigeración del cabezote de un Chevrolet Swift. (Figura 4).



Figura 4. Cabezote Chevrolet Swift.

Tabla 2. Resultados Inspección Visual.

Cámara de Lubricación.



Inspección.



Fisura.

Tabla 3. Resultados Inspección Visual.

Cámara de Combustión.



Inspección.



Agrietamiento.

Tabla 4. Resultados Inspección Visual.

Cámara de Refrigeración.



Inspección.



Agrietamiento

7.2 *Discusión*

La técnica de inspección visual es la primera en considerar al momento de inspeccionar algún elemento.

Generalmente se aplican para:

- Adquirir una evaluación general de un elemento tubular, herramienta o componente.
- Detectar tempranamente los defectos antes que alcancen el tamaño crítico.
- Detectar errores de manufactura.
- Obtener información sobre las condiciones en las que se encuentran los elementos que muestran algún defecto.

Si se creyera conveniente se deberá utilizar otra técnica de ensayo, en este caso, podría ser inspección por tintas penetrantes, para confirmar o descartar las discontinuidades encontradas mediante inspección visual.

8. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Al término de la presente práctica se conoció el equipo de Inspección Visual, realizando inspecciones al cabezote del motor de un vehículo Chevrolet Swift, encontrándose discontinuidades, fisura en la cámara de lubricación, y agrietamiento en la cámara de combustión y lubricación.

La técnica de inspección visual, es de suma importancia, ya que se puede dar una evaluación general de un elemento inspeccionado, o se pueden encontrar discontinuidades antes que alcancen un tamaño crítico.

Recomendaciones

Se recomienda aplicar otras técnicas de ensayo al elemento en el que se aplicó inspección visual, para comparar los resultados, y confirmar o descartar las discontinuidades encontradas.

Referencias

1. Proyecto de tesis "ESTUDIO TECNICO E IMPLEMENTACION DEL LABORATORIO DE END".
2. Manual de Ensayos no Destructivos mediante la técnica de Inspección Visual.

Glosario

Sonda: elemento adaptado a una cámara digital, cuya función es llegar a un objetivo de difícil alcance para el inspector y capturar una imagen o video.

Discontinuidad: es la pérdida de la homogeneidad del material

4.3.2. Práctica de Inspección por Tintas Penetrantes.

Inspección por Tintas Penetrantes. Método A, Lavable con Agua.

Cristian Bernal¹.

Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de **Ingeniería Mecánica**

Asignatura: **Ensayos No Destructivos**, Cuenca – Ecuador, Fecha de entrega: 04-06- 2014

1. Presentación de la práctica

En esta práctica se pretende aplicar la técnica de Inspección por tintas penetrantes para detectar discontinuidades superficiales en piezas o elementos mecánicos. Para ello previamente se deberá familiarizarse con el equipo ZA-1633 Método A (Sistema de inspección por líquidos penetrantes fluorescentes de lavado de agua), y establecer el método a aplicar.



Figura 1. Sistema de inspección ZA-1633 A.

Dependiendo de la sensibilidad de la prueba se establecerá el método a aplicar, ya sea con tintas coloreadas o fluorescentes.

2. Requisitos, precauciones y evaluación

Requisitos

Lecturas recomendadas:

- Proyecto de Tesis "ESTUDIO TÉCNICO E IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE END".
- Manual de Ensayos no Destructivos mediante la técnica de Inspección por Tintas Penetrantes.
- Norma ASTM E-165.

Precauciones

Verificar la alimentación del equipo de prueba, controlando el correcto funcionamiento de cada una de sus unidades.

Evaluaciones

Para dar inicio a la práctica se deberá conocer el principio y las características más importantes de la Inspección por Tintas Penetrantes, así como del Equipo de prueba.

3. Objetivos

- Identificar y conocer el equipo de ensayo.
- Verificar el estado superficial de elementos mecánicos mediante la técnica de Inspección por Tintas Penetrantes.

4. Equipos, instrumentos y software

Tabla 1. Tabla de equipos, instrumentos y software

Descripción	Marca	Serie
Sistema de inspección por líquidos penetrantes fluorescentes de lavado de agua	Magnaflux	ZA-1633

5. Exposición

Mediante la aplicación de tintas penetrantes se pretende detectar fisuras en la superficie abierta del material, aplicando un líquido coloreado o fluorescente, el cual penetra en

¹ Egresado de la Carrera de Ingeniería Mecánica, correo electrónico: cbernal@ups.edu.ec

cualquier discontinuidad que pudiera existir debido al fenómeno de capilaridad. La capacidad de penetración (capilaridad) de los líquidos depende principalmente de las propiedades de mojabilidad (ángulo de contacto entre líquido y sólido: α), tensión superficial (T) y viscosidad (μ).

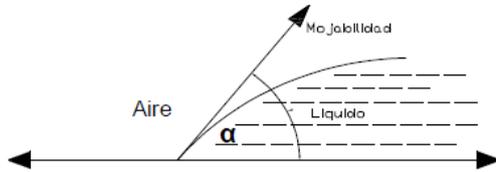


Figura 2. Mojabilidad.

Los líquidos pueden ser:

Penetrantes coloreados: Se inspeccionan a simple vista. Solamente hay que contar con una buena fuente de luz blanca. Tienen menos sensibilidad.

Penetrantes fluorescentes: Se inspeccionan con la ayuda de una lámpara de luz ultravioleta (luz negra). Sin ésta son invisibles a la vista. Tienen mayor sensibilidad.

La superficie en la cual se va aplicar el líquido penetrante deberá estar libre de cualquier tipo de contaminación.

Existe un tiempo estimado de penetración del líquido en la superficie del elemento a inspeccionar, el cual puede variar de entre 10 a 30 minutos (ver tabla de tiempos de penetración mínimos recomendados ASTM E-165).

Pasado el tiempo de penetración se deberá remover el exceso de líquido, mediante agua o con la aplicación de un solvente dependiendo del tipo de ensayo.

Luego se deberá aplicar algún tipo de revelador, para posteriormente inspeccionar el elemento mecánico y detectar fisuras o algún tipo de discontinuidades. Si se aplica un líquido fluorescente dicha inspección deberá ser realizada bajo luz ultravioleta (negra) y también en una cabina oscura.

6. Proceso y procedimiento

6.1 Proceso



Figura 2. Proceso para inspección por tintas penetrantes.

6.2 Procedimiento

6.2.1. Verificación del equipo.

Verificar el funcionamiento de cada una de las unidades del equipo de prueba.

6.2.2. Selección de la superficie.

Se deberá seleccionar la superficie en la que se considere que puedan existir fisuras o algún tipo de discontinuidades.

6.2.3. Limpieza.

Es importante que la superficie se encuentre libre de cualquier tipo de contaminante (polvo, grasa, óxido, etc.), ya que pueden intervenir en la

entrada del líquido penetrante a las discontinuidades.
Se utilizara un solvente SKC-S.



Figura 3. Solvente para limpieza.

6.2.4. Aplicación del Penetrante.

La aplicación del líquido penetrante puede ser por Inmersión, Pulverización, o con brocha. Independientemente de la técnica de aplicación, lo importante es el tiempo de penetración, el cual puede variar de entre 5 a 30 minutos. Se recomienda revisar la bibliografía recomendada para establecer el tiempo de aplicación del penetrante. El líquido puede ser coloreado lavable en agua SKL-WP2 o lavable en solvente SKL-SP2 y fluorescente.



Figura 4. Tintas penetrantes.

6.2.5. Remoción del exceso de penetrante.

Esta remoción se puede realizar mediante un lavado utilizando el equipo de atomizado de agua o

mediante inmersión, o a su vez aplicando un solvente utilizando paños de algodón. La pieza o el elemento a inspeccionar, deberá quedar completamente seca, para ello se puede utilizar la cabina de secado.

El tiempo de lavado con agua no excederá los 120 segundos.

6.2.6. Aplicación del Revelador.

En esta etapa se obtienen los resultados, aplicando un medio revelador sobre la superficie ensayada.

De igual manera se recomienda revisar la bibliografía para establecer el tiempo de aplicación del revelador.



Figura 5. Solvente para revelado.

El revelador utilizado dependerá del líquido penetrante, ya que para penetrantes coloreados se utilizara el revelador SKD-S2 y para penetrantes fluorescentes se utilizara el revelador ZP-9F.

6.2.7. Inspección Final.

La inspección final puede ser realizada bajo una luz blanca o visible cuando el líquido penetrante utilizado es rojo, en el caso de haber utilizado un líquido penetrante Fluorescente la inspección final deberá ser realizada bajo luz

ultravioleta (negra) en una cabina oscura.

Los resultados obtenidos se deberán detallar a continuación.

7. Resultados y/o discusión

7.1 Resultados

En las tablas se muestran los resultados obtenidos mediante la inspección por Tintas Penetrantes, Método A, Lavable con Agua, en la cual se verifico la sanidad del cordón de soldadura.

Tabla 2. Resultados.

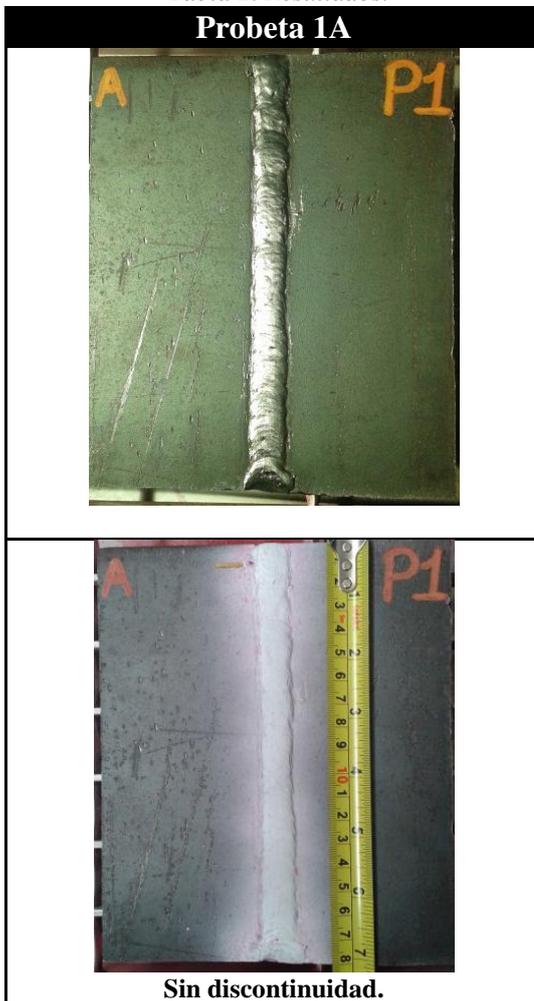


Tabla 3. Resultados.

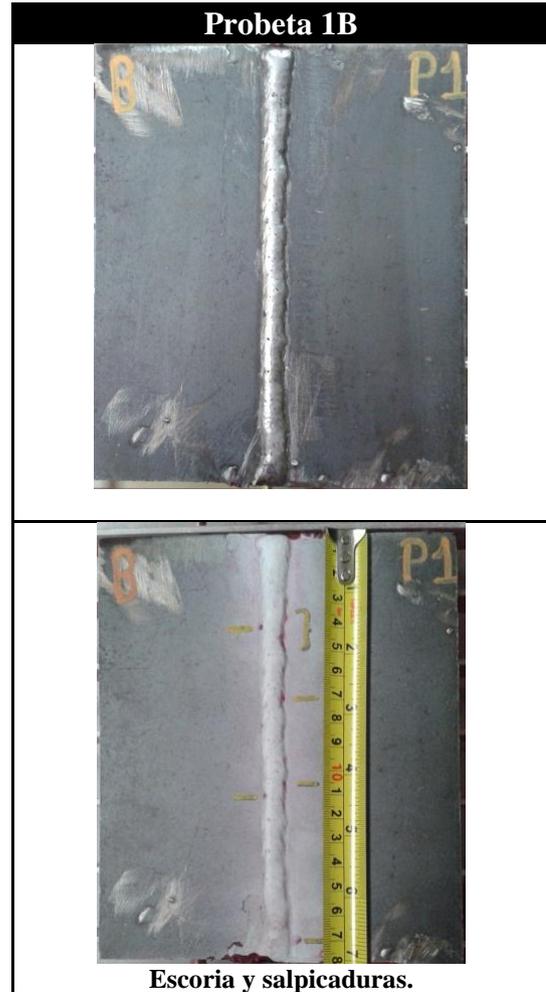
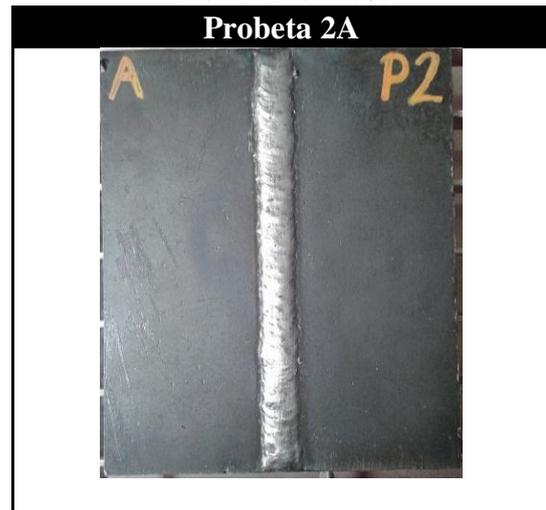


Tabla 4. Resultados.

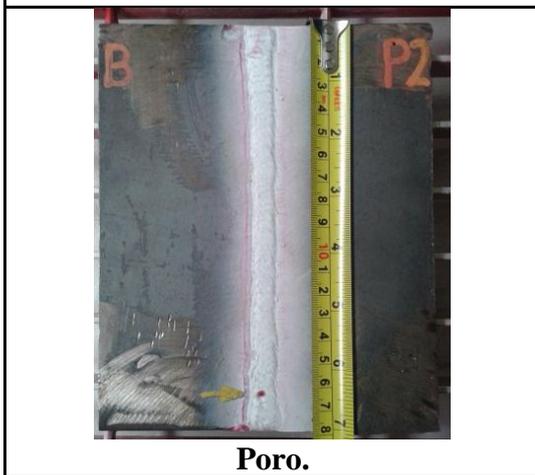
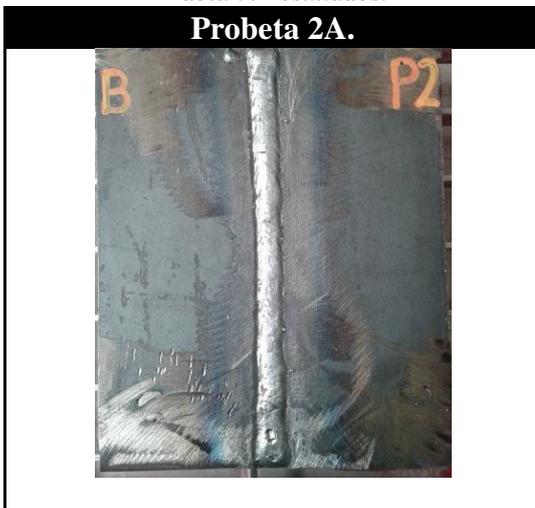




Salpicaduras.

Tabla 5. Resultados.

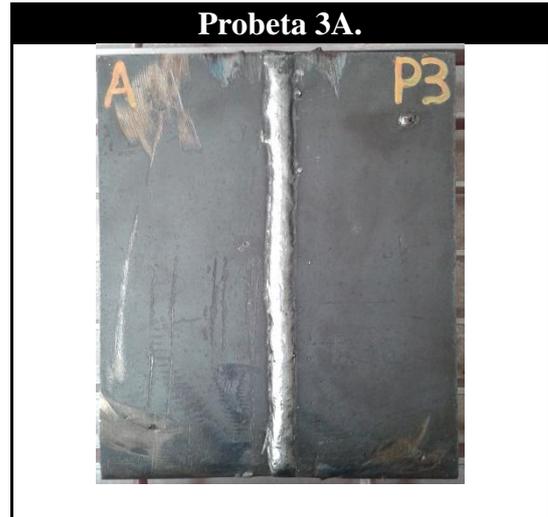
Probeta 2A.



Poros.

Tabla 6. Resultados.

Probeta 3A.



Salpicadura.

Tabla 7. Resultados.

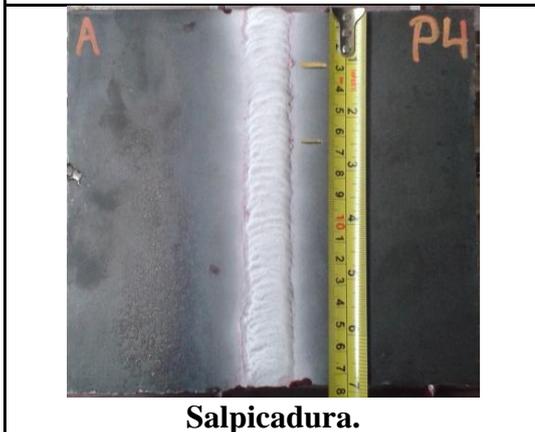
Métodos de ensayo.





Socavado.

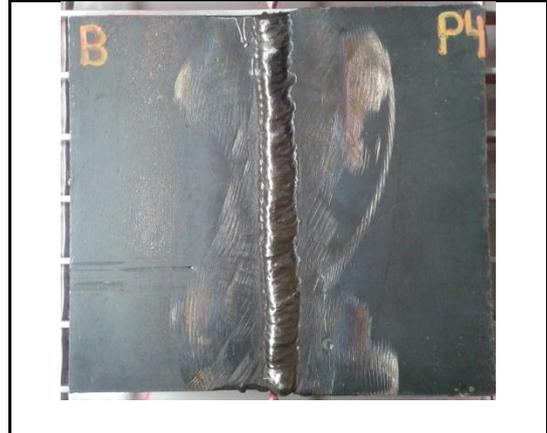
Tabla 8. Resultados.
Métodos de ensayo.



Salpicadura.

Tabla 9. Resultados.

Métodos de ensayo.



Mordedura y salpicadura.

7.2 Discusión

Para el análisis de los resultados se tomara los criterios de evaluación de la norma ASME BPVC Sección V Artículo 6, la cual menciona lo siguiente:

Toda superficie a ser examinada debe estar libre de:

- Indicaciones lineales relevantes.
- Indicaciones redondeadas relevantes mayores de 3/16 pulgada (5 mm).
- Cuatro o más indicaciones redondeadas relevantes alineadas y separadas 1/16 pulgada (1,5 mm) o menos.

Indicaciones con una dimensión mayor a 1/16 pulgada (1,5 mm) deben ser consideradas relevantes.

Indicación lineal: Aquella que tiene una longitud mayor de 3 veces su ancho.

Indicación redondeada: Aquella de forma circular o elíptica con una

longitud igual o menor de 3 veces su ancho.

Con la ayuda de una galga o calibrador se medirá las discontinuidades, para determinar si se acepta o rechaza el elemento, de acuerdo a la Tabla 10.

Tabla 10. Criterios de evaluación.

Criterio de evaluación		
Tamaño máximo permitido (mm).		
Lineal.	Redondeada.	Otro.
1.5	5	1.6

Tabla 11. Evaluación probeta 1A.

No	Tipo	Indicación (Lineal o Redondeada)	Evaluación (Aceptada o Rechazada)
-	-	-	Aceptada.

Tabla 12. Evaluación probeta 1B.

No	Tipo	Indicación (Lineal o Redondeada)	Evaluación (Aceptada o Rechazada)
1	Escoria	Lineal	Aceptada
2	Salpicaduras	Redondeada	Aceptada

Tabla 13. Evaluación probeta 2A.

No	Tipo	Indicación (Lineal o Redondeada)	Evaluación (Aceptada o Rechazada)
1	Salpicaduras	Redondeada	Aceptada

Tabla 14. Evaluación probeta 2B.

No	Tipo	Indicación (Lineal o Redondeada)	Evaluación (Aceptada o Rechazada)
1	Salpicaduras	Redondeada	Aceptada
2	Poros	Redondeada	Rechazada

Tabla 15. Evaluación probeta 3A.

No	Tipo	Indicación (Lineal o Redondeada)	Evaluación (Aceptada o Rechazada)
1	Salpicaduras	Redondeada	Aceptada

Tabla 15. Evaluación probeta 3B.

No	Tipo	Indicación (Lineal o Redondeada)	Evaluación (Aceptada o Rechazada)
1	Salpicaduras	Redondeada	Aceptada
2	Socavado	Lineal	Rechazada

Tabla 16. Evaluación probeta 4A.

