

ENSAYOS DE MATERIALES		
Mecánicos	<ul style="list-style-type: none"> • Dureza • Tenacidad • Resistencia • Fragilidad • Maleabilidad • Ductilidad • Fragilidad • Fatiga 	<ul style="list-style-type: none"> • Tracción o compresión (tenacidad y resiliencia) • Cizalladura • Deformación plástica (embutición) • Dureza (Brinell, Rockwell, Vickers, Shore) • Doblado • Choque • Fatiga (flexión, torsión, flexión rotativa, etc.)
Metalográficos	Con microscopio	<ul style="list-style-type: none"> • Ópticos (por reflexión, por transmisión) • Electrónicos (por barrido, por transmisión)
Analíticos		
Químicos		

Tabla 1.III

1.2. TERMOGRAFÍA INFRARROJA

1.2.1. Definición

La Termografía Infrarroja (TIR) es una técnica de ensayo no destructivo (END) sin contacto que obtiene información térmica de un cuerpo a través de la captación de la radiación infrarroja que emite, mediante un dispositivo de adquisición de imágenes térmicas a distancia.

1.2.2. Historia

El término termografía se deduce de la raíz de sus palabras cuyo significado es “imagen de temperatura”. Los principios de la termografía se atribuyen al astrónomo alemán Sir William Herschel quien, en

1800, llevó a cabo experimentos con luz solar. Herschel descubrió la radiación infrarroja pasando la luz solar a través de un prisma, lo que produjo la división del haz de luz incidente en un arco iris. Herschel estaba interesado en medir la cantidad de calor asociada con cada banda de color que se producía. Para ello, utilizó termómetros y midió la temperatura de los diversos colores del espectro. De esta manera notó que la temperatura aumentaba a medida que pasaba de los componentes azules del espectro a los componentes rojos. Luego colocó un termómetro un poco más allá de la parte roja del espectro, en una región donde no había luz visible, y descubrió que la temperatura era más alta todavía. Así, Herschel razonó que por encima de la longitud de onda del rojo existía otro tipo de luz que no se podía ver, denominándola luz infrarroja.

Las primeras versiones de las cámaras térmicas que se conocieron contaban con detectores fotoconductores. Desde 1916 hasta 1918, el inventor americano Theodore Case experimentó con estos detectores para producir una señal a través de la interacción directa con fotones en vez de la interacción a través del calor. El resultado dio lugar a un detector más rápido y sensible. Durante 1940 y 1950, la tecnología de imagen térmica se expandió especialmente a nivel militar. Posteriormente, científicos alemanes descubrieron que enfriando los detectores fotoconductores, el rendimiento global aumentaba.

No fue hasta el 1960 cuando los dispositivos de imagen térmica se empezaron a usar para aplicaciones no militares. Aunque los primeros dispositivos eran muy incómodos, lentos en la adquisición y tenían muy baja resolución, se usaban para aplicaciones industriales como en sistemas eléctricos de transmisión y distribución. Los continuos avances en la década de 1970 en aplicaciones militares dieron lugar a los primeros sistemas portátiles, más duraderos y fiables.

A principios de los 80, las cámaras térmicas se empleaban ya con fines médicos, así como en industrias e inspecciones en edificios.

A finales de los 80 las matrices de plano focal (FPA), ya empleadas con anterioridad en aplicaciones militares, se empezaron a comercializar en el mercado. Esto fue una mejora significativa con respecto a los detectores originales y el resultado fue un aumento en la calidad de la imagen y resolución espacial.

El desarrollo de la tecnología FPA ha ido aumentando con el paso de los años y su coste ha descendido significativamente en los últimos 10 años. Además, hoy en día, prácticamente todas las cámaras térmicas existentes en el mercado disponen de un software que facilita el análisis de las imágenes.

1.2.3. Aplicabilidad y limitaciones

Las principales **ventajas** de la termografía infrarroja como método de inspección son:

- Gran rapidez en comparación con otros métodos.
- No existe contacto con el material que se examina, lo que permite mantener al usuario alejado del equipo inspeccionado, cuestión fundamental en trabajos potencialmente peligrosos como la inspección eléctrica de elementos en carga.
- Es bidimensional, por lo que resulta posible la comparación entre múltiples zonas de un mismo cuerpo. Se puede medir la temperatura de cuantos puntos se quieran dentro de la misma imagen de cara a su comparativa, constituyéndose líneas, áreas de diferentes formas, perfiles y cualquier geometría que se necesite.
- La interpretación de los resultados obtenidos es relativamente sencilla.
- Su uso no es nocivo.
- Se puede aplicar a un amplio rango de materiales, así como a áreas relativamente extensas.

