

# Introducción

## Evaluación no destructiva y Calidad de Estructuras

Guillermo Rus

Universidad de Granada

2023



ugr

Universidad  
de Granada

LABORATORIO  
EVALUACIÓN NO DESTRUCTIVA



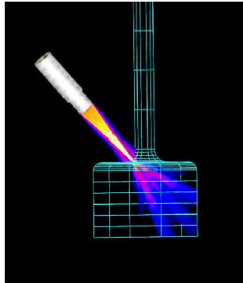
# Índice

## 1 Definición

- ## 2 Los seis más usados
- Áreas de aplicación
  - ED

# Definición de END

Uso de técnicas no invasivas para determinar cuantitativamente la integridad, propiedades o características de un material, componente o estructura



# Algunos métodos

Visual

Test por palpación

Microondas

Termografía

Partículas magnéticas

Rayos X

Microscopía acústica

Emisión acústica

Penetrante líquido

Mediciones magnéticas

Ultrasonidos

Corrientes de Inducción

Filtración de fluidos

Interferometría láser

## Algunos usos

- Detección y evaluación de defectos
- Detección de fugas
- Localización
- Medir dimensiones
- Caracterización de estructuras y microestructuras
- Estimación de propiedades mecánicas y físicas
- Mediciones de respuesta de deformaciones
- Clasificación de materiales y determinación de propiedades químicas



## ¿Cuándo se usan?

- Asistencia en desarrollo de productos
- Recepción de materiales
- Monitorización, mejora y control de procesos de manufactura
- Verificación de procesos como tratamientos térmicos
- Verificación de ensamblaje
- Inspección de daño en servicio

# Los seis más usados

- Inspección visual
- Ultrasonidos
- Radiografía
- Penetrante líquido
- Partículas magnéticas
- Corrientes de Inducción

# Inspección visual

Es el método más básico y común. Las herramientas abarcan desde fibroscopios, lentes a espejos.

Los equipos portátiles de vídeo con zoom permiten inspeccionar grandes contenedores, silos y tuberías.

Las cámaras robóticas permiten acceder a zonas peligrosas o estrechas: tuberías, conductos de aire o reactores nucleares.

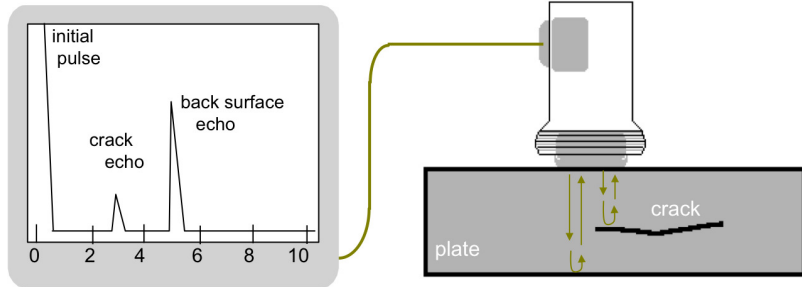




# Inspección ultrasónica (pulso-eco)

Se introducen ondas de sonido a alta frecuencia en el material, que se reflejan contra superficies o defectos.

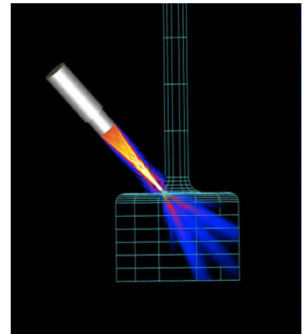
La energía de sonido reflejada se representa en función del tiempo, lo que permite visualizar una sección del espécimen, mostrando la profundidad de los reflectores.



Oscilloscope, or flaw detector screen

# Inspección ultrasónica

Se pueden obtener imágenes de alta resolución representando la intensidad de la señal o su tiempo de vuelo medido mediante un escáner controlado por ordenador.



