

Ensayos No Destructivos END

Marcio Vacca; Mario Gonzáles | IEM - UdelaR



Sistemas y Niveles de Certificación

Principales esquemas de Certificación

ISO 9712

Norma ISO 9712 :

“Non-destructive testing – Qualification and Certification of NDT personnel”.

ASNT (Sociedad Americana De Ensayos No Destructivos)

Práctica recomendada SNT TC-1 A

“Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing”.

Los dos documentos tienen el mismo objetivo, establecer un sistema de calificación y certificación de la competencia de las personas que realizan los ensayos no destructivos.

Certificación

Procedimiento establecido por la entidad certificadora para confirmar que se cumplieron los requisitos de competencia de acuerdo con el método, nivel y sector.

Concluye con la expedición de un certificado.

Competencia:

- Capacidad física
- Conocimientos
- Capacitación
- Experiencia
- Habilidades

Beneficios de la certificación

- Contribuye al desarrollo personal y profesional del operario dándole la seguridad de poseer las habilidades adecuadas para llevar a cabo su trabajo.
- Permite acceder a mercados que exigen el cumplimiento de determinadas normas.
- Accesibilidad al mercado laboral.
- Actualización profesional continua.
- Comprueba los conocimientos, competencias, habilidades y experiencia de su personal.
- Da certeza de contar con personal competente y confiable.

ISO-9712

- La evaluación de la competencia y la emisión del certificado es realizada por una organización acreditada independiente.
- Los requisitos de la certificación, el contenido de los exámenes y su control están definidos en el cuerpo de la norma (ISO 9712).
- Los organismos de certificación son imparciales e independientes en relación con las personas certificadas.
- Cada país puede tener un organismo de certificación que emite y avala el certificado y participar en acuerdos internacionales de mutuo reconocimiento.

Ventajas

Este esquema ha permitido que las empresas y los inspectores tengan imparcialidad en la aplicación y evaluación de los resultados de los exámenes.

Confiabilidad en los certificados de competencia.

Una base de datos que es pública y abierta que se puede consultar por los individuos, las empresas usuarias y las empresas prestadoras de servicios.

SNT-TC-1A

- La evaluación de la competencia es realizada por la empresa u organización que emite una declaración escrita de conformidad (certificado).
- La empresa u organización establece las condiciones, el control y contenido de los exámenes de certificación.
- Los certificados son internos, los emite el contratante y los debe avalar el nivel III de cada empresa.
- La empresa debe tener un expediente por cada inspector certificado y mantenerlo actualizado.
- El certificado es interno para la empresa y se cancela al salir el inspector de la empresa.

Ventajas

Es flexible y la actividad se describe en un procedimiento interno, se adapta a los sistemas de gestión de una empresa.

La empresa establece los temas de la capacitación y los exámenes.

Se pueden emitir fácilmente los certificados de competencia.

INSTITUTO URUGUAYO
DE NORMAS TECNICAS

UNIT-ISO
9712:2012

VC 2014

Versión Corregida

(Adopción UNIT
Diciembre de 2014)

Edición
2014-12-15

Ensayos no destructivos - Calificación y certificación del personal para END

*(NM 9712:2012 VC 2014) Ensaaios não destrutivos - Qualificação e certificação
de pessoal em END*

(ISO 9712:2012, IDT)

Essais non destructifs — Qualification et certification du personnel END



6 Niveles de calificación

6.1 Nivel 1

6.1.1 Una persona certificada en el Nivel 1 ha demostrado su competencia para realizar END de acuerdo con las instrucciones escritas y bajo la supervisión de un operador de Nivel 2 o de Nivel 3. Dentro del alcance de la competencia definida en el certificado, el operador de Nivel 1 puede ser autorizado por el empleador para realizar las siguientes tareas, de acuerdo con las instrucciones de END:

- a) ajustar el equipamiento de END;
- b) realizar los ensayos;
- c) registrar y clasificar los resultados de los ensayos de acuerdo con los criterios escritos;
- d) informar los resultados.

6.1.2 El personal certificado en el Nivel 1 no es responsable de la selección del método o técnica a utilizar, ni de la interpretación de los resultados del ensayo.

6 Níveis de qualificação

6.1 Nivel 1

6.1.1 Uma pessoa certificada no Nível 1 deve demonstrar competência para realizar um END de acordo com as instruções escritas e sob a supervisão de um profissional de Nível 2 ou 3. Dentro do escopo de competência definido no certificado, o profissional de Nível 1 pode ser autorizado pelo empregador a realizar as seguintes tarefas, de acordo com as instruções do END:

- a) preparar o equipamento de END;
- b) realizar os ensaios;
- c) registrar e classificar os resultados dos ensaios de acordo com os critérios escritos;
- d) relatar os resultados.

6.1.2 O profissional certificado em Nível 1 não pode ser responsável pela escolha do método ou técnica do ensaio a ser usada, e nem pela interpretação dos resultados.

6.2 Nivel 2

Una persona certificada en el Nivel 2 ha demostrado competencia para realizar END de acuerdo con los procedimientos establecidos. Dentro del alcance de la competencia definida en el certificado, el operador de Nivel 2 puede ser autorizado por el empleador para:

- a) seleccionar la técnica de END para el método de ensayo a ser utilizado;
- b) definir las limitaciones de aplicación del método de ensayo;
- c) traducir los códigos, normas, especificaciones y procedimientos de END en instrucciones de END adaptadas a las condiciones reales de trabajo;
- d) preparar y verificar los ajustes del equipamiento;
- e) realizar y supervisar los ensayos;
- f) interpretar y evaluar los resultados de acuerdo con las normas, códigos, especificaciones o procedimientos aplicables;
- g) realizar y supervisar todas las tareas del Nivel 2 o menor;
- h) proveer orientación a los operadores de Nivel 2 o menor;
- i) informar los resultados de los END.

6.2 Nivel 2

Uma pessoa certificada no Nível 2 deve demonstrar competência para realizar um END de acordo com os procedimentos estabelecidos. Dentro do escopo de competência definido no certificado, o profissional de Nível 2 pode ser autorizado pelo empregador a:

- a) selecionar a técnica de END para o método de ensaio a ser usado;
- b) definir as limitações da aplicação do método de ensaio;
- c) traduzir códigos do END, normas, especificações e procedimentos em instruções de END adaptadas às condições reais de trabalho;
- d) preparar e verificar os ajustes dos equipamentos;
- e) realizar e supervisionar os ensaios;
- f) interpretar e avaliar os resultados de acordo com os códigos, normas, especificações ou procedimentos aplicáveis;
- g) realizar e supervisionar todas as tarefas de Nível 2 ou menor;
- h) prover orientação aos profissionais de Nível 2 ou menor;
- i) relatar os resultados dos END.

6.3 Nivel 3

6.3.1 Una persona certificada en el Nivel 3 ha demostrado competencia para realizar y conducir las operaciones de END para los cuales está certificado. Los operadores de Nivel 3 han demostrado:

- a) competencia para evaluar e interpretar resultados de acuerdo con las normas, códigos y especificaciones existentes;
- b) conocimientos prácticos suficientes de los materiales, tecnología de fabricación, de procesos y de productos aplicables para seleccionar los métodos de END, establecer las técnicas de END y asistir en el establecimiento de los criterios de aceptación, cuando no existieran otros criterios disponibles;
- c) un conocimiento general de otros métodos de END.

6.3.2 Dentro del alcance de la competencia definida en el certificado, el operador de Nivel 3 puede ser autorizado para:

- a) asumir la responsabilidad total por una instalación de ensayo o centro de examinación y su personal;
- b) establecer, evaluar exactitud editorial y técnica, y validar instrucciones y procedimientos de END;
- c) interpretar normas, códigos, especificaciones y procedimientos;
- d) indicar los métodos específicos para el ensayo, procedimientos e instrucciones de END a utilizar;
- e) realizar y supervisar todas las tareas de todos los niveles;
- f) proveer orientación a los operadores de END de todos los niveles.

6.3 Nivel 3

6.3.1 Uma pessoa certificada no Nível 3 deve demonstrar competência para realizar e conduzir as operações de END para as quais está certificado. Os profissionais de Nível 3 devem demonstrar:

- a) competência para avaliar e interpretar os resultados referentes aos códigos, normas, especificações e procedimentos existentes;
- b) conhecimento prático suficiente dos materiais aplicáveis, tecnologia de fabricação, processo e produto aplicáveis para escolher os métodos de END, estabelecer técnicas de END e auxiliar assistência no estabelecimento de critérios de aceitação quando não existirem outros critérios disponíveis;
- c) familiaridade geral com outros métodos de END.

6.3.2 Dentro do escopo de competência definido no certificado, um profissional certificado para Nível 3 pode ser autorizado a:

- a) assumir inteira responsabilidade por uma instalação de ensaio ou centro de exame e seu pessoal;
- b) estabelecer, avaliar e validar instruções e procedimentos de END quanto ao conteúdo para verificar sua exatidão editorial e técnica;
- c) interpretar códigos, normas, especificações e procedimentos;
- d) designar os métodos específicos para o ensaio, procedimentos e instruções de END a serem utilizados;
- e) realizar e supervisionar todas as tarefas de todos os níveis;
- f) orientar os profissionais de END de todos os níveis.