La termografía infrarroja presenta también algunas **limitaciones** que deben tenerse en cuenta a la hora de fijar objetivos e interpretar los resultados obtenidos:

- Capacidad de inspeccionar profundidades limitadas de material bajo la superficie. Si los defectos se encuentran a una profundidad excesiva, los resultados obtenidos pueden ser confusos y dar lugar a errores de interpretación. En tales casos sería necesario contar con equipos de elevadas sensibilidades térmicas. En casos en los que los espesores del material a inspeccionar sean muy elevados es posible que no se pueda aplicar la termografía infrarroja o que sea necesario complementarla con otras técnicas no destructivas.
- Necesidad de una adecuada evaluación de las pérdidas térmicas por convección o radiación.
- Dificultad de calentamiento de grandes superficies o volúmenes de forma rápida, uniforme y con contraste térmico significativo.
- Dificultad en la medición de defectos que lleven asociados variaciones térmicas.
- En algunos casos puede ser necesario determinar correctamente la emisividad de los materiales analizados así como la influencia de la radiación de los elementos del entorno.

CAPÍTULO 2.

ASPECTOS DE CALIDAD

2.1. CUALIFICACIÓN DEL PERSONAL

Todos los métodos de END están basados en principios físicos conocidos y de su aplicación se obtiene la información necesaria para establecer un diagnóstico del estado de la calidad del objeto inspeccionado. Pero los resultados no se muestran de forma absoluta, sino con un lenguaje indirecto, lo que obliga a realizar una interpretación, normalmente de carácter subjetivo, a partir de la información o las indicaciones obtenidas en la aplicación del método seleccionado, teniendo en cuenta los principios físicos en que este se basa, la naturaleza del material y los procesos de fabricación.

Para poder realizar esta interpretación de forma eficaz, es decisiva la cualificación con la que cuentan los profesionales responsables de esta actividad. En síntesis, los resultados obtenidos por las diferentes técnicas de aplicación de los diversos métodos de ensayos no destructivos dependen de los conocimientos y destrezas del operador, a veces de forma determinante.

Ante la carencia de enseñanzas regladas que los aborden con suficiente extensión, y dada la necesidad de asegurar las capacidades técnicas de estos profesionales, se han generado distintas normas de certificación de personal, que establecen los criterios de cualificación y certificación de las personas que realizan los END.

Filosofía de la certificación

La certificación del personal de cualquier actividad pretende por medio de un documento, EL CERTIFICADO, poner de manifiesto que la persona que lo posee goza de unos conocimientos y capacidades que lo habilitan para realizar los trabajos pertinentes.

No hay que llamarse a engaño pues toda certificación es una verificación de mínimos, esto es, comprobar que el sujeto cumple con los requisitos mínimos contenidos en una norma y, además, realizar un examen

donde también se comprueban las destrezas para la realización de la actividad que avala el certificado.

En el caso que nos ocupa, para la obtención de la certificación hay que verificar que se posee:

- Una formación específica.
- Unos requisitos de agudeza visual y apreciación de color.
- Una experiencia práctica.
- Haber superado un examen sobre conocimientos teóricos (generales y específicos) y destrezas prácticas.

En conclusión, el certificado no es el objetivo, sino la consecuencia de un proceso de formación y experiencia que culmina con la superación de un examen, y todo ello queda documentado a través del certificado.

Para la obtención de la certificación, en general, todos los sistemas se basan en la superación de un examen y en el cumplimiento de unos requisitos previos, que se pueden agrupar en:

- **Formación específica.** Las normas de certificación requieren una formación específica mínima que dote al alumno de los conocimientos necesarios para la comprensión de los principios físicos, las técnicas operativas, los equipamientos y los materiales a emplear, la observación de las indicaciones resultantes y el registro e informe de las mismas. Asimismo, suelen indicar los programas de formación recomendados, tales como:
 - Comité Europeo de Normalización (CEN)
CEN/ISO TR 25107 *“Directrices para los programas de formación en ensayos no destructivos (END)”*.
 - Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA)
IAEA-TECDOC-628 Rev 2 *“Training Guidelines in Non-Destructive Testing Techniques”*.