# Inspección ultrasónica



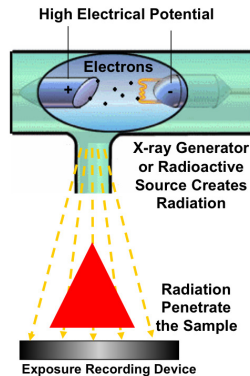
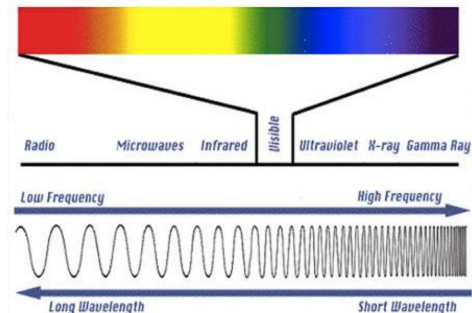
Imagen obtenida a partir del tiempo de vuelo de ultrasonidos contra la superficie frontal de una moneda.



Imagen obtenida a partir del tiempo de vuelo de ultrasonidos contra la superficie trasera de la moneda.

# Radiografía

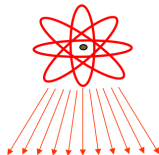
Los Rayos X son ondas electromagnéticas con más energía (menor longitud de onda, mayor frecuencia) que la luz visible. La fuente puede ser de un generador o de un foco radioactivo.



# Radiografía

La pieza se sitúa entre la fuente de radiación y una placa radiográfica. La pieza atenuará la radiación, en función de su espesor y densidad.

La oscuridad en la radiografía (densidad) dependerá de la cantidad de radiación no atenuada por la pieza.

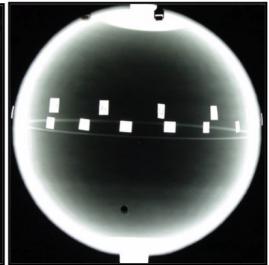
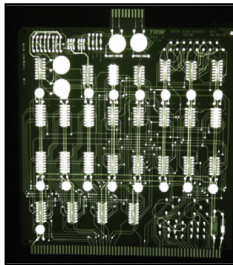
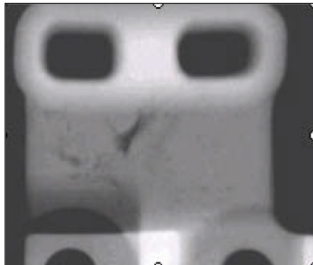
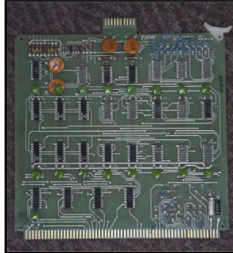


Vista superior de la radiografía

 = menor exposición

 = mayor exposición

# Radiografía



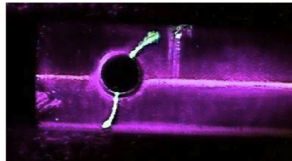
# Penetrante líquido

Se aplica un líquido muy mojante y se le deja tiempo para penetrar en la pieza.

Se retira el exceso.

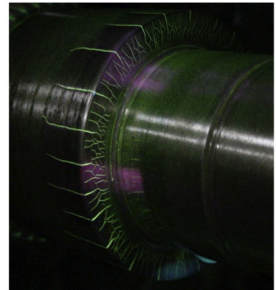
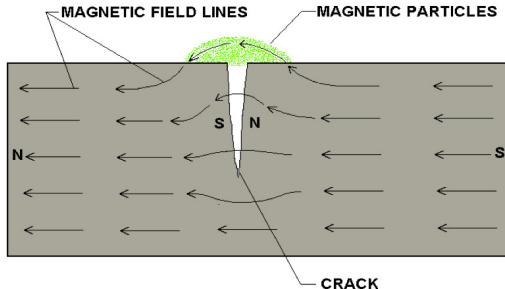
Se aplica polvo que extrae de las grietas y hace visible el líquido.

Se hace una inspección visual, y si el líquido contiene fluorescente, con rayos UV se aumenta la sensibilidad.