4 Métodos y abreviaturas

Para los fines de esta Norma, las abreviaturas listadas en la Tabla 1 se utilizan para identificar los métodos de END.

4 Métodos e abreviações

Para os propósitos desta Norma, os termos abreviados listados na Tabela 1 são usados para identificar os métodos de END.

**Tabla 1 - / Tabela 1 –
Métodos y abreviaturas / Métodos e abreviações**

| Método de END | Abreviatura / Termos abreviados |
|---|------------------------------------|
| Ensayo por emisión acústica / <i>Ensaio de emissão acústica</i> | EA |
| Ensayo por corrientes inducidas / <i>Ensaio por correntes parasitas</i> | CI / CP |
| Ensayo por termografía infrarroja / <i>Ensaio termográfico infravermelho</i> | TI |
| Ensayo de fugas / <i>Ensaio de estanqueidade</i> | EF / ES |
| Ensayo por partículas magnetizables / <i>Ensaio por partículas magnéticas</i> | PM |
| Ensayo por líquidos penetrantes / <i>Ensaio por líquidos penetrantes</i> | LP |
| Ensayo de radiografía industrial / <i>Ensaio radiográfico</i> | RI / ER |
| Ensayo de tensiones / <i>Ensaio de extensometria</i> | ET / ST |
| Ensayo por ultrasonidos / <i>Ensaio por ultrassom</i> | US |
| Ensayo visual / <i>Ensaio visual</i> | EV |

Tabla 2 - / Tabela 2 –
Requisitos mínimos de entrenamiento / Requisitos mínimos de treinamento

| Método de END | | Nivel 1 / Nivel 1 | Nivel 2 / Nivel 2 | Nivel 3 / Nivel 3 |
|--|--|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | h | h | h |
| EA | | 40 | 64 | 48 |
| CI / CP | | 40 | 48 | 48 |
| EF / | B - Método de presión / Método de pressão | 24 | 32 | 32 |
| ES | C - Método de gas trazador / Método de gás traçador | 24 | 40 | 40 |
| PM | | 16 | 24 | 32 |
| LP | | 16 | 24 | 24 |
| ET / ST | | 16 | 24 | 20 |
| TI | | 40 | 80 | 40 |
| RI / ER | | 40 | 80 | 40 |
| US | | 40 | 80 | 40 |
| EV | | 16 | 24 | 24 |
| NOTA Para RI, las horas de entrenamiento no incluyen el entrenamiento de seguridad en radiación. / Para ER, as horas de treinamento não incluem treinamento de segurança em radiação. | | | | |



Tabla 3 - / Tabela 3 –
Experiencia industrial mínima / Experiência industrial mínima

| Método de END | Experiencia en meses ^a / Experiência meses ^a | | |
|---------------------------------------|---|-----------------|-----------------|
| | Nivel / Nivel 1 | Nivel / Nivel 2 | Nivel / Nivel 3 |
| EA, TI / CP, EF / ES, RI / ER, US, TI | 3 | 9 | 18 |
| PM, LP, ET / ST, EV | 1 | 3 | 12 |

^a La experiencia de trabajo está basada en una semana nominal de 40 h o una semana legal de trabajo. Cuando una persona trabaja excediendo las 40 h/semana se le puede acreditar la experiencia basada en el total de horas, pero se le debe requerir la evidencia documental de esa experiencia. / A experiência de trabalho é baseada em uma semana nominal de 40 horas ou semana legal de trabalho. Quando o profissional trabalha mais do que 40 horas por semana, ele pode ter a experiência creditada com base no total de horas, mas deve ser requerida a evidência dessa experiência.



Conceptos generales

- Discontinuidad (indicación) **es distinto** a Defecto.
- Tipo y localización de discontinuidades:
 - Tipo
 - Planares
 - Volumétricas
 - Localización
 - Superficiales
 - Subsuperficiales
 - Internas
- Método END: disciplina que aplica un principio físico en END (Ej: ultrasonidos).
- Técnica END: forma específica de utilizar el método END (Ej: ultrasonidos por inmersión).
- Instrucción escrita: descripción escrita de los pasos precisos a seguir en el ensayo, basados en una norma, código o procedimiento END.
- Procedimiento END: descripción escrita de todos los parámetros esenciales y precauciones a ser aplicadas en el END de acuerdo a normas, códigos o especificaciones.

Inspección Visual - VT

Consiste en la observación detallada de un cuerpo en condiciones específicas.

Efectuada a ojo desnudo o con ayuda de elementos auxiliares que mejoran la capacidad de percepción del sentido de la vista o permitan acceder al lugar de interés.

Técnicas:

- Ensayo visual directo.
- Ensayo visual remoto.
- Ensayo visual traslucido.

Ensayo visual directo:

Se debe realizar cuando el acceso es suficiente para observar la superficie a una distancia máxima de 600 milímetros y un ángulo igual o mayor a 30 grados respecto a la superficie ensayada.

Para mejorar el ángulo de visión se pueden utilizar espejos y para mejorar el poder de resolución de pueden utilizar lentes de aumento.

El ensayo se debe realizar con una iluminación de 1076 lux como mínimo sobre la superficie.



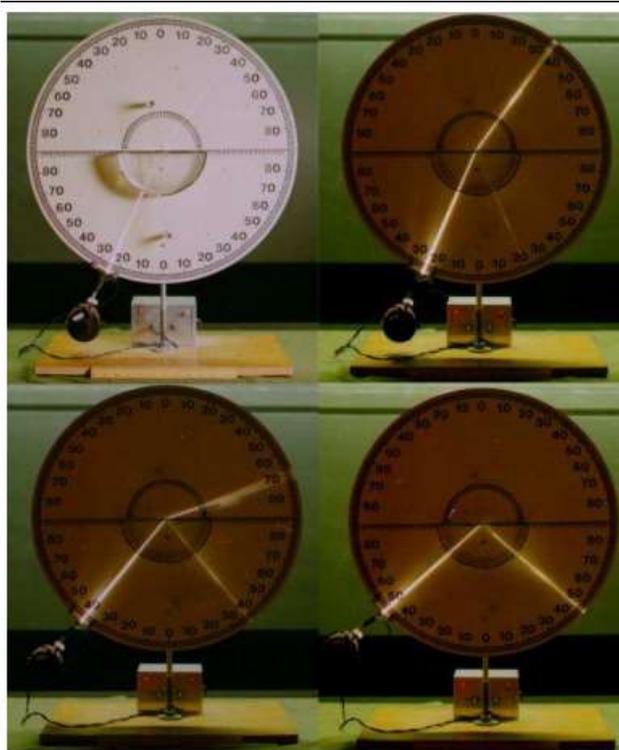
Ensayo visual remoto:

En estos casos se pueden utilizar instrumentos auxiliares como espejos, boroscopios y cámaras.



Ensayo visual Translucido:

Es un complemento del ensayo visual directo, aplicable a la verificación de condiciones subsuperficiales de materiales compuestos (laminados translucidos).



Alcances del método:

- Superficies expuestas.
- Superficies accesibles en forma indirecta.
- Examen interno de cuerpos traslucidos.

Permite determinar:

- Cantidad, forma, tamaño y distribución de discontinuidades.
- Terminación y condición superficial.
- Depósitos de material.
- Características funcionales.
- Alineación de componentes.
- Condición de revestimientos.
- Análisis dimensional.

Espejos:

- Se utilizan para mejorar el ángulo de observación.
- Permiten hacer observaciones en lugares inaccesibles.
- La distancia de observación corresponde a la suma de los caminos ópticos.

Lupas:

- Se utilizan para aumentar la agudeza visual.
- Los aumentos alcanzan hasta el 10X.

Boroscopios:

- Permiten la observación en lugares inaccesibles.
- Transmiten imágenes
- Posibilitan diferentes aumentos.

Tipos de boroscopios:

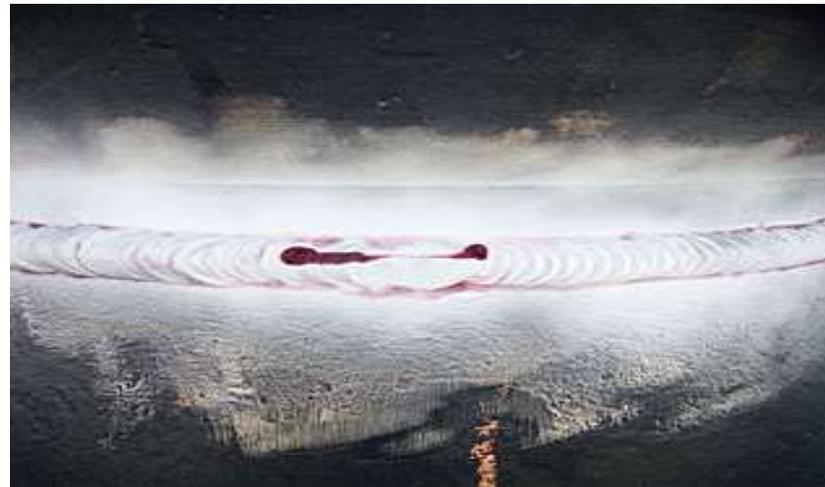
- Rígidos
- Flexibles

Líquidos Penetrantes - PT

Es un método que se aplica para la detección de discontinuidades superficiales (abiertas a la superficie). Ej: grietas, poros, etc.

