



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIDAD DE GESTIÓN DE  TECNOLOGÍAS

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA

**CARRERA DE MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN
AVIONES**

Trabajo de Graduación para la obtención del título de:

**TECNÓLOGO MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN
“AVIONES”**

**TEMA: IMPLEMENTACIÓN DE UN MANUAL DE
PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (NDT)
POR LA TÉCNICA DE CORRIENTES INDUCIDAS UTILIZANDO
EL EQUIPO NORTEC 2000D+**

AUTOR: TACO TACO KLÉVER ORLANDO

DIRECTOR: TLGO. PROAÑO CHILCAÑAR ALEJANDRO

LATACUNGA

2015

CERTIFICADO

Certifico que el presente Trabajo de Graduación fue realizado en su totalidad por el señor **KLÉVER ORLANDO TACO TACO**, como requerimiento parcial para la obtención del título de TECNÓLOGO MECÁNICA AERONÁUTICA MENCIÓN AVIONES.

Latacunga, Mayo 2015

Tecnólogo Alejandro Proaño

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **KLÉVER ORLANDO TACO TACO**

DECLARO QUE:

El proyecto denominado “**IMPLEMENTACIÓN DE UN MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (NDT) POR LA TÉCNICA DE CORRIENTES INDUCIDAS UTILIZANDO EL EQUIPO NORTEC 2000D+**” ha sido desarrollado en base a una investigación científica exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente, este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Latacunga, Mayo del 2015

KLÉVER ORLANDO TACO TACO
C.I. 0502975956

AUTORIZACIÓN

Yo, **KLÉVER ORLANDO TACO TACO**

Autorizo a la Unidad de Gestión de Tecnologías la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “**IMPLEMENTACIÓN DE UN MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (NDT) POR LA TÉCNICA DE CORRIENTES INDUCIDAS UTILIZANDO EL EQUIPO NORTEC 2000D+**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Latacunga, Mayo del 2015

KLÉVER ORLANDO TACO TACO
C.I. 0502975956

DEDICATORIA

El presente trabajo de graduación es dedicado a mi madrecita querida María Beatriz quien desde el cielo me guía y me brinda sus bendiciones.

A mi abnegada esposa Gissela Nataly y a mi hija Daniela Maite mis confidentes y amigas fieles, sustento de todos los logros en mi vida.

KLEVER ORLANDO

AGRADECIMIENTO

A la Unidad de Gestión de Tecnologías que me acogió y me preparó en sus aulas.

A mi director de tesis, el señor Tecnólogo Alejandro Proaño por ser mi guía y brindarme su ayuda y conocimientos para el desarrollo de este proyecto.

Al Centro de Mantenimiento Aeronáutico (CEMA) y al Laboratorio Ensayos No Destructivos (NDT) por darme la apertura y experiencia dentro de sus instalaciones.

A la señora Paulina Garzón quien me brindó su apoyo incondicional y confianza durante toda mi preparación académica.

KLÉVER ORLANDO TACO TACO

ÍNDICE GENERAL

CERTIFICADO	II
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	III
AUTORIZACIÓN	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
ÍNDICE GENERAL	VII
ÍNDICES DE TABLAS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
RESUMEN	XII
ABSTRACT	XIII
CAPÍTULO I.....	1
EL TEMA	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Planteamiento del Problema	2
1.3. Justificación.....	2
1.4. Objetivos	3
1.4.1. Objetivo General	3
1.4.2. Objetivos Específicos	4
1.5. Alcance.....	4
CAPÍTULO II.....	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1. Introducción a los Ensayos No Destructivos (NDT).....	5
2.1.1. Aplicaciones	7
2.1.2. Métodos y técnicas.....	8
2.1.3. Pruebas No Destructivas Superficiales	8
2.1.4. Pruebas No Destructivas Volumétricas	20

2.1.5. Pruebas No Destructivas de Hermeticidad.....	35
2.2. Introducción al método de Corrientes Inducidas aplicadas al equipo Nortec 2000 d+	38
2.2.1. Equipo de Corrientes Inducidas NORTEC 2000D+.....	39
2.2.2. Descripción del Equipo de Corrientes Inducidas NORTEC 2000D+ .	40
2.2.3. Características del Equipo de Corrientes Inducidas NORTEC 2000D+	41
2.2.4. Información General del equipo de Corrientes Inducidas NORTEC 2000D+	42
2.2.5. Fuente de Energía.....	42
2.2.6. Conductividad.....	43
2.2.7. Escáneres	43
2.2.8. Frecuencia Doble	43
2.2.9. Accesorios Estándares del equipo de Corrientes Inducidas NORTEC 2000D+	44
2.3. Generalidades y Especificaciones del Método de Corrientes Inducidas (NDT)	44
2.3.1. Principio básico del método de corrientes inducidas (ET).....	44
2.3.2. Requisitos para la Inspección por corrientes inducidas (ET).....	45
2.3.3. Aplicación del método de corrientes inducidas (ET).....	46
2.3.4. Ventajas del método de corrientes inducidas (ET)	49
2.3.5. Limitaciones del método de corrientes inducidas (ET)	50
2.4. Cables y Probetas (Sondas de Prueba)	50
2.4.1. Tipos de cables y probetas aplicables al método de Corrientes Inducidas (NDT).....	50
2.4.2. Las sondas se clasifican: absolutas y diferenciales	51
2.5. Conectores Adaptadores y Acoples	56
2.5.1. Tipos de conectores, adaptadores y acoples utilizados en el método de Corrientes inducidas (NDT).....	57
2.6. Bloques de Calibración y Bloques de Referencia.....	58
2.6.1. Bloques de calibración y referencia.....	58

2.6.2. Tipos de bloques de calibración o referencia utilizados en el método de corrientes inducidas (NDT)	58
CAPÍTULO III.....	60
ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE NDT POR LA TÉCNICA DE CORRIENTES INDUCIDAS (EDDY CURRENT) UTILIZANDO EL EQUIPO NORTEC 2000D+	60
3.1. Procedimiento aplicable para discontinuidades superficiales.....	60
3.1.1. Objetivo	60
3.1.2. Alcance.....	60
3.1.3. Documento de Referencia:.....	60
3.1.4. Terminología	60
3.1.5. Responsabilidades	62
3.1.6. Equipo Utilizado	62
3.1.7. Inspección por la técnica de Corrientes Inducidas (ET)	62
3.2. Procedimiento de inspección para discontinuidades sub - superficiales	64
3.2.1. Objetivo	64
3.2.2. Alcance.....	64
3.2.3. Documento de Referencia:.....	65
3.2.4. Terminología	65
3.2.5. Responsabilidades	66
3.2.6. Equipo Utilizado	66
3.2.7. Inspección por la técnica de Corrientes Inducidas (ET)	66
3.3. Procedimiento de inspección para conductividad de materiales	69
3.3.1. Objetivo	69
3.3.2. Alcance.....	69
3.3.3. Documento de Referencia:.....	69
3.3.4. Terminología	69
3.3.5. Responsabilidades	70
3.3.6. Equipo Utilizado	71

3.3.7. Inspección para determinar la conductividad de los materiales utilizando el Equipo NORTEC 2000D+	71
3.4. Análisis Económico	73
CAPÍTULO IV	74
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	74
4.1. CONCLUSIONES.....	74
4.2. RECOMENDACIONES	74
BIBLIOGRAFÍA	76
ANEXOS.....	77

ÍNDICES DE TABLAS

Tabla 1.....	13
Tabla 2.....	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Equipos y accesorios utilizados para Inspección visual.....	10
Figura 2: Tipos de boróscopos.....	12
Figura 3. Equipos y accesorios utilizados para Líquidos Penetrantes	15
Figura 4. Equipos y accesorios utilizados para Partículas Magnéticas.....	18
Figura 5. Equipos y accesorios utilizados para Corrientes Inducidas	19
Figura 6. Equipos y accesorios utilizados para Radiografía industrial	23
Figura 7. Equipos y accesorios utilizados para Ultrasonido Industrial	26
Figura 8. Método de emisión acústica	29
Figura 9. Muestras termográficas en varios campos	32
Figura 10. Identificación de flujo de Corrientes Inducidas.....	39
Figura 11. Equipo de Corrientes Inducidas NORTEC 2000D+	40
Figura 12. Limpieza inicial.....	46
Figura 13. Selección de la sonda o probeta.....	47
Figura 14. Selección de la frecuencia	48
Figura 15. Selección del bloque de referencia o calibración.....	48
Figura 16. Interpretación de indicaciones en el equipo.....	49
Figura 17. Tipos de cables y probetas	51
Figura 18. Sondas absolutas y deferenciales	52
Figura 19. Conectores, adaptadores y acoples.....	57
Figura 20. Bloques de calibración y referencia	59

RESUMEN

Se denomina ensayo no destructivo (también llamado END, o en inglés NDT de non destructive testing) a cualquier tipo de prueba practicada a un material que no altere de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales. Los diferentes métodos de ensayos no destructivos se basan en la aplicación de fenómenos físicos tales como ondas electromagnéticas, elásticas, emisión de partículas subatómicas, capilaridad, absorción y cualquier tipo de prueba que no implique un daño considerable a la muestra examinada.

En general los ensayos no destructivos proveen datos menos exactos acerca del estado de la variable a medir que los ensayos destructivos. Sin embargo, suelen ser más baratos para el propietario de la pieza a examinar, ya que no implican la destrucción de la misma. En ocasiones los ensayos no destructivos buscan únicamente verificar la homogeneidad y continuidad del material analizado, por lo que se complementan con los datos provenientes de los ensayos destructivos.

La amplia aplicación de los métodos de ensayos no destructivos en materiales se encuentra resumidas en los tres grupos siguientes: Defectología, Caracterización y Metrología.

PALABRAS CLAVES:

- CARACTERIZACIÓN
- CONTINUIDAD
- DEFECTOLOGÍA
- DIMENSIONALES
- ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS
- METROLOGÍA

ABSTRACT

It is called non-destructive testing (NDT) to any testing performed on material that does not alter permanently its physical, chemical, mechanical and dimensional properties. There are different methods of nondestructive testing based on the application of physical phenomena such as electromagnetic waves, elastic emission of subatomic particles, capillary absorption and any evidence that does not involve considerable damage to the sample examined. In general, the non-destructive testing provide less accurate data about the variable condition to measure the destructive testing. However, they tend to be cheaper for the owner of the part examined, since they do not involve the destruction of the same. Sometimes non-destructive search for checking the homogeneity and continuity of the material analyzed complementing by data from the destructive testing. The wide application of nondestructive testing methods on materials summarize in the following three groups: Defectology, Characterization and Metrology.

KEYWORDS:

- CHARACTERIZATION
- CONTINUITY
- DEFECTOLOGY
- DIMENSIONAL
- NON-DESTRUCTIVE TESTING
- METROLOGY

.....
Legalized By: MSc. Rosa E. Cabrera T.

CAPÍTULO I

EL TEMA

Implementación de un manual de procedimientos de Ensayos no Destructivos por la técnica de Corrientes Inducidas utilizando el equipo NORTEC 2000 D+.

1.1. Antecedentes

Desde tiempos muy remotos el hombre siempre se interesó por conquistar nuevas metas y uno de sus objetivos más anhelados fue el de surcar los cielos y sentir la interrelación directa con las aves; esto hizo que la necesidad de volar deje de ser un propósito inalcanzable, realizando así muchos intentos por elevarse y suspenderse en el aire.

Las características, seguridad y autonomía de vuelo son temas de innovación constante para los fabricantes de aeronaves empleando para su producción el aluminio y materiales compuestos, considerando en primer plano las propiedades físicas y químicas de los mismos. Siendo las técnicas y equipos de ensayos no destructivos (NDT) el complemento ideal para mantener la seguridad y aeronavegabilidad de las aeronaves y en general de toda la industria aeronáutica actual.

Por tal razón es importante conocer cada una de las técnicas utilizadas en la detección de daños por pruebas de ensayos no destructivos (NDT) en una aeronave y dar así un correcto mantenimiento y corrección según sea el caso.

1.2. Planteamiento del Problema

Proyectados a formar tecnólogos de alto nivel técnico, científico y profesional, es indispensable que la institución capacite a los alumnos brindándoles destrezas en el manejo de los equipos adquiridos de acuerdo con los avances tecnológicos a la vanguardia de la aviación.

El presente trabajo de investigación consiste en elaborar un **MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (NDT), POR LA TÉCNICA DE CORRIENTES INDUCIDAS, UTILIZANDO EL EQUIPO NORTEC 2000D+** propiedad de la Unidad de Gestión de Tecnologías enfocado en tareas de aprendizaje, manejo y destrezas, considerando que el manual de operación del equipo no posee dentro de su contenido calibraciones específicas para inspecciones superficiales, subsuperficiales y pruebas de conductividad, destinado a los alumnos y docentes implementando así un material de fácil entendimiento.

Es importante resaltar que el presente trabajo de investigación, tendrá información práctica, versátil, innovadora y actualizada que servirá para el perfeccionamiento teórico-práctico de los estudiantes de la Carrera de Mecánica Aeronáutica y como material de apoyo para los docentes de la institución.

1.3. Justificación

Esta investigación nace a partir de la preocupación de la Unidad de Gestión de Tecnologías quien determina que la Manual de Procedimientos de Ensayos no Destructivos (NDT), por la Técnica de Corrientes Inducidas, utilizando el equipo NORTEC 2000D+, tiene gran valor para la comunidad estudiantil ya que familiarizándose directamente con los equipos adquiridos el estudiante va tener una mejor percepción de su uso y aplicación, además de ser un material de apoyo innovador, plasmara las habilidades y destrezas de los futuros tecnólogos. Conocedores que la tecnología ha venido

desarrollando nuevos y novedoso sistemas de control de la calidad como los ensayos no destructivos (NDT), que deben ser de conocimiento general de toda persona que trabaja en la industria y en especial en el ámbito de la aviación.

Para el desarrollo de este Manual se incluye la debida justificación e importancia del presente trabajo para la Institución, determinando objetivos planteados los mismos que serán solventados al final del presente trabajo de investigación.