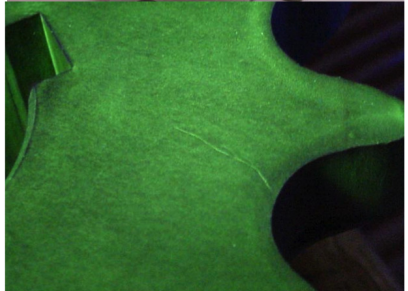
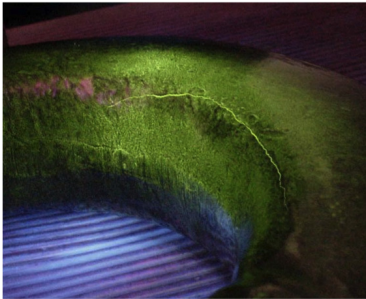
# Partículas magnéticas

La pieza se magnetiza. Se aplican partículas molidas de acero teñidas. Estas partículas son atraídas por filtración del campo magnético debido a defectos, y se agrupan a su alrededor. Estos agrupamientos se inspeccionan visualmente.

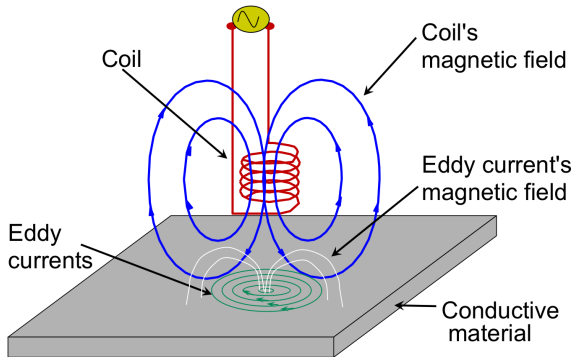




# Partículas magnéticas



# Corrientes de inducción



## Corrientes de inducción

El ensayo por corrientes de Inducción está especialmente indicado para grietas de superficie. También sirve para conductividad eléctrica y mediciones de recubrimientos.



# Comparativa - técnicas superficiales

PRUEBA	TIPO DE DEFECTO	SE PRESENTA EN:	VENTAJAS	LIMITACIONES
Líquidos penetrantes	Grietas, vados, porosidades y uniones entre piezas laminadas, picaduras superficiales	Soldadura, forja, maquinados superficiales, fundición, grietas en componentes sujetos a fatiga o esfuerzos debido a la corrosión	Bajo costo de aplicación, fácil de implementar, portátil, fácil de interpretar; tiene alta sensibilidad para discontinuidades abiertas y de poca profundidad	La falla debe estar abierta en la superficie; requiere inmersión del líquido penetrante; la profundidad es difícil de estimar; puede dar indicaciones falsas por irregularidades
Corrientes de Eddy	Grietas, vados, variación en la composición de las aleaciones o del tratamiento térmico, medición de espesores	Tuberías, variación en las aleaciones, para medir espesores en recubrimientos.	Portátil, lectura inmediata	Sensible a la geometría; baja penetración, superficial, difícil de interpretar; cambios de conductividad afectan las condiciones de lectura
Partículas magnéticas	Grietas, vado, defectos de laminación y unión entre piezas laminadas	Fundición ferromagnética, forja, extrusión, laminación, rolado	Requiere poca preparación, limpieza; es un método rápido y económico; revela discontinuidades que no afloran a la superficie; cuenta con amplio espectro de alternativas de aplicación	Se aplica sólo a materiales ferromagnéticos; detecta fallas próximas a la superficie; sólo detecta discontinuidades perpendiculares al campo magnético
Imagen infrarroja	Detección de pequeñas diferencias en temperatura que correlacionen con defectos del material o desempeño de los materiales	Detecta corrosión en la estructura de aeronaves	No requiere contacto superficial; detecta condiciones que afectan la transferencia o generación de calor en el material; capacidad para realizar inspecciones en tiempo real	Su equipamiento es costoso; los resultados son afectados por las condiciones ambientales y de la emisividad superficial