No	Tipo	Indicación (Lineal o Redondeada)	Evaluación (Aceptada o Rechazada)
1	Salpicaduras	Redondeada	Aceptada
2	Mordedura	Lineal	Aceptada

Tabla 17. Evaluación probeta 4B.

No	Tipo	Indicación (Lineal o Redondeada)	Evaluación (Aceptada o Rechazada)
1	Salpicadura	Redondeada	Aceptada
2	Mordedura	Lineal	Rechazada

Las salpicaduras y escoria a pesar que muestran una indicación, no se consideran como discontinuidades ya que no afectan la sanidad del elemento o pieza inspeccionada.

8. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Al término de la presente práctica, se conoció el equipo de inspección para tintas penetrantes, realizando inspecciones a diferentes cordones de soldadura, encontrándose discontinuidades, las cuales basándonos en los criterios de evaluación de la norma ASME, se aceptan o rechazan.

Se aplicó el método A, de tintas coloreadas removible con agua, el cual tiene una sensibilidad parecida al método C de tintas penetrantes coloreadas e inferior al de tintas fluorescentes removibles con solvente. Este es un método recomendado cuando no se requiere una elevada sensibilidad y para inspeccionar grandes volúmenes de piezas y para ello se aplicara el sistema de inspección ZA-1633 con el que se cuenta en el laboratorio de END.

Recomendaciones

Se recomienda la utilización de patrones, para la interpretación de los resultados de inspección por tintas penetrantes de cualquier tipo de pieza o elemento mecánico, además la utilización de normas para la evaluación (aceptación o rechazo) de los resultados obtenidos.

Referencias

Al final del trabajo liste y enumere todas las referencias bibliográficas con una fuente Times New Roman tamaño 12.

1. Proyecto de tesis "ESTUDIO TÉCNICO E IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE END".
2. Manual de Ensayos no Destructivos mediante la técnica de Inspección por Tintas Penetrantes.
3. Norma ASTM E-165
4. Norma ASME BPVC Sección V
5. <http://mx.magnaflux.com/>.
6. <http://es.scribd.com/doc/38555328/Manual-de-Liquidos-Penetrantes-VISITE-http-bib-ciata-blogspot-com>

Glosario

Discontinuidad: es la pérdida de la homogeneidad del material.

ASTM: American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana de Ensayo de Materiales)

ASME: American Society of Mechanical Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos).

Inspección por Tintas Penetrantes. Método C, Removible con Solvente.

Cristian Bernal¹.

Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de **Ingeniería Mecánica**

Asignatura: **Ensayos No Destructivos**, Cuenca – Ecuador, Fecha de entrega: 04-06- 2014

1. Presentación de la práctica

En esta práctica se pretende aplicar la técnica de Inspección por tintas penetrantes para detectar discontinuidades superficiales en piezas o elementos mecánicos. Para ello previamente se deberá familiarizarse con el equipo ZA-1633 Método A (Sistema de inspección por líquidos penetrantes fluorescentes de lavado de agua), y establecer el método a aplicar.



Figura 1. Sistema de inspección ZA-1633 A.

Dependiendo de la sensibilidad de la prueba se establecerá el método a aplicar, ya sea con tintas coloreadas o fluorescentes.

2. Requisitos, precauciones y evaluación

Requisitos

Lecturas recomendadas:

- Proyecto de Tesis "ESTUDIO TÉCNICO E IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE END".
- Manual de Ensayos no Destructivos mediante la técnica de Inspección por Tintas Penetrantes.
- Norma ASTM E-165.

Precauciones

Verificar la alimentación del equipo de prueba, controlando el correcto funcionamiento de cada una de sus unidades.

Evaluaciones

Para dar inicio a la práctica se deberá conocer el principio y las características más importantes de la Inspección por Tintas Penetrantes, así como del Equipo de prueba.

3. Objetivos

- Identificar y conocer el equipo de ensayo.
- Verificar el estado superficial de elementos mecánicos mediante la técnica de Inspección por Tintas Penetrantes.

4. Equipos, instrumentos y software

Tabla 1. Tabla de equipos, instrumentos y software

Descripción	Marca	Serie
Sistema de inspección por líquidos penetrantes fluorescentes de lavado de agua	Magnaflux	ZA-1633

5. Exposición

Mediante la aplicación de tintas penetrantes se pretende detectar fisuras en la superficie abierta del material, aplicando un líquido coloreado o fluorescente, el cual penetra en

¹ Egresado de la Carrera de Ingeniería Mecánica, correo electrónico: cbernal@ups.edu.ec

cualquier discontinuidad que pudiera existir debido al fenómeno de capilaridad. La capacidad de penetración (capilaridad) de los líquidos depende principalmente de las propiedades de mojabilidad (ángulo de contacto entre líquido y sólido: α), tensión superficial (T) y viscosidad (μ).

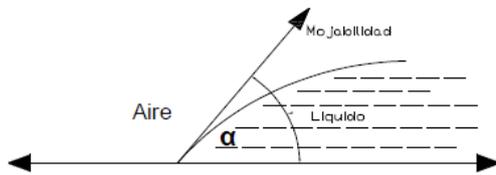


Figura 2. Mojabilidad.

Los líquidos pueden ser:

Penetrantes coloreados: Se inspeccionan a simple vista. Solamente hay que contar con una buena fuente de luz blanca. Tienen menos sensibilidad.

Penetrantes fluorescentes: Se inspeccionan con la ayuda de una lámpara de luz ultravioleta (luz negra). Sin ésta son invisibles a la vista. Tienen mayor sensibilidad.

La superficie en la cual se va aplicar el líquido penetrante deberá estar libre de cualquier tipo de contaminación.

Existe un tiempo estimado de penetración del líquido en la superficie del elemento a inspeccionar, el cual puede variar de entre 10 a 30 minutos (ver tabla de tiempos de penetración mínimos recomendados ASTM E-165). Pasado el tiempo de penetración se deberá remover el exceso de líquido, mediante agua o con la aplicación de un solvente dependiendo del tipo de ensayo.

Luego se deberá aplicar algún tipo de revelador, para posteriormente inspeccionar el elemento mecánico y detectar fisuras o algún tipo de discontinuidades. Si se aplica un líquido fluorescente dicha inspección deberá ser realizada bajo luz ultravioleta (negra) y también en una cabina oscura.

6. Proceso y procedimiento

6.1 Proceso



Figura 2. Proceso para inspección por tintas penetrantes.

6.2 Procedimiento

6.2.1. Verificación del equipo.

Verificar el funcionamiento de cada una de las unidades del equipo de prueba.

6.2.2. Selección de la superficie.

Se deberá seleccionar la superficie en la que se considere que puedan existir fisuras o algún tipo de discontinuidades.

6.2.3. Limpieza.

Es importante que la superficie se encuentre libre de cualquier tipo de contaminante (polvo, grasa, óxido,

etc.), ya que pueden intervenir en la entrada del líquido penetrante a las discontinuidades.

Se utilizara un solvente SKC-S.



Figura 3. Solvente para limpieza.

6.2.4. Aplicación del Penetrante.

La aplicación del líquido penetrante puede ser por Inmersión, Pulverización, o con brocha. Independientemente de la técnica de aplicación, lo importante es el tiempo de penetración, el cual puede variar de entre 5 a 30 minutos.

Se recomienda revisar la bibliografía recomendada para establecer el tiempo de aplicación del penetrante. El líquido puede ser coloreado lavable en agua SKL-WP2 o lavable en solvente SKL-SP2 y fluorescente.



Figura 4. Tintas penetrantes.

6.2.5. Remoción del exceso de penetrante.

Esta remoción se puede realizar mediante un lavado utilizando el

equipo de atomizado de agua o mediante inmersión, o a su vez aplicando un solvente utilizando paños de algodón. La pieza o el elemento a inspeccionar, deberá quedar completamente seca, para ello se puede utilizar la cabina de secado.

El tiempo de lavado con agua no excederá los 120 segundos.

6.2.6. Aplicación del Revelador.

En esta etapa se obtienen los resultados, aplicando un medio revelador sobre la superficie ensayada.

De igual manera se recomienda revisar la bibliografía para establecer el tiempo de aplicación del revelador.



Figura 5. Solvente para revelado.

El revelador utilizado dependerá del líquido penetrante, ya que para penetrantes coloreados se utilizara el revelador SKD-S2 y para penetrantes fluorescentes se utilizara el revelador ZP-9F.

6.2.7. Inspección Final.

La inspección final puede ser realizada bajo una luz blanca o visible cuando el líquido penetrante utilizado es rojo, en el caso de haber utilizado un líquido penetrante Fluorescente la inspección final deberá ser realizada bajo luz

ultravioleta (negra) en una cabina oscura.

Los resultados obtenidos se deberán detallar a continuación.

7. Resultados y/o discusión

7.1 Resultados

En las tablas se muestran los resultados obtenidos mediante la inspección por Tintas Penetrantes, Método C, Lavable con Agua, en la cual se verifico la sanidad del cordón de soldadura.

Tabla 2. Resultados.

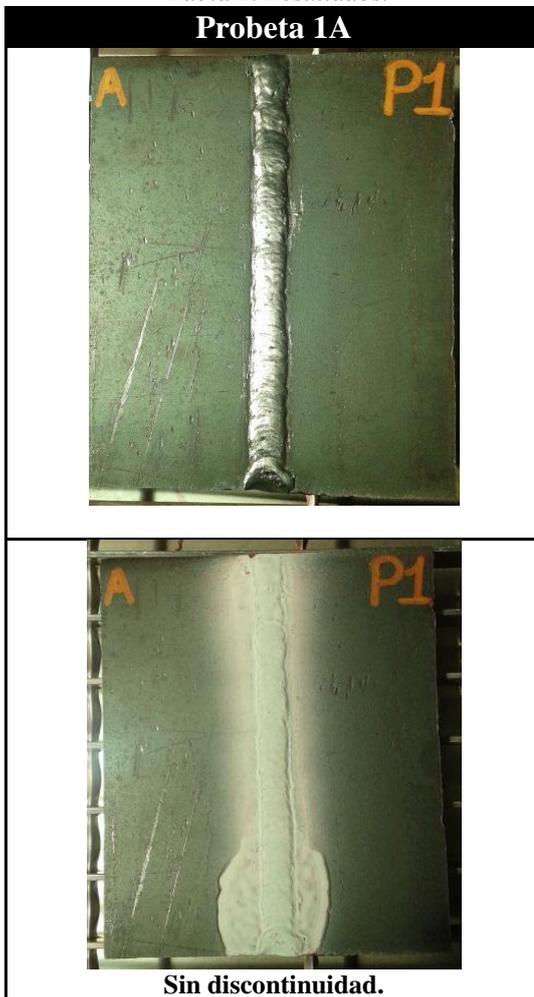


Tabla 3. Resultados.

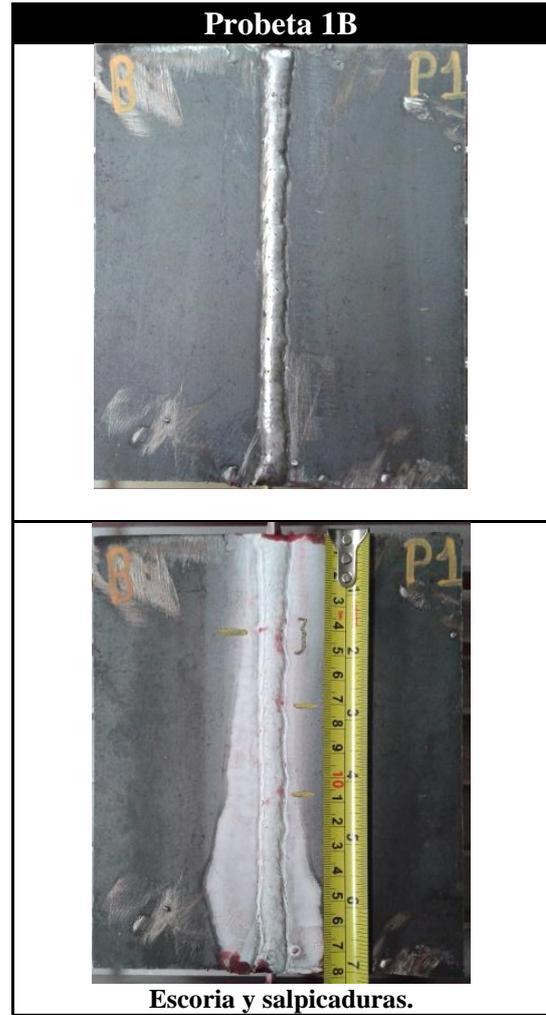


Tabla 4. Resultados.

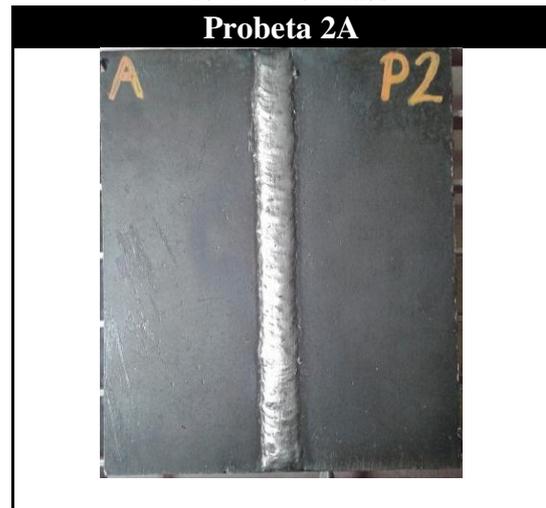




Tabla 5. Resultados.
Probeta 2A.



Tabla 6. Resultados.

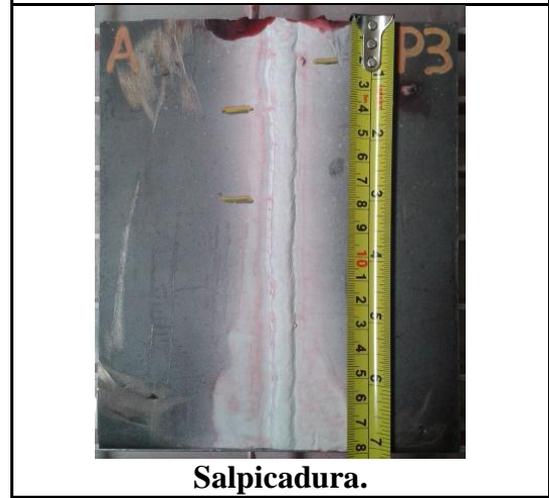
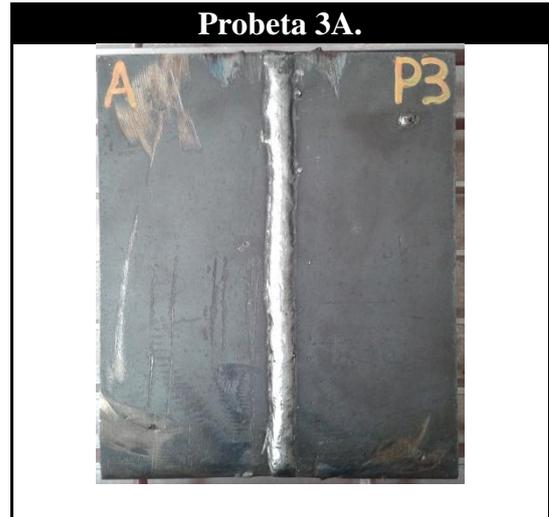


Tabla 7. Resultados.





Socavado.

Tabla 8. Resultados.

Métodos de ensayo.



Mordedura y salpicadura.



Salpicadura.

Tabla 9. Resultados.

Métodos de ensayo.



7.2 Discusión

Para el análisis de los resultados se tomara los criterios de evaluación de la norma ASME BPVC Sección V Artículo 6, la cual menciona lo siguiente:

Toda superficie a ser examinada debe estar libre de:

- a. Indicaciones lineales relevantes.
- b. Indicaciones redondeadas relevantes mayores de 3/16 pulgada (5 mm).
- c. Cuatro o más indicaciones redondeadas relevantes alineadas y separadas 1/16 pulgada (1,5 mm) o menos.

Indicaciones con una dimensión mayor a 1/16 pulgada (1,5 mm) deben ser consideradas relevantes.

Indicación lineal: Aquella que tiene una longitud mayor de 3 veces su ancho.

Indicación redondeada: Aquella de forma circular o elíptica con una

longitud igual o menor de 3 veces su ancho.

Con la ayuda de una galga o calibrador se medirá las discontinuidades, para determinar si se acepta o rechaza el elemento, de acuerdo a la Tabla 10.

Tabla 10. Criterios de evaluación.

Criterio de evaluación		
Tamaño máximo permitido (mm).		
Lineal.	Redondeada.	Otro.
1.5	5	1.6

Tabla 11. Evaluación probeta 1A.

No	Tipo	Indicación (Lineal o Redondeada)	Evaluación (Aceptada o Rechazada)
-	-	-	Aceptada.

Tabla 12. Evaluación probeta 1B.

No	Tipo	Indicación (Lineal o Redondeada)	Evaluación (Aceptada o Rechazada)
1	Escoria	Lineal	Aceptada
2	Salpicaduras	Redondeada	Aceptada

Tabla 13. Evaluación probeta 2A.

No	Tipo	Indicación (Lineal o Redondeada)	Evaluación (Aceptada o Rechazada)
1	Salpicaduras	Redondeada	Aceptada

Tabla 14. Evaluación probeta 2B.

No	Tipo	Indicación (Lineal o Redondeada)	Evaluación (Aceptada o Rechazada)
1	Salpicaduras	Redondeada	Aceptada
2	Poros	Redondeada	Rechazada

Tabla 15. Evaluación probeta 3A.

No	Tipo	Indicación (Lineal o Redondeada)	Evaluación (Aceptada o Rechazada)
1	Salpicaduras	Redondeada	Aceptada

Tabla 15. Evaluación probeta 3B.

No	Tipo	Indicación (Lineal o Redondeada)	Evaluación (Aceptada o Rechazada)
1	Salpicaduras	Redondeada	Aceptada
2	Socavado	Lineal	Rechazada

Tabla 16. Evaluación probeta 4A.

No	Tipo	Indicación (Lineal o Redondeada)	Evaluación (Aceptada o Rechazada)
1	Salpicaduras	Redondeada	Aceptada
2	Mordedura	Lineal	Aceptada

Tabla 17. Evaluación probeta 4B.

No	Tipo	Indicación (Lineal o Redondeada)	Evaluación (Aceptada o Rechazada)
1	Salpicadura	Redondeada	Aceptada
2	Mordedura	Lineal	Rechazada

Las salpicaduras y escoria a pesar que muestran una indicación, no se consideran como discontinuidades ya que no afectan la sanidad del elemento o pieza inspeccionada.

8. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Al término de la presente práctica, se conoció el equipo de inspección para tintas penetrantes, realizando inspecciones a diferentes cordones de soldadura, encontrándose discontinuidades, las cuales basándonos en los criterios de evaluación de la norma ASME, se aceptan o rechazan.

Se aplicó el método C, de tintas coloreadas removible con solvente, el cual tiene una parecida sensibilidad al método A de tintas penetrantes coloreadas e inferior al de tintas fluorescentes removibles con solvente. Este es un método recomendado para inspecciones puntuales y cuando el método de remoción con agua no es factible, y para inspeccionar pequeños volúmenes de piezas

Recomendaciones

Se recomienda la utilización de patrones, para la interpretación de los resultados de inspección por tintas penetrantes de cualquier tipo de pieza o elemento mecánico, además la utilización de normas para la evaluación (aceptación o rechazo) de los resultados obtenidos.

Referencias

Al final del trabajo liste y enumere todas las referencias bibliográficas con una fuente Times New Roman tamaño 12.

1. Proyecto de tesis "ESTUDIO TÉCNICO E IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE END".
2. Manual de Ensayos no Destructivos mediante la técnica de Inspección por Tintas Penetrantes.
3. Norma ASTM E-165
4. Norma ASME BPVC Sección V
5. <http://mx.magnaflux.com/>.
6. <http://es.scribd.com/doc/38555328/Manual-de-Liquidos-Penetrantes-VISITE-http-bib-ciata-blogspot-com>

Glosario

Discontinuidad: es la pérdida de la homogeneidad del material.

ASTM: American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana de Ensayo de Materiales)

ASME: American Society of Mechanical Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos).

Inspección por Tintas Penetrantes Fluorescentes. Método C, Removible con Solvente.

Cristian Bernal¹.

Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de **Ingeniería Mecánica**

Asignatura: **Ensayos No Destructivos**, Cuenca – Ecuador, Fecha de entrega: 04-06- 2014

1. Presentación de la práctica

En esta práctica se pretende aplicar la técnica de Inspección por tintas penetrantes para detectar discontinuidades superficiales en piezas o elementos mecánicos. Para ello previamente se deberá familiarizarse con el equipo ZA-1633 Método A (Sistema de inspección por líquidos penetrantes fluorescentes de lavado de agua), y establecer el método a aplicar.