Es aplicable a todo tipo de materiales metálicos y no metálicos, se recomienda que la superficie sea libre de escamas, porosidad y otras imperfecciones que dificulten el ensayo.

El ensayo es casi independiente de la forma de la pieza a ensayar y se puede realizar con un equipamiento mínimo.



Las propiedades físicas que se tienen en cuenta son las siguientes:

- Viscosidad: es la resistencia que tiene el líquido a fluir, se busca que tengan una viscosidad intermedia.
- Tensión superficial: debe tener una tensión lo más baja posible así su capacidad de penetración aumenta.
- Mojabilidad o Angulo de contacto: es el ángulo de contacto que forma la gota con la superficie, cuanto menor sea el ángulo mayor será el poder humectante.
- Volatilidad: debe ser baja para evitar una perdida en la sensibilidad del ensayo.
- Actividad Química: los productos tienen que ser compatibles con los materiales a ensayar para evitar reacciones entre ellos y un posible deterioro.

Etapas del ensayo

Preparación de la superficie:

Se aplica a todas las superficies de manera de eliminar pinturas, óxidos, grasas, polvos, Etc. Se puede realizar de forma mecánica con arenados, cepillados o de forma química. Tener presente que no se puede modificar o tapar la discontinuidad .

Limpieza previa:

Después de la preparación de la superficie se tiene que realizar una limpieza mas fina con:

- Detergentes
- Solventes
- Vapor desengrasante
- Equipos Ultrasónicos
- Productos Alcalinos

Secado:

Puede ser con aire forzado y/o caliente (71°C).

Aplicación del penetrante:

Se debe cubrir toda la superficie a ensayar, se puede aplicar por :

- Inmersión
- Pintado
- Aerosol

El tiempo de penetración varía entre 10 a 60 minutos, va a depender del material , del líquido y de las condiciones en las cuales se realice el ensayo.

La temperatura de la pieza a ensayar debe estar dentro de los límites establecidos en el procedimiento.

Remoción del exceso de líquido penetrante:

Consiste en sacar el penetrante de la superficie, pero sin afectar el que entro en las discontinuidades.

La forma de remoción está relacionada con las características del penetrante, pero generalmente son:

- Trapos y papeles secos.
- Trapos y papeles humedecidos en agua o solvente.
- Agua pulverizada.
- Emulsificador con posterior lavado con agua.



Secado:

Es un paso opcional del método, depende del líquido penetrante, de su limpieza y de que revelador va a ser utilizado.

Generalmente para el secado se utiliza aire caliente a baja temperatura.

Aplicación del revelador:

Este agente es el encargado de extraer el líquido penetrante de la discontinuidad y de realizar el contraste con la superficie si es necesario.

Se puede aplicar en forma seca, niebla, acuosa y no acuosa.

La capa del revelador debe ser fina y homogénea.

Para cada revelador se estima un tiempo máximo y mínimo de espera antes de la inspección.

.

Inspección y registro de datos:

Se puede realizar con luz blanca o ultravioleta depende del penetrante que se haya utilizado. Siempre se tienen que respetar los rangos de luminosidad del procedimiento.

Se trata de identificar todas las discontinuidades, registrándolas de forma fotográfica o guardando su ubicación.

Luego dichas indicaciones serán analizadas.

Limpieza final.

Los **materiales penetrantes** generalmente se identifican por su tipo de remoción y su coloración.

Hay tres tipos de remoción:

- con agua
- con solvente
- pos emulsificable

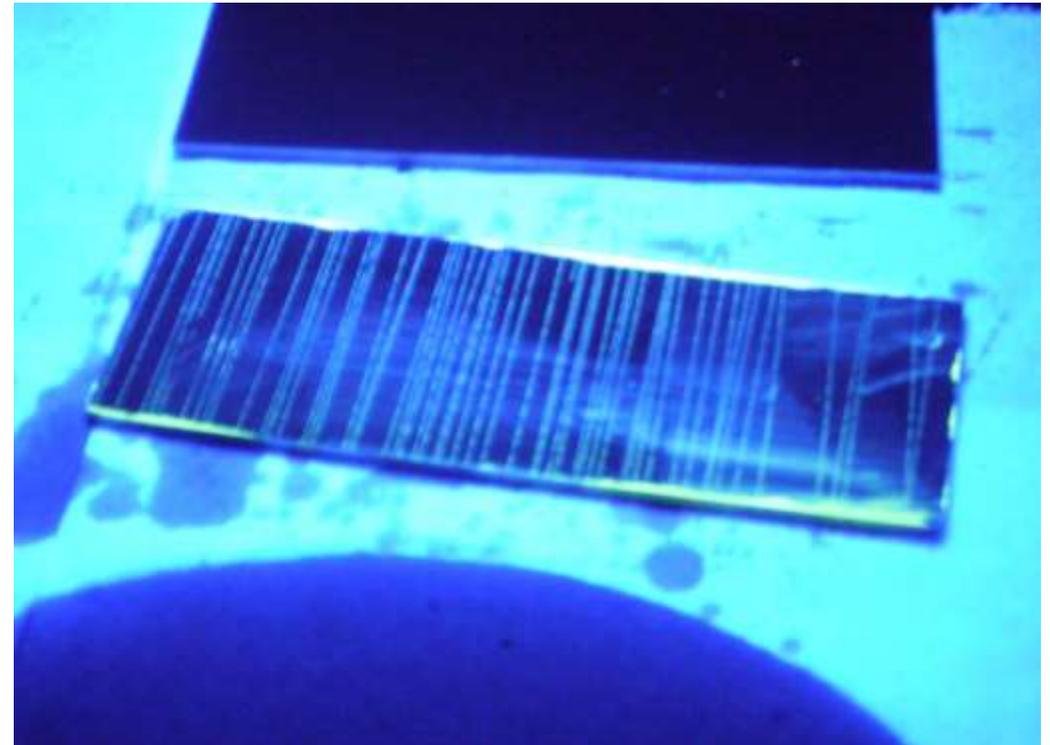
Hay dos tipos de coloración:

- visibles
- fluorescentes



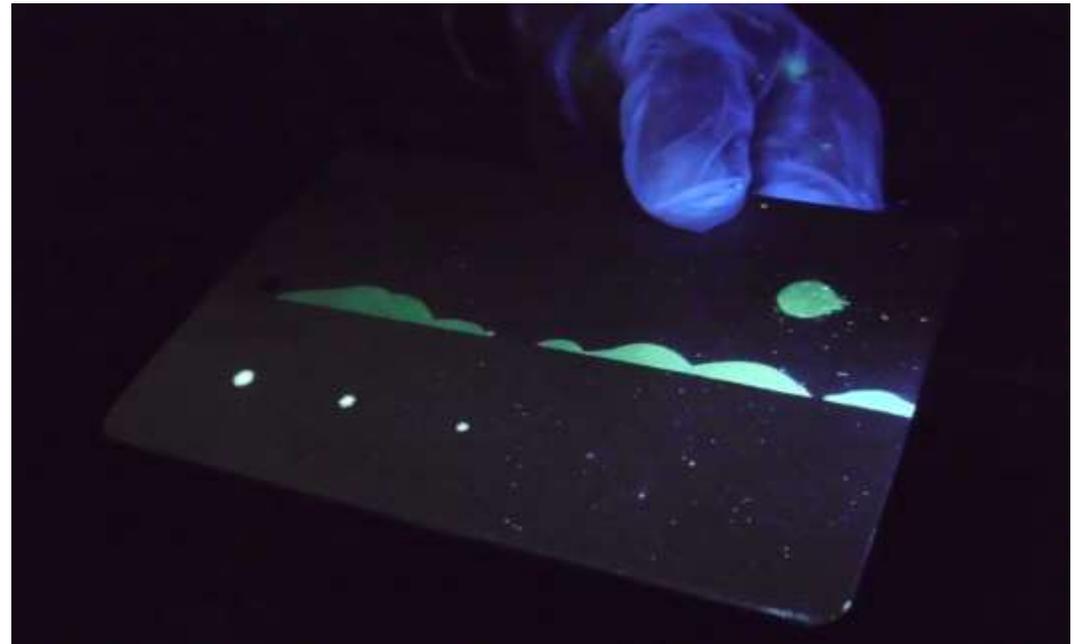
Bloques patrones para líquidos penetrantes:

Bloque JIS Tipo 1 (Cromo-Níquel) .