Por tal motivo la elaboración de un Manual de Procedimientos de Ensayos no Destructivos por la técnica de Corrientes Inducidas, tiene como finalidad contribuir al aprendizaje teórico-práctico equilibrado relacionado con la materia y directamente con la especialidad mencionada, dentro de las actividades académicas de los alumnos que cursan la Unidad de Gestión de Tecnologías, como material instructivo para las tareas de aprendizaje de la carrera de Mecánica Aeronáutica, mejorando así el nivel académico estudiantil, con profesionales de gran competencia institucional y empresarial forjando así Tecnólogos Aeronáuticos con virtudes competitivas.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Implementar un Manual de Procedimientos de Ensayos No Destructivos (NDT) por la técnica de Corrientes Inducidas utilizando el Equipo NORTEC 2000D+; para el mejoramiento del Laboratorio de Mecánica Aeronáutica y el fortalecimiento del aprendizaje de docentes y estudiantes.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Recopilar toda la información necesaria sobre el estado y disposición de los equipos de la sección de Ensayos No Destructivos aplicables al método de Corrientes Inducidas de la Unidad de Gestión de Tecnologías.
- Analizar las posibles necesidades teórico-prácticas de los estudiantes y docentes de la carrera de Mecánica Aeronáutica de la Unidad de Gestión de Tecnologías.
- Determinar las soluciones óptimas para el correcto desempeño estudiantil y docente de nuestra institución, implementando prácticas y procedimientos de fácil entendimiento y aplicación.

1.5. Alcance

La implementación de este manual pretende brindar un soporte teórico-práctico a la Unidad de Gestión de Tecnologías y su carrera de Mecánica Aeronáutica, directamente relacionado con el uso de los equipos adquiridos para las prácticas de Ensayos No destructivos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Introducción a los Ensayos No Destructivos (NDT)

Se denomina ensayo no destructivo a cualquier tipo de prueba aplicada a un componente, cuerpo o material que no altere de forma permanente sus propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales. Identificados comúnmente como: Ensayos no destructivos (END), inspecciones no destructivas y destructivas o por sus siglas en inglés (NDT) Nondestructive Testing.

En general los ensayos no destructivos proveen datos menos exactos acerca del estado de la variable a medir que los ensayos destructivos. Sin embargo, suelen ser más baratos para el propietario del componente a examinar, ya que no implican la destrucción del mismo. En ocasiones los ensayos no destructivos buscan únicamente verificar la homogeneidad y continuidad del material analizado, por lo que se complementan con los datos provenientes de los ensayos destructivos.

Los diferentes métodos de ensayos no destructivos se basan en la aplicación de fenómenos físicos tales como ondas electromagnéticas, acústicas, elásticas, emisión de partículas subatómicas, capilaridad, absorción y cualquier tipo de prueba que no implique un daño considerable al componente examinado.

Los ensayos no destructivos se han practicado por muchas décadas. Se tiene registro desde 1868 cuando se comenzó a trabajar con campos magnéticos. Uno de los métodos más utilizados fue la detección de grietas superficiales en ruedas y ejes de ferrocarril. Las piezas eran sumergidas en aceite, y después se limpiaban y se esparcían con un polvo. Cuando una grieta estaba presente, el aceite que se había filtrado en la discontinuidad,

mojaba el polvo que se había esparcido, indicando que el componente estaba dañado. Esto condujo a formular nuevos aceites que serían utilizados específicamente para realizar éstas y otras inspecciones, y esta técnica de inspección ahora se llama prueba por líquidos penetrantes (PT).

Sin embargo con el desarrollo de los procesos de producción, la detección de discontinuidades ya no era suficiente. Era necesario también contar con información cuantitativa sobre el tamaño de la discontinuidad, para utilizarla como fuente de información, con el fin de realizar cálculos matemáticos y poder predecir así la vida mecánica de un componente. Estas necesidades, condujeron a la aparición de la Evaluación No Destructiva (NDE) como nueva disciplina. A raíz de esta revolución tecnológica se suscitarían en el campo de las PND una serie de acontecimientos que establecerían su condición actual.

A continuación se proporcionan una serie de fechas relacionadas con acontecimientos históricos, descubrimientos, avances y aplicaciones, de algunas pruebas no destructivas.

- 1868 Primer intento de trabajar con los campos magnéticos
- 1879 David Hughes establece un campo de prueba
- 1879 David Hughes estudia las Corrientes Eddy
- 1895 Wilhelm Röntgen estudia el tubo de rayos catódicos
- 1895 Wilhelm Röntgen descubre los Rayos X
- 1896 Henri Becquerel descubre los Rayos gamma
- 1900 Inicio de los líquidos penetrantes en FFCC
- 1911 ASTM establece el comité de la técnica de MT
- 1928 Uso industrial de los campos magnéticos
- 1930 Theodore Zuschlag patenta las Corrientes Eddy
- 1931 Primer sistema industrial de Corrientes Eddy instalado
- 1941 Aparecen los líquidos fluorescentes
- 1945 Dr. Floy Firestone trabaja con Ultrasonido
- 1947 Dr. Elmer Sperry aplica el UT en la industria

La entidad que reúne a todas las instituciones debidamente constituidas es el Comité Internacional de Ensayos No Destructivos (ICNDT, por sus siglas en inglés) con sede en Viena. (Metalografía, 2010)

La globalización en los mercados mundiales ha marcado el desarrollo de los ensayos no destructivos, los cuales tienen ya un alcance en cada rincón del planeta, y actualmente existen sociedades de ensayos no destructivos en la mayoría de los países como por ejemplo, La Sociedad Argentina de Ensayos No Destructivos (AAENDE), El Instituto Australiano para Ensayos No Destructivos (AINDT), La Sociedad Austriaca de Ensayos No Destructivos (OGFZP), La Asociación Belga de Ensayos No Destructivos (BANT), La Sociedad Brasileña de Ensayos No Destructivos (ABENDE), La Sociedad Canadiense de Ensayos No destructivos (CSNDT), La Sociedad China para Ensayos No Destructivos (ChSNDT), El Instituto Mexicano de Ensayos No Destructivos A.C. (IMENDE A.C., Asociación Mexicana de Ensayos No Destructivos (AMEXEND A.C.) (Metalografía, 2010)

2.1.1. Aplicaciones

La amplia aplicación de los métodos de ensayos no destructivos en materiales se encuentra resumida en los tres grupos siguientes:

- Defectología. Permite la detección de discontinuidades, evaluación de la corrosión y deterioro por agentes ambientales; determinación de tensiones; detección de fugas.
- Caracterización. Evaluación de las características químicas, estructurales, mecánicas y tecnológicas de los materiales; propiedades físicas (elásticas, eléctricas y electromagnéticas); transferencias de calor y trazado de isoterms.
- Metrología. Control de espesores; medidas de espesores por un solo lado, medidas de espesores de recubrimiento; niveles de llenado.

2.1.2. Métodos y técnicas

La clasificación de las pruebas no destructivas se basa en la posición en donde se localizan las discontinuidades que pueden ser detectadas, por lo que se clasifican en:

2.1.3. Pruebas No Destructivas Superficiales

Estas pruebas proporcionan información acerca de la sanidad superficial de los materiales inspeccionados. Los métodos de PND superficiales son:

- VT – Inspección Visual
- PT – Líquidos Penetrantes
- MT – Partículas Magnéticas
- ET – Corrientes Inducidas

En el caso de utilizar VT y PT se tiene la limitante para detectar únicamente discontinuidades superficiales (abiertas a la superficie); y con MT y ET se tiene la posibilidad de detectar tanto discontinuidades superficiales como sub-superficiales (las que se encuentran debajo de la superficie pero muy cercanas a ella).

2.1.3.1. Ventajas de los Ensayos No Destructivos

Los Ensayos no Destructivos pueden ser usados en cualquier paso de un proceso productivo, pudiendo aplicarse por ejemplo:

- Durante la recepción de las materias primas que llegan al almacén; para comprobar la homogeneidad, la composición química y evaluar ciertas propiedades mecánicas.
- Durante los diferentes pasos de un proceso de fabricación; para comprobar si el componente está libre de defectos que pueden producirse por un mal maquinado, un tratamiento térmico incorrecto o una soldadura mal aplicada.

- En la inspección final o de la liberación de productos terminados; para garantizar al usuario que la pieza cumple o supera sus requisitos de aceptación; que la parte es del material que le había prometido o que la parte o componente cumplirá de manera satisfactoria la función para la cual fue creada.
- En la inspección y comprobación de partes y componentes que se encuentran en servicio; para verificar que todavía pueden ser empleados de forma segura; para conocer el tiempo de vida remanente o mejor aún, para programar adecuadamente los paros por mantenimiento y no afectar el proceso productivo.
- Debido a que no se alteran las propiedades del material y por lo tanto no existen desperdicios, con el empleo de los Ensayos No Destructivos sólo hay pérdidas cuando se detectan piezas defectuosas.
- Este tipo de inspección es muy rentable cuando se inspeccionan partes o componentes críticos, en los procesos de fabricación controlada o en la producción de piezas en gran escala.

2.1.3.2. Inspección Visual (VT)

Se realiza como fase previa a otros Ensayos más sofisticados. Facilita el trabajo posterior y establece la secuencia de trabajo. Es por tanto el más empleado por su sencillez, rapidez y economía de aplicación.

La inspección visual es la técnica más antigua entre los Ensayos No Destructivos, y también la más usada por su versatilidad y su bajo costo, en ella se emplea como instrumento principal, el ojo humano, el cual es complementado frecuentemente con instrumentos de magnificación, iluminación y medición.

Esta técnica es, y ha sido siempre un complemento para todos los demás Ensayos No Destructivos, ya que menudo la evaluación final se hace por medio de una inspección visual.

No se requiere de un gran entrenamiento para realizar una inspección visual correcta, pero los resultados dependerán en buena parte de la experiencia del inspector, y de los conocimientos que éste tenga respecto a la operación, los materiales y demás aspectos influyentes en los mecanismos de falla que el objeto pueda presentar.

La inspección visual es el primer paso de cualquier evaluación. En general, las Pruebas no Destructivas establecen como requisito previo realizar una inspección visual, para determinar la apariencia de un objeto. La inspección visual es utilizada para determinar:

- Cantidad
- Tamaño
- Forma o configuración
- Acabado superficial
- Reflectividad (reflexión)
- Características de color
- Ajuste
- Características funcionales
- La presencia de discontinuidades superficiales



Figura 1. Equipos y accesorios utilizados para Inspección visual

2.1.3.3. Procedimiento por inspección visual

1. Iluminar el componente a inspeccionar con luz.
2. Inspeccionar por:
 - Visión ocular directa
 - Visión ocular utilizando medios auxiliares (lupas, microscopios, fibras ópticas, endoscopios etc.)
 - Medios artificiales (células o captadores fotoeléctricos)

Ventajas

- Simple de usar en áreas donde otros métodos son impracticables
- Ayudas ópticas mejoran el método

Desventajas

- Fiabilidad dependiente de la habilidad y la experiencia del operario
- Requiere accesibilidad para visibilidad directa de la zona

Aunque no es regla general, algunas normas como las ASME y las AWS, exigen una calificación y certificación del personal que realiza la prueba de Inspección Visual, en donde se tienen muy en cuenta las horas de experiencia del individuo a certificar y la agudeza visual (corregida o natural) que éste pueda certificar. (Metalografía, 2010)

Según los instrumentos que se utilicen como ayuda a la visión, y la distancia (o el acceso) que se tenga entre el inspector y el objeto de estudio, la Inspección Visual se puede dividir en dos grupos:

- Inspección Visual Directa
- Inspección Visual Remota

En la primera, la inspección se hace a una distancia corta del objeto, aprovechando al máximo la capacidad visual natural del inspector. Se usan lentes de aumento, microscopios, lámparas o linternas, y con frecuencia se

emplean instrumentos de medición como calibradores, micrómetros y galgas para medir y clasificar las condiciones encontradas.

La inspección visual remota se utiliza en aquellos casos en que no se tiene acceso directo a los componentes a inspeccionar, o en aquellos componentes en los cuales, por su diseño, es muy difícil ganar acceso a sus cavidades internas.

Este tipo de inspección es muy usada en la industria para verificar el estado interno de los motores recíprocos, las turbinas estacionarias, compresores, tuberías de calderas, intercambiadores de calor, soldaduras internas, tanques y válvulas entre otros.

En la industria aeronáutica la inspección visual remota es muy usada para la inspección interna de los motores a reacción. Mediante esta inspección se puede diagnosticar el estado de las cámaras de combustión, las etapas de compresión y las etapas de turbina, sin realizar grandes destapes o desensambles.

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.



Figura 2. Tipos de boróscopos

En el mercado se pueden encontrar equipos con sondas de diferentes diámetros y diferentes longitudes, según la aplicación, y con grabación de video y fotografía digital, lo cual permite guardar un registro de cada inspección realizada.

2.1.3.4. Líquidos Penetrantes (PT)

El análisis no destructivo con Líquidos Penetrantes se emplea generalmente para evidenciar discontinuidades superficiales sobre casi todos los materiales no porosos (o con excesiva rugosidad o escamado) como metales, cerámicos, vidrios, plásticos, etc. característica que lo hace utilizable en innumerables campos de aplicación. El método de Líquidos Penetrantes se introdujo en la industria en los años que precedieron a la Segunda Guerra Mundial, la causa principal fue la necesidad de poder disponer de un control válido alternativo al de Partículas Magnetizables el cual requiere, para su aplicación, materiales con características ferromagnéticas, especialmente en el campo aeronáutico. Su origen se remonta a fines del siglo pasado en los talleres ferroviarios de Harford (EEUU) en donde se aplicaba el procedimiento de “aceite y blanqueo” para la detección de fisuras de fatiga en componentes de vagones y locomotoras. (Metalografía, 2010)

2.1.3.5. Clasificación de los líquidos penetrantes

Tabla 1.

Clasificación de los líquidos penetrantes basada en Removedores

Por color		Por solubilidad
Lavables con agua	1	Lavables con agua.
	2	Postemulsificables.
	3	Removibles con solvente.
Penetrante coloreado	1	Lavables con agua.
	2	Postemulsificables.
	3	Removibles con solvente.
Penetrante de uso dual	1	Lavables con agua.
	2	Postemulsificables.
	3	Removibles con solvente.

Fuente: (ASNT revisión, 2015)

2.1.3.6. Tensión superficial

La tensión superficial es la forma de cohesión de las moléculas de la superficie del líquido en función de la cual, a igualdad de volumen, asume la forma correspondiente a la mínima superficie compatible con el vínculo externo. La forma de la gota simplifica este concepto. La tensión superficial está definida como una fuerza que actúa sobre toda “saliente” en una superficie acabada.

2.1.3.7. Humectabilidad

Por humectabilidad se entiende a la propiedad de un líquido de expandirse adhiriéndose a la superficie de un sólido. Esta depende de la interacción del líquido con la fase sólida y gaseosa en la que se encuentra. La humectabilidad está estrechamente ligada a la tensión superficial.