- Asociación Americana de Ensayos no Destructivos (ASNT)
ANSI/ASNT CP 105 “ASNT Standard Topical Outlines for Qualification of Nondestructive Testing Personnel”.

También indican la duración mínima de los cursos de formación para todos los niveles, con la obligatoriedad de medir el grado de adquisición de los conocimientos, por parte del alumno, para verificar si se han cumplido los objetivos propuestos:

- **Experiencia práctica.** En los sistemas de certificación es común que, antes de su consecución, haya que demostrar experimentalmente aquello que se pretende sea certificado; por eso, en lo referente a la certificación de personal, y en la mayoría de las normas, incluso antes de la admisión a examen, se exige demostrar que se posee una experiencia mínima antes de la obtención del certificado.
- **Agudeza visual y apreciación de contraste de colores.** Al ser el ojo el instrumento por el que se obtiene la mayor parte de la información acerca de las indicaciones detectadas, todas las normas de certificación requieren que se verifiquen anualmente la visión cercana y la apreciación de contraste de colores.

Tanto los requisitos de experiencia como los de formación varían en función del método y el nivel para el que se pretenda obtener la certificación.

- **Examen de certificación.** Tres son los aspectos a medir en la certificación de personas que realizan ensayos no destructivos, que por supuesto deben estar adaptados al nivel de certificación:
 1. **Conocimientos generales** del método del cual se pretende obtener el certificado. Es decir, se trata de verificar los conocimientos sobre principios físicos, equipos y accesorios, técnicas de ensayo, productos a inspeccionar y discontinuidades asociadas, informe de resultados, clasificación y evaluación de discontinuidades, aspectos de calidad y seguridad y nuevos desarrollos.

El **examen general** incluirá un número mínimo de preguntas, por lo general tipo test, que dependen del método y el nivel, seleccionadas al azar de la colección de preguntas en vigor, en el momento del examen.

2. **Conocimientos específicos** sobre la aplicación del método a un sector, que puede ser industrial, o de producto. Entran en juego una serie de variables, tales como normas, códigos, tipos de piezas, discontinuidades buscadas, parte del proceso productivo en el que realiza el ensayo (fabricación o servicio), etc., y, por ello, se hace necesario acotarlas a lo hora de realizar el examen.

El **examen específico** incluirá un número mínimo de preguntas, que dependen del sector o sectores, seleccionadas al azar de la colección de preguntas en vigor, en el momento del examen. Los exámenes pueden incluir preguntas que precisen cálculos, y versar sobre códigos, normas y especificaciones.

3. **Conocimientos y habilidades prácticas** para la realización de un ensayo sobre el producto en cuestión o piezas representativas del sector.

Lo que se pretende valorar es la capacidad de un individuo para, a través de un ensayo, poner de manifiesto las discontinuidades que contiene un objeto con la aplicación de la técnica apropiada, y realizando un registro e informe de las discontinuidades halladas, también, en función del nivel de competencia pretendido, tendrá que demostrar su capacidad para, en función de criterios establecidos, emitir juicio de valor acerca de la aceptación o rechazo.

El examen práctico comprende la realización del ensayo y registro (y para candidatos a nivel 2 la interpretación) de las discontinuidades halladas en un número determinado de probetas, elaborando un informe del ensayo realizado donde se incluyan los resultados del mismo.

Los candidatos a nivel 2 deben redactar una instrucción técnica para nivel 1.

Las probetas utilizadas para formación no pueden usarse para el examen de certificación.

Para la obtención del nivel 3 el candidato debe pasar tres conjuntos de exámenes:

- **Práctico con probeta.** Todos los candidatos a certificación de nivel 3 deben haber aprobado el examen práctico de nivel 2 en el método y sector/es en que pretendan la certificación.

Si el candidato no tiene aprobado este examen deberá realizar un examen práctico de nivel 2, excepto el ejercicio de redacción de la instrucción técnica.

- **Básico.** Este examen es común a todos los métodos y habrá que realizarle, si no se es nivel 3 en otro método, o no se tiene aprobado el examen básico, en los cinco años anteriores.