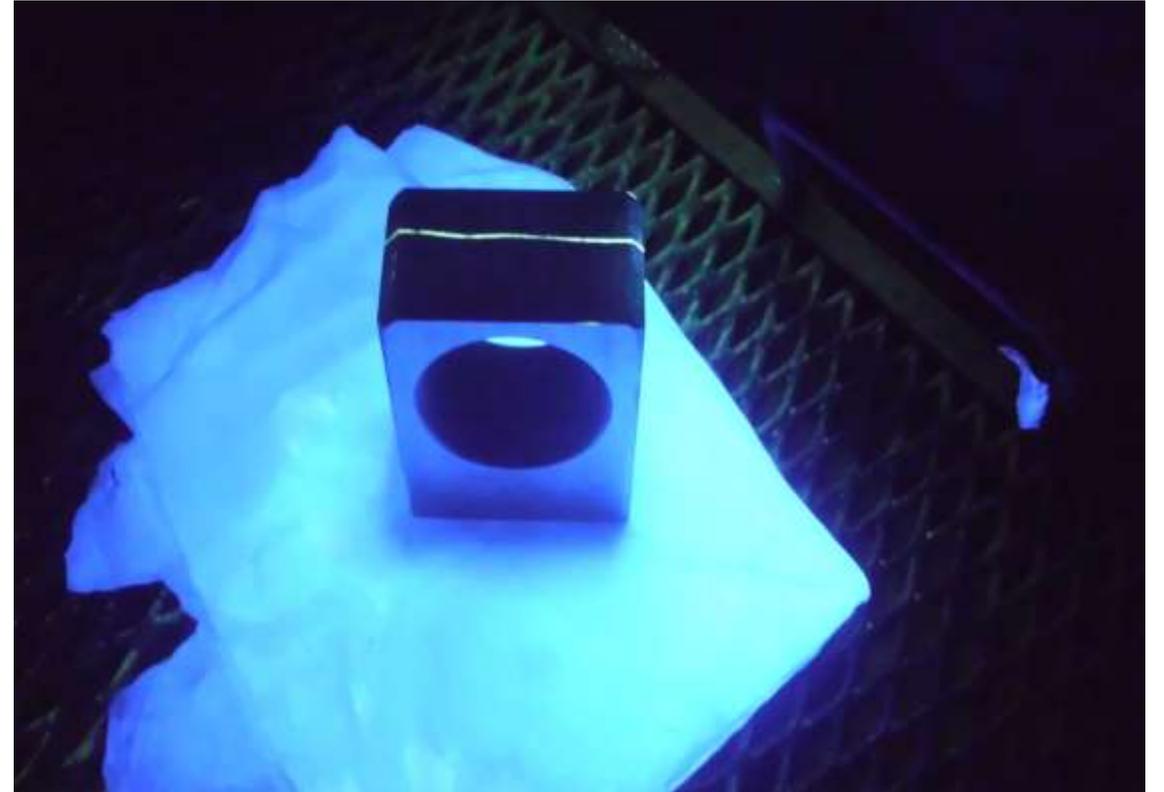
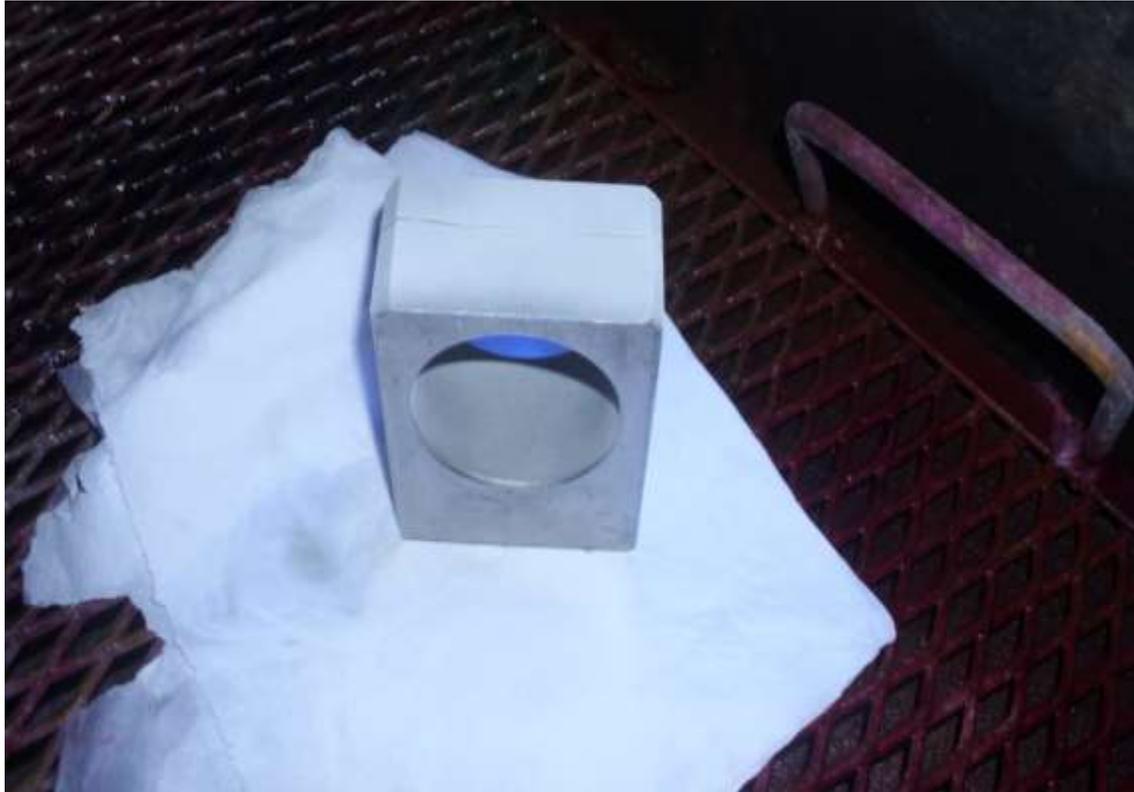




Patrón TAM o Panel PSM.









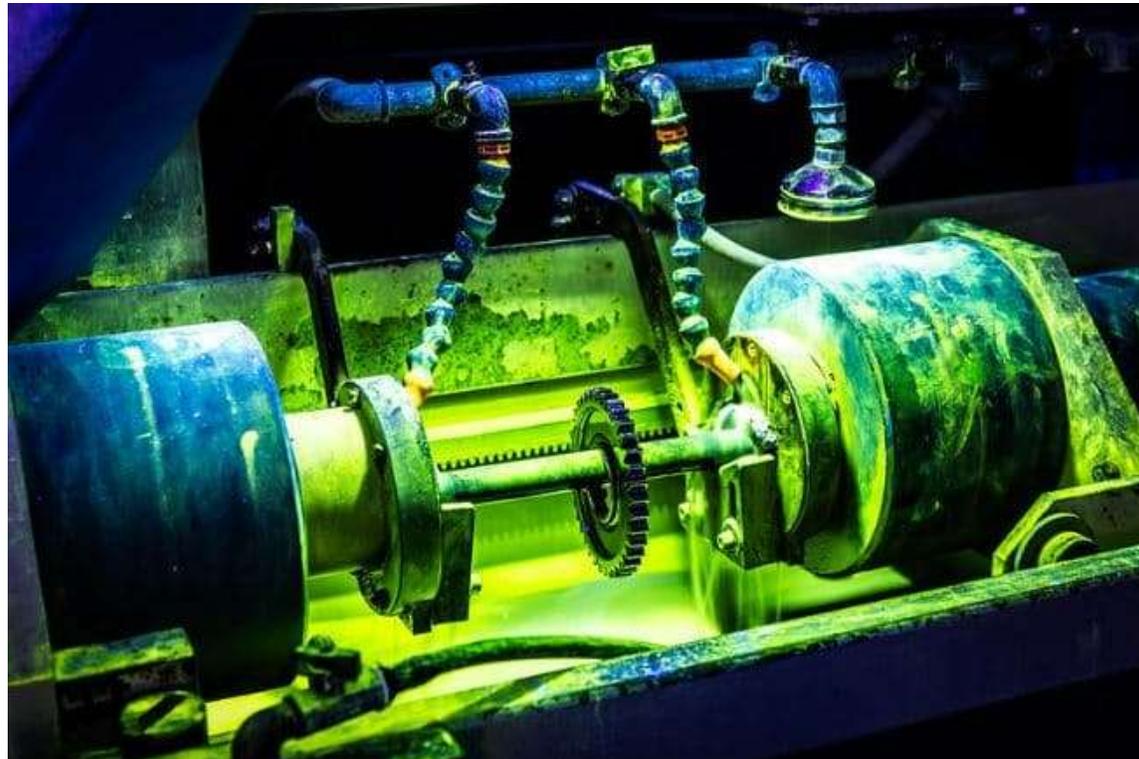


Instrumentos de medición:

- Luxómetro
- Medidor de intensidad UV
- Termómetro
- Cronometro

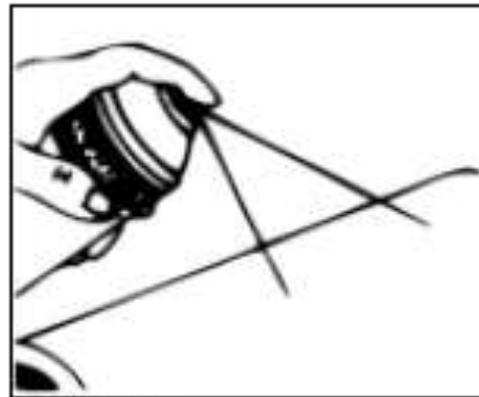
Partículas Magnetizables - MT

El ensayo de **Partículas Magnetizables** se aplica a materiales ferromagnéticos. Consiste en someter la pieza a un campo magnético, donde las discontinuidades del material van a provocar una distorsión en dicho campo, generando la indicación con las partículas magnéticas. Permite detectar discontinuidades superficiales y subsuperficiales.