Figura 1. Sistema de inspección ZA-1633 A.

Dependiendo de la sensibilidad de la prueba se establecerá el método a aplicar, ya sea con tintas coloreadas o fluorescentes.

2. Requisitos, precauciones y evaluación

Requisitos

Lecturas recomendadas:

- Proyecto de Tesis "ESTUDIO TÉCNICO E IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE END".
- Manual de Ensayos no Destructivos mediante la técnica de Inspección por Tintas Penetrantes.
- Norma ASTM E-165.

Precauciones

Verificar la alimentación del equipo de prueba, controlando el correcto funcionamiento de cada una de sus unidades.

Evaluaciones

Para dar inicio a la práctica se deberá conocer el principio y las características más importantes de la Inspección por Tintas Penetrantes, así como del Equipo de prueba.

3. Objetivos

- Identificar y conocer el equipo de ensayo.
- Verificar el estado superficial de elementos mecánicos mediante la técnica de Inspección por Tintas Penetrantes.

4. Equipos, instrumentos y software

Tabla 1. Tabla de equipos, instrumentos y software

Descripción	Marca	Serie
Sistema de inspección por líquidos penetrantes fluorescentes de lavado de agua	Magnaflux	ZA-1633

5. Exposición

Mediante la aplicación de tintas penetrantes se pretende detectar fisuras en la superficie abierta del material, aplicando un líquido coloreado o fluorescente, el cual penetra en

¹ Egresado de la Carrera de Ingeniería Mecánica, correo electrónico: cbernal@ups.edu.ec

cualquier discontinuidad que pudiera existir debido al fenómeno de capilaridad. La capacidad de penetración (capilaridad) de los líquidos depende principalmente de las propiedades de mojabilidad (ángulo de contacto entre líquido y sólido: α), tensión superficial (T) y viscosidad (μ).

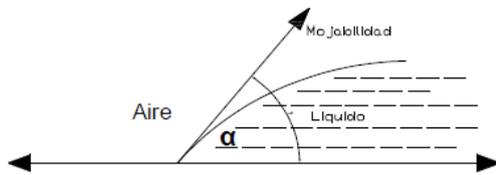


Figura 2. Mojabilidad.

Los líquidos pueden ser:

Penetrantes coloreados: Se inspeccionan a simple vista. Solamente hay que contar con una buena fuente de luz blanca. Tienen menos sensibilidad.

Penetrantes fluorescentes: Se inspeccionan con la ayuda de una lámpara de luz ultravioleta (luz negra). Sin ésta son invisibles a la vista. Tienen mayor sensibilidad.

La superficie en la cual se va aplicar el líquido penetrante deberá estar libre de cualquier tipo de contaminación.

Existe un tiempo estimado de penetración del líquido en la superficie del elemento a inspeccionar, el cual puede variar de entre 10 a 30 minutos (ver tabla de tiempos de penetración mínimos recomendados ASTM E-165).

Pasado el tiempo de penetración se deberá remover el exceso de líquido, mediante agua o con la aplicación de un solvente dependiendo del tipo de ensayo.

Luego se deberá aplicar algún tipo de revelador, para posteriormente inspeccionar el elemento mecánico y detectar fisuras o algún tipo de discontinuidades. Si se aplica un líquido fluorescente dicha inspección deberá ser realizada bajo luz ultravioleta (negra) y también en una cabina oscura.

6. Proceso y procedimiento

6.1 Proceso



Figura 2. Proceso para inspección por tintas penetrantes.

6.2 Procedimiento

6.2.1. Verificación del equipo.

Verificar el funcionamiento de cada una de las unidades del equipo de prueba.

6.2.2. Selección de la superficie.

Se deberá seleccionar la superficie en la que se considere que puedan existir fisuras o algún tipo de discontinuidades.

6.2.3. Limpieza.

Es importante que la superficie se encuentre libre de cualquier tipo de contaminante (polvo, grasa, óxido, etc.), ya que pueden intervenir en la

entrada del líquido penetrante a las discontinuidades.
Se utilizara un solvente SKC-S.



Figura 3. Solvente para limpieza.

6.2.4. Aplicación del Penetrante.

La aplicación del líquido penetrante puede ser por Inmersión, Pulverización, o con brocha. Independientemente de la técnica de aplicación, lo importante es el tiempo de penetración, el cual puede variar de entre 5 a 30 minutos. Se recomienda revisar la bibliografía recomendada para establecer el tiempo de aplicación del penetrante. El líquido puede ser coloreado lavable en agua SKL-WP2 o lavable en solvente SKL-SP2 y fluorescente.



Figura 4. Tintas penetrantes.

6.2.5. Remoción del exceso de penetrante.

Esta remoción se puede realizar mediante un lavado utilizando el equipo de atomizado de agua o

mediante inmersión, o a su vez aplicando un solvente utilizando paños de algodón. La pieza o el elemento a inspeccionar, deberá quedar completamente seca, para ello se puede utilizar la cabina de secado.

El tiempo de lavado con agua no excederá los 120 segundos.

6.2.6. Aplicación del Revelador.

En esta etapa se obtienen los resultados, aplicando un medio revelador sobre la superficie ensayada.

De igual manera se recomienda revisar la bibliografía para establecer el tiempo de aplicación del revelador.



Figura 5. Solvente para revelado.

El revelador utilizado dependerá del líquido penetrante, ya que para penetrantes coloreados se utilizara el revelador SKD-S2 y para penetrantes fluorescentes se utilizara el revelador ZP-9F.

6.2.7. Inspección Final.

La inspección final puede ser realizada bajo una luz blanca o visible cuando el líquido penetrante utilizado es rojo, en el caso de haber utilizado un líquido penetrante Fluorescente la inspección final deberá ser realizada bajo luz

ultravioleta (negra) en una cabina oscura.

Los resultados obtenidos se deberán detallar a continuación.

7. Resultados y/o discusión

7.1 Resultados

En las tablas se muestran los resultados obtenidos mediante la inspección por Tintas Penetrantes Fluorescentes, Método C, Lavable con Agua, en la cual se verifico la sanidad del cordón de soldadura.

Tabla 2. Resultados.

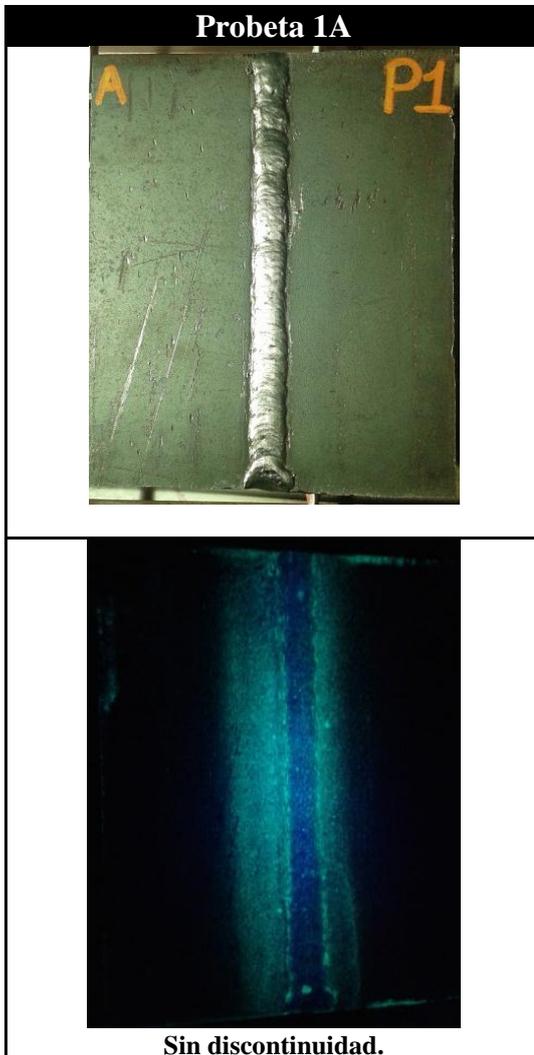


Tabla 3. Resultados.

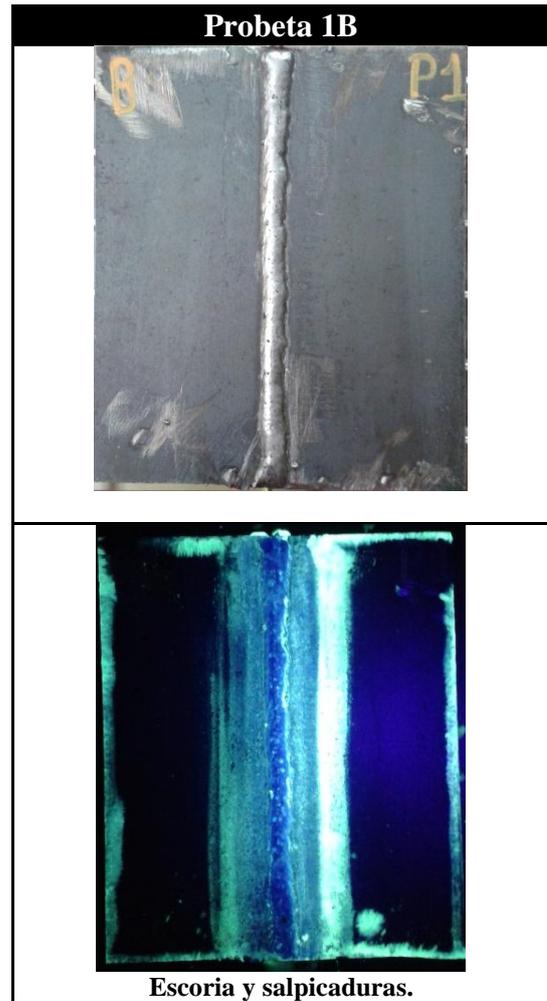
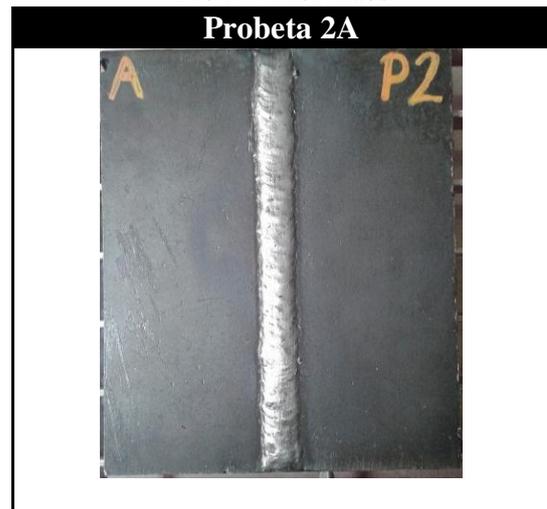


Tabla 4. Resultados.



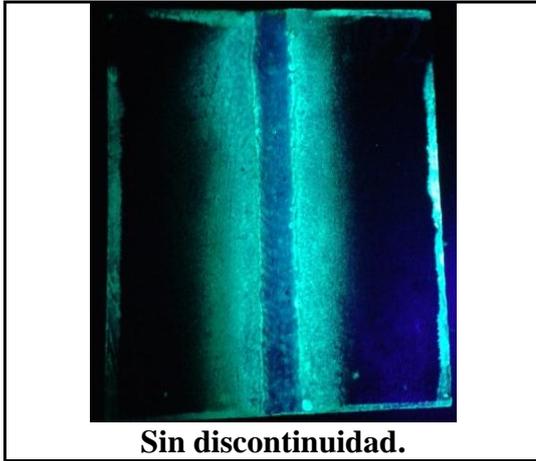


Tabla 5. Resultados.

Probeta 2A.

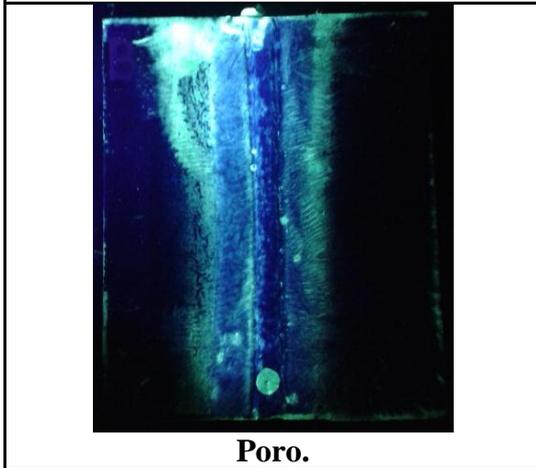
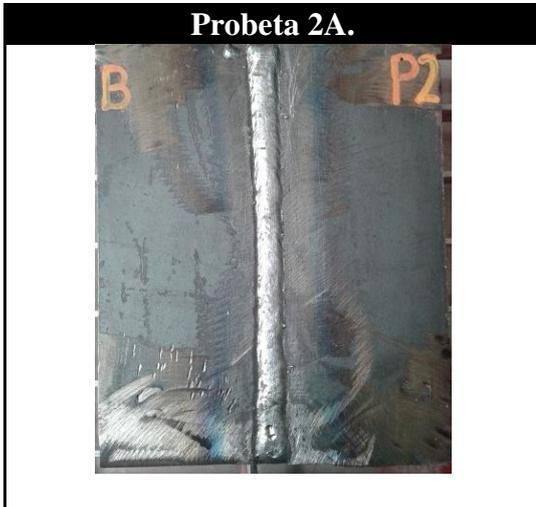


Tabla 6. Resultados.

Probeta 3A.

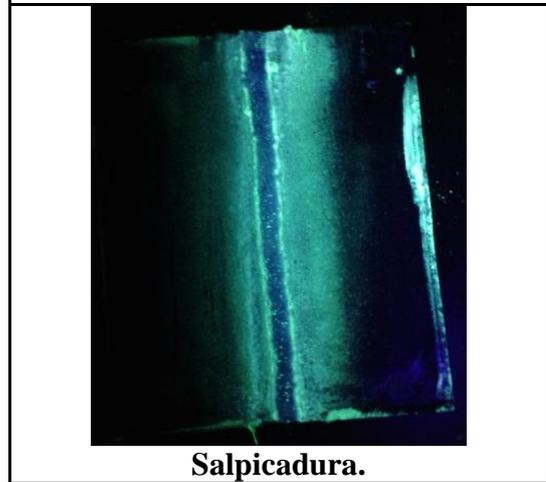
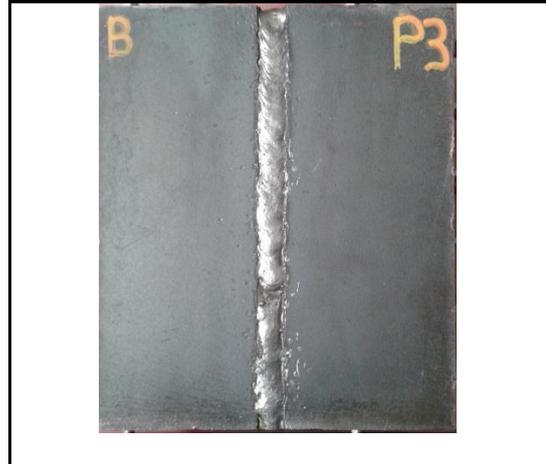


Tabla 7. Resultados.

Métodos de ensayo.



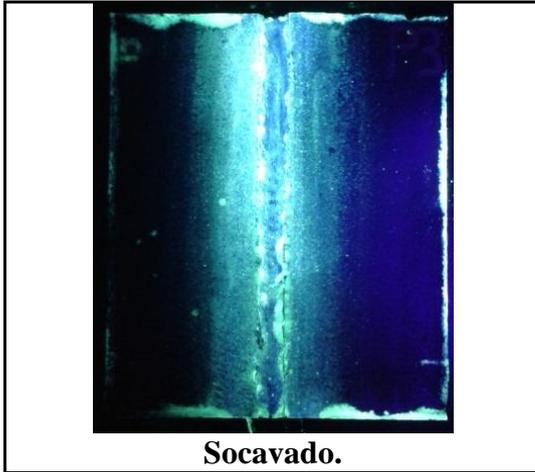


Tabla 8. Resultados.
Métodos de ensayo.

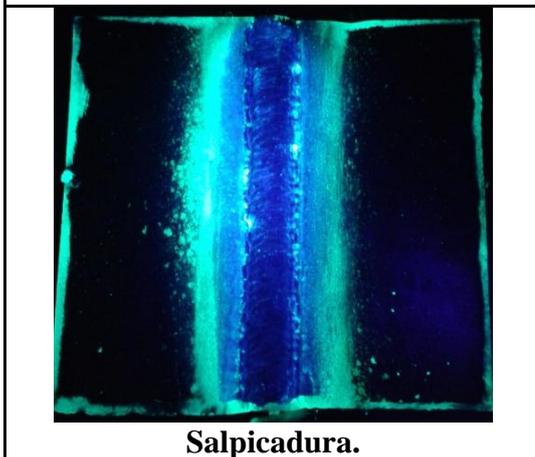
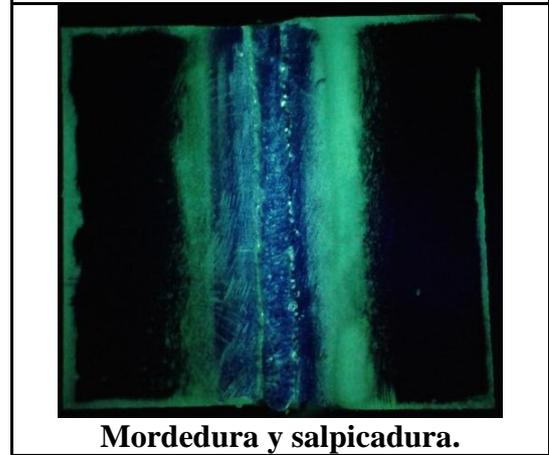


Tabla 9. Resultados.



7.2 Discusión

Para el análisis de los resultados se tomara los criterios de evaluación de la norma ASME BPVC Sección V Artículo 6, la cual menciona lo siguiente:

Toda superficie a ser examinada debe estar libre de:

- a. Indicaciones lineales relevantes.
- b. Indicaciones redondeadas relevantes mayores de 3/16 pulgadas (5 mm).
- c. Cuatro o más indicaciones redondeadas relevantes alineadas y separadas 1/16 pulgada (1,5 mm) o menos.

Indicaciones con una dimensión mayor a 1/16 pulgada (1,5 mm) deben ser consideradas relevantes.

Indicación lineal: Aquella que tiene una longitud mayor de 3 veces su ancho.

Indicación redondeada: Aquella de forma circular o elíptica con una

longitud igual o menor de 3 veces su ancho.

Con la ayuda de una galga o calibrador se medirá las discontinuidades, para determinar si se acepta o rechaza el elemento, de acuerdo a la Tabla 10.

Tabla 10. Criterios de evaluación.

Criterio de evaluación		
Tamaño máximo permitido (mm).		
Lineal.	Redondeada.	Otro.
1.5	5	1.6

Tabla 11. Evaluación probeta 1A.

No	Tipo	Indicación (Lineal o Redondeada)	Evaluación (Aceptada o Rechazada)
-	-	-	Aceptada.

Tabla 12. Evaluación probeta 1B.

No	Tipo	Indicación (Lineal o Redondeada)	Evaluación (Aceptada o Rechazada)
1	Escoria	Lineal	Aceptada
2	Salpicaduras	Redondeada	Aceptada

Tabla 13. Evaluación probeta 2A.

No	Tipo	Indicación (Lineal o Redondeada)	Evaluación (Aceptada o Rechazada)
1	-	-	Aceptada

Tabla 14. Evaluación probeta 2B.

No	Tipo	Indicación (Lineal o Redondeada)	Evaluación (Aceptada o Rechazada)
1	Salpicaduras	Redondeada	Aceptada
2	Poros	Redondeada	Rechazada

Tabla 15. Evaluación probeta 3A.

No	Tipo	Indicación (Lineal o Redondeada)	Evaluación (Aceptada o Rechazada)
1	Salpicaduras	Redondeada	Aceptada

Tabla 15. Evaluación probeta 3B.

No	Tipo	Indicación (Lineal o Redondeada)	Evaluación (Aceptada o Rechazada)
1	Salpicaduras	Redondeada	Aceptada
2	Socavado	Lineal	Rechazada

Tabla 16. Evaluación probeta 4A.

No	Tipo	Indicación (Lineal o Redondeada)	Evaluación (Aceptada o Rechazada)
1	Salpicaduras	Redondeada	Aceptada
2	Mordedura	Lineal	Aceptada

Tabla 17. Evaluación probeta 4B.