Trata de evaluar, mediante preguntas tipo test, los conocimientos del futuro nivel 3 en tres aspectos:

- **Parte A:** Conocimientos de la ciencia de los materiales y la tecnología de los procesos de fabricación y las discontinuidades asociadas a los mismos.
- **Parte B:** Conocimiento del sistema de cualificación y certificación del organismo de certificación basado en la norma de certificación. Este examen puede ser con libro abierto.
- **Parte C:** Conocimiento general de, al menos, cuatro métodos, como son requeridos para el examen de nivel 2. El candidato seleccionará los cuatro métodos sobre los cuales versará el examen y entre ellos debe incluir, al menos, un método volumétrico (RT o UT).

- **Método Principal.** El examen del método principal sigue una estructura similar a los exámenes de nivel 1 y 2 dividiéndose en tres partes:
 - **Parte D:** Examen general de método principal sobre el cual se pretende la certificación, sobre los contenidos ya explicados adaptados al nivel de cualificación.
 - **Parte E:** Examen específico sobre la aplicación del método en el sector/es correspondiente incluyendo los códigos, normas y especificaciones aplicables. Se puede autorizar la consulta de bibliografía durante el examen en lo relacionado con códigos, normas y especificaciones.
 - **Parte F:** Examen práctico escrito. Este examen consiste en la redacción de un procedimiento sobre la aplicación del método al sector. Los códigos, normas o especificaciones aplicables deben estar a disposición del candidato.

2.1.1. Normas de certificación

Todas las normas de certificación marcan tres niveles de cualificación, asignando a cada uno de ellos una serie de competencias.

Nivel 1

La persona certificada como nivel 1 ha demostrado su capacidad para realizar ensayos no destructivos de acuerdo a instrucciones escritas y bajo la supervisión de una persona certificada como nivel 2 o nivel 3. Dentro del alcance de su competencia, definida en el certificado, el personal de nivel 1 puede estar autorizado por el empresario para realizar, de acuerdo a instrucciones escritas, las tareas siguientes:

- a) Ajustar el equipo.
- b) Efectuar los ensayos.

- c) Registrar y clasificar los resultados de los ensayos de acuerdo a criterios establecidos por escrito.
- d) Informar sobre los resultados.

No será responsable de la elección del método o técnica de ensayo a utilizar, ni de la evaluación de los resultados de los mismos.

Nivel 2

El personal certificado como nivel 2 ha demostrado su capacidad para realizar ensayos no destructivos de acuerdo a procedimientos de END establecidos. Dentro del alcance de su competencia, definida en el certificado, puede estar autorizado por el empresario para:

- a) Seleccionar la técnica de END para el método de ensayo que se debe utilizar.
- b) Definir las limitaciones de la aplicación del método de ensayo.
- c) Transcribir las normas y especificaciones en forma de instrucciones prácticas de ensayo adaptadas a las condiciones reales de trabajo.
- d) Ajustar el equipo y verificar los ajustes.
- e) Realizar y supervisar los ensayos.
- f) Interpretar y evaluar los resultados de acuerdo con las normas, códigos, procedimientos o especificaciones aplicables.
- g) Realizar y supervisar todas las obligaciones del nivel inferior o igual al nivel 2.
- h) Proporcionar asistencia al personal de nivel inferior al nivel 2.
- i) Informar de los ensayos no destructivos.

Nivel 3

Una persona certificada como nivel 3 ha demostrado su capacidad para realizar y dirigir toda operación de ensayos no destructivos para la que está certificado. El personal certificado como nivel 3 ha demostrado:

- a) Su competencia en la evaluación e interpretación de los resultados en los términos de las normas, códigos y especificaciones existentes.
- b) Suficiente conocimiento práctico acerca de los materiales, de la fabricación, del proceso y de la tecnología de los productos a fin de seleccionar los métodos de ensayos no destructivos, establecer las aplicaciones técnicas y colaborar en la definición de los criterios de aceptación cuando no exista ningún otro.
- c) Estar familiarizado, de forma general, con otros métodos de ensayos no destructivos.