Las etapas generales de este método son:

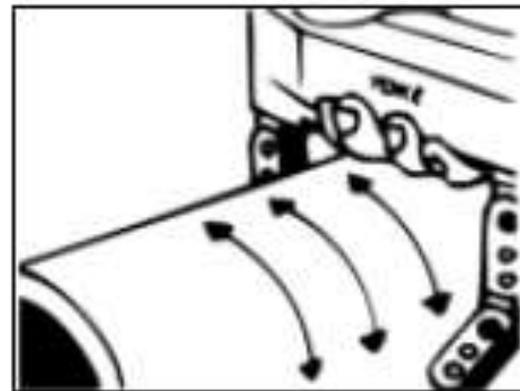
- Limpieza de la superficie.
- Magnetización de la pieza.
- Aplicación de partículas magnetizables.
- Observación y registro
- Desmagnetización



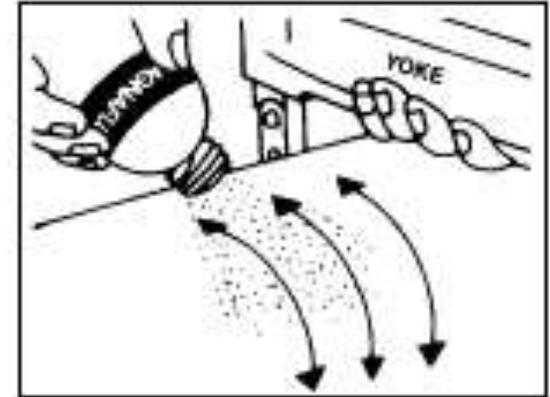
1. CLEANING



2. APPLY YOKE



3. ENERGIZE YOKE



4. APPLY MAGNETIC PARTICLES



5. INSPECT FOR DEFECTS

Campo Magnético generado por una corriente eléctrica:

Es el método más utilizado para la magnetización de piezas sometidas a este ensayo.

Hay dos formas básicas de utilizar la corriente para producir campos magnéticos:

- Paso de corriente a través de la pieza (magnetización circular).
- Introducir la pieza dentro de una bobina por la cual circula corriente (magnetización longitudinal).



Formas de magnetización:

Magnetización circular:

Se obtiene mediante la circulación de corriente por un conductor, el campo generado es circular y alrededor del mismo.



Magnetización longitudinal:

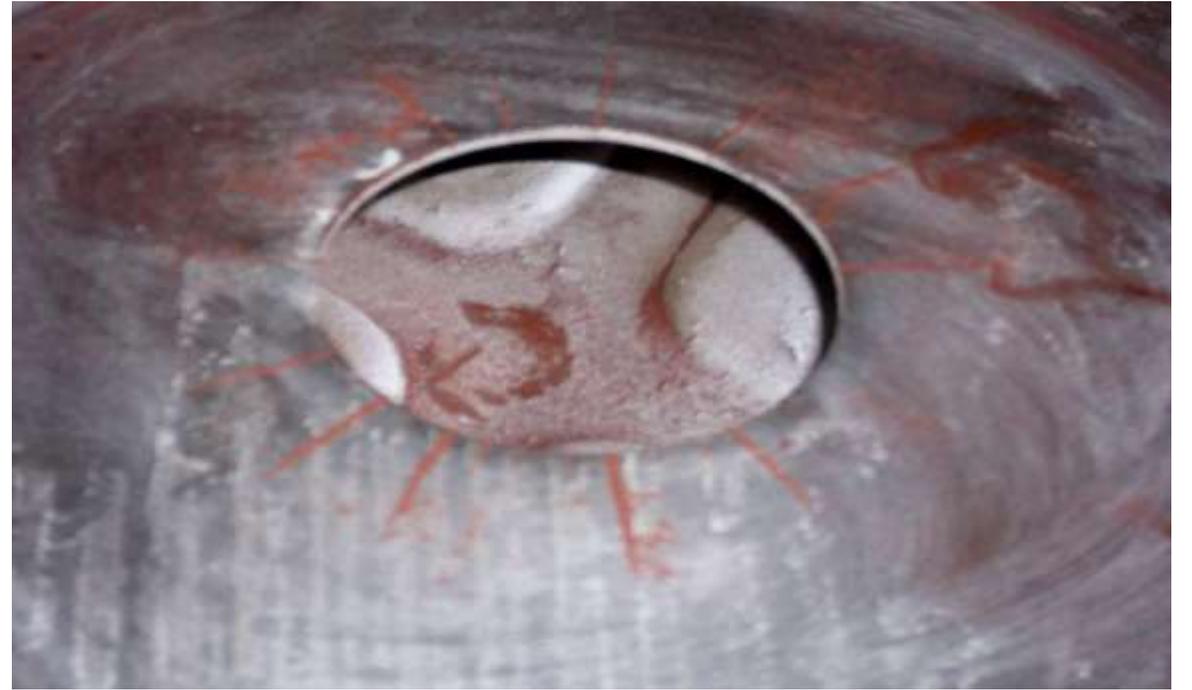
Ocurre cuando las líneas de campo atraviesan la pieza con una dirección paralela a su eje longitudinal. Normalmente este tipo de magnetización se obtiene mediante bobinas o solenoides.



Magnetización con yugo:

El yugo posee un núcleo de hierro en forma de herradura, tiene una bobina arrollada por la cual circula corriente. Dicha corriente genera un campo que pasa por la herradura y se cierra con la pieza a ensayar.





Control de fuerza portante:

Antes de usar el yugo en necesario poder levantar un bloque patrón de 4,5 Kg para C.A y 13,5 Kg para C.C.



Partículas Magnetizables:

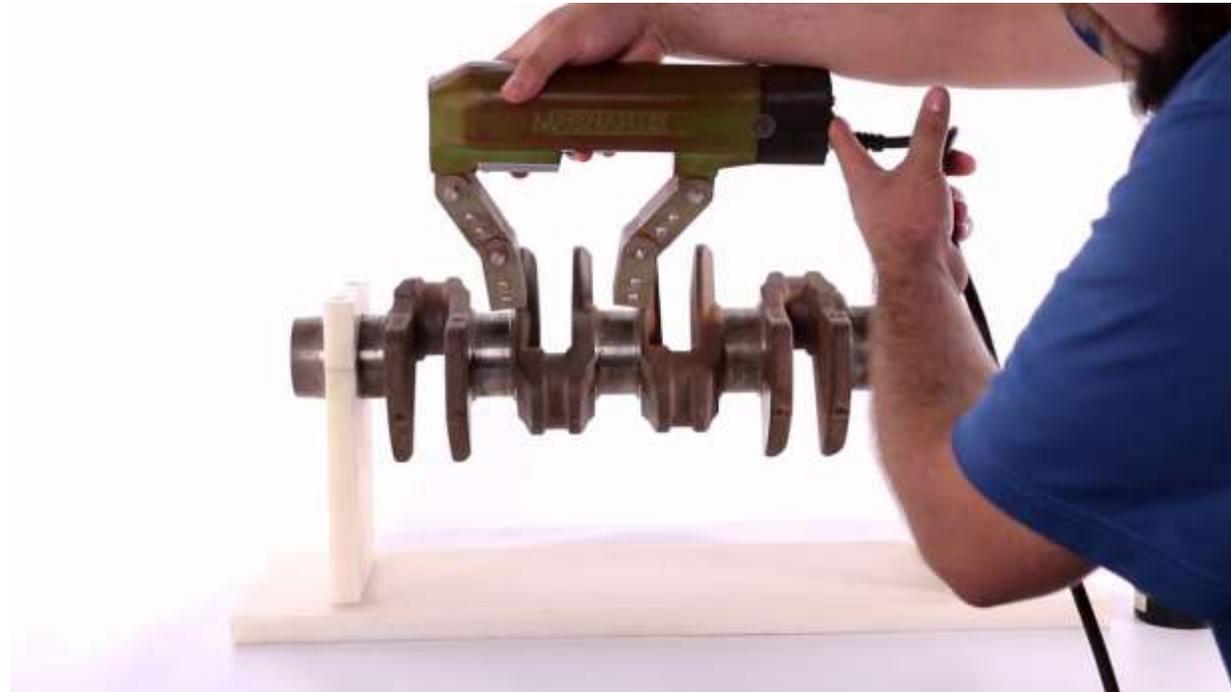
Vía Húmeda: son partículas de hierro que se colocan en suspensión en algún líquido, este puede ser queroseno o agua. Cuando se utiliza agua es necesario colocarle un acondicionador porque si no las partículas no quedan en suspensión.

Vía Seca: la movilidad de estas partículas está basada en el polvoreo y soplado de las mismas, también se puede ayudar mediante algún sistema de vibración.



Desmagnetización:

La desmagnetización de los materiales ferromagnéticos a menudo es un requisito previo para el acabado o la preparación de un elemento para su uso final.



Instrumentos:



Medidor de campo residual: instrumento para medir campo magnético.