No	Tipo	Indicación (Lineal o Redondeada)	Evaluación (Aceptada o Rechazada)
1	Salpicadura	Redondeada	Aceptada
2	Mordedura	Lineal	Rechazada

Las salpicaduras y escoria a pesar que muestran una indicación, no se consideran como discontinuidades ya que no afectan la sanidad del elemento o pieza inspeccionada.

8. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Al término de la presente práctica, se conoció el equipo de inspección para tintas penetrantes, realizando inspecciones a diferentes cordones de soldadura, encontrándose discontinuidades, las cuales basándonos en los criterios de evaluación de la norma ASME, se aceptan o rechazan.

Se aplicó el método C, de tintas fluorescentes removible con solvente, el cual presentó una mayor sensibilidad en la detección de discontinuidades que los métodos anteriores, sobre todo en discontinuidades muy pequeñas. Este es un método recomendado para inspecciones puntuales y para pequeños volúmenes de piezas.

Uno de los inconvenientes de este método es que se requiere de luz negra y de poca o nada iluminación, para la visualización de los resultados.

Recomendaciones

Se recomienda la utilización de patrones, para la interpretación de los resultados de inspección por tintas penetrantes de cualquier tipo de pieza o elemento mecánico, además la utilización de normas para la evaluación (aceptación o rechazo) de los resultados obtenidos.

Referencias

Al final del trabajo liste y enumere todas las referencias bibliográficas con una fuente Times New Roman tamaño 12.

1. Proyecto de tesis "ESTUDIO TÉCNICO E IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE END".
2. Manual de Ensayos no Destructivos mediante la técnica de Inspección por Tintas Penetrantes.
3. Norma ASTM E-165
4. Norma ASME BPVC Sección V
5. <http://mx.magnaflux.com/>.
6. <http://es.scribd.com/doc/38555328/Manual-de-Liquidos-Penetrantes-VISITE-http-bib-ciata-blogspot-com>

Glosario

Discontinuidad: es la pérdida de la homogeneidad del material.

ASTM: American Society for Testing and Materials (Sociedad Americana de Ensayo de Materiales)

ASME: American Society of Mechanical Engineers (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos).

4.3.3. Práctica de Inspección por Partículas Magnéticas.

Inspección por Partículas Magnéticas.

Cristian Bernal¹

Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de **Ingeniería Mecánica**

Asignatura: **Ensayos No Destructivos**, Cuenca – Ecuador, Fecha de entrega: **05-06- 2014**

1. Presentación de la práctica

En esta práctica se pretende aplicar la técnica de Inspección por partículas magnéticas para detectar discontinuidades superficiales en piezas o elementos mecánicos magnetizables. Para ello previamente se deberá familiarizarse con el MAG KIT (banco de prueba), con el equipo portátil Y-7 AC/DC Magnetic Yoke Kit, y con todos los accesorios necesarios para la inspección.



Figura 1. MAG KIT (Banco de prueba).

2. Requisitos, precauciones y evaluación

Requisitos

Lecturas recomendadas:

- Proyecto de Tesis “ESTUDIO TÉCNICO E IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE END”.
- Manual de Ensayos no Destructivos mediante la técnica de Inspección por Partículas Magnéticas.

Precauciones

Verificar la alimentación del equipo de prueba, tomando las debidas precauciones ya que el equipo trabaja con una intensidad de corriente alta.

Evaluaciones

Para dar inicio a la práctica se deberá conocer el principio y las características más importantes de la Inspección por Partículas Magnéticas, así como del Equipo de prueba.

3. Objetivos

- Identificar y conocer el equipo de ensayo.
- Verificar el estado superficial de elementos mecánicos mediante la técnica de Inspección por Partículas Magnéticas.

4. Equipos, instrumentos y software

Tabla 1. Tabla de equipos, instrumentos y software

Descripción	Marca	Serie
MAG KIT	Magnaflux	
Magnetic Yoke Kit	Magnaflux	

5. Exposición

Aplicando el ensayo mediante partículas magnéticas, se pretende detectar discontinuidades (fisuras) superficiales y sub-superficiales, solamente en materiales ferromagnéticos (Hierro, aceros, níquel y cobalto), mediante la magnetización del elemento a inspeccionar.

El principio básico en el que se basa esta técnica es el magnetismo que consiste en aplicar un campo magnético

¹ Egresado de la Carrera de Ingeniería Mecánica, correo electrónico: cbernal@ups.edu.ec

sobre el elemento a inspeccionar, para luego espolvorearlo con partículas ferromagnéticas, las cuales mostrarán algunas distorsiones en el campo magnético generado, revelando así las discontinuidades existentes en el elemento ensayado. Este resultado se da ya que dichas discontinuidades son aproximadamente perpendiculares al campo magnético.

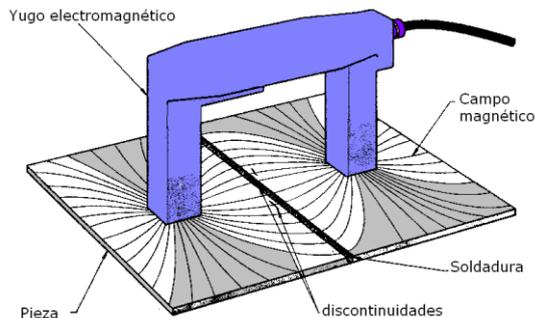


Figura 2. Magnetización.

Técnica del campo residual o remanente. Se aplica esta técnica cuando el elemento es de alta retentividad. Luego de sometido a un campo magnético, se aplican las partículas sobre la superficie a ensayar.

Técnica del campo continuo. Se aplica esta técnica para elementos con alta permeabilidad y baja retentividad, y consiste en aplicar las partículas magnéticas mientras se mantiene constante el campo magnético.

Esta técnica es más sensible que la del campo residual, ofreciendo una mejor indicación de la discontinuidad, debido a que es mayor el flujo disperso y por ende la atracción sobre las partículas magnéticas.

YUGOS

Un yugo es un elemento de metal en forma de "U" con una bobina alrededor de la barra horizontal, la cual transporta la corriente eléctrica.

Para el Laboratorio de END se cuenta con un Kit de Yugo Electromagnético (fig.2) el cual consiste en un arrollamiento sobre un cuerpo en forma de U hecho de hierro blando (chapas al Si).

Sus patas pueden ser fijas o articuladas. Estas últimas sirven para variar la distancia de contacto y para adaptarse a diferentes geometrías de la pieza. Cuando se trabaja con CC, hay gran penetración del campo mientras que con C.A. el campo magnético se concentra en la superficie de la pieza, dando muy buena sensibilidad para discontinuidades superficiales sobre una amplia zona.



Figura 3. Kit de yugo magnético.

DESMAGNETIZACION

Todos los materiales ferromagnéticos, después de que han sido magnetizados, retendrán un campo magnético residual, este campo magnético puede ser muy pequeño en metales suaves, pero en metales muy duros, este campo puede ser similar al campo de un imán permanente.



Figura 4. Sistema para desmagnetizado.

6. Proceso y procedimiento

6.1 Proceso

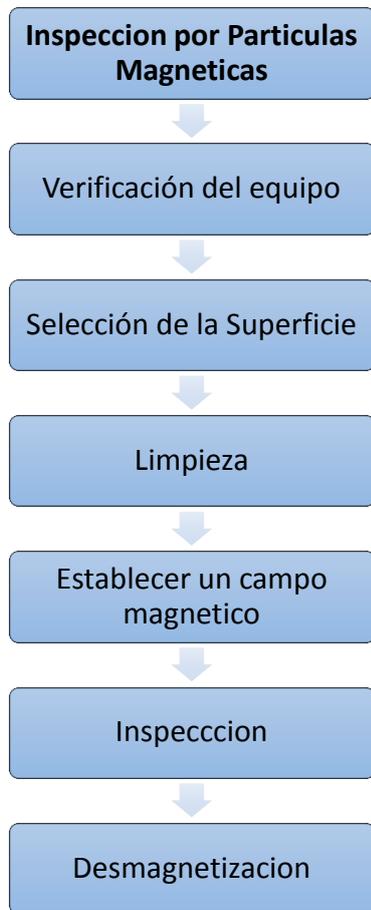


Figura 5. Proceso para inspección por partículas magnéticas.

6.2 Procedimiento

6.2.1. Verificación del equipo.

Verificar el correcto funcionamiento del equipo a utilizar, ya sea fijo o portátil, esto puede hacerse utilizando bloques patrón.

6.2.2. Selección de la superficie.

Se deberá seleccionar la superficie en la que se considere que puedan existir fisuras o algún tipo de discontinuidades.

6.2.3. Limpieza.

Es importante que la superficie se encuentre libre de cualquier tipo de impurezas ya que pueden intervenir

en la inspección, mostrando indicaciones falsas.



Figura 6. Solvente para limpieza.

6.2.4. Establecer un campo magnético.

Una vez limpia la superficie a inspeccionar, se procede a inducir un campo magnético sobre la misma, aplicando las partículas magnéticas simultáneamente, hasta cubrir toda la superficie, para luego desactivar el campo.

Es importante tomar en cuenta que solo se podrá apreciar las discontinuidades que sean perpendiculares al campo magnético.

6.2.5. Inspección.

Se deberá eliminar el exceso de partículas magnéticas de la superficie, esto se hace únicamente soplando uniformemente la pieza, para luego apreciar las indicaciones obtenidas.

6.2.6. Desmagnetización.

Es importante desmagnetizar el elemento inspeccionado ya que al encontrarse inducido un campo magnético, este puede intervenir en el proceso de producción del mismo, afectando en la precisión, acabados, etc.

7. Resultados y/o discusión

7.1 Resultados

Previo a la inspección se verifico la sensibilidad del yugo magnético (figura 6), realizando el ensayo a un bloque patrón (Figura 7).

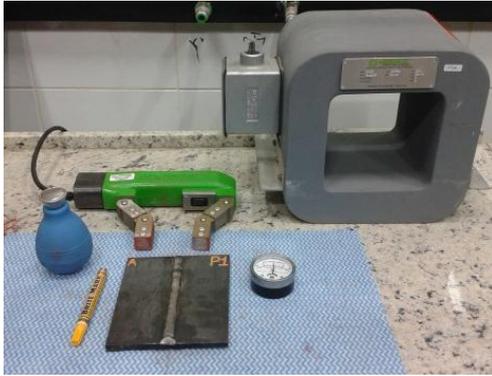


Figura 6. Equipo de ensayo.



Figura 7. Bloque patrón

Luego de verificar la sensibilidad del equipo de ensayo, se realizo la inspección de los siguientes cordones de soldadura.

Tabla 2. Resultados.

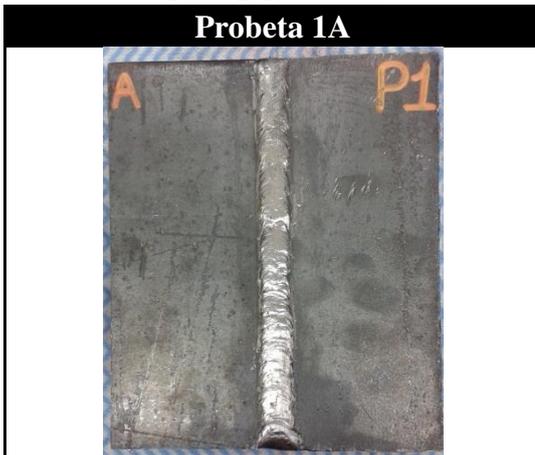


Tabla 3. Resultados.

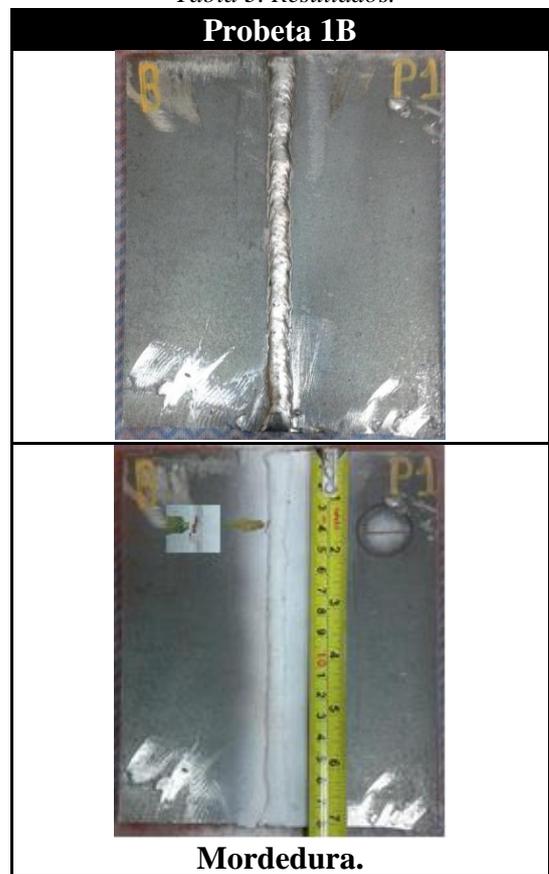


Tabla 4. Resultados.



Tabla 5. Resultados.

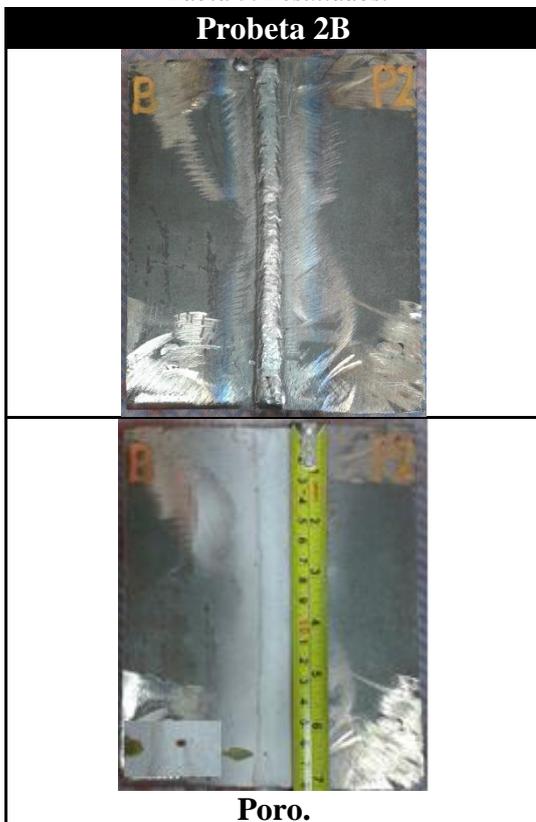


Tabla 6. Resultados.

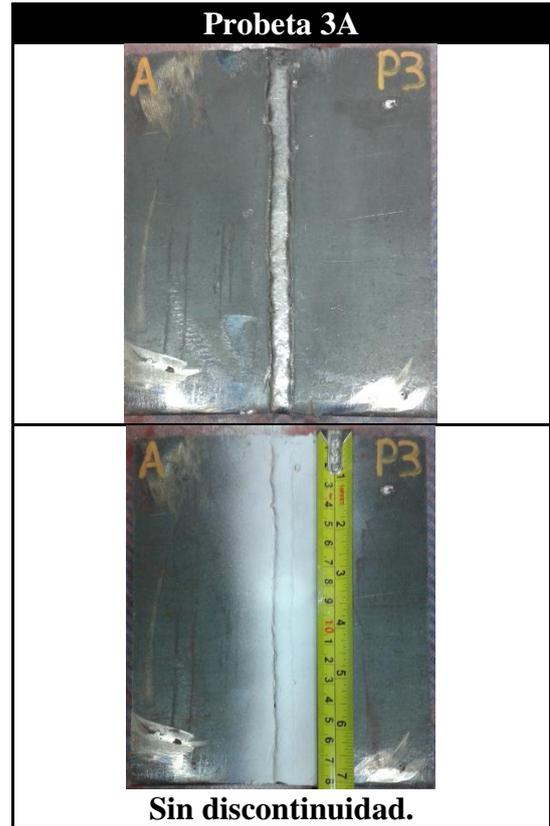


Tabla 7. Resultados.

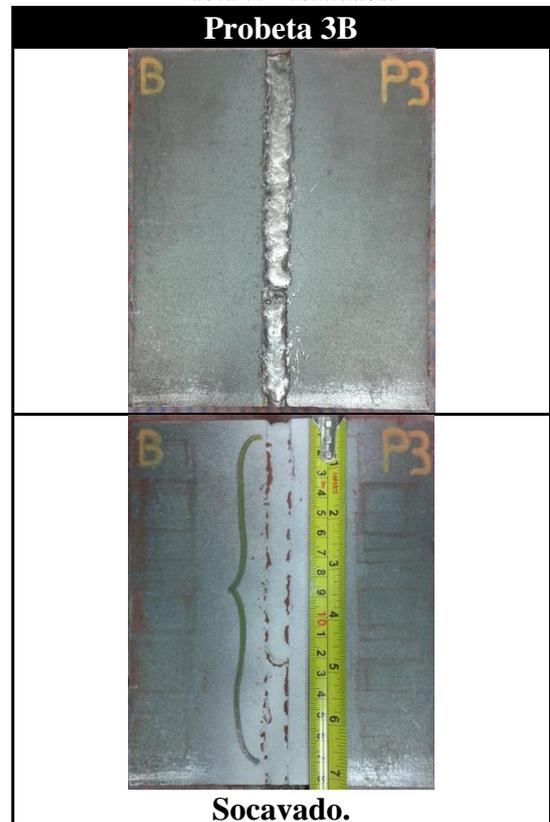


Tabla 8. Resultados.

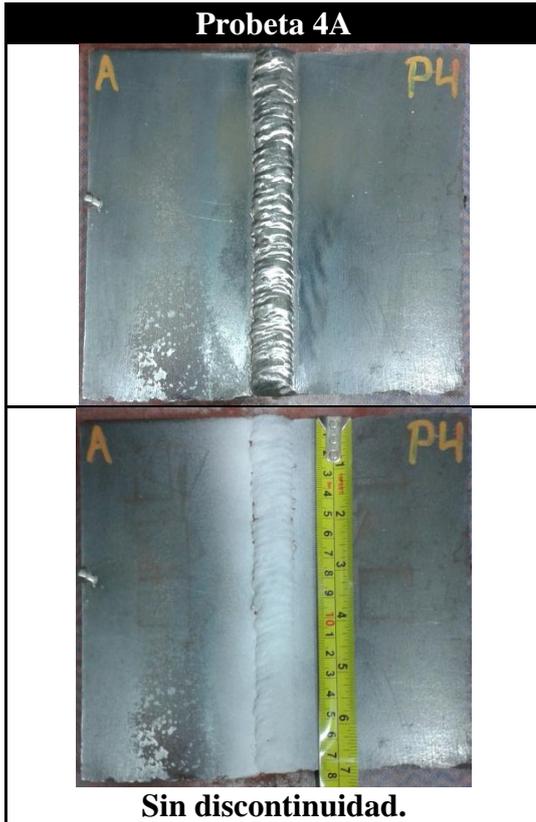
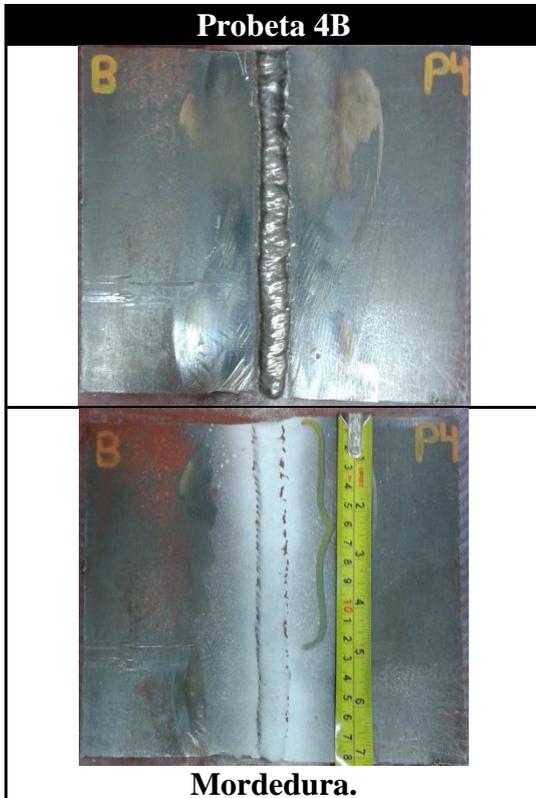


Tabla 8. Resultados.



7.2 Discusión

Para el análisis de los resultados se tomara los criterios de evaluación de la norma ASME BPVC Sección V

Artículo 7, la cual menciona lo siguiente:

Indicaciones con una dimensión mayor a 1/16 pulgada (1,5 mm) deben ser consideradas relevantes.