2.1.3.8. Capilaridad

Se ha visto que la superficie de un líquido contenido en un recipiente presenta cierta curvatura en las fronteras del líquido y las paredes sólidas del recipiente. Sobre el resto de la superficie, conserva una forma plana. Pero si el tamaño total de la superficie es pequeño, toda la superficie del líquido “sentirá” la influencia de las paredes y este aparece curvo en toda su extensión.

2.1.3.9. Procedimiento por líquidos penetrantes

Esta técnica se puede resumir en los siguientes pasos:

1. **Limpieza inicial y secado:** Consiste en limpiar perfectamente la zona de interés a ser ensayada de tal forma de dejar, las posibles discontinuidades, libres de suciedad o materiales extraños y su posterior secado.

2. **Aplicación del Líquido Penetrante y Tiempo de penetración:** Cubrir la superficie de interés con el LP y dejar transcurrir el tiempo necesario para permitir que el LP se introduzca por capilaridad en las discontinuidades



Figura 3. Equipos y accesorios utilizados para Líquidos Penetrantes

3. **Remoción del exceso de penetrante:** Se removerá el exceso de LP de la superficie, evitando extraer aquel que se encuentra dentro de las fallas. Esta remoción, podrá hacerse, según la técnica empleada, mediante:
 - a) lavado con agua.
 - b) aplicando un emulsionante y posterior lavado con agua.
 - c) mediante solventes.
4. **Secado:** Se secará el componente del agente limpiador. Este paso puede ser obviado según la técnica utilizada.
5. **Aplicación del revelador:** Sobre la superficie ya preparada se colocará el revelador en forma seca o finamente pulverizada en una suspensión acuosa o alcohólica, que una vez evaporada, deja una fina capa de polvo.
6. **Inspección y evaluación:** Esta fina capa de revelador absorberá el LP retenido en las discontinuidades, llevándolo a la superficie para hacerlo visible, ya sea por contraste o por fluorescencia (según la técnica empleada) las indicaciones podrán registrarse y evaluarse.

7. **Limpieza final:** Aunque los agentes químicos utilizados no deberían ser corrosivos de los materiales ensayados, se eliminarán sus restos para prevenir posteriores ataques.

Ventajas

- Simple de usar, preciso y fácil de interpretar.
- usado generalmente para detección de grietas superficiales.

2.1.3.10. Partículas Magnéticas (MT)

Este método de Prueba No Destructiva, se basa en el principio físico conocido como magnetismo, es decir, cuando un metal es magnético, atrae en sus extremos o polos a otros metales igualmente magnéticos o con capacidad para magnetizarse.

Aplicaciones

Detección de discontinuidades en materiales ferro-magnéticos de cualquier tipo, en la superficie o cerca de ésta.

El ensayo de Partículas Magnéticas es uno de los más antiguos que se conoce, encontrando en la actualidad, una gran variedad de aplicaciones en las diferentes industrias. Es aplicable únicamente para inspección de materiales con propiedades ferromagnéticas, ya que se utiliza fundamentalmente el flujo magnético dentro de la pieza, para la detección de discontinuidades.

Mediante este ensayo se puede lograr la detección de defectos superficiales y subsuperficiales (hasta 3 mm debajo de la superficie del material). La aplicación del ensayo de Partículas Magnéticas consiste básicamente en magnetizar el componente a inspeccionar, aplicar las partículas magnéticas y evaluar las indicaciones producidas por la agrupación de las partículas en

ciertos puntos. Este proceso varía según los materiales que se usen, los defectos a buscar y las condiciones físicas del objeto de inspección.

Para la magnetización se puede utilizar un banco estacionario, un yugo electromagnético, electrodos o un equipo portátil de bobina flexible, entre otros. Se utilizan los diferentes tipos de corrientes (alterna, directa, semi-rectificada, etc.), según las necesidades de cada inspección, para realizar la inspección por Partículas Magnéticas existen varios tipos de materiales que se pueden seleccionar según la sensibilidad deseada, las condiciones ambientales y los defectos que se quieren encontrar.

Clasificación las partículas magnéticas

1. Secas Fluorescentes
Visibles (varios colores)

2. Húmedas Fluorescentes
Visibles (varios colores)

Principio Básico

Cuando se estudia el comportamiento de un imán permanente, se puede observar que se compone por dos polos, Norte y Sur, los cuales determinan la dirección de las líneas de flujo magnético que viajan a través de él y por el espacio que lo rodea, siendo cada vez más débiles con la distancia, si cortamos el imán en dos partes, observaremos que se crean dos imanes nuevos, cada uno con sus dos polos, Norte y Sur, y sus correspondientes líneas de flujo magnético. Esta característica de los imanes es la que permite encontrar las fisuras abiertas a la superficie, y los defectos internos en un componente, como se explicará a continuación.

La magnetización de un material ferromagnético se puede lograr mediante la inducción de un campo magnético fuerte, desde una fuente externa de magnetización (un electroimán), o mediante el paso de corriente directamente a través de la pieza. La fuerza del campo generado es

resultado de la cantidad de corriente eléctrica que se aplique y el tamaño del componente, entre otras variables, donde se localice una fuga en las líneas de flujo magnético, las pequeñas partículas de hierro se acumularán, formando la indicación visible o fluorescente, dependiendo del material usado.

En la inspección con Partículas Magnéticas intervienen muchas variables (corriente eléctrica, dirección del campo, tipo de materiales usados, etc.), las cuales deben ser correctamente manejadas por el inspector para obtener los mejores resultados. Por esta razón los manuales de mantenimiento de las aeronaves, exigen la calificación y certificación del personal que realiza este tipo de pruebas, con el fin de garantizar la confiabilidad de los resultados y así contribuir a la calidad del producto. Entre las regulaciones más conocidas de certificación de personal se encuentran: NAS-410, ISO 9712, SNT- TC-1A, ANSI/ASNT CP-189 y EN-473. (Metalografía, 2010)

Equipos de Inspección Portátiles y Móviles

En el caso de las bobinas y de los yugos son capaces de realizar imantaciones longitudinales, pueden ser usados para la ejecución de métodos de imantación continuos y residuales, trabajan con partículas magnéticas fluorescentes y visibles.



Figura 4. Equipos y accesorios utilizados para Partículas Magnéticas

Ventajas

- Método simple, fácil, portable y rápido.

Desventajas

- Las piezas deben ser limpiadas antes y desmagnetizadas después.
- El flujo magnético debe ser normal al plano del defecto.

2.1.3.11. Corrientes Inducidas (ET)

Esta técnica consiste en generar corriente eléctrica en un material conductor. El principio de la prueba se basa en el proceso de inducción electromagnética. El cual incluye una bobina de prueba a través de la cual se hace pasar una corriente alterna.

Las corrientes de Eddy son corrientes eléctricas circulantes inducidas por un campo magnético alterno en un conductor aislado. También se le conocen como corrientes parásitas o corrientes de Foucault.

Cuando un objeto de prueba eléctricamente conductor es colocado en el campo primario, una corriente eléctrica será inducida en el objeto.



Figura 5. Equipos y accesorios utilizados para Corrientes Inducidas

El campo producido en la bobina es directamente proporcional a la magnitud de la corriente aplicada, a la frecuencia y a los parámetros de la bobina como:

- a. Inductancia
- b. Diámetro.
- c. Longitud.
- d. Espesor (ancho de la bobina)
- e. Numero de vueltas del alambre.
- f. Metal del corazón de la bobina

2.1.4. Pruebas No Destructivas Volumétricas

Estas pruebas proporcionan información acerca de la condición interna de los materiales inspeccionados.

- RT – Radiografía Industrial
- UT – Ultrasonido Industrial
- EA – Emisión Acústica

Estos métodos permiten la detección de discontinuidades internas y sub-superficiales, así como bajo ciertas condiciones, la detección de discontinuidades superficiales.

2.1.4.1. Radiografía Industrial (RT)

El caso de la Radiografía Industrial (RT), como prueba no destructiva, es muy interesante; pues permite asegurar la integridad y confiabilidad de un producto; además, proporciona información para el desarrollo de mejores técnicas de producción y para el perfeccionamiento de un producto en particular. La Inspección por RT se define como un procedimiento de inspección no destructivo de tipo físico, diseñado para detectar discontinuidades macroscópicas y variaciones en la estructura interna o configuración física de un material.

Al aplicar RT, normalmente se obtiene una imagen de la estructura interna de una pieza o componente, debido a que este método emplea radiación de alta energía, que es capaz de penetrar materiales sólidos, por lo que el propósito principal de este tipo de inspección es la obtención de registros permanentes para el estudio y evaluación de discontinuidades presentes en dicho material. Por lo anterior, esta prueba es utilizada para detectar discontinuidades internas en una amplia variedad de materiales, la Radiografía Industrial es uno de los métodos más antiguos y de mayor uso en la industria. Debido a esto, continuamente se realizan nuevos avances que modifican las técnicas radiográficas aplicadas al estudio no sólo de materiales, sino también de partes y componentes; todo con el fin de hacer más confiables los resultados durante la aplicación de la técnica.

Principio básico

El principio físico en el que se basa esta técnica es la interacción entre la materia y la radiación electromagnética, siendo esta última de una longitud de onda muy corta y de alta energía, durante la exposición radiográfica, la energía de los rayos x o Gamma es absorbida o atenuada al atravesar un material. Esta atenuación es proporcional a la densidad, espesor y configuración del material inspeccionado.

La radiación ionizante que logra traspasar el objeto puede ser registrada por medio de la impresión en una placa o papel fotosensible, que posteriormente se somete a un proceso de revelado para obtener la imagen del área inspeccionada; o bien, por medio de una pantalla fluorescente o un tubo de video, para después analizar su imagen en una pantalla de televisión o grabarla en una cinta de video.

En términos generales, es un proceso similar a la fotografía, con la diferencia principal de que la radiografía emplea rayos x o rayos Gamma y no energía luminosa.

En la actualidad, dentro del campo de la industria existen dos técnicas comúnmente empleadas para la inspección radiográfica: Radiografía con rayos x y Radiografía con rayos gamma.

Los rayos x son generados por dispositivos electrónicos y los rayos gamma por fuentes radioactivas naturales o por isótopos radiactivos artificiales producidos para fines específicos de Radiografía Industrial, tales como: iridio 192, cobalto 60, cesio 137 y tulio 170.

La fuente de rayos X es el ánodo en un tubo eléctrico de alto voltaje. Cuando se prende, el haz de electrones generado en el cátodo impacta sobre el ánodo y esto provoca la emisión de los rayos X en todas direcciones; la capa de blindaje alrededor del tubo absorbe los rayos X, excepto aquellos que escapan a través de un orificio o ventana que existe para tal fin. Los rayos que pasan se emplean para producir la radiografía. Cuando se apaga la máquina de rayos X, la radiación cesa y la pieza inspeccionada no conserva radioactividad.

Un radioisótopo, como por ejemplo el cobalto 60 o el iridio 192, emiten radiación constante por lo que se emplean contenedores especiales o cámaras para almacenar y controlarlos dentro de una cápsula, que es una pequeña píldora que se conecta al final del cable de control. Cuando la cápsula está en el contenedor, la mayoría de los rayos gamma son absorbidos por el blindaje. Cuando la fuente se sacada del contenedor por medio del cable de control, la radiación del radioisótopo se dispersa en todas las direcciones y es empleada para crear una radiografía.

Equipo utilizado para la inspección radiográfica:

- a) Fuente de radiación (rayos X o rayos gamma).
- b) Controles de la fuente.
- c) Película radiográfica.
- d) Pantallas intensificadoras.
- e) Indicadores de calidad de la imagen.
- f) Accesorios.

Aplicaciones

Las propiedades particulares de la radiografía facilitan su aplicación a nivel industrial, médico y de investigación; pues adicionalmente de que la energía de la radiación puede ser absorbida por la materia, también puede hacer fluorescer ciertas sustancias; siendo por todo esto que la técnica tiene diversas aplicaciones en diferentes ramas.



Figura 6. Equipos y accesorios utilizados para Radiografía industrial

En primer lugar, están las aplicaciones en las que se emplea la energía radiante y su efecto sobre la materia, como es el caso de las aplicaciones físicas (efectos de fluorescencia) médicas (destrucción de ciertas células) y biológicas (mutaciones o aplicaciones de esterilización biológica).

En segundo lugar, deben mencionarse las aplicaciones en las cuales se emplean los efectos físicos, como son la difracción (determinación de estructuras cristalográficas), fluorescencia (determinación de composición química) y la ionización (detección de la radiación), etc.

En tercer lugar, se tienen las aplicaciones en las que se mide la atenuación de la radiación, como es el caso de la medición de espesores en proceso de alta temperatura; la medición de niveles de fluidos; la determinación de densidades en procesos de producción continua y la Radiografía Industrial.

Finalmente, la corta longitud de onda de la radiación que emplea la radiografía le permite penetrar materiales sólidos, que absorben o reflejan la visible; lo que da lugar al uso de esta técnica en el control de calidad de productos soldados, fundiciones, forjas, etc. para la detección de defectos internos macroscópicos tales como grietas, socavados, penetración incompleta en la raíz, falta de fusión, etc.

Ventajas de la Radiografía Industrial

- Es un excelente medio de registro de inspección.
- Su uso se extiende a diversos materiales.
- Se obtiene una imagen visual del interior del material.
- Se obtiene un registro permanente de la inspección.
- Descubre los errores de fabricación y ayuda a establecer las acciones correctivas.

Limitaciones de la Radiografía Industrial

- No es recomendable utilizarla en piezas de geometría complicada.
- No debe emplearse cuando la orientación de la radiación sobre el objeto sea inoperante, ya que no es posible obtener una definición correcta.
- La pieza de inspección debe tener acceso al menos por dos lados.
- Su empleo requiere el cumplimiento de estrictas medidas de seguridad.
- Requiere personal altamente capacitado, calificado y con experiencia.

- Requiere de instalaciones especiales como son: el área de exposición, equipo de seguridad y un cuarto oscuro para el proceso de revelado.
- Las discontinuidades de tipo laminar no pueden ser detectadas por este método.

2.1.4.2. Ultrasonido Industrial (UT)

Se define como un procedimiento de inspección no destructiva de tipo mecánico, que se base en la impedancia acústica, la que se manifiesta como el producto de la velocidad máxima de propagación del sonido entre la densidad de un material.