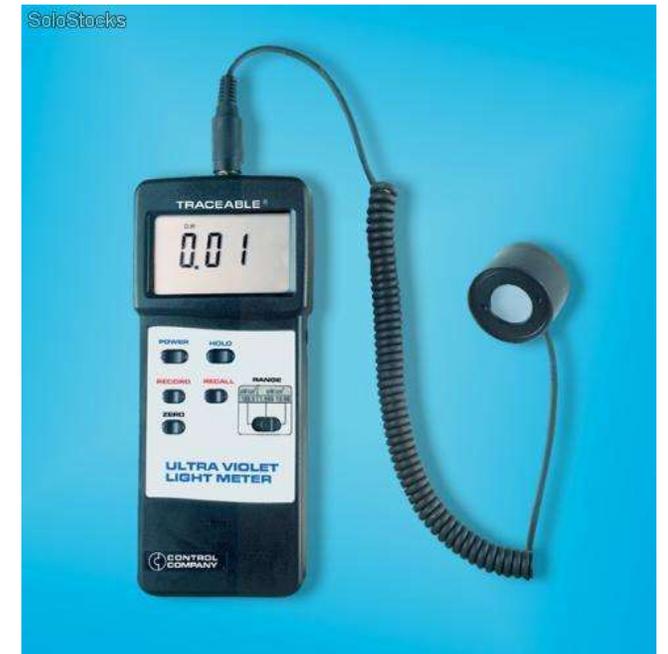


Tubo Centrifugo : para medir la concentración de las partículas en el baño.

Recipiente para polvorear partículas secas.



Medidor UV

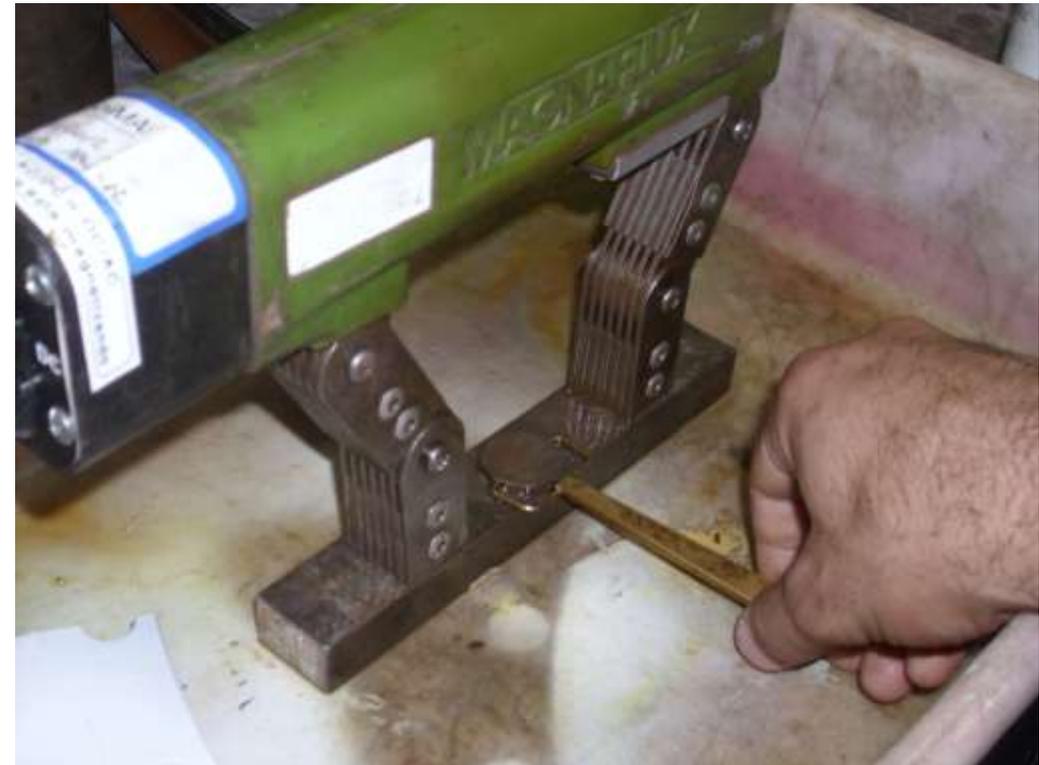
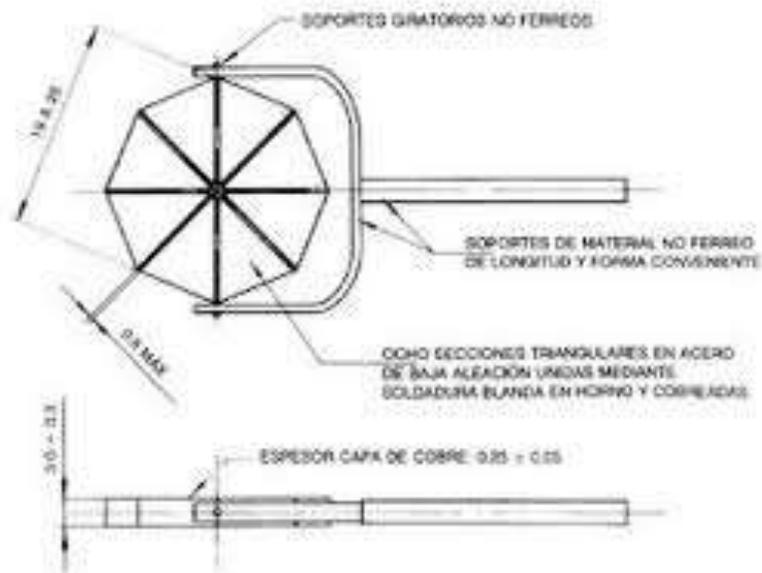


Luxómetro: para medir luz blanca.

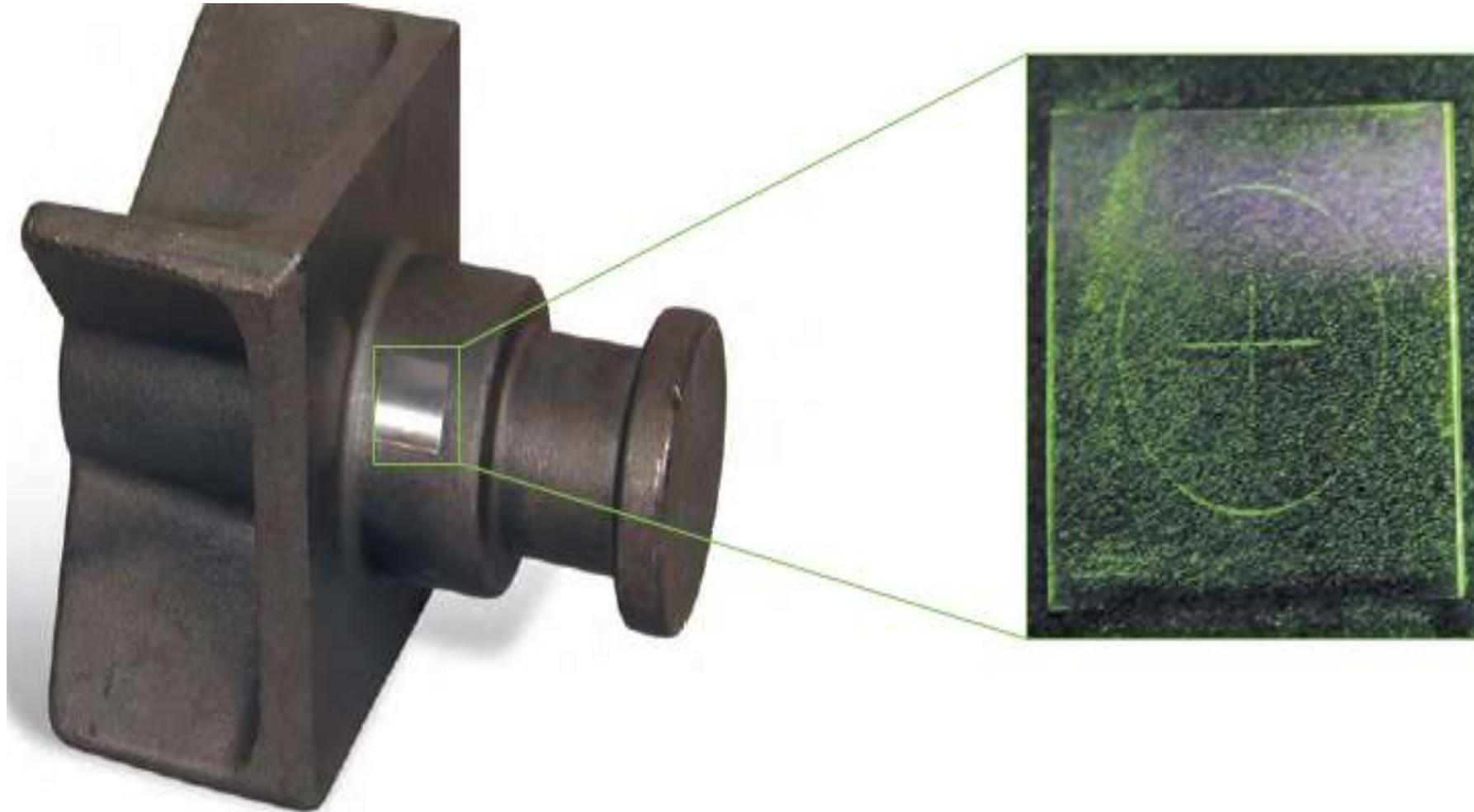


Lámpara UV.