# Comparativa - técnicas superficiales

PRUEBA	TIPO DE DEFECTO	SE PRESENTA EN:	VENTAJAS	LIMITACIONES
Radar de penetración	Grietas, vacíos, localización de objetos en la parte interna (barras de refuerzo), perfiles transversales del material, laminaciones, medición de espesores	Concretos, pavimentos, materiales compuestos, y materiales estructurales	Cubre una gran área de inspección de manera muy rápida; opera a la velocidad del tráfico cuando inspecciona pavimentos y puentes; genera imágenes en 2D y 3D	Muy alto costo de operación del equipo y de operación; el procesamiento de la información es complejo; no detecta defectos o grietas muy pequeñas
Termometría del infrarrojo de banda dual	Localización de objetos en la parte interna (barras de refuerzo), defectos estructurales, grietas, laminaciones, vacíos	Concretos, pavimentos, estructuras de concreto reforzado	Cubre una gran área de inspección de manera muy rápida. Permite mediciones de los elementos internos de una estructura	Alto costo, baja sensibilidad para detectar grietas; variaciones en las propiedades del material afectan los resultados; genera imágenes en 2D de 3D
Emisiones acústicas	Grietas, velocidad de crecimiento de grietas, fatiga y corrosión	Metales, aceros estructurales, estructuras de concreto	Localiza puntos de falla con alta precisión; determina parámetros para estimar vida útil de los elementos	Costo relativamente elevado; análisis e interpretación de datos son complejos

# Comparativa - técnicas superficiales

Radiografía	Grietas, inclusiones, porosidad. Uniformidad del material	Fundición, forja, partes maquinadas, soldadura, componentes electrónicos, materiales compuestos	Detecta fallas internas; usada en un amplio rango de geometrías y tipos de material, se obtiene una impresión permanente; se obtiene información cualitativa y cuantitativa	Alto costo de operación; no puede detectar defectos muy pequeños ni grietas muy pequeñas; se obtienen impresiones en 2D de estructuras en 3D
Ultrasonido	Grietas, adherencia, porosidad, inclusiones, defectos de laminación, corrosión, medición de espesores	Soldadura, aleaciones, adherencia entre materiales, difusión en el pegado, materiales compuestos, tuberías y tanques a presión	Detecta defectos internos y los muestra en 3D; utilizado en diferentes tipos de geometría y materiales, se obtiene un registro permanente; obtiene información cualitativa y cuantitativa	Difícil de aplicar en geometrías complejas; generalmente requiere de agua u otro tipo de acoplante; algunas veces se dificulta la interpretación
Tomografía computarizada	Grietas, vacío, inclusiones, porosidad, uniformidad del material, integridad de ensamble, alineación de componentes	Fundición, forja, partes maquinadas, soldadura, componentes electrónicos, materiales compuestos	Detecta fallas internas; usado en un amplio rango de geometrías y tipos de material, se obtiene una impresión permanente; se obtiene información cualitativa y cuantitativa.	Alto costo de operación; no puede detectar defectos muy pequeños ni grietas muy pequeñas; largo tiempo de inspección

# Áreas de aplicación

## Ingeniería civil

- Localización de reflectores por ultrasonidos
- Propiedades elásticas por ultrasonidos, por galgas, por indentación

## Aeronáutica e industria

- Localización de reflectores por ultrasonidos
- Propiedades elásticas por ultrasonidos, por galgas, por indentación
- Monitorización por impacto, por galgas
- Propiedades físicas por radar, rayos X, termografía

## Medicina

- Diagnóstico Rayos X, CT, MR
- Densitometría ósea por R-X, por dispersión ultrasónica
- Oncología: Marcadores: Microburbujas

## Química:

- PSD (Particle Size Distribution) por láser, por ultrasonidos
- Viscosidad dinámica, por ondas lamb. Gelificación.

## Geofísica y sismología

- Propiedades elásticas por ondas sísmicas naturales, artificiales
- Propiedades físicas por radar, conductividad

## Construcciones históricas

## Monitorización de materiales (bio-, nano-)

# Ingeniería Civil

Puentes

Presas

Cimentación

Raíles

Cables

Centrales térmicas, nucleares

Conducciones

Silos

Depósitos a presión



# Puentes

En EEUU hay 578,000 puentes de autopista.