El método consiste en utilizar ondas de sonido fuera del intervalo auditivo, con una frecuencia de 1 a 5 millones de Hz (ciclos por segundo)- de aquí el término ultrasónico. El método ultrasónico es una prueba no destructiva, confiable y rápida que emplea ondas sonoras de alta frecuencia producidas electrónicamente que penetrarán metales, líquidos y muchos otros materiales a velocidades de varios miles de metros por segundo. Las ondas ultrasónicas para ensayos no destructivos generalmente las producen materiales piezoeléctricos, los cuales sufren un cambio en su dimensión física cuando se someten a un campo eléctrico.

Existe un gran número de métodos para generar ultrasonidos; en principio sirven ya los mismos procedimientos que se emplean para generar sonidos audibles. Si los dispositivos capaces de oscilar se construyen con una frecuencia propia correspondientemente alta. Sin embargo, estos procedimientos mecánicos, y algunos otros principios, no se utilizan en el ensayo no destructivo de materiales, recurriéndose por el contrario a otros efectos físicos, a saber: el efecto magnetoestrictivo, y sobre todo el efecto piezoeléctrico.

Principio básico

Efecto magnetoestrictivo

Los materiales ferro magnéticos (muy especialmente el níquel, además del acero), tienen la propiedad de contraerse o expandirse por efecto de un campo magnético. Inversamente, en una barra de acero ferro magnético se produce un campo magnético si es expuesta a un esfuerzo de tracción o compresión.

Efecto piezoeléctrico

El efecto piezoeléctrico reviste una importancia mucho mayor, siendo aprovechado casi universalmente para el ensayo no destructivo de materiales. Ciertos cristales naturales o sintetizados tienen la propiedad de que en presencia de un esfuerzo de tracción o compresión se originan cargas eléctricas en su superficie. La carga cambia de signo si se invierte la dirección del esfuerzo. Así es que en las superficies de un cristal expuesto alternativamente a un esfuerzo de tracción y un esfuerzo de compresión existe un potencial alternativamente positivo y negativo (tensión alterna). El efecto piezoeléctrico es reversible, es decir, cuando se aplica una carga eléctrica a la superficie del cristal, esta se contrae o se expande según el signo de la carga eléctrica.



Figura 7. Equipos y accesorios utilizados para Ultrasonido Industrial

Procedimiento por ultrasonido

Como se sabe, una onda ultrasónica incidente, en parte se refracta y en parte se refleja si existe una variación de la resistencia a la onda sonora, como en el caso en que exista un defecto dentro del material. De ello se derivan dos procedimientos de ensayo, basados respectivamente, en la evolución de la parte transmitida de la onda o de la parte reflejada de la misma.

Procedimiento de transmisión

En este procedimiento se evalúa la parte del ultrasonido que ha sido transmitido a través de la pieza que se ensaya. A un lado de la pieza se aplica un emisor de sonido y al otro lado, un receptor. En presencia de un defecto, la intensidad sonora en el receptor disminuye a causada la reflexión parcial o se hace nula en caso de reflexión total, lo mismo da que se emplee sonido continuo o impulsos de sonido para el ensayo, pues el emisor y el receptor eléctricamente están separados entre sí. Con esta técnica no se puede determinar la profundidad a la que está localizado el defecto de la pieza. Cuando existen daños en el material, deformaciones o variaciones en las forma de este se producen impedancias de onda diferentes a la normal que producen reflexión de la onda ultrasónica.

Aplicaciones

El Ultrasonido Industrial es un ensayo no destructivo ampliamente difundido en la evaluación de materiales metálicos y no metálicos.

Es frecuente su empleo para la medición de espesores, detección de zonas de corrosión, detección de defectos en piezas que han sido fundidas y forjadas, laminadas o soldadas; en las aplicaciones de nuevos materiales como son los metal cerámicos y los materiales compuestos, ha tenido una

gran aceptación, por lo sencillo y fácil de aplicar como método de inspección para el control de calidad de materiales, bien en el estudio de defectos (internos, subsuperficiales y superficiales) y en la toma de mediciones como: medición de espesores (recipientes de acero, capa de grasa en animales, etc.), medición de dureza, determinación del nivel de líquido, etc.

Ventajas del Ultrasonido Industrial

- Se puede aplicar esta técnica en una gran gama de materiales y a un gran número de productos conformados como: chapas, ejes, vías, tubos, varillas, etc., y a procesos de fabricación tales como: soldadura, fundición, laminación, forja, mecanizado, etc.
- Es aplicable a otras ramas tales como: la medicina, navegación, pesca, comunicación, entre otras.
- Permite detectar discontinuidades tanto superficiales, subsuperficiales e internas.
- Puede aumentarse la sensibilidad del equipo al realizar un cambio conveniente de palpador.
- Los equipos pueden ser portátiles y adaptables a un gran número de condiciones.

Limitaciones del Ultrasonido Industrial

- El equipo y los accesorios son costosos.
- Deben emplearse vario tipos de palpadores a fin de determinar todas las discontinuidades presentes en la pieza, preferiblemente cuando se trata de piezas que o han sido ensayadas anteriormente.
- El personal destinado a realizar los ensayos debe poseer una amplia experiencia y calificación en el manejo de la técnica y los equipos.

2.1.4.3. Emisión Acústica (EA)


Hoy en día, uno de los métodos de pruebas no destructivas más recientes y, que ha venido teniendo gran aplicación a nivel mundial en la inspección de una amplia variedad de materiales y componentes estructurales, es sin duda

el método de Emisión Acústica, este método detecta cambios internos en los materiales o dicho de otra manera, detecta micro-movimientos que ocurren en los materiales cuando por ejemplo: existe un cambio micro-estructural, tal como lo son las transformaciones de fase en los metales, el crecimiento de grietas, la fractura de los frágiles productos de corrosión, cedencia, deformación plástica, etc. La detección de estos mecanismos mediante EA, se basa en el hecho de que cuando ocurren, parte de la energía que liberan es transmitida hacia el exterior del material en forma de ondas elásticas (sonido), es decir, emiten sonido (emisión acústica). La detección de estas ondas elásticas se realiza mediante el uso de sensores piezo-eléctricos, los cuales son instalados en la superficie del material. Los sensores, al igual que en el método de ultrasonido, convierten las ondas elásticas en pulsos eléctricos y los envía hacia un sistema de adquisición de datos, en el cual se realiza el análisis de los mismo, con una discontinuidad inicial, sometido a esfuerzo de tensión. Si la discontinuidad crece o se desarrolla, sus señales de emisión acústica asociadas revelarán su existencia durante su crecimiento. Esta es una de las principales ventajas de la técnica de emisión acústica “Monitoreo en Tiempo Real”.

Fuente: (<http://www.geociencias.com>, 2010)

Aplicaciones

La Emisión Acústica ha tenido un gran desarrollo, especialmente con el uso de computadoras para el proceso de datos como medio de interpretación de resultado. Se emplea en el estudio de estructuras sujetas a esfuerzos cíclicos, como es el caso de las estructuras aeronáuticas, los recipientes a presión y edificios o puentes. Otra aplicación es la evaluación del comportamiento de nuevos materiales, como es el caso de los tejidos a base Keblar; de la fibras de



El diagrama ilustra un sistema de monitoreo de emisión acústica. A la izquierda, un cilindro vertical está sometido a tensión, como se indica por las flechas opuestas en sus extremos. Una línea azul indica una 'Discontinuidad inicial' en la superficie del cilindro. Un sensor piezoeléctrico, representado por un pequeño cuadrado azul, está adherido a la superficie del cilindro y conectado por un cable a un sistema de adquisición de datos que incluye una computadora y un monitor. El monitor muestra una gráfica de onda que representa la señal de emisión acústica detectada. El título del diagrama es 'Aplicación típica del método de Emisión Acústica'.

elementos cerámicos y los materiales compuestos a base de cerámicos y metales y de plásticos reforzados con fibras.

Ventajas de la Emisión Acústica

- Permite detectar un defecto o fractura durante su desarrollo, aun antes de que sea posible detectarla por algún otro tipo de ensayo no destructivo.
- Permite tener un patrón del comportamiento de la estructura sujeta a prueba, la cual puede ser tomada como referencia para evaluar su comportamiento después de haber estado en servicio y conocer si ha subido algún daño o debilitamiento.

Limitaciones de la Emisión Acústica

- La interpretación de los resultados; ya que para una evaluación completa en campo se requiere de procesadores que tengan alta velocidad y gran capacidad de memoria y almacenamiento; motivo por el cual un trabajo de inspección por AET puede realizarse rápidamente pero a un costo relativamente elevado.
- El personal que realiza este tipo de pruebas debe tener una gran capacidad y experiencia en la interpretación de señales y en la disposición de los transductores de inspección; quien se especializa en esta técnica requiere de por lo menos un año de trabajo previo antes de ser calificado como Nivel 1 y necesita casi dos años para poder ser calificado como Nivel II.

2.1.4.4. Termografía

Es una técnica de ensayo no destructivo (END) sin contacto que obtiene la temperatura de la superficie de un cuerpo a través de la captación de la radiación infrarroja que ésta emite. El mapa térmico de la superficie obtenido es llamado termograma.

Cuando el flujo de calor en un material es alterado por la presencia de anomalías o defectos provoca contrastes de temperatura en su superficie. El uso de la TIR como método no destructivo de inspección está basado en la obtención y el análisis de las imágenes de esos patrones térmicos.

Técnicas de TIR

Las principales ventajas de las técnicas de TIR son las siguientes: es un método de inspección rápido y sin contacto que sirve para localizar defectos por debajo de la superficie, la interpretación de termogramas es muy sencilla (imágenes) y la radiación infrarroja no es nociva. Además puede ser aplicado a un amplio rango de materiales (tanto metálicos como compuestos) y áreas relativamente amplias pueden ser inspeccionadas en un único ensayo.

Su principal desventaja es que es efectivo únicamente en la detección de defectos poco profundos. También resulta complicado producir un calentamiento uniforme al aplicar las técnicas activas y pueden existir variaciones de emisividad en diferentes partes del cuerpo estudiado.

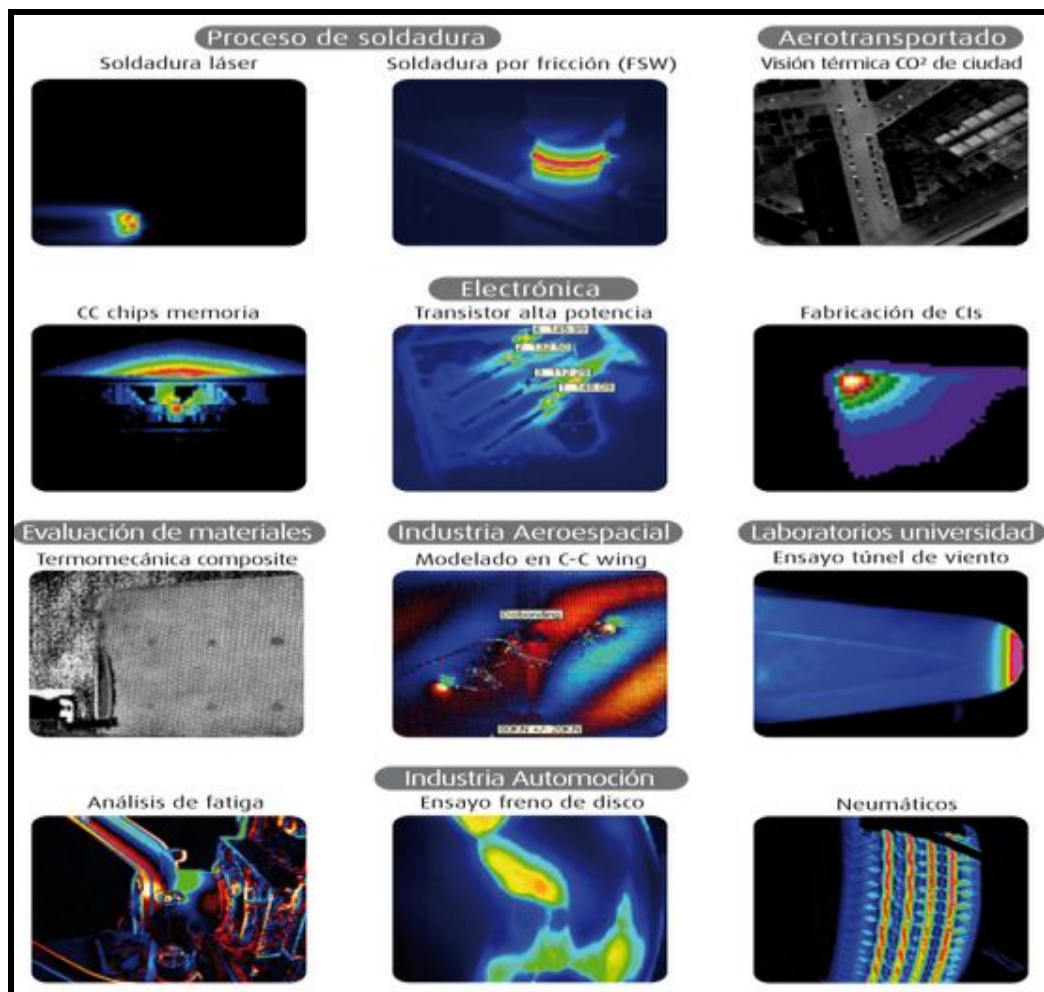


Figura 9. Muestras termográficas en varios campos

Fuente: (http://www.isotec.com.co/portal_equipos_y_aplicaciones, 2010)

a. Termografía pasiva

La TIR pasiva se refiere a aquellos casos en los que no se usa ninguna estimulación de calentamiento o enfriamiento externo para provocar un flujo de calor en el cuerpo inspeccionado. El objeto estudiado produce un patrón de temperaturas típico por el hecho de estar involucrado en un proceso (industrial) que produce calor. Unos pocos grados de diferencia respecto a la temperatura normal de trabajo (referencia) del objeto muestran un comportamiento inusual. La TIR es capaz de capturar esta información de temperatura en tiempo real desde una distancia segura sin ninguna interacción con el objeto.

También puede ser usada en mantenimiento predictivo, como en rodamientos, turbinas y compresores, instalaciones eléctricas, tuberías enterradas o fugas de gas. Existen otras muchas aplicaciones no industriales como son las de tipo medicinal en detección de cáncer de pecho o desordenes vasculares, detección de fuegos, detección de objetivos (militar) o localización de pérdidas de calor y humedades en edificios.

b. Termografía activa

En termografía activa se usa una estimulación externa para provocar un flujo de calor interno en el objeto estudiado. Un defecto interno afectaría al flujo calorífico produciendo un contraste térmico en la superficie. Las técnicas de TIR activas principales son: TIR pulsada, step heating y TIR lock-in.