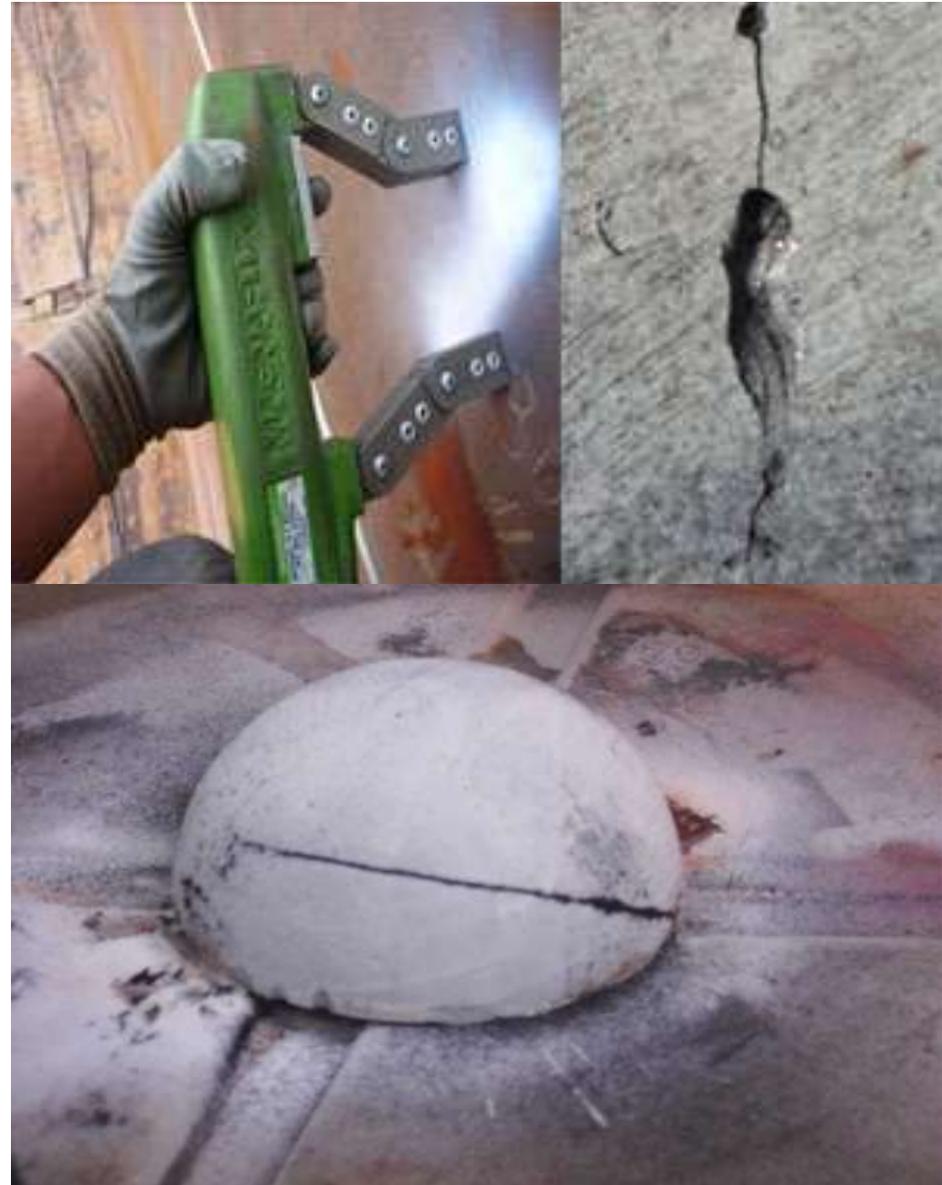
Indicador de campo magnético.
Tipo octogonal.



Lamina indicadora de campo.



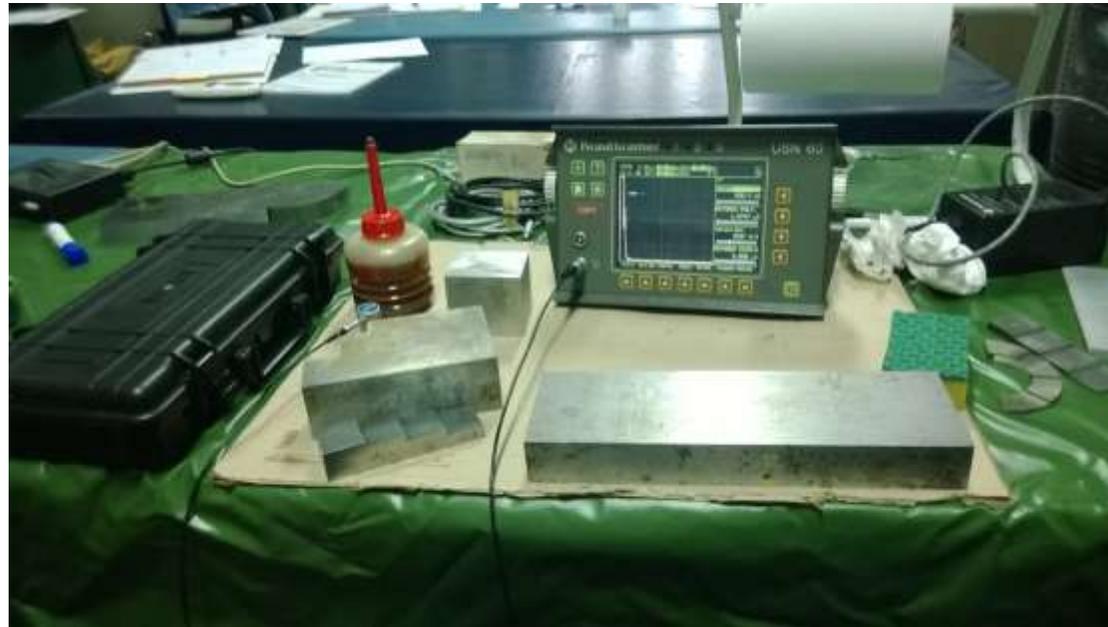
Contraste Blanco.



Ultrasonidos - US

De manera general podemos decir que las aplicaciones del método permiten buscar defectos en piezas, realizar mediciones y caracterizar materiales.

Defectología: se utilizan equipos que miden tiempo de recorrido e intensidad acústica. Se detectan defectos internos, subsuperficiales y superficiales.



Metrología: se pueden utilizar equipos que miden tiempo de recorrido e intensidad acústica o solamente equipos que miden tiempo.

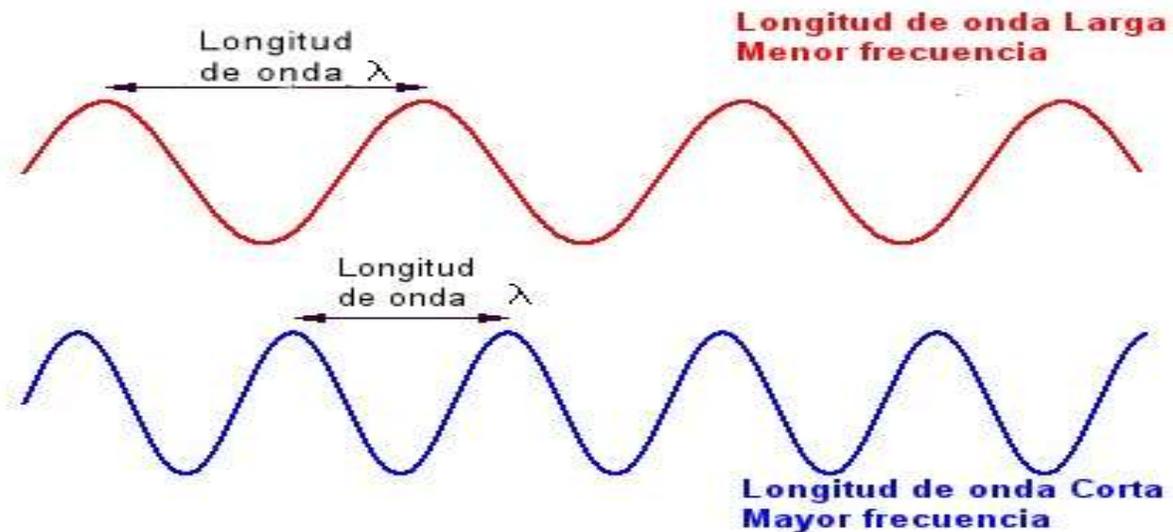
Mediciones de espesor, dureza, niveles de tanques, Etc.



Las ondas ultrasónicas poseen una frecuencia superior a los 20 KHz.

Dependiendo del material a ensayar se utilizarán diferentes frecuencias, por ejemplo:

- Hormigones 200 KHz o menos
- Polímeros 1 MHz
- Aceros, materiales cerámicos y aluminio 2 a 6 MHz
- Materiales no ferrosos y fundiciones 0.5 a 2 MHz



Tipos de ondas:

Para los ensayos por ultrasonido se pueden utilizar ondas longitudinales, transversales, superficiales y guiadas.

Las ondas longitudinales y transversales (ondas principales) se propagan por medios considerados ilimitados.

Las ondas guiadas se propagan por medios limitados.

Las ondas superficiales se propagan en medios semi-limitados.