Indicación lineal: Aquella que tiene una longitud mayor de 3 veces su ancho.

Indicación redondeada: Aquella de forma circular o elíptica con una longitud igual o menor de 3 veces su ancho.

Toda superficie a ser examinada debe estar libre de:

- a. Indicaciones lineales relevantes.
- b. Indicaciones redondeadas relevantes mayores de 3/16 pulgadas (5 mm).
- c. Cuatro o más indicaciones redondeadas relevantes alineadas y separadas 1/16 pulgada (1,5 mm) o menos.

Tabla 10. Criterios de evaluación.

Criterio de evaluación		
Tamaño máximo permitido (mm).		
Lineal.	Redondeada.	Otro.
1.5	5	1.6

Tabla 11. Evaluación probeta 1A.

No	Tipo	Indicación (Lineal o Redondeada)	Evaluación (Aceptada o Rechazada)
1	Poros	Redondeada	Aceptada.

Tabla 12. Evaluación probeta 1B.

No	Tipo	Indicación (Lineal o Redondeada)	Evaluación (Aceptada o Rechazada)
1	Mordedura	Lineal	Aceptada

Tabla 13. Evaluación probeta 2A.

No	Tipo	Indicación (Lineal o Redondeada)	Evaluación (Aceptada o Rechazada)
1	Mordedura	Lineal	Aceptada

Tabla 14. Evaluación probeta 2B.

No	Tipo	Indicación (Lineal o Redondeada)	Evaluación (Aceptada o Rechazada)
1	Poros	Redondeada	Rechazada

Tabla 15. Evaluación probeta 3A.

No	Tipo	Indicación (Lineal o Redondeada)	Evaluación (Aceptada o Rechazada)
-	-	-	Aceptada

Tabla 15. Evaluación probeta 3B.

No	Tipo	Indicación (Lineal o Redondeada)	Evaluación (Aceptada o Rechazada)
1	Socavado	Lineal	Rechazada

Tabla 16. Evaluación probeta 4A.

No	Tipo	Indicación (Lineal o Redondeada)	Evaluación (Aceptada o Rechazada)
-	-	-	Aceptada

Tabla 17. Evaluación probeta 4B.

No	Tipo	Indicación (Lineal o Redondeada)	Evaluación (Aceptada o Rechazada)
1	Mordedura	Lineal	Rechazada

8. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Al término de la presente práctica, se conoció el equipo portátil para inspección por partículas magnéticas, buscando discontinuidades en cordones de soldadura, los cuales fueron evaluados de acuerdo a lo que dicta la norma ASME BPVC, siendo aceptados o rechazados.

Existen diferentes colores de partículas magnéticas, rojo y gris, la selección de uno de ellos dependerá de la superficie a ser inspeccionada, para obtener una óptima visibilidad de la indicación.

Recomendaciones

Se recomienda la utilización de patrones, para la interpretación de los resultados, además la utilización de normas para la evaluación (aceptación o rechazo) de los resultados obtenidos, las

cuales dependerán del elemento a ser inspeccionado.

Referencias

1. Proyecto de tesis "ESTUDIO TÉCNICO E IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE END".
2. Manual de Ensayos no Destructivos mediante la técnica de Inspección por Partículas Magnéticas.
3. Norma ASME BPVC Sección V Artículo 7
4. <http://mx.magnaflux.com/>.

Glosario

Discontinuidad: es la pérdida de la homogeneidad del material.

Magnetismo: es "La fuerza invisible que tiene la habilidad de desarrollar trabajo mecánico de atracción y repulsión de materiales magnetizables".

4.3.4. Práctica de Inspección por Termografía Industrial.

Inspección por Termografía Industrial

Cristian Bernal¹.

Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de **Ingeniería Mecánica**

Asignatura: **Ensayos No Destructivos**, Cuenca – Ecuador, Fecha de entrega: **10-07-2014**

1. Presentación de la práctica

En esta práctica se pretende emplear el equipo de Termografía Industrial, para visualizar la distribución de temperatura de un sistema o elemento mecánico mediante la obtención de imágenes termográficas (termograma), de diferentes secciones que puedan presentar fallas superficiales o internas. Para ello previamente se deberá familiarizarse con el equipo de prueba (figura 1), para realizar las configuraciones necesarias antes de iniciar la inspección.



Figura 1. Cámara testo 882.

2. Requisitos, precauciones y evaluación

Requisitos

Lecturas recomendadas:

- Proyecto de Tesis "ESTUDIO TÉCNICO E IMPLEMENTACION DEL LABORATORIO DE END"

- Manual de Ensayos no Destructivos mediante la técnica de Inspección por Termografía Industrial.
- Manual del fabricante del equipo termografico.

Precauciones

Verificar la batería del equipo.

Es necesario utilizar un filtro especial, para inspecciones a temperaturas de 350-550 C°.

Evaluaciones

Para dar inicio a la práctica se deberá conocer el principio y las características más importantes de la Inspección mediante Termografía Industrial, así como del equipo de prueba.

3. Objetivos

- Identificar y conocer el equipo de ensayo.
- Visualizar la distribución de temperatura de un sistema o elemento mecánico mediante la técnica de Termografía Industrial.

4. Equipos, instrumentos y software

Tabla 1. Tabla de equipos, instrumentos y software

Descripción	Marca	Serie
Cámara Testo 882	TESTO	0882
Trípode	VANGUARD	Tracker S
Filtro protector	TESTO	0882 8805

¹Egresado de la Carrera de Ingeniería Mecánica, correo electrónico: cbernal@ups.edu.ec

5. Exposición

La termografía es un método de inspección de equipos eléctricos y mecánicos mediante la obtención de imágenes de su distribución de temperatura. Este método de inspección se basa en que la mayoría de los componentes de un sistema muestran un incremento de temperatura en mal funcionamiento. El incremento de temperatura en un circuito eléctrico podría deberse a una mala conexión o problemas con un rodamiento en caso de equipos mecánicos.

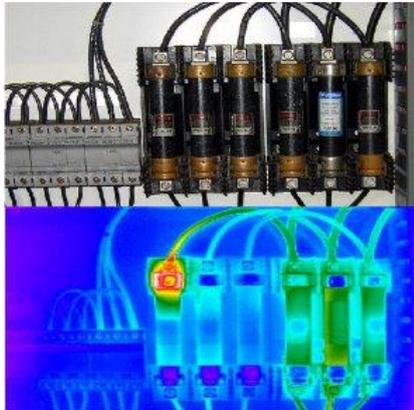


Figura 2. Termograma de una instalación eléctrica.

Este ensayo consiste en la detección de áreas calientes o frías de un objeto, mediante una cámara termografía, la cual detecta la emisión natural de radiación infrarroja procedente de un objeto y genera una imagen térmica, comúnmente llamada Termograma, donde se podrán detectar las discontinuidades existentes en dicho objeto, observando las variaciones de temperatura.

La energía infrarroja emitida por el objeto, es la suma de tres componentes:

- La energía infrarroja, proveniente del objeto.
- La energía reflejada por dicho objeto.
- La energía emitida por el ambiente.

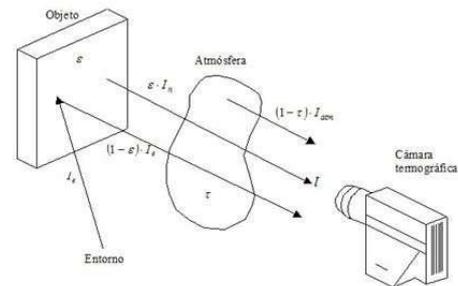


Figura 2. Termografía industrial.

Todo cuerpo a temperatura superior al cero absoluto ($-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$) emite radiación en forma de calor. La cantidad de radiación emitida es proporcional a la variación de temperatura del cuerpo.

Las radiaciones infrarrojas se encuentran entre las zonas visibles e invisibles del espectro electromagnético (longitudes de onda en el rango de 0.75 y $10\text{ }\mu\text{m}$).

Antes de iniciar la inspección se debe tener en cuenta los siguientes factores:

- La emisividad se deberá ajustar según el recubrimiento en la superficie del objeto a medir.
- Evitar realizar la inspección en superficies húmedas o con suciedad (polvo, hollín, o lubricante), ya que pueden intervenir en los resultados.
- Al realizar la inspección en superficies lisas, hay que tener en cuenta cualquier posible fuente de radiación cercana (el sol, radiadores, etc.)

6. Proceso y procedimiento

6.1 Proceso



Figura 3. Proceso para Inspección por Termografía.

6.2 Procedimiento

6.2.1. Selección de la superficie a inspeccionar.

Es importante conocer la temperatura de operación de los elementos a inspeccionar, para una correcta evaluación de los resultados obtenidos. Si la superficie seleccionada emite suciedad, o esta a una temperatura superior a 350°C , es necesario utilizar los filtros especiales que vienen con el equipo, para proteger el lente.



Figura 4. Filtros de protección.

6.2.2. Calibración del equipo.

Es importante conocer la emisividad del material a inspeccionar, ya que debe ser introducido en el equipo, a si como el rango de temperatura a la que se encuentra el elemento a inspeccionar.

El rango de temperatura ingresamos presionando la tecla “OK”, con la ayuda del cursor, seleccionamos “Funciones de medición”, luego “Rango”, y elegimos el mas adecuado para nuestra inspección.

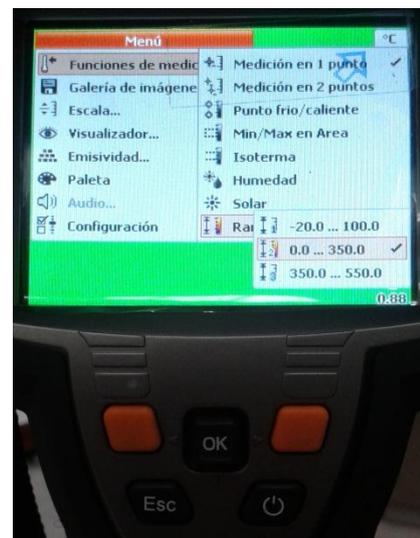


Figura 5. Rango de temperatura.

De igual manera con la tecla “OK”, ingresamos al menú, y seleccionamos el valor adecuado de la emisividad.



Figura 6. Selección de la emisividad.

6.2.3. Toma de imagen.

La inspección se realiza haciendo un barrido a toda la superficie con la cámara termográfica, considerando las zonas críticas, y realizando la toma de imágenes termográficas. Es importante tener presente que este tipo de inspección solo se realiza a elementos en funcionamiento.

Es necesario estabilizar la imagen (figura 7), ya sea de forma manual mediante el anillo del lente (a) o automática mediante el gatillo (b), dos opciones que nos ofrece la cámara termográfica testo 882.



Figura 6. Estabilidad de la imagen.

Previamente se deberá seleccionar la opción automática (A) o manual (M).

6.2.4. Exportar los archivos

Mediante un cable USB, o mediante la tarjeta de memoria, se realizara la exportación de las imágenes obtenidas a un computador, en el cual mediante el software del equipo, se realizara las configuraciones necesarias a las imágenes, dependiendo de los requerimientos, antes de colocarlas en el informe correspondiente.

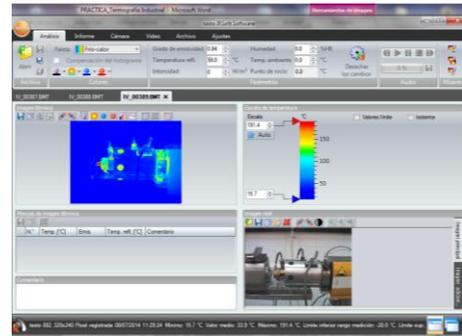


Figura 7. Software testo IRsof.

6.2.5. Análisis de resultados

Se analizará las imágenes obtenidas para determinar si existe algún tipo de fallas. Este método de inspección se basa en que la mayoría de los componentes de un sistema muestran un incremento de temperatura cuando se encuentran en mal funcionamiento, para ello es importante conocer la temperatura de operación de los elementos a inspeccionar.

7. Resultados y/o discusión

7.1 Resultados

La inspección mediante la técnica de Termografía Industrial se realizó a la Extrusora TEACH-LINE E20T de la marca COLLIN (Figura 7) del laboratorio de Transformación de Polímeros.



Figura 8. Extrusora TEACH-LINE E20T.

El objetivo de la práctica es verificar que el sistema de calentamiento de la zona 4 y 5 del dado de extrusión (figura 8), no presente anomalías.

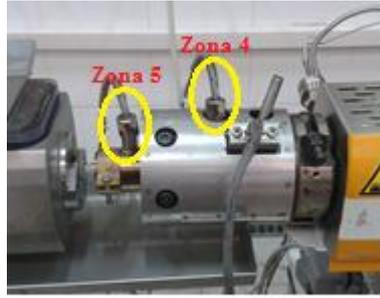
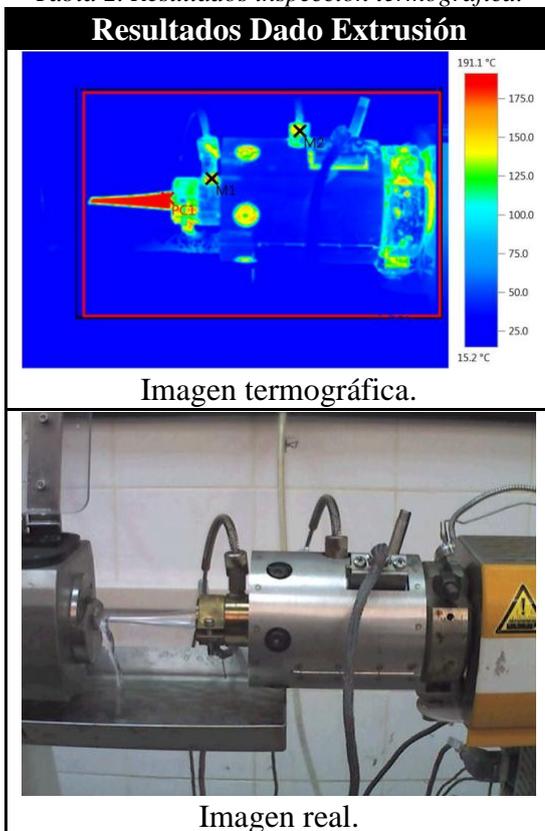


Figura 9. Dado de extrusión.

A continuación se presenta la imagen termográfica (termograma) obtenida, con sus respectivos resultados.

Tabla 2. Resultados inspección termográfica.



En la figura 10 se observa en detalle lo que indican las marcas de los resultados obtenidos de la tabla 2.

N.º	Temp. [°C Emis.	Temp. ref	Comentario
M1	171.7	0.95	59 Zona 5
M2	155.8	0.94	59 Zona 4
CS1	15.6	0.94	59 Punto mas frio
HS1	191.1	0.94	59 Punto mas caliente

Figura 10. Tabla de resultados.

M1 y M2 indica el valor de las temperaturas externas de las zonas 4 y 5, las cuales internamente deberían

estar a una temperatura de 195°C, según la figura 13. El punto más caliente es del material a la salida del dado de extrusión, y el punto mas frio es de la temperatura ambiente.

En la figura 11 se observa el histograma de temperaturas del dado de extrusión.

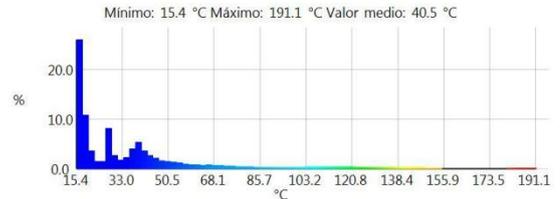
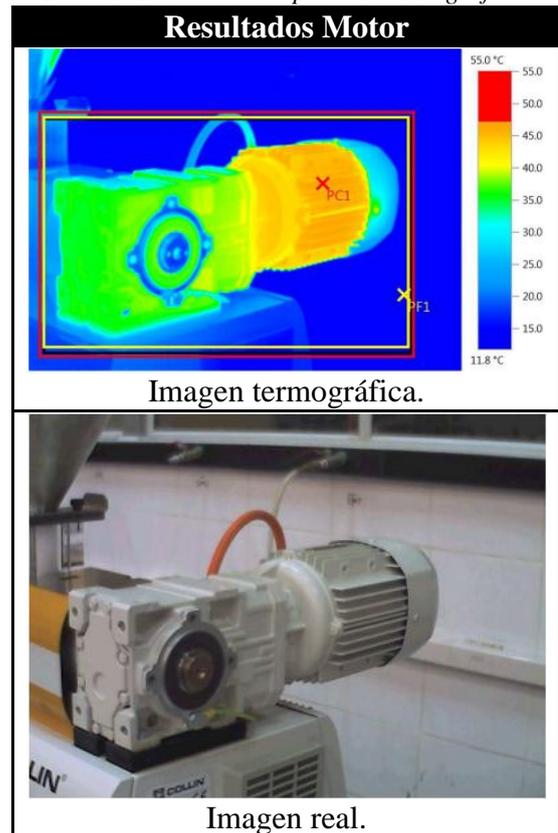


Figura 11. Histograma dado extrusión.

También se determino que el motor este funcionando correctamente, mediante un termograma (tabla 3).

Tabla 3. Resultados inspección termográfica.



N.º	Temp. [°C Emis.	Temp. ref	Comentario
PF1	12.1	0.88	59 Punto mas caliente
PC1	47.2	0.88	59 Punto mas frio

Figura 11. Tabla de resultados.

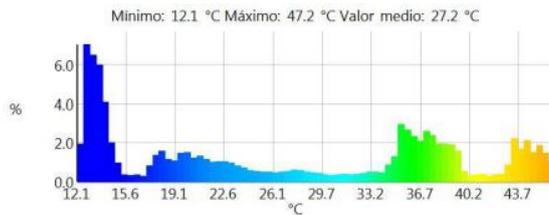


Figura 11. Histograma motor.

7.2 Discusión

Para la inspección por Termografía industrial, se tomo de referencia la norma ASTM E 1934-99a, resumiendo lo más importante, menciona lo siguiente:

El propósito de un examen infrarrojo es identificar y documentar las discontinuidades en los sistemas eléctricos o mecánicos.

En los equipos eléctricos, las discontinuidades se pueden dar por un aumento en la temperatura de la resistencia, causado por un cable suelto o conexiones deterioradas, cortocircuitos, sobrecargas, desequilibrios de carga o componentes defectuosos o mal instalados.

En equipos mecánicos, las discontinuidades se pueden dar por la fricción causada por lubricación inadecuada, mala alineación, los componentes desgastados o anomalías de carga mecánica.

Conociendo que en sistemas mecánicos o eléctricos, si existe alguna discontinuidad, en la imagen termográfica se podrá apreciar un incremento de temperatura en dicha sección. De acuerdo con los resultados obtenidos, el sistema mecánico que calienta al dado de extrusión no presenta ninguna anomalía o discontinuidad, ya que las temperaturas de las zonas 4 y 5 están equilibradas, por lo que se garantiza que la temperatura ingresada en el software de la Extrusora TEACH-LINE E20T (figura 12), será a la que trabaje el dado de extrusión.

E 20 T		
	set	act
cylinder 1	180	177
cylinder 2	200	202
cylinder 3	200	201
adapter	195	195
die 1	195	195
spare	0	21
melt-temp.		181
screw	80	80
motor current		3,0
melt-pressure		151
error	OK	0

Figura 12. Tabla de temperaturas IRsof.

En la figura 11 se muestra las temperaturas de las zonas de la extrusora cuando se encuentra en funcionamiento.

ZONE	SET	ACT	%
ZONE 1	180	178	20
ZONE 2	200	210	-32
ZONE 3	200	203	-8
ZONE 4	195	195	11
ZONE 5	195	195	33
ZONE 6	0	20	0

Figura 13. Tabla de temperaturas IRsof.

En la imagen termográfica de la inspección realizada al motor (tabla 3), se observa que la distribución de la temperatura es equilibrada, debido a que no presenta ningún tipo de anomalías.

8. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Al término de la presente practica, se conoció el equipo portátil para inspección por Termografía Industrial, en el cual los parámetros importantes a ingresarse son el valor de la emisividad, y el rango de temperatura.

Se realizo la inspección a la Extrusora TEACH-LINE E20T del laboratorio de Transformación de Polímeros, puntualmente al dado de extrusión, en el cual no se encontraron anomalías, ya

que las temperaturas estaban de acuerdo con lo calibrado en la maquina, con lo cual se puede garantizar la calidad del producto obtenido.

Recomendaciones

Se recomienda revisar el catalogo del equipo, conociendo las diferentes opciones de inspección y el software, el cual nos va ayudar a emitir un informe adecuado de acuerdo a lo que se requiera.