En la técnica de Step Heating o termografía de pulso largo, el objeto es calentado continuamente a baja potencia y se monitoriza el incremento de temperatura de la superficie. Aplicaciones del step heating son, por ejemplo, la evaluación de espesores de recubrimientos y de uniones de recubrimiento a substrato en estructuras compuestas y también la detección de corrosión oculta en el fuselaje de aviones.

La TIR lock-in está basada en la generación de ondas de calor dentro del espécimen inspeccionado (por ejemplo, depositando periódicamente calor en el cuerpo por medio de una lámpara modulada) y monitorizando de forma sincronizada el campo de temperaturas oscilante obtenido mediante una computadora o un amplificador lock-in, usada en inspecciones de componentes estructurales, detección de remaches sueltos, investigación de estructuras de absorción de radar y detección de grietas, descolados, etc. Si en lugar de realizar un calentamiento mediante lámparas de luz modulada se usa una vibración mecánica inducida externamente como excitación se hablaría de vibro-termografía.

Una alternativa es la utilización de un transductor piezoeléctrico como fuente de estimulación, que sería el caso de la denominada TIR lock-in ultrasónica. Estas dos últimas técnicas están dirigidas a la detección rápida de grietas en materiales metálicos, laminados y cerámicos, corrosión en planchas metálicas remachadas o de laminaciones en laminados. Otra variación es la TIR lock-in termoinductiva que excita corrientes de Eddy en materiales conductores mediante una bobina de inducción y la resistencia de los materiales genera un calentamiento local. La mayor densidad de corriente en las grietas provoca una temperatura mayor que es detectada por la cámara termográfica. Esta técnica ha sido probada en detección de grietas longitudinales en barras y tochos de acero aparecidas durante su moldeado en caliente y en álabes de compresores.

La TIR de fase pulsada (Phase Pulsed Thermography) es una mezcla entre la TIR lock-in y TIR pulsada. La aplicación del ensayo es la misma que en termografía pulsada pero la adquisición de datos es tratada mediante transformada de Fourier para obtener la amplitud y la fase de la imagen a diferentes frecuencias con un único ensayo, con la consecuente rapidez de ensayo. De igual manera, se puede conseguir una variación de la termografía lock-in ultrasónica utilizando un pulso ultrasónico en vez de una excitación continua.

Ventajas

- Capacidad de captar imágenes.
- No hay contacto directo.
- Método rápido.
- Bueno para detectar agua en el material compuesto.

Desventajas

- Necesita ser suministrado de agua caliente, lámparas, mantas térmicas, etc.
- El tratamiento superficial o la pintura pueden influir en el resultado.
- No se puede repetir en un corto período de tiempo.

- Tiene limitada la profundidad de inspección.

2.1.5. Pruebas No Destructivas de Hermeticidad

Estas pruebas proporcionan información del grado en que pueden ser contenidos los fluidos en recipientes, sin que escapen a la atmósfera o queden fuera de control.

2.1.5.1. Pruebas de Fuga

Las pruebas de detección de fugas son un tipo de prueba no destructiva que se utiliza en sistemas o componentes presurizados o que trabajan en vacío, para la detección, localización de fugas y la medición del fluido que escapa por éstas. Las fugas son orificios que pueden presentarse en forma de grietas, fisuras, hendiduras, etc., donde puede recluirse o escaparse algún fluido.

La detección de fugas es de gran importancia, ya que una fuga puede afectar la seguridad o desempeño de distintos componentes y reducen enormemente su confiabilidad. Generalmente, las pruebas de detección de fugas se realizan:

- Para prevenir fugas de materiales que puedan interferir con la operación de algún sistema.
- Para prevenir fuego, explosiones y contaminación ambiental, o daño al ser humano.
- Para detectar componentes no confiables o aquellos en donde el volumen de fuga exceda los estándares de aceptación.

El propósito de estas pruebas es asegurar la confiabilidad y servicio de componentes y prevenir fallas prematuras en sistemas que contienen fluidos trabajando a presión o en vacío tales como:

- Recipientes y componentes herméticos: Para prevenir la entrada de contaminación o preservar internamente los fluidos contenidos. Por

ejemplo: dispositivos electrónicos, circuitos integrados, motores y contactos sellados.

- Sistemas herméticos: Para prevenir la pérdida de los fluidos contenidos. Por ejemplo: sistemas hidráulicos y de refrigeración; en la industria petroquímica: válvulas, tuberías y recipientes.
- Recipientes y componentes al vacío: Para asegurar si existe un deterioro rápido del sistema de vacío con el tiempo. Por ejemplo: tubos de rayos catódicos, artículos empacados en vacío y juntas de expansión.
- Sistemas generadores de vacío: Para asegurar que las fugas se han minimizado y mejorar su desempeño.

2.1.5.2. Pruebas por cambio de presión (Neumática o Hidrostática)

Es la aplicación de una presión o línea de tuberías fuera de operación, con el fin de verificar la hermeticidad de los accesorios brindados y la soldadura, utilizando como elemento principal el agua o en su defecto un fluido no corrosivo, o el aire comprimido. Todo equipo nuevo debe ser sometido a una prueba de presión ya sea hidrostática o neumática.

Características de la prueba hidrostática

La prueba hidrostática es una prueba no destructiva mediante el cual se verifica la integridad física de una tubería o sistema en donde el agua es bombeada a una presión más alta que la presión de operación y se mantiene a esa presión por un tiempo establecido previamente el cual varía según la longitud del tramo a probar. La prueba hidrostática también aplica cuando se reemplaza o se reparan líneas existentes, 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.

Características de las pruebas neumáticas

La prueba neumática es un procedimiento que utiliza la presión del aire para testear las tuberías de fuga. Este método no solo sirve para identificar fugas, sino también para limpiar y secar el sistema de tuberías, permitiendo que la tubería quede lista al final del testeo. La prueba neumática se utiliza cuando otros métodos no son factibles; por ejemplo en caso de congelamiento el testeo con agua se ve imposibilitado

2.1.5.3. Pruebas de Burbuja

En esta prueba se utiliza la presurización del elemento a evaluar con aire que al sumergirse en agua, para ver donde salgan burbujas de aire e indicar el lugar de la fuga. Si esto no es posible, entonces la presurización de aire será realizada, cubriendo la zona de prueba con una solución de jabón, y de esta forma ver si se forman burbujas, lo que indicará la fuga.

2.1.5.4. Pruebas por Espectrómetro de Masas

Es una técnica experimental que permite la medición de iones derivados de moléculas. El espectrómetro de masas es un instrumento que permite analizar con gran precisión la composición de diferentes elementos químicos e isótopos atómicos, separando los núcleos atómicos en función de su relación masa-carga (m/z). Puede utilizarse para identificar los diferentes elementos químicos que forman un compuesto, o para determinar el contenido isotópico de diferentes elementos en un mismo compuesto. Con frecuencia se encuentra como detector de un cromatógrafo de gases, en una técnica híbrida conocida por sus iniciales en inglés, GC-MS.

El espectrómetro de masas mide razones carga/masa de iones, calentando un haz de material del compuesto a analizar hasta vaporizarlo e ionizar los

diferentes átomos, el haz de iones produce un patrón específico en el detector, que permite analizar el compuesto. En la industria es altamente utilizada en el análisis elemental de semiconductores, biosensores y cadenas poliméricas complejas. Drogas, fármacos, productos de síntesis química, pesticidas, plaguicidas, análisis forense, contaminación medioambiental, perfumes y todo tipo de analitos que sean susceptibles de pasar a fase vapor e ionizarse sin descomponerse.

2.2. Introducción al método de Corrientes Inducidas aplicadas al equipo Nortec 2000 d+

Esta técnica puede ser empleada para identificar una amplia variedad de condiciones físicas, estructurales y metalúrgicas en materiales metálicos ferromagnéticos y en materiales no metálicos que sean eléctricamente conductores. De esta forma, la técnica se emplea principalmente en la detección de discontinuidades superficiales. Sus principales aplicaciones se encuentran en la medición o determinación de propiedades tales como la conductividad eléctrica, la permeabilidad magnética, el tamaño de grano, dureza, dimensiones físicas, etc., también sirve para detectar, traslapes, grietas, porosidades e inclusiones. Distintas condiciones, tales como discontinuidades o diferencias en conductividad eléctrica pueden ser las causantes de la distorsión o modificación del campo magnético inducido.

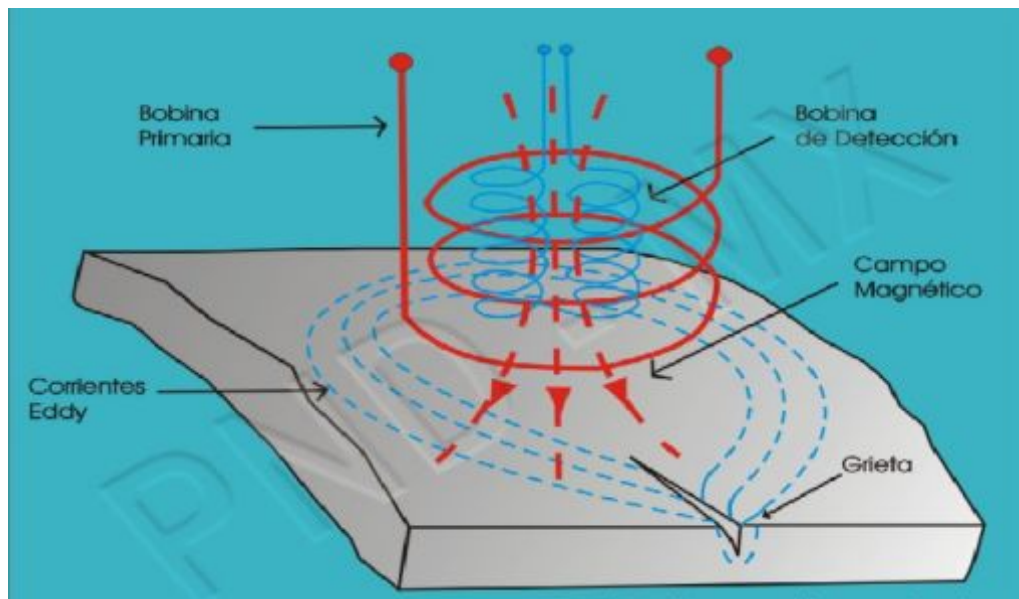


Figura 10. Identificación de flujo de Corrientes Inducidas

Fuente: ([http://www.isotec.com.co/portal equipos y aplicaciones](http://www.isotec.com.co/portal%20equipos%20y%20aplicaciones), 2010)

Este tipo de pruebas ofrecen resultados que se obtienen casi en forma instantánea, además dado que lo único que se requiere es inducir un campo magnético, no hay necesidad de tener contacto directo con el material de prueba, con esto se minimiza la posibilidad de causar algún daño al material de prueba. Sin embargo, la técnica está limitada a la detección de discontinuidades superficiales, subsuperficiales y materiales conductores.

2.2.1. Equipo de Corrientes Inducidas NORTEC 2000D+

El detector de defectos de Corrientes Inducidas (ET) Nortec 2000D+ ofrece una gama de frecuencia de 50 Hz a 12 MHz, frecuencias de operación simple o doble, una conductividad digital fácil de utilizar y un soporte de escáner rotativo. Todas estas características hacen que este instrumento sea ideal para numerosos ensayos no destructivos en el sector aeroespacial.



Figura 11. Equipo de Corrientes Inducidas NORTEC 2000D+

2.2.2. Descripción del Equipo de Corrientes Inducidas NORTEC 2000D+

El Nortec 2000D+ ofrece una banda de frecuencia de 50 Hz a 12 MHz para toda una serie de aplicaciones, desde la detección de fisuras en tubos o estructuras hasta la localización de minúsculos defectos en aeronaves, la medición digital de la conductividad y el soporte de escáner giratorio hacen del Nortec 2000D+ el equipo ideal para numerosas aplicaciones de ensayos no destructivos en la industria aeronáutica.

Los diversos modos de pantalla ofrecen una excelente visibilidad bajo toda condición de iluminación. La salida VGA permite conectar un presentador frontal para inspecciones en lugares de difícil acceso, un monitor grande de escritorio o un proyector de video para salas de capacitación.

Con menos de 1,8 kg y una caja de diseño robusto y conforme a las especificaciones FOD (restos de objetos extraños), el NORTEC 2000D+ resiste a condiciones difíciles sobre el terreno o en ambientes de producción. Su mango de inclinación regulable y su protector antideslizante permiten colocarlo sobre prácticamente cualquier superficie.

Este equipo está dotado con el programa PowerLink™ que detecta la sonda conectada y configura el equipo automáticamente. Además, el equipo puede ser configurado según los parámetros guardados en el chip de la sonda PowerLink™, lográndose así resultados de inspección íntegros que pueden ser reproducidos.

Es capaz de almacenar hasta 120 programas que pueden ser consultados posteriormente. La fecha y la hora son registradas en cada configuración que puede ser fácilmente identificada con hasta 29 caracteres alfanuméricos. La memoria está provista de 20 espacios para almacenar todo tipo de imágenes de ensayos no destructivos.

2.2.3. Características del Equipo de Corrientes Inducidas NORTEC 2000D+

- Banda de frecuencia de 50 Hz a 12 MHz.
- Un sola batería de Li-ion.
- Liviano (menos de 1,8 Kg).
- Medición digital de la conductividad en International Annealed Copper Standard (% IACS) o en Mega Siemens por metro (MS/m).
- Medición del espesor del recubrimiento no conductor en milímetros o en pulgadas.
- Soporte para varios escáneres.
- Compensación interna para sondas de bobina única.
- Modos de pantalla intercambiables:
 - ELD de alta intensidad;
 - LCD monocromo; y
 - LCD color.
- Frecuencia doble.
- Salida VGA.
- Congelamiento de la pantalla para mantener la señal del defecto.
- Tecnología PowerLink™: detección de la sonda y configuración del equipo automáticamente.
- Pantalla dividida y teclas codificadas por colores.

- Señal de referencia en la pantalla.
- Almacenamiento de 120 programas en la memoria interna.
- Visualización en cascada.
- Programa informático EddyMaster™ para Windows. (Olympus NDT, 2010)

2.2.4. Información General del equipo de Corrientes Inducidas NORTEC 2000D+

Dimensiones: 215 mm x 165 mm x 92 mm.