Les puede afectar la corrosión, fractura y otros daños.

Se realiza una inspección visual cada par de años.

Algunos puentes se equipan con emisión acústica, que ¿escuchan? la formación y crecimiento de grietas.



# Presas

Existen diversos niveles de extensión en la monitorización de grietas en presas de materiales sueltos y hormigón, para detección de grietas estructurales o permeabilidad.

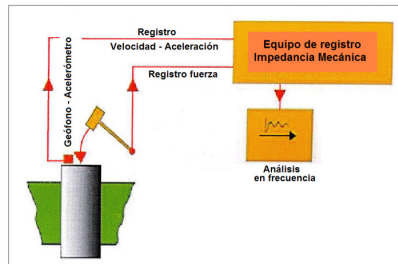
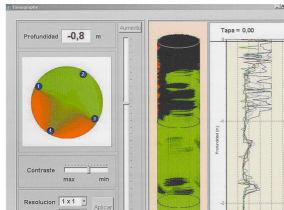
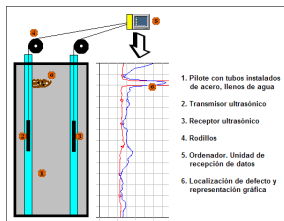
Las estrategias son muy amplias: conductividad eléctrica, galgas, radiografía, sismografía, emisión acústica, etc.

# Cimentación

Pilotaje: además de las pruebas de carga estáticas y dinámicas, existen ensayos de integridad:

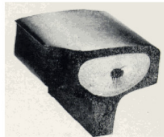
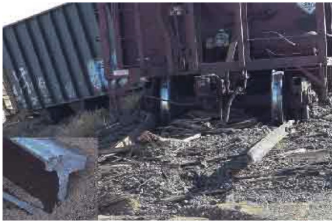
Transparencia sónica: Cross-hole.

Impedancia mecánica.



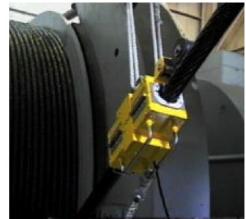
# Raíles

Se usan vagones especiales para inspeccionar miles de kilómetros de raíles.



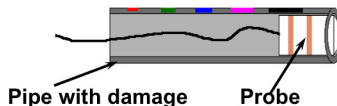
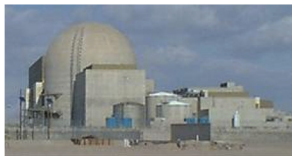
# Cables

Se utilizan dispositivos electromagnéticos y visuales para buscar hilos rotos y otros daños en cables de grúas, elevadores, etc.



# Cenrales térmicas

Las plantas se cierran periódicamente para inspección. Se aplican sensores de corrientes de inducción en el intercambiador de calor para comprobar daño por corrosión.



Signals produced  
by various  
amounts of  
corrosion  
thinning.

# Silos

Los robots usan ultrasonidos para inspeccionar las paredes de silos de superficie para encontrar signos de adelgazamiento por corrosión. También se usan brazos articulados con cámaras para depósitos enterrados.



## Depósitos a presión

El fallo de depósitos a presión puede resultar en liberación rápida de grandes cantidades de energía. Para prevenir este peligro se inspeccionan con ultrasonidos o radiografía.



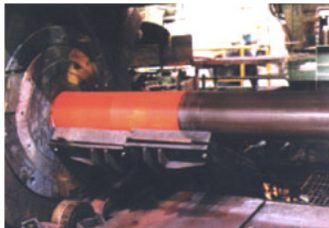


# Industria

Inspección de productos crudos  
Inspección de daño en servicio

# Productos en crudo

Forja,  
Fundido,  
Extrusión,  
etc.



# Inspección de daño en servicio

Fractura  
Corrosión  
Erosión  
Daño térmico  
etc.



# Aeronáutica

La END se usa de modo extensivo durante la manufactura del avión.

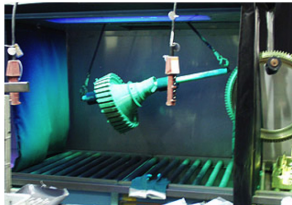
También se usa para buscar grietas y corrosión durante la vida útil. Se muestra debajo una fractura provocada por un rayo.