Dentro del alcance de la competencia definida en el certificado, el personal de nivel 3 puede estar autorizado para:

- Asumir la responsabilidad total de una instalación de END o de un centro de examen y de su personal.
- Establecer, verificar (exactitud editorial y técnica) y validar instrucciones y procedimientos de END.
- Interpretar las normas, los códigos, las especificaciones y los procedimientos.
- Designar los métodos, procedimientos e instrucciones que convenga utilizar para ensayos no destructivos específicos.
- Ejecutar y supervisar todas las tareas de todos los niveles.
- Proporcionar asistencia al personal de END de todos los niveles.

Existen normas de certificación de distinta índole: nacionales, internacionales, sectoriales, etc., pero quizás la distinción más importante sea la responsabilidad de la emisión del certificado. Por tanto, cohabitan dos tendencias: una en la que es la empresa la responsable de la emisión del certificado (de segunda parte) y otra en la que la certificación es realizada por un organismo independiente (tercera parte).

Certificación de segunda parte

Es la empresa para la que trabaja la persona que realiza los ensayos, quien emite la certificación.

Para ello, debe tener un procedimiento escrito, basado en la norma de certificación que vaya a utilizar y debe estar redactado de acuerdo con el manual de calidad. Asimismo, se necesita la intervención de una persona certificada como nivel 3, bien sea personal de plantilla o subcontratado.

La principal ventaja de este sistema es que las empresas pueden asegurar que su personal está cualificado en tareas muy específicas.

Certificación de tercera parte

Se caracteriza esta certificación por estar administrada por un organismo independiente de certificación y, además, cuenta con las siguientes características que le confieren muchas ventajas:

- Cumple con una normativa internacional.
- Utiliza temarios de formación desarrollados por organizaciones supranacionales. Como ejemplo de ello está el informe técnico CEN/ISO TR 25107 *“Directrices para los programas de formación en ensayos no destructivos (END)”*.
- Los exámenes (teóricos y prácticos) son desarrollados bajo el control de organismos independientes de certificación.
- Los organismos independientes de certificación están generalmente relacionados con las asociaciones nacionales de ensayos no destructivos, que participan en agrupaciones internacionales tales como el *“International Committee for Non Destructive Testing (ICNDT) o la European Federation for Non Destructive Testing (EFNDT)”* la cual mantiene un acuerdo de reconocimiento mutuo.
- Los organismos de certificación deben tener procedimientos que definan los criterios de obtención, mantenimiento, ampliación, renovación o retirada de la certificación.
- Los organismos de certificación deben ser imparciales e independientes en relación con los candidatos y personas certificadas, incluidos sus empleadores y clientes. Su estructura debe proteger la imparcialidad, permitiendo la participación de todas las partes involucradas sin predominio de ningún interés particular.

- Quien toma la decisión sobre la certificación no debe haber participado en el examen, ni en la formación del candidato.
- Proporciona una base común armonizada, que sirve para certificaciones más específicas.
- Requiere la acreditación de los organismos independientes de certificación de acuerdo a los requisitos recogidos en la norma EN ISO/IEC 17024 *“Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para los organismos que realizan la certificación de personas”*.
- La acreditación la realizan entidades independientes de acreditación, muchas de las cuales están promovidas por los gobiernos de diferentes países y están dentro de grupos internacionales tales como el *“International Accreditation Forum (IAF)”* o el *“European Accreditation of Certification (EAC)”*, este último mantiene un acuerdo de reconocimiento mutuo.

2.1.2. Norma EN ISO 9712 Ensayos no destructivos. Cualificación y certificación del personal que realiza ensayos no destructivos

Durante bastantes años han estado conviviendo dos sistemas de certificación por tercera parte, ISO 9712 y EN 473. En 2009 los dos comités encargados de estas normas (ISO TC135 y CEN TC 138) decidieron trabajar juntos para producir una única norma. En estos trabajos han participado más de veinte países, y como resultado de los mismos, en junio de 2012 se ha publicado la norma EN ISO 9712 que anula y sustituye a sus predecesoras ISO 9712:2005 y EN 473:2008.

Esta norma establece que la administración de la certificación debe ser realizada por un organismo de certificación acreditado según la norma EN/ISO 17024 *“Evaluación de la conformidad. Requisitos generales para los organismos que realizan la certificación de personas”*.

Establece los métodos a los que es aplicable, e indica qué otros métodos y técnicas pueden ser certificables siguiendo las reglas descritas en