Referencias

Al final del trabajo liste y enumere todas las referencias bibliográficas con una fuente Times New Román tamaño 12.

1. Proyecto de tesis "ESTUDIO TECNICO E IMPLEMENTACION DEL LABORATORIO DE END".
2. Manual de Ensayos no Destructivos mediante la técnica de Inspección por Termografía Industrial.
3. Manual del fabricante del equipo termografico.
4. ASTM E 1934 - 99^a

Glosario

Discontinuidad: es la perdida de la homogeneidad del material.

Emisividad: es la proporción de radiación térmica emitida por una superficie u objeto debido a una diferencia de temperatura con su entorno.

4.3.5. Práctica de Inspección por Ultrasonido.

Calibración para Haz Recto.

Cristian Bernal¹.

Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Ingeniería Mecánica

Asignatura: Ensayos No Destructivos, Cuenca – Ecuador, Fecha de entrega: 19-06-2014

1. Presentación de la práctica

En esta práctica se presenta el procedimiento y los parámetros a seleccionar, para la calibración de un equipo para Inspección por Ultrasonido. Utilizaremos el equipo de la marca Olympus, EPOCH XT, con el cual contamos en el laboratorio de END, de la UPS sede cuenca.



Figura 1. Equipo EPOCH XT.

2. Requisitos, precauciones y evaluación

Requisitos

Lecturas recomendadas:

- Proyecto de Tesis "ESTUDIO TÉCNICO E IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE END".
- Manual de Ensayos No Destructivos mediante la técnica de Inspección por Ultrasonido Industrial.
- Manual del fabricante del equipo ultrasónico.

Precauciones

¹ Egresado de la Carrera de Ingeniería Mecánica, correo electrónico: cbernal@ups.edu.ec

Verificar el estado de la batería, las conexiones de los accesorios dependiendo de la aplicación, para no tener inconvenientes al momento de la calibración del equipo.

Evaluaciones

Antes de dar inicio a la práctica, se deberá conocer el equipo de prueba y sus funciones.

3. Objetivos

- Conocer el procedimiento para la calibración de un equipo ultrasónico del tipo pulso-eco, empleando un palpador de haz recto.

4. Equipos, instrumentos y software

Tabla 1. Tabla de equipos, instrumentos y software

Descripción	Marca	Serie
EPOCH XT Digital Ultrasonic Flaw Detector	Olympus	XT
Bloques de calibración.	Olympus	
Palpadores (transductores)	Olympus	

5. Exposición

El ensayo ultrasónico es un método de inspección por comparación, es decir, las indicaciones de las discontinuidades son comparadas con las indicaciones obtenidas en los patrones de referencia. Los bloques patrones son usados para estandarizar la calibración del equipo y evaluar en forma comparativa las indicaciones obtenidas de la pieza de ensayo.

La calibración de un equipo de Ultrasonido consiste principalmente en el ajuste de la velocidad de propagación del sonido del material del bloque de calibración o del material que va a ser inspeccionado y del ajuste del zero (delay) o retardo del transductor debido al desgaste.

En principio el Retardo del transductor [Zero (Transducer Delay)] se ajusta con el menor espesor debido a que con este valor se ajusta el desgaste del transductor cuyo valor es más sensible.

En segundo lugar se tiene el ajuste de la Velocidad el cual se efectúa con el mayor espesor y corresponde a la variación de la velocidad del material con el cual se está efectuando la calibración.

El bloque a utilizar en esta práctica es del tipo escalera (figura 1), y es el utilizado para la medición de espesores, mediante una inspección por ultrasonido. Ocasionalmente se suelen encontrar discontinuidades con haz recto.



Figura 1. Bloque tipo escalera.

6. Proceso y procedimiento

6.1 Proceso

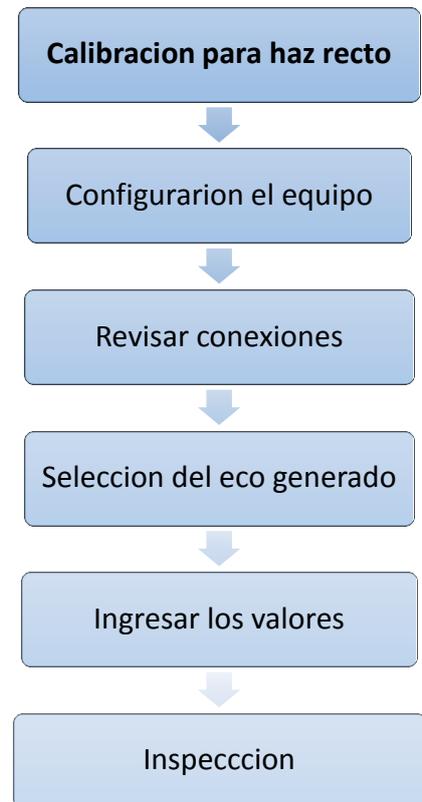


Figura 2. Proceso para calibración del equipo.

6.2 Procedimiento

Para realizar la calibración del equipo ultrasónico en la presente práctica se utilizara los siguientes accesorios:

- Bloque tipo escalera
- Cable BNC
- Transductor de 5 MHz x 0.250".
- Acoplante Ultrasónico

6.2.1. Configuración del equipo.



Figura 3. Visualización de la pantalla.

En la figura 3, se muestra los parámetros necesarios a ingresar, para la configuración del equipo antes de realizar la inspección por ultrasonido. Los parámetros que dependerán del bloque de calibración, o el elemento a inspeccionar son:

- Velocidad de propagación del sonido (Vel), que dependerá del material del elemento a inspeccionar, para este caso se utilizara 0.2320 in/us, que es la velocidad para acero al carbono, material del bloque de calibración.
- Frecuencia del transductor (Frec.), se tomara el dado por el propio transductor (5MHz).
- Rango (Rng), el cual dependerá del espesor del elemento, para esta práctica se tomara 1.000, ya que es el espesor máximo del bloque tipo escalera (figura1).
- Modo, dependerá del método a aplicar, para esta practica se tomara pulso-eco.
- Ganancia (Gan), este valor se modificara de acuerdo a la propagación de la onda (eco), que se visualizara en la pantalla. Se recomienda iniciar en un rango de entre 40 – 60.

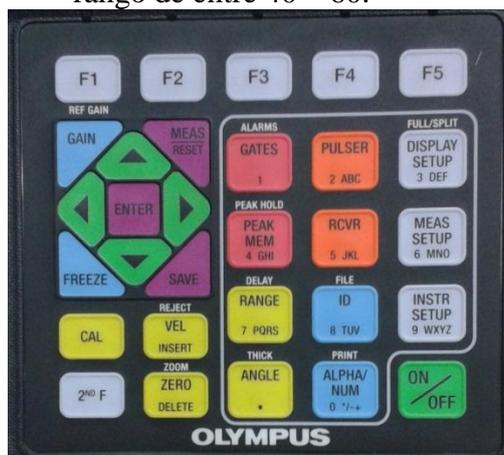


Figura 4. Comandos del equipo.

6.2.2. Revisar conexiones.

El cable coaxial debe estar correctamente conectado al equipo y

al transductor, para garantizar una buena visualización del eco.



Figura 5. Conexión cable coaxial.

6.2.3. Selección del eco generado.

Colocar el transductor sobre el menor y mayor espesor del bloque de calibración, utilizando líquido acoplante, para eliminar la impedancia del aire, y verificar en la pantalla el eco obtenido de cada uno de los espesores.



Figura 6. Inicio de calibración.

6.2.4. Ingresar los valores.

Luego de visualizar el eco obtenido por los dos espesores en la pantalla, se selecciona el eco del menor espesor con la opción GATES y con la ayuda del cursor (Figura 7).



Figura 7. Selección del menor espesor.

Luego ingresamos el valor (0.25) presionando las teclas CAL y ZERO, seleccionamos F1 para continuar. (Figura 8)



Figura 8. Ingreso del valor de menor espesor.

De igual manera seleccionamos el eco del mayor espesor (figura 9).



Figura 9. Selección del mayor espesor.

Luego ingresamos el valor del mayor espesor (1) presionando la tecla VEL, seleccionamos F2 para terminar con la calibración (figura 10).



Figura 8. Ingreso del valor del mayor espesor.

6.2.5. Inspección.

Una vez calibrado el equipo, procedemos a realizar la medición de espesores mediante la Inspección por Ultrasonido.

Si es necesario se deberá variar ciertos parámetros, principalmente el valor de la ganancia y el rango en el equipo ultrasónico, dependiendo del espesor en el que se va a realizar la inspección.

7. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Al término de esta práctica se conoció los parámetros necesarios a ingresar en el equipo ultrasónico, antes de iniciar la calibración de un equipo ultrasónico, siendo los principales, la velocidad de propagación del sonido, que varía de acuerdo al material a inspeccionar, y la frecuencia del transductor.

Para la calibración con haz recto, se seguirá un proceso adecuado, para evitar errores en una inspección por ultrasonido.

La calibración con un transductor que emite un haz recto, utilizando un bloque patrón tipo escalera, es para realizar principalmente la medición de espesores mediante la inspección por ultrasonido, aunque en algunos casos se suelen detectar discontinuidades.

Recomendaciones

Se recomienda revisar el manual del equipo, para descartar cualquier duda que se tenga al momento de realizar la calibración del equipo.

Referencias

1. Proyecto de Tesis "ESTUDIO TÉCNICO E IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE END".
2. Manual de Ensayos No Destructivos mediante la técnica de Inspección por Ultrasonido Industrial.
3. <http://www.youtube.com/watch?v=aGUGtB0fzAk>
4. <http://www.olympus-ims.com/es/epoch-xt/>

Glosario

GATES: Compuertas.

Calibración para haz angular.

Cristian Bernal¹.

Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de Ingeniería Mecánica

Asignatura: Ensayos No Destructivos, Cuenca – Ecuador, Fecha de entrega: 19-06- 2014

1. Presentación de la práctica

En esta práctica se presenta el procedimiento y los parámetros a seleccionar, para la calibración de un equipo para Inspección por Ultrasonido. Utilizaremos el equipo de la marca Olympus, EPOCH XT, con el cual contamos dentro del laboratorio de END, de la UPS sede cuenca.



Figura 1. Equipo EPOCH XT.

2. Requisitos, precauciones y evaluación

Requisitos

Lecturas recomendadas:

- Proyecto de Tesis "ESTUDIO TÉCNICO E IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE END".
- Manual de Ensayos No Destructivos mediante la técnica de Inspección por Ultrasonido Industrial.
- Manual del fabricante del equipo ultrasónico.

Precauciones

Verificar el estado de la batería, las conexiones de los accesorios dependiendo de la aplicación, para no tener inconvenientes al momento de la calibración del equipo.

Evaluaciones

Antes de dar inicio a la práctica, se deberá conocer el equipo de prueba y sus funciones.

3. Objetivos

- Conocer el procedimiento para la calibración de un equipo ultrasónico del tipo pulso-eco, empleando un palpador (transductor) y una zapata angular.

4. Equipos, instrumentos y software

Tabla 1. Tabla de equipos, instrumentos y software

Descripción	Marca	Serie
EPOCH XT Digital Ultrasonic Flaw Detector	Olympus	XT
Bloques de calibración.	Olympus	
Palpadores (transductores)	Olympus	
Zapatas (45° - 60° - 70°)	Olympus	

5. Exposición

El ensayo ultrasónico es un método de inspección por comparación, es decir, las indicaciones de las discontinuidades son comparadas con las indicaciones obtenidas en los patrones de referencia. Los bloques patrones son usados para estandarizar la calibración del equipo y

¹ Egresado de la Carrera de Ingeniería Mecánica, correo electrónico: cbernal@ups.edu.ec

evaluar en forma comparativa las indicaciones obtenidas de la pieza de ensayo.

La calibración de un equipo de Ultrasonido consiste principalmente en el ajuste de la velocidad de propagación del sonido del material del bloque de calibración o del material que va a ser inspeccionado y del ajuste del zero (delay) o retardo del transductor debido al desgaste.

En principio el Retardo del transductor [Zero (Transducer Delay)] se ajusta con el menor espesor debido a que con este valor se ajusta el desgaste del transductor cuyo valor es más sensible.

En segundo lugar se tiene el ajuste de la Velocidad el cual se efectúa con el mayor espesor y corresponde a la variación de la velocidad del material con el cual se está efectuando la calibración.

La calibración para inspección con Haz Angular implica verificar principalmente 4 parámetros para la Calibración:

1. Localización del Punto de Salida del Haz
2. Verificación del Ángulo Refractado
3. Calibración de Distancias
4. Calibración para Sensibilidad.

El bloque a utilizar en esta práctica es del tipo ASTM E-164 IIW (figura 1), y es utilizado para la calibración del equipo ultrasónico, previo a la detección de discontinuidades.

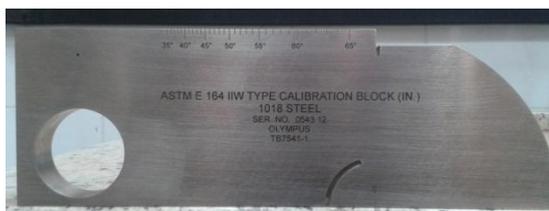


Figura 1. Bloque ASTM E-164 IIW tipo 1.

Para realizar la calibración del equipo ultrasónico en la presente práctica se utilizara los siguientes accesorios:

- Bloque IIW tipo 1
- Cable BNC
- Transductor de 5 MHz x 0.250".
- Zapata a 70°
- Acoplante Ultrasónico

6. Proceso y procedimiento

6.1 Proceso



Figura 2. Proceso para calibración del equipo.

6.2 Procedimiento

6.2.1. Configuración del equipo.



Figura 3. Visualización de la pantalla.

En la figura 3, se muestra los parámetros necesarios a ingresar, para la configuración del equipo antes de realizar la inspección por ultrasonido.

Los parámetros que dependen del bloque de calibración, o el elemento a inspeccionar son:

- Velocidad de propagación del sonido (Vel), que dependerá del material del elemento a inspeccionar, para este caso se utiliza 0.1280 in/us, que es la velocidad de las ondas transversales (velocidad de corte) para acero al carbono, material del bloque de calibración.
- Frecuencia del transductor (Frec.), se tomara el dado por el propio transductor (5 MHz).
- Rango (Rng), dependerá del bloque de calibración, para esta práctica se tomara 10.000.
- Modo, dependerá del método a aplicar, se selecciona pulso-eco para la presente práctica.
- Ganancia (Gan), este valor se modificara de acuerdo a la propagación de la onda (eco), que se visualizara en la pantalla. Se recomienda iniciar en un rango de entre 40 – 60.
- Angulo, dependerá de la zapata utilizada, para la presente práctica se utilizara una zapata con un ángulo de 70°.

Los parámetros mencionados anteriormente pueden ser ingresados con la ayuda de las teclas de acceso directo del teclado (Figura 4)

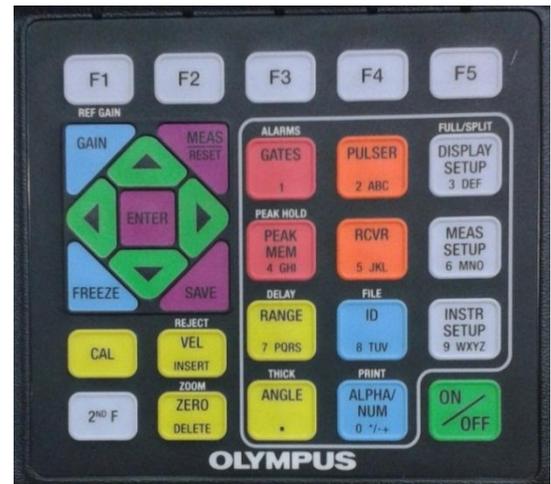


Figura 4. Comandos del equipo.

6.2.2. Revisar conexiones.

El cable coaxial debe estar correctamente conectado al equipo y al transductor con la zapata, para garantizar una buena visualización del eco.

Se deberá colocar acoplante para el ajuste del transductor y la zapata.

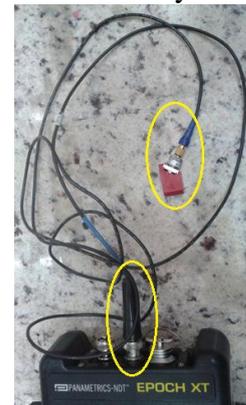


Figura 5. Conexión cable coaxial.

6.2.3. Localización del Punto de Salida del Haz.

El punto de salida de haz es el punto en el cual el eco adquiere la máxima energía. El punto de salida del haz que se indica en la zapata debe coincidir con el punto 0 del bloque de calibración en cuestión (figura 6). Aplicar acoplante sobre la superficie del bloque y colocar el transductor dirigido a la superficie curva de radio de 4".

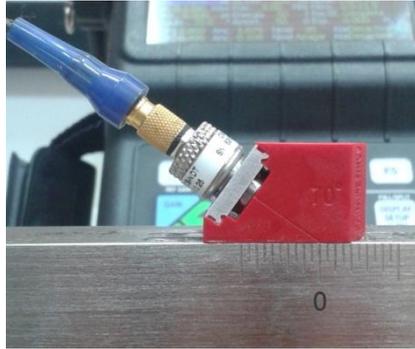


Figura 6. Localización del Punto de Salida del Haz.

Desplazar el transductor de izquierda a derecha para encontrar la máxima amplitud, si es necesario aumentar o disminuir la ganancia hasta que la amplitud tenga un valor aproximado del 60-80%.



Figura 7. Eco de mayor energía (punto 0).

Si la marca no coincide, debe colocarse un pedazo de cinta sobre el costado de la zapata y marcar sobre la cinta, el punto donde coincide. El haz debe estar en dirección al centro de la curvatura de 4" del bloque.

6.2.4. Verificación del Ángulo Refractado.

Para la verificación del ángulo de refracción se utiliza las escalas graduadas en el costado del bloque IIW. Colocar el transductor, previa aplicación de acoplante, sobre la escala que corresponda al ángulo de la zapata utilizada, el haz debe estar dirigido a el barreno de 2" (Figura 7).

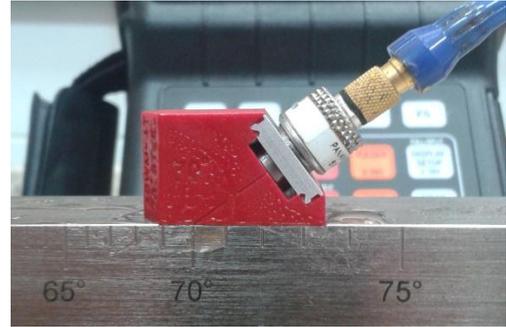


Figura 7. Verificación del ángulo de refracción.

Ajustar la ganancia y desplazar el transductor de izquierda a derecha hasta obtener la máxima amplitud de la indicación.



Figura 8. Máxima amplitud de la indicación (70°).

Si el ángulo encontrado no coincide con el marcado en la zapata, debe registrarse este nuevo valor en el equipo de ultrasonido. El nuevo valor deberá encontrarse dentro de una tolerancia +/- 2° con respecto al que esta grabado en la zapata.

6.2.5. Calibración de distancias.

El bloque de calibración ASTM E-164 IIW Tipo 1 produce un eco a 4 pulgadas (100 mm) y 9 pulgadas (225 mm) para la calibración del camino sónico.

Antes de iniciar la calibración de distancias se debe realizar unos preajustes, del rango (40 - 60) y del ángulo (0°) (figura 9).

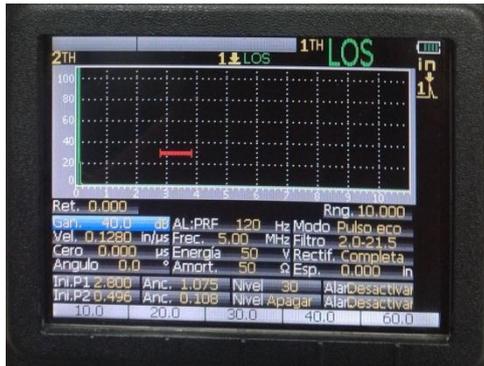


Figura 9. Pre-ajustes para calibración en distancia.

Colocar el transductor haciendo coincidir la línea inclinada de la zapata con el punto 0, previo aplicación de acoplante, tal como se muestra en la figura 10.



Figura 10. Inicio calibración en distancia.

Visualizar en la pantalla el eco generado, ajustando la ganancia para que la onda alcance una amplitud del 60-80%. Con la tecla GATES y con la ayuda del cursor, seleccionamos dicho eco (figura 11).



Figura 11. Primer eco generado.