# Aeronáutica: inspección de turbinas

Las turbinas de aviones se supervisan tras un periodo de servicio. Se desmontan completamente, se limpian, inspeccionan y se vuelven a montar.

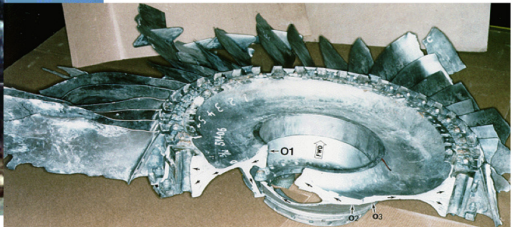
Se usa penetrante fluorescente para la inspección de muchas de las piezas.



# Aeronáutica: United Flight 232

Sioux City, Iowa, July 19, 1989

Un defecto no detectado en un disco del motor fue responsable de la caída del vuelo United Flight 232.



# Inspecciones especiales

Corrientes Inducidas para comprobar la uniformidad en una campana de bronce de valor histórico.



# Evaluación Destructiva

Suelos

Rocas

Áridos

Hormigón

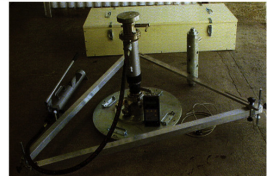
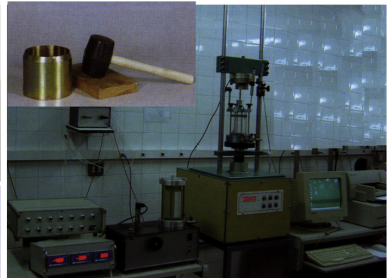
Metales

etc.



# Evaluación destructiva - Suelos

Edométrico  
(consolidación)  
Penetrómetro  
Próctor  
Permeámetro  
Placa de carga  
Rayos X  
Toma de muestras  
Triaxial



# Evaluación destructiva - Rocas

Corte directo

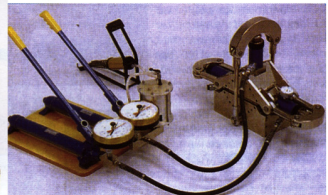
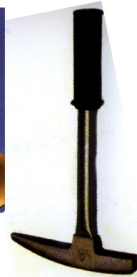
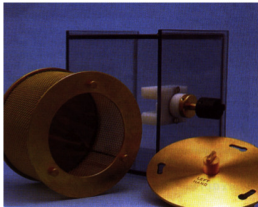
Durabilímetro

Franklin

Martillo clasificador

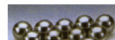
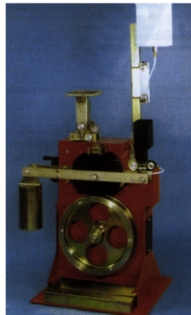
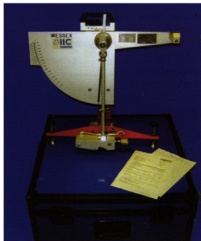
Martillo geológico

Microscopio  
petrográfico



# Evaluación destructiva - Áridos

Deslizamiento  
(consistencia)  
Azul de metileno  
Los Ángeles  
(friabilidad)  
Máquina de  
pulimento  
Tamizadora  
electromagnética  
Test de abrasión



# Evaluación destructiva - Hormigón

Cono de Abrams  
(consistencia)