Peso: 1,7 kg con la batería.

Pantalla: LCD QVGA (320 x 240 píxeles) color o monocromo, o ELD de alta intensidad.

Temperatura de funcionamiento: -10 °C a +50 °C, según la configuración.

Temperatura de almacenamiento: -51 °C a +71 °C, según la configuración.

Humedad: 5% a 95%.

Clasificación: Basada en las especificaciones Clase 2 del manual MIL-PRF-28800F.

Altitud máxima: 4600 m, sea en funcionamiento o apagado.

Operación en áreas peligrosas: Funcionamiento en condiciones de seguridad definidas en la clase I, división 2, grupo D del National Fire Protection Association Code (NFPA 70), sección 500 y verificado según el procedimiento 1, método 511.4 del MIL-STD-810F. (Olympus NDT, 2010)

2.2.5. Fuente de Energía

Alimentación: 85 V a 240 V; 50 Hz a 60 Hz. Un soporte externo carga la batería fuera del equipo. Tiempo de recarga de aproximadamente 4 horas.

Protección en caso de batería baja: Indicador del nivel aproximado de la carga de la batería.

Duración de la batería: 8 h (duración nominal, según la configuración). (Olympus NDT, 2010)

2.2.6. Conductividad

Frecuencia: 60 kHz o 480 kHz.

Tipo de sonda: Sonda de conductividad NORTEC.

Especificaciones de la conductividad digital: Visualización de la conductividad digital de 0,9% a 110% IACS o de 0,5 MS/m a 64 MS/m. Precisión de $\pm 0,5\%$ IACS para valores entre 0,9% y 65% IACS y de $\pm 1,0\%$ IACS para valores superiores al 62%. Cumple o supera las especificaciones BAC 5651.

Medición del espesor de los recubrimientos no conductores: 0 mm a 0,38 mm. Precisión de $\pm 0,025$ mm para valores entre 0 mm y 0,38 mm. (Olympus NDT, 2010)

2.2.7. Escáneres

Compatibilidad: Funciona con todos los escáneres NORTEC de Olympus y los demás escáneres disponibles comercialmente.

Visualización en cascada: Almacena hasta 60 barridos por orificio y muestra en la pantalla la distancia entre el defecto y el punto de inicio del barrido (sólo con el escáner NORTEC PS-5). (Olympus NDT, 2010)

2.2.8. Frecuencia Doble

Banda de frecuencia: 50 Hz a 12 MHz.

Segunda frecuencia: 50 Hz a 3 MHz. La segunda frecuencia es una división exacta de la primera en proporciones de $1/2$ ($F1 < 6$ MHz), $1/4$ y divisores pares hasta $1/32$.

Pantalla: Frecuencia 1 (F1) solamente, frecuencia 2 (F2) solamente, suma de F1 y F2, diferencia entre F1 y F2, pantalla dividida con combinaciones seleccionadas de F1 y F2 y frecuencias mixtas.

Filtro paso alto: Disponible sólo en frecuencia 1 (F1). (Olympus NDT, 2010)

2.2.9. Accesorios Estándares del equipo de Corrientes Inducidas NORTEC 2000D+

Manual del usuario

Cable de alimentación

Batería de Li-ion

Cargador de batería universal

Estuche de transporte

Cubierta de protección flexible

Cable VGA

Certificado de calibración. (Olympus NDT, 2010)

2.3. Generalidades y Especificaciones del Método de Corrientes Inducidas (NDT)

La inspección por electromagnetismo nos sirve para detectar discontinuidades superficiales y subsuperficiales dependiendo de la frecuencia de inspección, consiste en la inducción de corrientes en el material a través de una bobina o probeta de inspección, la misma que es excitada con una corriente alterna proveniente del equipo. Se emplea para inspeccionar materiales que sean electroconductores, siendo especialmente aplicable a aquellos que no son ferromagnéticos. Esta técnica comienza a tener grandes aplicaciones, aun cuando ya tiene más de 50 años de desarrollo. La inspección por Corriente de Eddy está basada en el efecto de inducción electromagnética.

2.3.1. Principio básico del método de corrientes inducidas (ET)

Se emplea un generador de corriente alterna, con una frecuencia generalmente comprendida entre 500 Hz y 5.000 Hz. El generador de corriente alterna se conecta a una bobina de prueba, que en su momento produce un campo magnético. Si la bobina se coloca cerca de un material que es eléctricamente conductor, el campo magnético de la bobina, llamado

primario, inducirá una corriente eléctrica en el material inspeccionado. A su vez, esta corriente generará un nuevo campo magnético (campo secundario), que será proporcional al primario, pero de signo contrario. En el momento en que la corriente de la bobina se vuelve cero, el campo magnético secundario inducirá una nueva corriente eléctrica en la bobina. Este efecto se repetirá cuantas veces la corriente cambie de fase (al pasar de positivo a negativo y viceversa).

Es predecible que el electromagnetismo se generará entre conductores adyacentes en cualquier momento en que fluya una corriente alterna. Por otra parte, las variaciones de la conductividad eléctrica, permeabilidad magnética, geometría de la pieza o de su estructura metalúrgica, causan modificaciones en la corriente inducida del material sujeto a inspección, lo que ocasionará que varíe su campo magnético inducido, hecho que será detectado por la variación del voltaje total que fluye en la bobina.

Es conveniente aclarar que para la detección de discontinuidades por Electromagnetismo, éstas deben ser perpendiculares a las corrientes de Eddy; adicionalmente, la indicación que se genere se modificará en la pantalla del instrumento de inspección, dependiendo de su profundidad y su forma.

Esta técnica cuenta con una amplia gama de alternativas, cada una con un objetivo específico de detección; por lo que antes de comprar un equipo a las sondas es necesario definir la forma del material que se va a inspeccionar, la localización y el tipo de discontinuidades que se deseen detectar y evaluar, con el fin de tener el equipo más versátil y adecuado para la inspección.

2.3.2. Requisitos para la Inspección por corrientes inducidas (ET)

Antes de iniciar las pruebas con electromagnetismo, es conveniente revisar la siguiente información:

- Conocer la forma, así como las características eléctricas, metalúrgicas y magnéticas del material a inspeccionar, ya que de esto dependerá el tipo de frecuencia, la forma de la sonda y la variante de la técnica a utilizar y, en caso necesario, el medio de eliminar las posibles interferencias que se produzcan en el componente de prueba.
- Si se trabaja bajo normas internacionales, los instrumentos de inspección, así como las sondas deben ser de los proveedores de las listas de proveedores aprobados o confiables publicados por ellas. En caso necesario, se solicita al proveedor una lista de qué normas, códigos o especificaciones de compañías satisfacen sus productos.
- Una vez seleccionado uno o varios proveedores, no es recomendable mezclar sus productos.

2.3.3. Aplicación del método de corrientes inducidas (ET)

Limpieza Previa: La importancia de este primer paso radica en que si bien los equipos de electromagnetismo pueden operar sin necesidad de establecer un contacto físico con el componente, se pueden producir falsas indicaciones por la presencia de óxidos de hierro, capas de pintura muy gruesas o algún tipo de recubrimiento que sea conductor de la electricidad; en caso de que no se desee quitar las pinturas o recubrimientos, es recomendable que el patrón de calibración sea similar en el acabado superficial al de la parte sujeta a inspección.



Figura 12. Limpieza inicial

Selección de la Sonda de Prueba: Este paso es tan crítico como la selección del instrumento empleado, porque de acuerdo a la variable sujeta a evaluación, se selecciona la sonda que se utilizará. Por este motivo, es necesario conocer las ventajas y desventajas y limitaciones de cada configuración.



Figura 13. Selección de la sonda o probeta

Frecuencia de Prueba: La siguiente variable a controlar, una vez seleccionada la bobina, es la selección de la frecuencia de inspección. Esta normalmente será referida al valor de una penetración normal (standard depth penetration) del material; al tipo de discontinuidad que se espera localizar y a la profundidad a la que se encuentra.



Figura 14. Selección de la frecuencia

Selección del bloque de Calibración o de Referencia: Los Instrumentos de pantalla osciloscópica pueden calibrarse para detectar fracturas superficiales, en términos generales, la pantalla de rayos catódicos muestra cómo la corriente de Eddy es afectada por el componente. Si existe una fractura o una costura en el componente, la corriente de Eddy se reduce. Esto es, las discontinuidades alteran el patrón observado en la pantalla. Existe la presentación por medio de escalas analógicas, en las que una aguja indica el valor de la lectura en una escala calibrada previamente; y también a través de pantallas digitales, en las que se lee un valor, que posteriormente se correlaciona con la variable a medir.



Figura 15. Selección del bloque de referencia o calibración

Interpretación de las indicaciones: En este último paso se debe ser cuidadoso en la interpretación de los resultados, bien sean por observación en pantalla o por lectura, ya que un cambio en las propiedades del material también afecta las lecturas y por este motivo la interpretación la debe realizar un Inspector con amplia experiencia en este tipo de trabajos.



Figura 16. Interpretación de indicaciones en el equipo

2.3.4. Ventajas del método de corrientes inducidas (ET)

- Detecta y generalmente evalúa discontinuidades subsuperficiales en casi cualquier conductor eléctrico.
- En muchos casos, la inspección por Electromagnetismo puede ser completamente automatizada.
- Puesto que no requiere contacto directo, puede emplearse a altas velocidades para la inspección continua a bajo costo.
- Con esta técnica es posible clasificar y diferenciar materiales de aleaciones, tratamientos térmicos o estructura metalúrgica distintos, siempre y cuando presenten una diferencia significativa de conductividad.
- Es excelente para la inspección de productos tubulares, de preferencia fabricados con materiales no ferromagnéticos, como son los empleados

en algunos tipos de intercambiadores de calor, condensadores o sistemas de aire acondicionado.

2.3.5. Limitaciones del método de corrientes inducidas (ET)

- Debe eliminarse de la superficie cualquier tipo de contaminación o suciedad que sea magnética o eléctricamente conductor.
- Generalmente la bobina de prueba debe diseñarse en especial para una pieza específica.
- La profundidad de la inspección está limitada a aproximadamente 6 mm de penetración y depende de la frecuencia elegida para excitar el campo electromagnético y el tipo de material que se esté inspeccionando.
- Se requiere de gran entrenamiento para calibrar y operar adecuadamente el equipo de prueba.
- La señal es sensible a las diferencias en composición y estructura del material lo que enmascara pequeños defectos o proporciona indicaciones falsas.

2.4. Cables y Probetas (Sondas de Prueba)

2.4.1. Tipos de cables y probetas aplicables al método de Corrientes Inducidas (NDT)

La capacidad de detección de una sonda es proporcional a:

- La magnitud de la corriente aplicada.
- La velocidad (frecuencia) de oscilación de la corriente.
- Las características de diseño de la sonda que incluyen: Inductancia, diámetro de enrollamiento, longitud de la bobina y número de espira.



Figura 17. Tipos de cables y probetas

2.4.2. Las sondas se clasifican: absolutas y diferenciales

2.4.2.1. Sondas absolutas

Las sondas absolutas generalmente tienen una sola bobina de prueba que se usa para generar las corrientes y cambios del sentido en el campo actual. La corriente se pasa a través del rollo y esto pone a un campo magnético extendiendo que derriba alrededor del rollo. Cuando la sonda se posiciona al lado de un material conductor, el campo magnético cambiante genera Corrientes Inducidas dentro del material. La generación de las Corrientes Inducidas toma energía del rollo y esto aparece como un aumento en la resistencia eléctrica del rollo. Generan su propio campo magnético que opone el campo magnético del rollo y esto cambia la reactancia inductiva del rollo. Puesto que las sondas absolutas son sensibles a las cosas como conductibilidad, lift-off de permeabilidad y temperatura, deben tomarse pasos para minimizar estas variables cuando ellos no son importantes a la inspección a realizarse. Las sondas absolutas (o bobinas absolutas) se consideran como aquéllas que realizan la medición sin necesidad de una referencia directa o de un patrón de comparación. Este tipo de arreglo tiene aplicaciones en la medición de la conductividad, permeabilidad, dimensiones o dureza d ciertos materiales.



Figura 18. Sondas absolutas y diferenciales

Sus ventajas son:

- Responde a cambios bruscos o progresivos de la característica que se mide.
- Cuando existe más de una indicación, éstas son relativamente fáciles de separar (interpretación sencilla).
- Puede detectar la longitud real de una discontinuidad.

Principales limitaciones:

- Son muy sensibles a cambios de temperatura (térmicamente son inestables).
- Registran cualquier variación de la distancia entre la bobina y la pieza (falsas indicaciones)

2.4.2.2. Sondas Superficiales de baja Frecuencia

Disponible en varias escalas de frecuencia. Estas sondas normalmente se usan para la detección de discontinuidades superficiales.

2.4.2.3. Sondas de baja frecuencia

Usada para el descubrimiento de defectos sub-superficiales o abiertos a la superficie, fatiga y metal que adelgazan debido a la corrosión.

2.4.2.4. Las Sondas de Anillo de Frecuencia bajas

Estas sondas encajan alrededor de varios broches con diferentes diámetros de cabeza y se usan para chequear discontinuidades alrededor de las cabezas del broche instaladas.

2.4.2.5. Las Sondas de Agujero manuales

Algunos diseñan opciones usadas para la comprobación del manual de agujeros del broche.

2.4.2.6. Sondas Escáner de rotación

Este tipo de sondas usan un escáner rotatorio motorizado que se une a un accesorio especial que opera junto con el equipo de Corrientes Inducidas. Se puede chequear todo tipo de agujeros según el diámetro deseado.

2.4.2.7. Las Sondas corredizas

Estas sondas son principalmente examinaba filas del broche. Proporciona un método fácil y rápido de examinar superficies lisas para descubrir discontinuidades en la superficie o superficiales.

2.4.2.8. Las Sondas tipo "lápiz"

La sonda del tipo para el descubrimiento de grietas de superficie.

Todas estas sondas se clasificadas por la configuración y modo de funcionamiento de las bobinas de prueba. El modo de funcionamiento de

una sonda generalmente entra en uno de cuatro categorías: absoluto, diferencial, reflexión e híbrido.

2.4.2.9. Sonatas diferenciales

Las sondas del diferencial normalmente tienen dos rollos activos enrollados en oposición, aunque ellos además pudieran enrollarse con resultados similares. Cuando los dos rollos están encima de un área con discontinuidad no existe ningún signo del diferencial desarrollado entre los rollos sin embargo, cuando un rollo está encima de un defecto y el otro está encima de material sano, un signo del diferencial se produce. Ellos tienen la ventaja de ser todavía muy sensible a los defectos relativamente insensible.