Luego ingresamos el valor de 4” presionando las teclas CAL y ZERO, seleccionamos F1 para continuar. (Figura 12)



Figura 12. Ingreso del valor menor.

De igual manera seleccionamos el eco generado por el recorrido de la onda a 9”, nuevamente ajustando la ganancia para que la onda alcance una amplitud del 60-80 % (figura 13).



Figura 13. Segundo eco generado.

Luego ingresamos el valor de 9” presionando la tecla VEL, seleccionamos F2 para terminar con la calibración a distancias (figura 14).



Figura 14. Ingreso del valor mayor.

Presionando la tecla GATES y con la ayuda del cursor, nos posicionamos sobre los ecos generados, verificando los valores ajustados.

6.2.6. Calibración para Sensibilidad. El ajuste de sensibilidad se refiere a la ganancia requerida en decibeles para que la amplitud o altura de la indicación del reflector de referencia alcance un cierto porcentaje sobre la escala vertical de la pantalla. Colocar el transductor como se muestra en la figura 15 y desplazar de izquierda a derecha para lograr maximizar la indicación proveniente del barreno de 0.060".



Figura 15. Ingreso del valor mayor.

Una vez que ya ha sido maximizada la indicación, y sin mover el

transductor, debe ajustarse la ganancia para que la onda alcance una amplitud del 60-80%.



Figura 16. Eco generado por el barreno de 0.060".

Presionar 2nd + GAIN, y luego F1 para bloquear el nivel de ganancia, para añadir y disminuir durante la inspección.

6.2.7. Inspección.

Una vez calibrado el equipo, procedemos a realizar la detección de discontinuidades mediante la Inspección por Ultrasonido.

Si es necesario se deberá variar ciertos parámetros, principalmente el valor de la ganancia y el rango en el equipo ultrasónico, dependiendo de los espesor en el que se va a realizar la inspección.

7. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Al término de esta práctica se conoció los parámetros necesarios a ingresar en el equipo ultrasónico, antes de iniciar la calibración de un equipo ultrasónico, siendo los principales la velocidad transversal o de corte del sonido, que dependerá del material del elemento a inspeccionar, la frecuencia dada por el transductor y en este caso el ángulo de la zapata.

Para la calibración con un haz angular, se seguirá un proceso adecuado, para

evitar errores al momento de realizar la inspección por ultrasonido.

La calibración con un transductor que emite un haz recto acoplado a una zapata (45°-60°-70°) utilizando un bloque patrón IIW tipo 1, es para realizar detección de discontinuidades mediante la inspección por ultrasonido.

Recomendaciones

Se recomienda revisar el manual del equipo, para descartar cualquier duda que se tenga al momento de realizar la calibración del equipo.

Referencias

1. Proyecto de Tesis "ESTUDIO TÉCNICO E IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE END".
2. Manual de Ensayos No Destructivos mediante la técnica de Inspección por Ultrasonido Industrial.
3. http://www.llogsa.com/Descargas/Ultratips/Ediciones/Utipsed_177.php
4. <http://www.youtube.com/watch?v=1GZ7K2uhjD0>
5. <http://www.olympus-ims.com/es/epoch-xt/>

Glosario

GATES: Compuertas.

Inspección por Ultrasonido.

Cristian Bernal¹.

Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de **Ingeniería Mecánica**

Asignatura: **Ensayos No Destructivos**, Cuenca – Ecuador, Fecha de entrega: **02-07- 2014**

1. Presentación de la práctica

En esta práctica se pretende aplicar la técnica de Inspección por Ultrasonido para detectar discontinuidades superficiales, internas en piezas o elementos mecánicos o para la medición de espesores. Para ello previamente se deberá familiarizarse con el equipo de prueba y con todos los accesorios necesarios para la inspección.



Figura 1. Equipo de inspección por Ultrasonido.

Dependiendo de la aplicación se establecerá el método a aplicar y se realizara las configuraciones necesarias al equipo antes de realizar la inspección.

2. Requisitos, precauciones y evaluación

Requisitos

Lecturas recomendadas:

- Proyecto de Tesis "ESTUDIO TÉCNICO E IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE END".

- Manual de Ensayos no Destructivos mediante la técnica de Inspección por Ultrasonido Industrial.

Precauciones

Verificar el estado de la batería, las conexiones de los accesorios dependiendo de la aplicación, para no tener inconvenientes al momento de realizar la inspección.

Evaluaciones

Para dar inicio a la práctica se deberá conocer el principio y las características más importantes de la Inspección por Ultrasonido, así como del Equipo de prueba.

3. Objetivos

- Verificar la sanidad interna de elementos mecánicos mediante la técnica de Inspección por Ultrasonido Industrial.

4. Equipos, instrumentos y software

Tabla 1. Tabla de equipos, instrumentos y software

Descripción	Marca	Serie
EPOCH XT Digital Ultrasonic Flaw Detector	Olympus	XT
Bloques de calibración.	Olympus	
Palpadores (transductores)	Olympus	
Zapatas (45° - 60° - 70°)	Olympus	

¹Egresado de la Carrera de Ingeniería Mecánica, correo electrónico: cbernal@ups.edu.ec

5. Exposición

Esta técnica se basa en el uso de una onda acústica de alta frecuencia que no es perceptible por el oído humano, que se transmite a través de un medio físico (palpador), para la detección de discontinuidades internas y superficiales o para medir espesores de paredes.

El palpador es dispositivo mediante el cual la energía eléctrica se convierte en energía mecánica (ondas sonoras), o viceversa. Es de vital importancia en la inspección ya que de este dependen las características del haz ultrasónico que se propaga en el material.



Figura 2. Palpador de contacto.

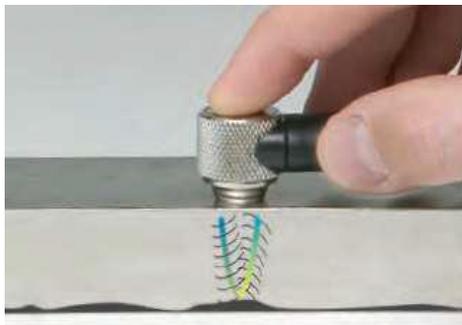


Figura 3. Palpador dual.

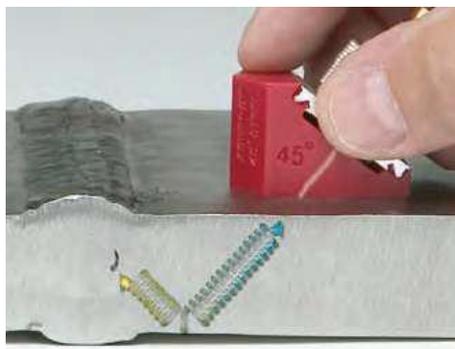


Figura 4. Palpador angular.

El tipo de discontinuidad a detectar depende del palpador utilizado, dependiendo del tipo de inspección, de las frecuencias que para que sean ultrasónicas deben estar dentro de un rango de 0.25 a 25 MHz. Dentro del palpador se encuentra un cristal o un cerámico piezoeléctrico, que, al ser excitado eléctricamente y por efecto piezoeléctrico, hace vibrar a el palpador a altas frecuencias, generando estas ondas ultrasónicas, las cuales son transmitidas al material que se desea realizar la inspección.

Las ondas ultrasónicas generadas se propagan a través del material hasta que se encuentran con alguna interface, como una discontinuidad o algún otro material, y es cuando se produce una reflexión de la onda, la cual es amplificada e interpretada en el equipo de medición utilizado Figura 5.

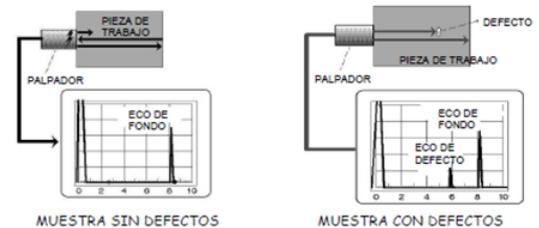


Figura 5. Inspección por Ultrasonido.

Es necesaria la aplicación de un líquido acoplante, con el objetivo de eliminar la delgada capa de aire entre el palpador y la superficie del elemento a inspeccionar, ya que el aire presenta una elevada impedancia acústica que dificultaría la transmisión del haz ultrasónico.

Un correcto procedimiento de ensayo mediante ultrasonido, señala que no se debe iniciar la inspección sin antes haber calibrado el conjunto equipo-palpador, esto se realiza mediante un bloque o juego de bloques con discontinuidades artificiales y/o espesores conocidos (bloques de calibración).



Figura 6. Bloque de calibración.

6. Proceso y procedimiento

6.1 Proceso

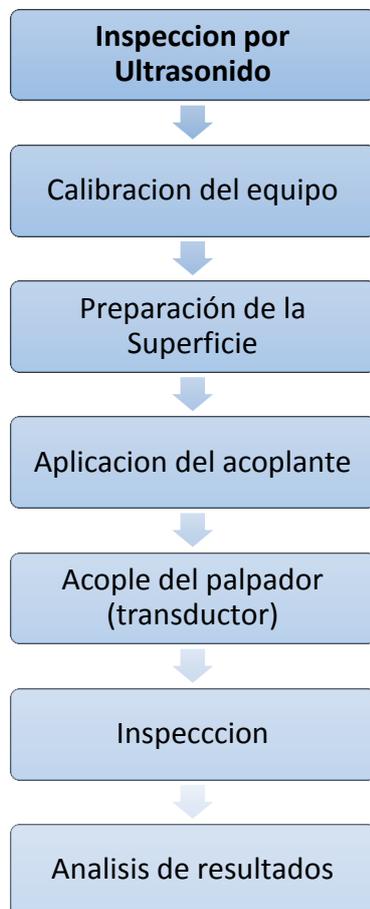


Figura 7. Proceso para inspección por ultrasonido.

6.2 Procedimiento

6.2.1. Calibración del equipo.

Previo a la inspección por ultrasonido, ya sea en la medición de espesores, o en la detección de discontinuidades, es necesario

realizar la calibración del equipo ultrasónico, como se indican en las prácticas anteriores. Los bloques de calibración a utilizarse son los de tipo escalonado, utilizados principalmente para la medición de espesores, y los de AWS D1.1 como el de la figura 6, para realizar la inspección de discontinuidades en diferentes elementos mecánicos.

La calibración debe hacerse periódicamente, cada dos horas o cada vez que se cambia el palpador, con el fin de eliminar errores en las indicaciones obtenidas.

6.2.2. Preparación de la superficie.

La superficie deberá estar completamente limpia, para garantizar un acople perfecto con el palpador (transductor).

6.2.3. Aplicación del acoplante.

Para eliminar la impedancia acústica generada por la línea de aire existente entre el palpador y la superficie, se deberá aplicar líquido acoplante, para garantizar la transmisión del haz ultrasónico.

6.2.4. Acople del palpador (transductor).

Se procede a realizar el acople entre la superficie a inspeccionar y el palpador, previa aplicación de acoplante.

6.2.5. Inspección.

Se debe guiar el palpador en diferentes orientaciones para encontrar posibles discontinuidades en el elemento inspeccionado.

En la mayoría de los casos el equipo de inspección acusa:

- Un pico correspondiente al impulso de emisión.
- Una sucesión de pequeños picos debidos a imperfecciones superficiales de las caras.

- Eventualmente un pico debido al eco de una discontinuidad.
- Un pico debido al eco de fondo.

6.2.6. Análisis de resultados.

Es de mucha importancia tener el registro de los resultados obtenidos, con las discontinuidades y su ubicación para una inspección posterior, luego de que el elemento se haya sometido a algún proceso de corrección.

7. Resultados y/o discusión

7.1 Resultados

En la presente práctica se realizó la inspección de un cordón de soldadura (Figura 8), por lo que la calibración del equipo se la realizó con haz angular.



Figura 8. Probeta de ensayo.

En la pieza que va a ser inspeccionada debe de trazarse el área de barrido para garantizar que con el desplazamiento del transductor en ella, el haz ultrasónico está cubriendo la junta de soldadura en su totalidad.

Para el cálculo del área de barrido se debe conocer el espesor de la pieza (t), y el ángulo de la zapata (θ).

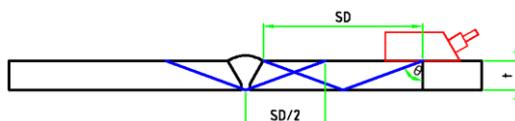


Figura 9. Área de barrido.

Para la inspección se utilizará una zapata a 70° , y conociendo el espesor de la pieza que es de 10mm, se procede a determinar el área de barrido.

$$SD = 2t \times \text{tg}\theta$$

$$SD = 2(10) \times \text{tg}70^\circ$$

$$SD = 55 \text{ mm}$$

$$SD/2 = 55/2$$

$$SD = 27.5 \text{ mm}$$

Calculadas las distancias, se procede a trazar el área de barrido como se muestra en la figura 8.

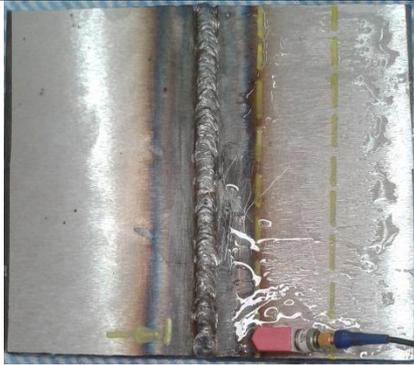
Luego de la calibración del equipo ultrasónico y la determinación del área de barrido, se da inicio a la inspección.



Figura 10. Inicio de la inspección.

La detección de discontinuidades se determina al momento que la onda ultrasónica se dispara, a continuación se presentan los resultados obtenidos.

Primera detección.



Tramo con defecto.



Visualización en pantalla.

El tramo presenta falta de penetración.

Tabla 2. Inspección con discontinuidad.

Segunda detección.



Tramo con defecto.



Visualización en pantalla.

El tramo presenta falta de penetración.

Tabla 4. Inspección con discontinuidad.

Tramo sin discontinuidad



Tramo sin defecto.



Visualización en pantalla.

Tabla 3. Inspección sin discontinuidad.

Tercera detección.



Tramo con defecto.



Visualización en pantalla.

El tramo presenta exceso de penetración.

7.2 Discusión

Para la inspección por ultrasonido, se tomo de referencia la norma ASME BPVC Sección V Artículo 5 y párrafo 136.4.6 de ASME B31.1, la cual para el análisis de resultados y los criterios de evaluación menciona lo siguiente:

Personal de END que recopilan y analizan datos de una Inspección por Ultrasonido, deberán demostrar su capacidad para realizar un examen aceptable mediante procedimientos escritos.

Los procedimientos tienen que demostrarse obteniendo resultados aceptables, tomando de referencia un bloque de calibración fabricado de acuerdo con la Sección ASME V, artículo 4, T-434.

Normas de aceptación: Cualquier indicación que supere el 20% del nivel de referencia, serán estudiadas por el operador con el fin de determinar la localización, naturaleza y dimensiones de la discontinuidad que produce la misma.

Toda discontinuidad que se interprete como grieta, falta de fusión o penetración, será inaceptable con independencia de sus dimensiones.

Otras discontinuidades, no atribuibles a su configuración geométrica, serán inaceptables cuando su amplitud exceda del nivel de referencia y su longitud sea superior a:

- 6,35 mm para $t \leq 19,3$ mm.
- $1/3 t$ mm para $19,3 < t \leq 57$ mm.
- 19,3 mm para $t \leq 57$ mm.

En donde t es el espesor de la soldadura examinada.

Luego de concluida la inspección, el cordón de soldadura presenta tres discontinuidades como se muestra en la figura 11.

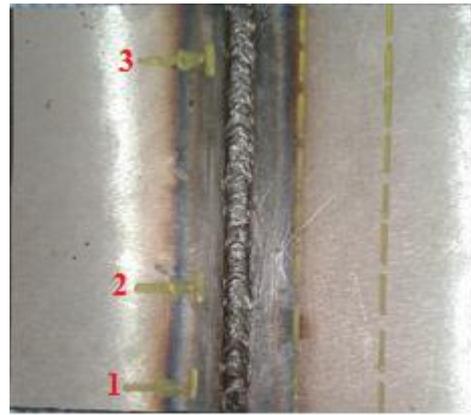


Figura 11. Resultados, fin de la inspección.

De acuerdo a lo que estipula la norma, el cordón de soldadura inspeccionado es rechazado, ya que presenta falta de fusión o penetración (marca 1-2), y exceso de penetración (marca 3).

8. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Al término de la presente practica, se conoció el equipo portátil para inspección por ultrasonido, y el procedimiento adecuado a seguir para una correcta detección de discontinuidades internas.

Se realizo la inspección en un cordón de soldadura, previamente se determino el área de barrido sobre la superficie a inspeccionar, en el cual se deberá desplazar el transductor para la detección de alguna discontinuidad interna.

Los resultados obtenidos fueron evaluados de acuerdo a lo que dicta la norma ASME BPVC, encontrándose falta y exceso de penetración por lo que el cordón de soldadura fue rechazado.

Recomendaciones

Se recomienda seguir correctamente los pasos previos para la inspección por ultrasonido. Ya sea el proceso de calibración o la determinación del área de barrido para inspecciones en cordones de soldadura.

Si se tiene alguna duda sobre el proceso de inspección se recomienda revisar las referencias bibliográficas.

Referencias

1. Proyecto de tesis "ESTUDIO TÉCNICO E IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE END".
2. Manual de Ensayos no Destructivos mediante la técnica de Inspección por Ultrasonido Industrial.
3. ASME BPVC Sección V Artículo 5 y párrafo 136.4.6 de ASME B31.1
4. <http://www.olympus-ims.com/es/ndt-tutorials/flaw-detection/basic-waveform-interpretation/>

Glosario

Discontinuidad: es la pérdida de la homogeneidad del material.

4.3.6. Práctica de Inspección por Presión Hidrostática.

Inspección mediante Presión Hidrostática.

Cristian Bernal¹.

Universidad Politécnica Salesiana, Carrera de **Ingeniería Mecánica**

Asignatura: **Ensayos No Destructivos**, Cuenca – Ecuador, Fecha de entrega: 29-07- 2014

1. Presentación de la práctica

En esta práctica se pretende utilizar el equipo de Presión Hidrostática (figura 1), para someter a especímenes (muestras) de prueba de tubería PVC a una presión constante interna, en un ambiente controlado. La prueba sirve para determinar el tiempo-falla de la tubería, cuando se mantiene bajo una presión hidráulica constante.



Figura 1. Equipo para pruebas hidrostáticas.

2. Requisitos, precauciones y evaluación

Requisitos

Lecturas recomendadas:

- Proyecto de Tesis "ESTUDIO TÉCNICO E IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE END".
- Manual del fabricante QUALITEST.
- Norma ASTM D 1598-97
- Norma ISO 1167

Precauciones

Verificación de la alimentación de los equipos, las conexiones de todos los accesorios y elementos, siguiendo las recomendaciones dadas por el fabricante en el catalogo.

Evaluaciones

Para dar inicio a la práctica se deberá conocer el principio y las características más importantes de la Inspección mediante Presión Hidrostática, así como del equipo de prueba.

3. Objetivos

- Identificar y conocer el equipo de ensayo.
- Verificar la resistencia a la presión de una tubería de PVC, mediante la técnica de Presión Hidrostática.

4. Equipos, instrumentos y software

Tabla 1. Tabla de equipos, instrumentos y software

Descripción	Marca	Serie
Tanque de prueba mediante Presión Hidrostática	QUALI TEST	H1
Unidad de Control de Presión	QUALI TEST	HPT-10I
Mordazas (1/2,3/4,1,11/2,2)	QUALI TEST	HPT-EC-SS

5. Exposición

Una prueba hidrostática es la prueba de presión que se realiza a tuberías y equipos para verificar su hermeticidad, confirmar su integridad mecánica y avalar que estén en óptimas condiciones de operación, de acuerdo a las normas, especificaciones, códigos o estándares aplicables. La presión de prueba debe mantenerse constante todo el tiempo. Se deberá usar agua potable entre 16 °C y 38 °C como fluido de prueba. El contenido de cloro no deberá exceder las 100 ppm.

¹Egresado de la Carrera de Ingeniería Mecánica, correo electrónico: cbernal@ups.edu.ec

La presión de prueba se calculara como se menciona a continuación:

a) Tuberías y equipos nuevos.

Sistema de tubería:

$$P_{ph} = 1.5 * P_d \frac{S_{tp}}{S_{td}}$$

Recipientes a presión:

$$P_{ph} = 1.3 * P_d \frac{S_{tp}}{S_{td}}$$

Dónde:

P_{ph} = Presión de prueba hidrostática en kPa (kg/cm²).

P_d = Presión de diseño en kPa (kg/cm²).