Deflectómetro

Prensa de  
compresión

Ensayo de  
penetración

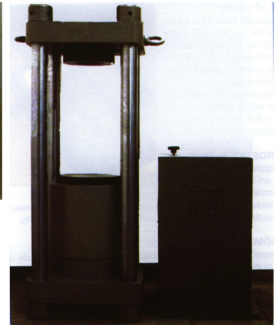
Esclerómetro

Schmidt

Extensómetro de  
cuerda vibrante

Sonda sacatestigos

Termohigrógrafo



# Selección de normas ISO

ISO 3059:2001 Penetrant testing and magnetic particle testing - Viewing conditions  
ISO 3452:1984 Penetrant inspection - General principles  
ISO 3453:1984 Liquid penetrant inspection - Means of verification  
ISO 5576:1997 Industrial X-ray and gamma-ray radiology - Vocabulary  
ISO 5577:2000 Ultrasonic inspection - Vocabulary  
ISO 9934-1:2001 Magnetic particle testing - Part 1: General principles  
ISO 12715:1999 Ultrasonic Reference blocks and test procedures for the characterization of contact search unit beam profiles  
ISO 12716:2001 Acoustic emission inspection - Vocabulary  
ISO 12710:2002 Ultrasonic inspection - Evaluating electronic characteristics of ultrasonic test instruments  
ISO 12721:2000 Thermal neutron radiographic testing - Determination of beam L/D ratio  
ISO 15708-1:2002 Radiation methods - Computed tomography - Part 1: Principles ISO/TS 18173:2005 General terms and definitions  
ISO 18175:2004 Evaluating performance characteristics of ultrasonic pulse-echo testing systems without the use of electronic measurement instruments  
ISO 20807:2004 Qualification of personnel for limited application of non-destructive testing

# Selección de normas UNE

UNE-EN 473:2001 CUALIFICACIÓN Y CERTIFICACIÓN DEL PERSONAL QUE REALIZA PRINCIPIOS GENERALES. UNE 7452:1986 INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS  
UNE-EN 571-1:1997 ENSAYO POR LÍQUIDOS PENETRANTES. PARTE 1: PRINCIPIOS GENERALES.

UNE-EN 1330-1:1999 TERMINOLOGÍA. PARTE 1: LISTA DE TÉRMINOS GENERALES.

UNE-EN 13018:2001 INSPECCIÓN VISUAL. PRINCIPIOS GENERALES.

UNE-ENV 583-6:2000 EXAMEN POR ULTRASONIDOS. PARTE 6: TÉCNICA POR DIFRACCIÓN DEL TIEMPO DE VUELO COMO MÉTODO PARA LA DETECCIÓN Y EL DIMENSIONAMIENTO DE DISCONTINUIDADES

UNE-EN 4179:2000 SERIE AEROSPAIAL. CUALIFICACIÓN Y APROBACIÓN DEL PERSONAL DE UNE 83308:1986 ENSAYOS SW HORMIGÓN. DETERMINACIÓN DE LA VELOCIDAD DE PROPAGACIÓN DE LOS IMPULSOS ULTRASÓNICOS

UNE-EN 583-1:1999 EXAMEN POR ULTRASONIDOS. PARTE 1: PRINCIPIOS GENERALES.

UNE-EN 583-2:2001 EXAMEN POR ULTRASONIDOS. PARTE 2: AJUSTE DE LA SENSIBILIDAD Y DE LA BASE DE TIEMPOS

UNE-EN 583-3:1997 EXAMEN POR ULTRASONIDOS. PARTE 3: TÉCNICA DE TRANSMISIÓN

UNE-EN 1330-4:2000 TERMINOLOGÍA. PARTE 4: TÉRMINOS UTILIZADOS EN ENSAYOS POR ULTRASONIDOS

UNE-EN 583-5:2001 EXAMEN POR ULTRASONIDOS. PARTE 5: CARACTERIZACIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE DISCONTINUIDADES.

UNE-EN 61206:1996 ULTRASONIDOS. SISTEMAS DOPPLER DE ONDA CONTINUA. PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

UNE-EN 13860-1 ENSAYOS POR CORRIENTES INDUCIDAS. CARACTERÍSTICAS Y VERIFICACION DEL EQUIPO. PARTE 1: CARACTERÍSTICAS Y VERIFICACION DE LOS APARATOS

UNE-EN 13927 ENSAYO VISUAL. EQUIPOS

UNE-EN 1435:2002 - 1ª MODIFICACIÓN EXAMEN NO DESTRUCTIVO DE SOLDADURAS. ENSAYO RADIOGRAFICO DE UNIONES SOLDADAS