Las sondas diferenciales consisten en dos o más bobinas conectadas entre sí, pero con diferente dirección de enrollamiento. Este arreglo se puede dividir en dos grupos:

a) Bobinas diferenciales autorreferidas: Este tipo de arreglo cuenta con una bobina que es la que realiza las mediciones y en un punto cercano (normalmente dentro del cuerpo de la porta bobina) existe una segunda bobina con un núcleo (de ferrita o zirconio) y con el cual se balancea el equipo cuando se calibra el sistema.

b) Bobinas diferenciales con referencia externa: Este arreglo tiene dos variantes. En el primer caso se coloca la bobina de referencia en el material que se desea inspeccionar; es decir, las bobinas se encuentran separadas físicamente. En el segundo arreglo, las bobinas de medición y referencia se colocan sobre el mismo objeto. Este arreglo tiene la ventaja que se reducen los efectos de variaciones por cambios de separación o por características de la pieza que se está inspeccionando.

2.4.2.10. Sondas de la reflexión

Las sondas de la reflexión tienen dos rollos similares a una sonda diferencial, pero un rollo se usa para excitar las corrientes inducidas y el otro se usa para darse cuenta de cambios en el material de la prueba.

2.4.2.11. Sondas híbridas

Un ejemplo de una sonda híbrida es el D hendido, sonda del diferencial mostrada al derecho. Esta sonda tiene un rollo master y los otros rollos de operan en el modo del diferencial. Este tipo de sonda es muy sensible para detectar grietas superficiales. Otro ejemplo de una sonda híbrida es uno que usa un rollo convencional para generar corrientes inducidas en el material pero entonces usa un tipo diferente de sensor para descubrir cambios en la superficie y dentro del material de la prueba. Así también una sonda híbrida es uno que usa un sensor de efecto de Vestíbulo para descubrir cambios en el flujo magnético que gotea de la superficie de la prueba. Normalmente se diseñan especialmente sondas híbridas para una aplicación de la inspección específica.

2.4.2.12. Sonda especial para Corrientes Inducidas Spitfire

Es una unidad pequeña, peso ligero, diseñada para inspección de agujeros del broche exacto y rápido. Su tamaño pequeño permite realizar las inspecciones en espacio confinado, mientras su plan ligero (150 g / 5 onz.) reducen fatiga cuando se necesita inspeccionar un gran número de agujeros.

2.4.2.13. Especificaciones del equipo de corrientes inducidas NORTEC 2000D+ aplicados al tipo de sonda a seleccionar

Banda de frecuencia: 50 Hz a 12 MHz.

Ganancia: 0 dB a 90 dB; en incrementos de 0,1 dB. Las ganancias horizontales y verticales pueden ser ajustadas por separado o simultáneamente.

Rotación: 0° a 359°.

Barrido: 0,005 s a 4 s por división.

Filtro paso bajo: 10 Hz a 500 Hz y banda ancha.

Filtro paso alto: Desactivado, de 2 Hz a 500 Hz, respuesta polar.

Excitación de la sonda: 2 V, 6 V y 12 V.

Persistencia variable: 0,1 s a 5 s.

Tipos de sonda: Absoluta o diferencial en configuración de puente o de reflexión. Compatibilidad con las sondas Nortec de tecnología PowerLink™.

Alarmas: Accionamiento positivo o negativo.

Modos de alarma: 1 a 3 zonas rectangulares, polares, de barrido, de conductividad y de espesor del recubrimiento.

Almacenamiento y consulta de trazados: 20 trazados estáticos o congelados con hasta 60 segundos de movimiento. Cada trazado es almacenado con la fecha y hora de captura.

Almacenamiento y consulta de programas: 120 programas de configuración, con la fecha y hora respectiva.

Impresión: Informes personalizados de los datos en la pantalla y de los parámetros de la sonda (para sondas PowerLink™, el informe también incluye el número de serie).

Impresora: Cualquier impresora serie. (Olympus NDT, 2010)

2.5. Conectores Adaptadores y Acoples

Se usan a menudo para conectar al equipo sondas o cables que no son del mismo fabricante o que poseen otro tipo de configuración. Pueden ser usadas para mejorar la visibilidad de un signo del defecto significativo, evitando escenas incorrectas que pueden interferir en la indicación señalada e incluso pueden eliminar el signo del defecto completamente.

Con este modo del despliegue, es fácil ver que la forma señalada es dependiente en el tiempo o duración que el rollo de la sonda está dándose cuenta de algo. Por ejemplo, si una sonda de la superficie se pone en la superficie de conductor y se mece de un lado a otro, producirá una ola como el signo. Cuando la sonda se mece rápidamente, el signo tendrá una frecuencia más alta que cuando la sonda se mece lentamente de un lado a otro. Estos signos no necesitan una apariencia del para tener volumen de frecuencia y la mayoría de corrientes inducidas que se compondrán signos actuales de un número grande de frecuencias.

2.5.1. Tipos de conectores, adaptadores y acoples utilizados en el método de Corrientes inducidas (NDT)

Alimentación: Conector de 7 pines para cargar internamente la batería o para utilizar el equipo con corriente alterna.

RS-232: Conector DB-9P, datos en serie bidireccionales a través del RS-232.

Conector de sonda: LEMO de 16 pines.



Figura 19. Conectores, adaptadores y acoples

Salidas analógicas: Salidas horizontales y verticales de F1 y F2, ± 5 V, 1 V por división.

Salidas de alarma: Conector de salida de alarma y analógica de 9 pines.

Salida VGA. (Olympus NDT, 2010)

2.6. Bloques de Calibración y Bloques de Referencia

2.6.1. Bloques de calibración y referencia

Los bloques de la referencia son particularmente importantes desde que los signos son afectados por muchas variables físicas composición del material entre otras que puede alterar la apariencia de una indicación drásticamente. Como con la mayoría de los otros métodos de NDT, la información más útil se obtiene al comparar los resultados de un objeto desconocido a los resultados de un objeto similar con rasgos bien caracterizados y defectos artificiales o de servicio. Todos los procedimientos de inspección actuales exigen configurar el equipo usando bloques de calibración o referencia.

La apariencia de un signo de la prueba puede relacionarse a la apariencia de un signo de un defecto conocido como calibración o referencia, la idea es reproducir el tamaño de un defecto en el componente de la prueba.

Los bloques de calibración o referencia deben ser del mismo material como el artículo de la prueba. Si esto no es posible o práctico, debe ser de material que tiene la misma conductibilidad eléctrica y la permeabilidad magnética. El componente ofrece (espesor material, geometría, etc.) debe ser el mismo en la referencia normal como aquéllos de prueba en los componentes de la inspección. Si los bloques de calibración o referencia poseen defectos intencionales, estos defectos deben ser representados de forma reales en el componente de la prueba como sea posible.

2.6.2. Tipos de bloques de calibración o referencia utilizados en el método de corrientes inducidas (NDT)

Bloque de Conductibilidad

Bloque para discontinuidades superficiales

Bloque para medición de espesores

Bloques de calibración o referencia para agujeros (Hole)



Figura 20. Bloques de calibración y referencia

CAPÍTULO III

ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE NDT POR LA TÉCNICA DE CORRIENTES INDUCIDAS (EDDY CURRENT) UTILIZANDO EL EQUIPO NORTEC 2000D+

3.1. Procedimiento aplicable para discontinuidades superficiales

3.1.1. Objetivo

Proporcionar a los estudiantes parámetros de inspección para la identificación de discontinuidades superficiales en materiales conductores.

3.1.2. Alcance

Aplica a todas las inspecciones para la detección de discontinuidades superficiales por Corrientes Inducidas, en materiales conductores.

3.1.3. Documento de Referencia:

- Manual de Procedimientos del equipo NORTEC 2000D+. Olympus NDT (2010)
- Manual de funcionamiento uso y mantenimiento de Equipos y accesorios de NDT. Olympus NDT (s.f.)
- Documentos técnicos aplicables
- Procedimientos NDT avión BOEING 737 200-300

3.1.4. Terminología

Bobina absoluta.- Son aquellas que realizan la medición sin necesidad de una referencia directa o de un patrón de comparación. Este tipo de arreglo tiene aplicaciones en la medición de la conductividad, permeabilidad, dimensiones y dureza ciertos materiales.

Bobinas Diferenciales.- Las sondas diferenciales consisten en dos o más bobinas conectadas entre sí, pero con diferente dirección de enrollamiento, producirá un desbalance en el sistema y de ese modo producirá una indicación.

Frecuencia de Prueba.- Es el número completo de ciclos por unidad de tiempo de la corriente alterna aplicada a la bobina de prueba primaria.

Conductividad.- La propiedad intrínseca de un material particular para llevar corriente eléctrica; es comúnmente expresada en porcentaje IACS (Internacional Annealed Copper Standard).

Lift-off.- El efecto observado en la salida de un sistema de prueba por corrientes inducidas debido al cambio en el acoplamiento magnético entre el espécimen de prueba y la bobina cuando la distancia entre ellos es variado.

Bloque de referencia.- Un material u objeto por el cual todas las características químicas o físicas relevantes son conocidas y se pueden medir , usadas tanto para una comparación o estandarización de equipos o instrumentos usados para Ensayos no Destructivos.

Indicación Relevante.- Se considera a una indicación que es causada por una condición o tipo de discontinuidad que requiere una interpretación y posterior evaluación.

Indicación No Relevante.- Consideradas así las indicaciones causadas por una condición o tipo de discontinuidad que no es rechazable. Conocidas también como indicaciones falsas.

Indicación Falsa.- Es una indicación que debe ser interpretada relacionada con la condición del material pero que no es considerada discontinuidad o imperfección.

3.1.5. Responsabilidades

Será responsabilidad del docente y de la unidad de gestión de tecnologías seguir la secuencia de inspección conjuntamente con este procedimiento.

3.1.6. Equipo Utilizado

- Equipo de corrientes inducidas NORTEC 2000D+
- Accesorios para equipo de Corrientes Inducidas NORTEC 2000D+
- Bloques de calibración y referencia

3.1.7. Inspección por la técnica de Corrientes Inducidas (ET)

1. Previo a la Inspección

- Preparar el área para instrucción con una buena iluminación.
- Limpie el área o componente de prueba con un paño limpio humedecido con algún agente solvente o limpiador (cleaner), de manera que la superficie quede libre de suciedad, grasa, polvo, pintura en mal estado, si es necesario remueva el sellante o cualquier cuerpo extraño que pueda alterar la evaluación durante la inspección.

2. Calibración del equipo NORTEC 2000D+

- Encienda el equipo con el botón ON – OFF (Figura 1, Anexo 1)
- Verifique que la carga de la batería sea la correcta caso contrario conecte el cable de poder a 110 y/o adaptador de corriente, si se requiere. (Figura 2, Anexo 1)
- Seleccione el tipo de probeta o sonda a ser utilizada (lápiz o angular). (Figura 3, Anexo 1)
- Inserte el enchufe de la probeta en el sitio adecuado de acuerdo al tipo de probeta seleccionada. (Figura 4, Anexo 1)

- Verifique la funcionalidad de la probeta, observando que aparezca en la pantalla la respuesta de señal horizontal (Lift-Off), (Figura 5, Anexo 1)
- Ajuste en el equipo la frecuencia a utilizar de acuerdo a los rangos establecidos en la sonda (HFEC rango de 50 - 500 KHz; 500 KHz - 1 MHz o 1 MHz -2.5 MHz) (Figura 6, Anexo 1)

NOTA 1: En ningún caso podrán ser mayores o menores al rango establecido en la sonda o probeta.

- Ajuste la fase para colocar el Lift-Off en la pantalla del equipo en forma horizontal de acuerdo al tipo de material a inspeccionar. (Figura 7, Anexo 1)
- Ajuste una ganancia media en el Equipo de Corrientes Inducidas, a fin de obtener una buena indicación. Si la ganancia es colocada muy alta el instrumento no podrá ser balanceado adecuadamente. (Figura 8, Anexo 1)
- Balancee la probeta en el punto de calibración sobre la superficie, para obtener una señal apropiada.
- Ajuste el V/H de acuerdo a los requerimientos de calibración. (Figura 9, Anexo 1)
- Examine la parte y compare las indicaciones de discontinuidades, estas deberían aparecer en el eje vertical y estar de acuerdo a la calibración del bloque de referencia. (Figura 10, Anexo 1)
- Coloque la probeta sobre la superficie a inspeccionarse y verifique que la fase sea la correcta de acuerdo a la calibración, o ajústela de acuerdo a su requerimiento de calibración.

3. Inspección

- Realice un barrido sobre la superficie del componente seleccionado para la prueba.
- Verifique la calibración del equipo cada cierto tiempo para descartar una mala calibración.
- Identifique e interprete las discontinuidades o indicaciones encontradas durante la inspección.

NOTA 2: Por ser una prueba netamente de instrucción y entrenamiento no se podrán emitir bajo ningún concepto criterios de aceptación o rechazo.

4. Posterior a la inspección

- Apague el equipo con la probeta o sonda y el cable conectados. (Figura 11, Anexo 1)
- Desconecte la probeta o sonda del cable y luego desconecte el cable del equipo. (Figura 12, Anexo 1)
- Lleve un registro de entrenamiento por cada práctica realizada con el equipo NORTEC 2000D+ para verificar el tiempo de vida del equipo.
- Limpie los accesorios utilizados durante la inspección.

5. Interpretación y Evaluación

Quedará directamente a cargo del docente la evaluación e interpretación de las indicaciones encontradas para ser consideradas como grietas o craks.

3.2. Procedimiento de inspección para discontinuidades sub - superficiales

3.2.1. Objetivo

Proporcionar a los estudiantes parámetros de inspección para la identificación de discontinuidades superficiales en materiales conductores.

3.2.2. Alcance

Aplica a todas las inspecciones para la detección de discontinuidades sub-superficiales por Corrientes Inducidas, en materiales conductores.

3.2.3. Documento de Referencia:

- Manual de Procedimientos del equipo NORTEC 2000D+. Olympus NDT (2010)
- Manual de funcionamiento uso y mantenimiento de Equipos y accesorios de NDT. Olympus NDT (s.f.)
- Documentos técnicos aplicables
- Procedimientos NDT avión BOEING 737 200-300

3.2.4. Terminología

Bobina absoluta.- Son aquéllas que realizan la medición sin necesidad de una referencia directa o de un patrón de comparación. Este tipo de arreglo tiene aplicaciones en la medición de la conductividad, permeabilidad, dimensiones y dureza ciertos materiales.