S_{tp} = Esfuerzo permisible a la temperatura de prueba en kPa (kg/cm²).

S_{td} = Esfuerzo permisible a la temperatura de diseño en kPa (kg/cm²).

b) Equipos y tuberías en servicio.

Se utilizaran las mismas ecuaciones que para los equipos y tuberías nuevos, lo único que varía son las variables, ya que se utilizaran la presión y el esfuerzo permisible a la temperatura de operación en lugar de la de diseño.

Para la inspección de tuberías mediante Presión Hidrostática, tomamos de referencia la norma ASTM D 1598-97, la cual entre lo más importante menciona lo siguiente:

El equipo necesario para realizar el ensayo debe mantener la presión constante, por lo general se utiliza una bomba la cual debe estar conectada a un tanque o depósito de agua que mantenga el fluido a una temperatura ambiente (23 ± 2 C°).

Longitud de las muestras de ensayo se determina de la siguiente manera:

- Para tubería de 6 pulgadas o menos, la longitud del espécimen debe ser equivalente a 5 veces el diámetro nominal del tubo, pero en todo caso no debe ser menor a 12 pulgadas.
- Para diámetros grandes, la longitud debe ser de 3 veces el diámetro exterior, pero no menor a 30 pulgadas.

Se consideran fallas:

- Cualquier pérdida de presión con o sin la transmisión de agua a través del cuerpo del espécimen estando bajo prueba.
- Aumento o expansión del espécimen de tubería, cuando este sometido a presión interna.
- Ruptura o grieta en la pared de la tubería con la inmediata pérdida del fluido.

Luego de permanecer el espécimen a prueba durante las horas establecidas y la muestra no presento ninguno de los efectos considerados como fallas, la prueba se da como satisfactoria.

6. Proceso y procedimiento

6.1 Proceso



Figura 2. Proceso para inspección mediante Presión Hidrostática.

6.2 Procedimiento

6.2.1 Preparación del espécimen (muestra).

La longitud de la muestra se determina de acuerdo a ASTM D 1598-97, como se indica en el punto 5 (exposición).



Figura 3. Muestra de la tubería de PVC.

Conectamos el espécimen con las mordazas (figura 4), con la cadena y el arnés adecuado.



Figura 4. Espécimen listo para la prueba.

Previamente se deberá verificar que las mordazas estén con todos sus accesorios (figura 5).



Figura 5. Mordaza y sus accesorios.

6.2.2 Calibración de la Unidad de Control.

Luego de haber sumergido la muestra en el tanque de prueba (figura 6), se calibra el equipo de acuerdo a los datos de la tubería.



Figura 6. Probeta en el tanque de prueba.

Antes de sumergir la probeta se revisa que la manguera esta conectada correctamente (figura 7), en la mordaza y la estación 1 del tanque.



Figura 7. Conexión de la manguera de presión.

Primero se calcula la presión de prueba, la cual según la norma de referencia es 1.5PN (Presión Nominal).

$$\text{Presión de Prueba} = 1.5 (1.25)$$

$$\text{Presión de Prueba} = 1.875 \text{Mpa}$$

De acuerdo al valor calculado se ingresa el limite inferior y superior de presión, los cuales serán $\pm 2 \text{Mpa}$ de la presión de prueba (figura 8), con la ayuda de un destornillador (1).



Figura 8. Panel de control.

Si el led se encuentra encendido (2), indica que el nivel de agua es insuficiente en el mini tanque (figura 9), por lo que se debe abrir la válvula hasta alcanzar el nivel de agua requerido, momento en el cual automáticamente se cierra el paso del agua.



Figura 9. Mini tanque.

Ingresamos el valor de la temperatura de prueba en la unidad de control (figura 10), presionamos “Start” para aceptar.



Figura 10. Temperatura de prueba.

Ahora se ingresa los datos necesarios en la unidad de control (figura 11), para poner en marcha la prueba.

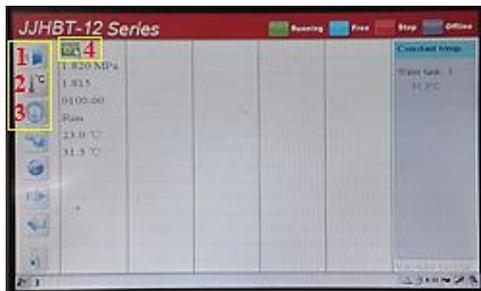


Figura 11. Unidad de control.

Para maximizar el teclado, se lo realiza como se muestra en la figura 112.

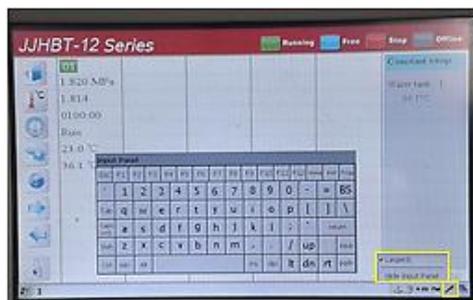


Figura 12. Teclado unidad de control.

Para la guía de calibración del equipo, se considerara la figura 11, ingresando los datos solicitados de acuerdo a la muestra de la tubería, y de la norma de referencia:

- Presionamos (1), se desplegara una pantalla (figura 13), en la cual se ingresara los datos solicitados, seleccionamos “Save” para guardar.

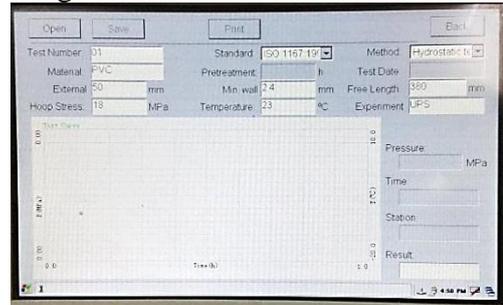


Figura 13. Calibración del equipo.

- Presionamos (2), para ingresar el valor de la temperatura de prueba (figura 14).



Figura 14. Calibración de la temperatura.

Presionamos “Start” para que se mantenga estable la temperatura en toda la prueba.

- Presionamos (3), para ingresar el valor de la presión de prueba (figura 15).



Figura 15. Calibración de la temperatura.

Ingresamos el valor y presionamos “Constant pressure” para que la presión se mantenga constante en toda la prueba.

- Presionamos (4), y se desplegará la pantalla (figura 16) donde se da inicio a la prueba.



Figura 16. Datos de la muestra.

Presionamos “Specimen”, se desplegará una pantalla en la cual se ingresará los datos de la muestra, seleccionamos “OK” para aceptar.

Luego de ingresado todos los datos y parámetros, se da inicio a la prueba, presionando “Start” (figura 16). Si en un máximo de 3 minutos no se visualiza la presión en la unidad de control (figura 17), la prueba se para automáticamente.



Figura 17. Control de presión.

El tanque empezará a llenarse, para ello se debe verificar que la válvula de distribución de agua esté abierta.



Figura 18. Válvula de distribución de agua.

En el transcurso de la prueba se debe verificar que la presión sea constante, y que la temperatura no sobrepase los 40°C (figura 19).



Figura 19. Control de temperatura.

Caso contrario se abrirá la válvula (figura 20), que se encuentra en la parte posterior del tanque de prueba, para mantener la temperatura en un rango menor a 40°C. Asegurarse que la válvula de distribución de agua (figura 18) está abierta.



Figura 20. Válvula, control de temperatura.

Además es importante controlar el avance de la prueba, para ello presionamos (4) (figura 11), y visualizamos la curva (presión-temperatura) de la prueba en proceso (figura 21).

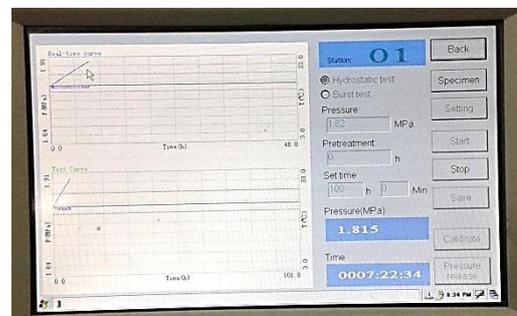


Figura 21. Prueba en proceso.

El equipo calibra automáticamente 100 horas de prueba.

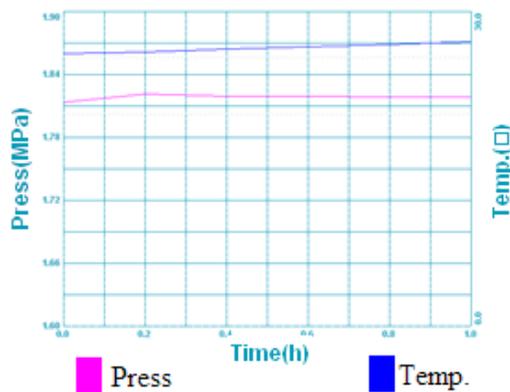


Figura 26. Curva de prueba.

7.2 Discusión

Si existe alguna falla, como lo indica la norma de referencia ASTM D 1598-97, el equipo da una señal de error y para automáticamente la prueba, se guardan los resultados, para luego extraer y ser analizados en el software del equipo. Según la curva de prueba de la figura 26, la presión y la temperatura se mantuvo constante durante la prueba. Luego de analizar la muestra de la tubería, no se encontró ninguna falla.

8. Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Al término de la presente practica, se conoció el equipo para pruebas a muestras de tubería mediante Presión Hidrostática, conociendo los parámetros a ingresar en el panel de control antes de iniciar la prueba.

Se realizo la inspección a un tramo de tubería de PVC, de 50mm de diámetro, tomando como referencia, la norma ASTM D 1598-97, para la preparación del espécimen y para analizar los resultados.

Al terminar las 100 horas de prueba que el equipo automáticamente calibra, no se encontraron fallas en la muestra de la tubería de PVC.

Recomendaciones

Revisar que las conexiones, tuberías y válvulas, estén sin anomalías, ya que pueden dificultar el avance de la

prueba, lo cual seria un inconveniente debido a que la prueba tiene varias horas de duración.

Referencias

1. Proyecto de Tesis "ESTUDIO TÉCNICO E IMPLEMENTACIÓN DEL LABORATORIO DE END".
2. Manual del fabricante del equipo QUALITEST.
3. Norma ASTM D 1598-97
4. Norma ISO 1167
5. <http://www.youtube.com/watch?v=9mmjVprcHFA>

Glosario

Espécimen : Muestra de la tubería a inspeccionar.

Conclusiones

Al término del presente proyecto se conoció las generalidades más importantes de las técnicas de inspección de Ensayos No Destructivos (END), para verificar la sanidad superficial e interna de elementos mecánicos. Una correcta aplicación de la técnica de END, cumplirá con tres objetivos que son detección, evaluación y calificación de las discontinuidades existentes, las técnicas a aplicarse en el laboratorio de END se dividen en Técnicas de Inspección Superficial, en Técnicas de Inspección Volumétrica y en Técnicas de Inspección de la Integridad o Hermeticidad.

Teniendo una área aproximada de 60m², se realizó el diseño técnico para la implementación y adecuación del espacio físico, para el funcionamiento adecuado de cada uno de los equipos de END, considerando sus requerimientos eléctricos, de agua y drenaje. Para el equipo de Rayos-X se determinó una área específica, la cual consta de dos partes, una para realizar la prueba y otra para revelar y analizar los resultados.

Siguiendo un procedimiento adecuado, se aplicaron las técnicas de END, realizando inspecciones a diferentes elementos y sistemas mecánicos, las cuales se resumen a continuación:

- Aplicando la técnica de Inspección Visual, se verificó la sanidad superficial de la cámara de lubricación, combustión, y refrigeración, del cabezote del motor de un vehículo Chevrolet Swift, encontrando fisura y agrietamiento, lo cual se puede confirmar aplicando otra técnica de ensayo como tintas penetrantes. Mediante esta técnica se puede dar una evaluación general de un elemento o detectar discontinuidades antes que alcancen un tamaño crítico.
- Mediante las técnicas de inspección por Tintas Penetrantes, Partículas Magnéticas y Ultrasonido, se verificó la sanidad superficial e interna de cordones de soldadura, encontrando porosidades, salpicaduras, mordeduras, socavado, que son fallas comunes en la soldadura, estos resultados se analizaron mediante los criterios de aceptación o rechazo dado por la norma ASME sección V.
- La técnica de inspección por Termografía Industrial se aplicó a la Extrusora TEACH-LINE E20T del laboratorio de Transformación de Polímeros,

obteniendo termogramas del sistema de calentamiento del dado de extrusión, y el motor, mediante los cuales se pudo verificar que no presentan anomalías, ya que no existe un cambio brusco en la temperatura. La inspección se baso de acuerdo a la norma ASTM E 1934 – 99.

- Mediante la técnica de inspección por Pruebas Hidrostáticas, se verifico la resistencia a la presión de una tubería de PVC de 50mm de diámetro, ya que luego de 100 horas de prueba a una presión constante interna de 1.5 la presión de trabajo, basándose en la norma ASTM D 1598-97 o la ISO 1167, no presento ninguna falla.

Luego de aplicarse las técnicas de END, obteniendo resultados aceptables, se establece que las guías de práctica formuladas son aplicables, ya que presentan un procedimiento adecuado para realizar una inspección no destructiva a cualquier elemento mecánico.

Recomendaciones

Lo que se detalla en el presente proyecto con respecto a los Ensayos No Destructivos, no acoge la totalidad de la información existente, por lo que se recomienda revisar las referencias bibliográficas para involucrarse un poco mas con el tema, ampliando los conocimientos para una mejor ejecución de la técnica de inspección.

Considerando la complejidad de algunos de los equipos del laboratorio de END y sus costos, se recomienda revisar los catálogos, los cuales indican el procedimiento para el correcto funcionamiento de los mismos, así como recomendaciones de seguridad, con el fin de evitar daños al operador y al equipo.

Se recomienda utilizar normas de referencia, que indiquen criterios de aceptación o rechazo del elemento inspeccionado, las cuales dependerán de la técnica de inspección aplicada y de los resultados obtenidos, ejemplo de ello se muestra en la ejecución de las guías de práctica, subcapítulo 4.3.

Uno de los inconvenientes que se tiene al aplicar las técnicas de inspección mediante Ensayos No Destructivos, es que el personal que realiza dichas pruebas, debe estar correctamente capacitado, con una certificación dada por la norma ASNT en cualquiera de sus tres niveles.

Referencias bibliográficas

- A. Ruiz Rubio, J Serrano Sanchez, Aplicación de los métodos de Ensayos no Destructivos al examen de uniones soldadas, Editorial Urmo, S.A. 2004.
- Ministerio de Electricidad del Ecuador, Libro de Protección Radiológica: Fuentes de radiación ionizante, Rayos x.
- Ministerio de Electricidad del Ecuador, Libro de Protección Radiológica, Protección.
- Ministerio de Electricidad del Ecuador, Libro de Protección Radiológica. Reglamento.
- E. Dumaguala, Gestión e Imple. del Plan de Mant. Labs. del Area de Ing. Mec. UPS. 2014.
- INACAP Temuco, Método de Análisis no Destructivos de los Materiales [online], 2010, Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/36374268/Informe-de-Ensayos-No-Destructivos>.
- W. Acosta Freire, E. Salazar Balladares, Optimización de procedimientos de inspección para tubería utilizando END, Escuela Politécnica Nacional, 2007, Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/751/1/CD-1160.pdf>
- Introducción a los Ensayos No Destructivos, Disponible en: <http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Manual%20Introduccion%20a%20los%20END.pdf>.
- S. Infanzón, A. Fernández, Los Ensayos No Destructivos para un mantenimiento confiable seguro y rentable, Uruman 2006, Disponible en: http://www.uruman.org/TrabajosTec/END_Mantenimiento.pdf
- Manual de Inspección Visual, Niveles I y II, Disponible en: <http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/MANUAL%20DE%20INSP.%20VISUAL.pdf>
- R. Echevarría, Líquidos Penetrantes, Universidad Nacional del Comahue, 2003, Disponible en: <http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/LP.pdf>

- J. Sandoval, C. Idrovo, Ensayos No Destructivos, Líquidos Penetrantes, Universidad Técnica de Ambato, 2009, Disponible en: <http://juankasandoval.wikispaces.com/file/view/Trab.+NTICS+1.pdf>
- Norma ASTM E165, Disponible en: es.scribd.com/doc/36945080/ASTME165
- J. Villacis Soria, Ensayos No Destructivos por el método de Partículas Magnéticas, Universidad Técnica de Ambato, 2011, Disponible en: <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/handle/123456789/1366/Tesis%2085%20-%20Villac%C3%ADs%20Soria%20Johnny%20Danilo.pdf?sequence=1>
- R. Echeverría, Defectología, Universidad Nacional del Comahue, 2002, Disponible en: [www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Defectologia\[1\].pdf](http://www.sistendca.com/DOCUMENTOS/Defectologia[1].pdf)
- Norma ASTM E709-14, Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/73834229/ASTM-E-709-01>
- Ciencias Físicas Primero, Espectro Electromagnético, Disponible en: <http://cs-fs-primero.blogspot.com/2011/04/espectro-electromagnetico.html>
- M. Flores Parada, Propuesta de un laboratorio de ensayos no destructivos, Universidad de el Salvador, 2010, Disponible en: <http://ri.ues.edu.sv/165/1/10136159.pdf>
- Guía de Bolsillo, Cámara termográfica, Disponible en: http://www.testosites.de/export/sites/default/thermalimaging/es_ES/local_downloads/testo_thermalimager_pocketguide.pdf
- Mantenimiento Industrial mediante Termografía Infrarroja, Disponible en: <http://ubal.bligoo.com/mantenimiento-industrial-termografia>
- Guía Básica a la Termografía, Land Instruments International, 2004, Disponible en: http://www.landinst.es/infrarroja/descarga_de_ficheros/pdf/Termografia_Guia_Basica.pdf
- Testo, Guía de bolsillo, Termografía, Disponible en: http://www.testo.com.ar/media/local_media/Gua_practica_termografia_ES.pdf
- P. Herrera, H. Trujillo, Elaboración de procedimientos para la inspección de piezas fundidas por Ultrasonido, Escuela Politécnica Nacional, 2012, Disponible en: bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4630/1/CD-4260.pdf

- CNSN, Guía para la implementación de los reglamentos de seguridad en la practica de la radiografía industrial, 2004, Disponible en: http://www.medioambiente.cu/oregulatoria/cnsn/Docs/Res_12_2004.pdf
- J. Caceres Alvarado, Practicas de Laboratorio END, Universidad de la Laguna, Disponible en: http://jmcacer.webs.ull.es/CTMitop/Practicas%20Laboratorio_archivos/END.pdf
- León y Russo Ingenieros SAC, Curso de Ultrasonido Nivel I y II, 2012, Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/105822227/Curso-de-Ultrasonido-Nivel-I-y-II>
- S. Barrionuevo Díaz, Diseño y construcción de un prototipo para identificar orificios en tuberías por medio de Ultrasonido, Escuela Politécnica Nacional, 2012, Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/7897/1/CD-4734.pdf>
- http://www.idepa.es/sites/web/idepaweb/Repositorios/galeria_descargas_idepa/EnsayosNoDestructivosUltras.pdf
- A. Fernández Hatre, Ensayos No Destructivos, Destructivos, Ultrasonido, Principado de Asturias, Disponible en: <http://www.ginersg.org/TECNOLOGIA/T.Industrial%20II/Ensayos%20no%20destructivos.pdf>
- G. Matzkanin, H. Yolken, Pruebas Ultrasónicas, 2009, Disponible en: <http://www.aws.org/wj/esp/2009/05/wjesp0509-40.pdf>
- Departamento de Aeronáutica, Radiografía Industrial, Facultad de ingeniería, Universidad Nacional de La Plata, 2006, Disponible en: http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/catedras/archivos/RAYOS%20X_2006.PDF.
- Alianza END y construcción, Ensayos No Destructivos, Pruebas Hidrostáticas, Disponible en: <http://alianzaend.com.ec/ensayos-no-destructivos.html>
<http://es.scribd.com/doc/45918181/305112D0-Especificaciones-Pruebas-Hidrostaticas>
- Pemex, Pruebas Hidrostáticas de tuberías, Disponible en: <http://www.pemex.com/files/content/PROY-NRF-150.pdf>

- R. Gonzalo Federico, Ensayos No Destructivos, 2009, Disponible en:
<http://es.scribd.com/doc/48175633/Ensayos-No-destructivos>
- Wikipedia la enciclopedia libre, Test de Snellen, Disponible en:
http://es.wikipedia.org/wiki/Test_de_Snellen
- Daltonismo y Test Ishihara, Disponible en:
<http://www.pintoresensanlucar.com/daltonismo.html>.

ANEXOS