Bobinas Diferenciales.- Las sondas diferenciales consisten en dos o más bobinas conectadas entre sí, pero con diferente dirección de enrollamiento, producirá un desbalance en el sistema y de ese modo producirá una indicación.

Frecuencia de Prueba.- Es el número completo de ciclos por unidad de tiempo de la corriente alterna aplicada a la bobina de prueba primaria.

Conductividad.- La propiedad intrínseca de un material particular para llevar corriente eléctrica; es comúnmente expresada en porcentaje IACS (Internacional Annealed Copper Standard).

Lift-off.- El efecto observado en la salida de un sistema de prueba por corrientes inducidas debido al cambio en el acoplamiento magnético entre el espécimen de prueba y la bobina cuando la distancia entre ellos es variado.

Bloque de referencia.- Un material u objeto por el cual todas las características químicas o físicas relevantes son conocidas y se pueden medir , usadas tanto para una comparación o estandarización de equipos o instrumentos usados para Ensayos no Destructivos.

Indicación Relevante.- Se considera a una indicación que es causada por una condición o tipo de discontinuidad que requiere una interpretación y posterior evaluación.

Indicación No Relevante.- Consideradas así las indicaciones causadas por una condición o tipo de discontinuidad que no es rechazable. Conocidas también como indicaciones falsas.

Indicación Falsa.- Es una indicación que debe ser interpretada relacionada con la condición del material pero que no es considerada discontinuidad o imperfección.

3.2.5. Responsabilidades

Será responsabilidad del docente y de la unidad de gestión de tecnologías seguir la secuencia de inspección conjuntamente con este procedimiento.

3.2.6. Equipo Utilizado

- Equipo de corrientes inducidas NORTEC 2000D+
- Accesorios para equipo de Corrientes Inducidas NORTEC 2000D+
- Bloques de calibración y referencia

3.2.7. Inspección por la técnica de Corrientes Inducidas (ET)

1. Previo a la Inspección

- Preparar el área para instrucción con una buena iluminación.

- Limpie el área o componente de prueba con un paño limpio humedecido con algún agente solvente o limpiador (cleaner), de manera que la superficie quede libre de suciedad, grasa, polvo, pintura en mal estado, si es necesario remueva el sellante o cualquier cuerpo extraño que pueda alterar la evaluación durante la inspección.

2. Calibración del equipo NORTEC 2000D+

- Encienda el equipo con el botón ON – OFF (Figura 1, Anexo 2)
- Verifique que la carga de la batería sea la correcta caso contrario conecte el cable de poder a 110 y/o adaptador de corriente, si se requiere. (Figura 2, Anexo 2)
- Seleccione el tipo de probeta o sonda a ser utilizada (lápiz o angular). (Figura 3, Anexo 2)
- Inserte el enchufe de la probeta en el sitio adecuado de acuerdo al tipo de probeta seleccionada. (Figura 4, Anexo 2)
- Verifique la funcionalidad de la probeta, observando que aparezca en la pantalla la respuesta de señal horizontal (Lift-Off), (Figura 5, Anexo 2)
- Ajuste en el equipo la frecuencia a utilizar de acuerdo a los rangos establecidos en la sonda (HFEC rango de 50 - 500 KHz; 500 KHz - 1 MHz o MHz -2.5 MHz) (Figura 6, Anexo 2)

NOTA: En ningún caso podrán ser mayores o menores al rango establecido en la sonda o probeta.

- Ajuste la fase para colocar el Lift-Off en la pantalla del equipo en forma horizontal de acuerdo al tipo de material a inspeccionar.
- Ajuste una ganancia media en el Equipo de Corrientes Inducidas, a fin de obtener una buena indicación. Si la ganancia es colocada muy alta el instrumento no podrá ser balanceado adecuadamente. (Figura 7, Anexo 2)
- Balancee la probeta en el punto de calibración sobre la superficie, para obtener una señal apropiada.
- Ajuste el V/H de acuerdo a los requerimientos de calibración. (Figura 8, Anexo 2)

- Examine la parte y compare las indicaciones de discontinuidades, estas deberían aparecer en el eje vertical y estar de acuerdo a la calibración del bloque de referencia. (Figura 9, Anexo 2)
- Coloque la probeta sobre la superficie a inspeccionarse y verifique que la fase sea la correcta de acuerdo a la calibración, o ajústela de acuerdo a su requerimiento de calibración.

3. Inspección

- Realice un barrido sobre la superficie del componente seleccionado para la prueba.
- Verifique la calibración del equipo cada cierto tiempo para descartar una mala calibración.
- Identifique e interprete las discontinuidades o indicaciones encontradas durante la inspección.

NOTA: Por ser una prueba netamente de instrucción y entrenamiento no se podrán emitir bajo ningún concepto criterios de aceptación o rechazo.

4. Posterior a la inspección

- Apague el equipo con la probeta o sonda y el cable conectados.
- Desconecte la probeta o sonda del cable y luego desconecte el cable del equipo. (Figura 10, Anexo 2)
- Lleve un registro de entrenamiento por cada práctica realizada con el equipo NORTEC 2000D+ para verificar el tiempo de vida del equipo.
- Limpie los accesorios utilizados durante la inspección.

5. Interpretación y Evaluación

Quedará directamente a cargo del docente la evaluación e interpretación de las indicaciones encontradas para ser consideradas como grietas o craks.

3.3. Procedimiento de inspección para conductividad de materiales

3.3.1. Objetivo

Proporcionar a los estudiantes parámetros para la medición de conductividad en materiales conductores.

3.3.2. Alcance

Aplica para confirmar el nivel de conductividad en materiales magnéticos y conductores., por Corrientes Inducidas, en materiales conductores.

3.3.3. Documento de Referencia:

- Manual de Procedimientos del equipo NORTEC 2000D+. Olympus NDT (2010)
- Manual de funcionamiento uso y mantenimiento de Equipos y accesorios de NDT. Olympus NDT (s.f.)
- Documentos técnicos aplicables
- Procedimientos NDT avión BOEING 737 200-300

3.3.4. Terminología

Bobina absoluta.- Son aquéllas que realizan la medición sin necesidad de una referencia directa o de un patrón de comparación. Este tipo de arreglo tiene aplicaciones en la medición de la conductividad, permeabilidad, dimensiones y dureza ciertos materiales.

Bobinas Diferenciales.- Las sondas diferenciales consisten en dos o más bobinas conectadas entre sí, pero con diferente dirección de enrollamiento, producirá un desbalance en el sistema y de ese modo producirá una indicación.

Frecuencia de Prueba.- Es el número completo de ciclos por unidad de tiempo de la corriente alterna aplicada a la bobina de prueba primaria.

Conductividad.- La propiedad intrínseca de un material particular para llevar corriente eléctrica; es comúnmente expresada en porcentaje IACS (Internacional Annealed Copper Standard).

Lift-off.- El efecto observado en la salida de un sistema de prueba por corrientes inducidas debido al cambio en el acoplamiento magnético entre el espécimen de prueba y la bobina cuando la distancia entre ellos es variado.

Bloque de referencia.- Un material u objeto por el cual todas las características químicas o físicas relevantes son conocidas y se pueden medir , usadas tanto para una comparación o estandarización de equipos o instrumentos usados para Ensayos no Destructivos.

Indicación Relevante.- Se considera a una indicación que es causada por una condición o tipo de discontinuidad que requiere una interpretación y posterior evaluación.

Indicación No Relevante.- Consideradas así las indicaciones causadas por una condición o tipo de discontinuidad que no es rechazable. Conocidas también como indicaciones falsas.

Indicación Falsa.- Es una indicación que debe ser interpretada relacionada con la condición del material pero que no es considerada discontinuidad o imperfección.

3.3.5. Responsabilidades

Será responsabilidad del docente y de la unidad de gestión de tecnologías seguir la secuencia de inspección conjuntamente con este procedimiento.

3.3.6. Equipo Utilizado

- Equipo de corrientes inducidas NORTEC 2000D+
- Accesorios para equipo de Corrientes Inducidas NORTEC 2000D+
- Bloques de calibración y referencia

3.3.7. Inspección para determinar la conductividad de los materiales utilizando el Equipo NORTEC 2000D+

1. Previo a la Inspección

- Prepare el área de inspección adecuadamente.
- Limpie el área a ser inspeccionada con un paño limpio humedecido en cleaner, a fin de que la superficie ese libre de suciedad o grasa.
- El equipo NORTEC 2000D+, Sonda o probeta, bloque de referencia y las partes examinadas, deberán mantenerse a una temperatura ambiente antes de la evaluación por conductividad.
- Cuando sea posible, la prueba de conductividad deberá ser realizada en un espacio adecuado a una temperatura (21° C. +/- 9° C.).
- Seleccione una frecuencia de prueba de 60 KHz.
- Realice la comparación de los valores del bloque de referencia e ingrese los mismos en el equipo, luego compare con la lectura que se muestra en el equipo.

2. Durante la Inspección

- Conecte una sonda o probeta de conductividad NORTEC para acceder al menú de conductividad y presione MAINFILTER. (Figura 1, Anexo 3)
- Ajuste el valor de conductividad para CAL POINT 1. Presione VALUE, gire la perilla para cambiar el valor de conductividad y emparejarla con el valor más bajo del bloque que se está calibrando. (Figura 2, Anexo 3).

- Coloque la sonda o probeta de conductividad en el bloque de calibración y presione la tecla SAVE dos veces, el equipo procederá entonces a CAL POINT 2. (Figura 3, Anexo 3)
- Ajuste el valor de conductividad para CAL POINT 2. Presione VALUE, gire la perilla para cambiar el valor de conductividad y emparejarla con el valor más alto del bloque que se está calibrando. (Figura 4, Anexo 3).
- Coloque la sonda o probeta de conductividad en el bloque de calibración y presione la tecla SAVE dos veces, el equipo procederá entonces a CAL POINT 3. (Figura 5, Anexo 3).
- Coloque una lámina no conductiva de 0.0004 milésimas sobre la primera muestra de CAL POINT 1. Coloque la sonda o probeta de calibración sobre la lámina y presione la tecla SAVE dos veces, el equipo procederá a CAL POINT 4. (Figura 6, Anexo 3).
- Coloque una lámina no conductiva de 0.0004 milésimas sobre la segunda muestra de CAL POINT 1. Coloque la sonda o probeta de calibración sobre la lámina y presione la tecla SAVE. (Figura 7, Anexo 3).
- CAL VALID aparecerá en la parte superior de la pantalla de conductividad (Figura 8, Anexo 3).
- Puede empezar con la toma de lecturas de conductividad en la parte o componente que usted está seleccionando.
- Realice la inspección en por lo menos dos puntos de la parte o material de prueba.

Nota 1: Se tomará la media de las mediciones obtenidas y se registrará directamente a las especificaciones de conductividad del fabricante del componente o material que se está tomando como prueba. (Figura 9, Anexo 3)

3. Posterior a la inspección

- Apague el equipo con la probeta o sonda y el cable conectados.
- Desconecte la probeta o sonda del cable y luego desconecte el cable del equipo.

- Lleve un registro de entrenamiento por cada práctica realizada con el equipo NORTEC 2000D+ para verificar el tiempo de vida del equipo.
- Limpie los accesorios utilizados durante la inspección.

4. Interpretación y Evaluación

Quedará directamente a cargo del docente la evaluación e interpretación de los valores de conductividad y el rango en que se encuentran los componentes, partes o materiales de prueba.

3.4. Análisis Económico

Tabla 2
Presupuesto de elaboración de proyecto

GASTOS PRIMARIOS	VALOR
Bloques de referencia de fabricación nacional	\$ 300
Elaboración y aprobación del manual de procedimientos	\$ 650
Sub total	\$ 950
GASTOS SECUNDARIOS	
Impresiones	\$ 50
Copias	\$ 30
Internet	\$ 30
Transporte	\$ 50
Alimentación	\$ 200
Sub total	\$ 360
TOTAL	\$ 1310

CAPÍTULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- Se elaboró e implementó un Manual de Procedimientos de Ensayos No Destructivos (NDT) por la técnica de Corrientes Inducidas utilizando el Equipo NORTEC 2000D+
- Se recopiló toda la información necesaria sobre el estado y disposición de los equipos de la sección de Ensayos No Destructivos aplicables al método de Corrientes Inducidas de la Unidad de Gestión de Tecnologías y se determinó que el Equipo NORTEC 2000D+ es nuevo y no posee procedimientos técnicos para su uso.
- Se analizó las necesidades teórico-prácticas por lo que se diseñó un manual entendible y fácil de interpretar para los estudiantes y docentes de la carrera de Mecánica Aeronáutica de la Unidad de Gestión de Tecnologías.
- Se determinó como solución la elaboración de un manual de Procedimientos de Ensayos No Destructivos (NDT) por la técnica de Corrientes Inducidas utilizando el Equipo NORTEC 2000D+ y se implementó prácticas y procedimientos de fácil entendimiento y aplicación.

4.2. RECOMENDACIONES

- Dar a conocer al personal de alumnos y docentes de la unidad de gestión de tecnologías de cada equipo electrónico que se adquiera como instrucción para los laboratorios de las diferentes carreras.
- Implementar accesorios (cables, probetas, conectores, adaptadores) que se utilizan con el Equipo NORTEC 2000D+.

- Adquirir o fabricar un bloque de referencia o calibración universal para pruebas de ensayos no destructivos que tenga la mayoría de indicaciones y grietas que sean posibles, de preferencia adquirirlo a la casa fabricante del equipo NORTEC 2000D+.

BIBLIOGRAFÍA

Boeing (2012) 737 NDT PART 6 51-00-00, (Revision Nov 15/2012), Boeing.

Boeing (2012) 737 NDT PART 6 51-00-00 Procedure 20, (Revision Nov 15/2012), Boeing.

ISOTEC (2010) Corrientes Inducidas. Recuperado de <http://www.isotec.com.co/portal> equipos y aplicaciones

Metalografía (2010) Ensayos No Destructivos. Recuperado de <http://blog.utp.edu.co/metalografia/2010/11/05/ensayos-no-destructivos/>

Olympus NDT (2010) NORTEC 2000D+ Dual Eddyscope User's Manual (Revision 04), United Stated. Olympus

Olympus NDT (s.f.) Detectores de defectos. Recuperado de <http://www.olympus-ims.com/es/nortec>

ANEXOS