Velocidad acústica:

Esta velocidad es una característica del material y en general se puede considerar constante para un material dado. (No para gases y líquidos)

Se cumple la siguiente relación:

$$C_L > C_T > C_S$$

En el caso del acero se tiene que:

$$C_T = 0,55 C_L$$

$$C_S = 0,92 C_T$$

Las velocidades se pueden calcular a partir de algunas constantes del material:

$$C_L = \sqrt{E(1-\mu)/\rho(1+\mu)(1-2\mu)}$$

E= módulo de la elasticidad (N/m²)

ρ = densidad (Kg/m³)

μ = constante de Poisson

ρ = densidad
 c_l = velocidad de las ondas longitudinales
 c_t = velocidad de las ondas transversales
 $Z = \rho \cdot c_l =$ impedancia acústica.

| Material | ρ (g/cm ³) | c_l (m/seg) | c_t (m/seg) | $Z = \rho \cdot c_l$ (g/cm ² . seg) |
|-----------------------------|--------------------------------|------------------|------------------|---|
| Aluminio | 2,7 | 6.300 | 3.080 | 169 . 10 ⁴ |
| Plomo | 11,4 | 2.160 | 700 | 246 . 10 ⁴ |
| Hierro/acero (no aleado) | 7,7 | 5.900 | 3.230 | 450 . 10 ⁴ |
| Fundición gris | | 4.600 | 2.160 | |
| Cobre | 8,9 | 4.700 | 2.260 | 418 . 10 ⁴ |
| Magnesio | 1,7 | 4.800 | | 81,6 . 10 ⁴ |
| Latón | 8,1 | 3.830 | 2.050 | 310 . 10 ⁴ |
| Plata | 8,4 | 4.760 | 2.160 | 400 . 10 ⁴ |
| Níquel | 8,8 | 5.630 | 2.960 | 495 . 10 ⁴ |
| Tungsteno | 19,1 | 5.460 | 2.620 | 1.042 . 10 ⁴ |
| Cinc | 7,1 | 4.170 | 2.410 | 296 . 10 ⁴ |
| Estaño | 7,3 | 3.320 | 1.670 | 242 . 10 ⁴ |
| Titanato de bario | 5,8 | 6.050 | — | 349 . 10 ⁴ |
| Goma | 1,2 | 2.300 | — | 27,6 . 10 ⁴ |
| Plexiglas | 1,18 | 2.740 | 1.120 | 32 . 10 ⁴ |
| Poliestirol | 1,06 | 2.350 | 1.120 | 25 . 10 ⁴ |
| Porcelana | 2,41 | 5.340 | 3.120 | 129 . 10 ⁴ |
| Cuarzo (corte x) | 2,65 | 5.760 | | 153 . 10 ⁴ |
| Aire | 0,0012 | 330 | — | 0,00398 . 10 ⁴ |
| Glicerina | 1,26 | 1.923 | — | 24,6 . 10 ⁴ |
| Agua** | 1,0 | 1.483,1 | — | 15 . 10 ⁴ |
| Aceite | 0,95 | 1.250 | — | 10 . 10 ⁴ |

* La velocidad de las ondas es muy diferente en las diversas fundiciones grises. Los valores indicados son los medios.

** a 20 °C

Para toda propagación de onda se cumple:

$$\lambda = C/f = (\text{mm/s})/(1/\text{s}) = \text{mm}$$

Teremos:

$$V = \lambda \cdot f \text{ ou } \lambda = \frac{V}{f}$$

sendo $V = 5900 \text{ m/s}$ vem que:

$$\lambda = \frac{5900 \text{ m/s}}{2 \times 10^6 \text{ Hz}} \quad \text{metros}$$

$$\lambda = 2950 \times 10^6 \text{ m} \quad \text{ou} \quad \lambda = 2,95 \text{ mm}$$

Impedancia acústica:

Es una resistencia que se opone a la vibración de los elementos de masa de un medio.
Si un medio posee impedancia baja, sus elementos de masa vibraran a gran velocidad, con solo un pequeño estímulo.

$$Z=C\rho$$

Reflexión (R) y transmisión (T):

Cuando las impedancias son iguales en ambos medios, la onda atraviesa la superficie límite sin ser perturbada.

Cuando las impedancias difieren mucho las ondas se reflejan prácticamente en su totalidad.(acero-aire)

$$R = \frac{(Z_1 - Z_2)^2}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

Para impedancias similares la onda se transmite casi en su totalidad y para impedancias muy diferentes se refleja en su totalidad.

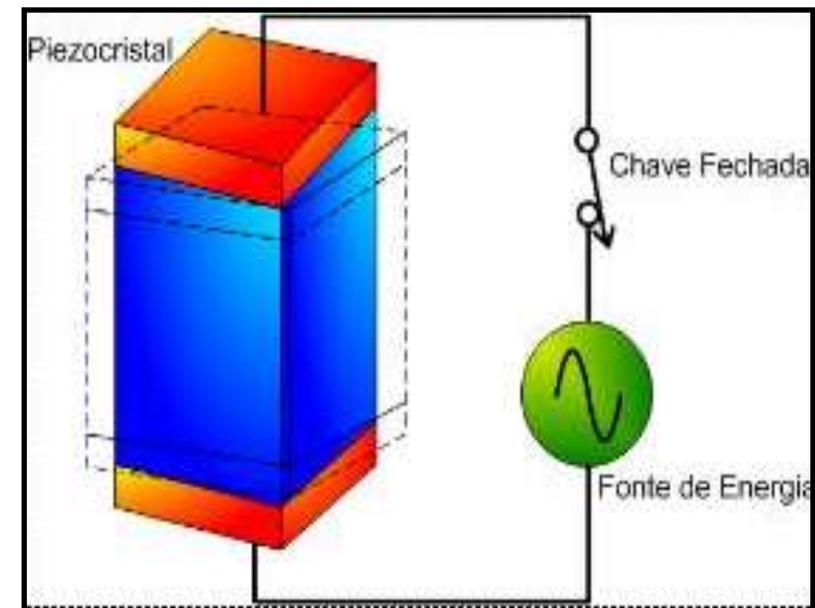
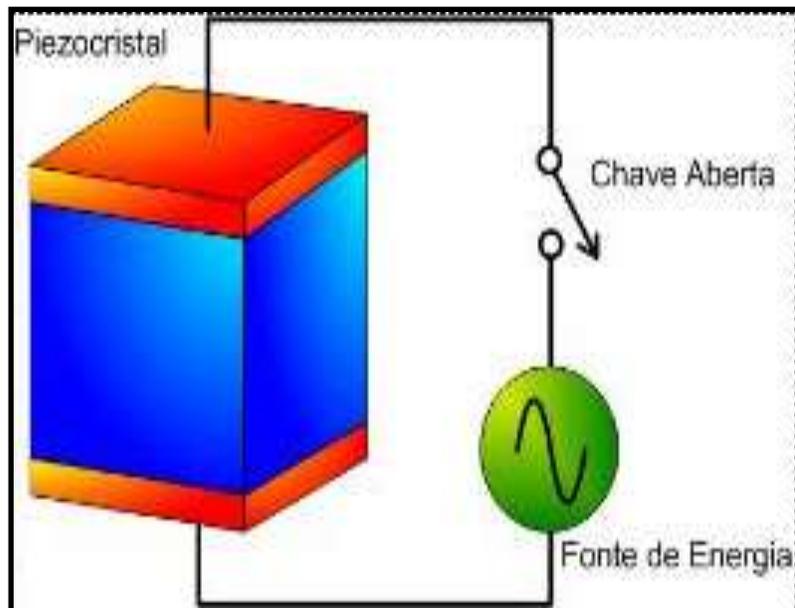
$$T = \frac{4(Z_1 * Z_2)}{(Z_1 + Z_2)^2}$$

Generación y recepción de ondas ultrasónicas:

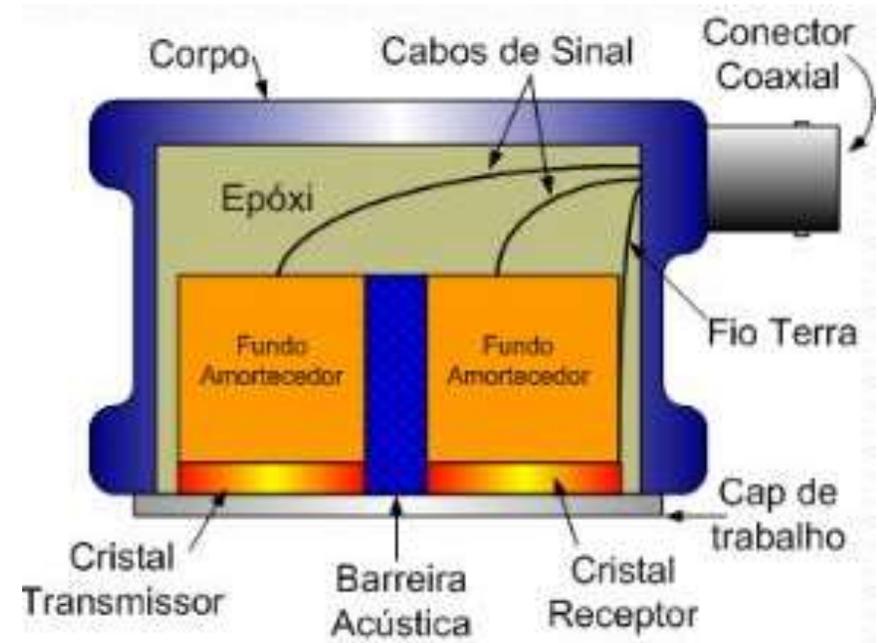
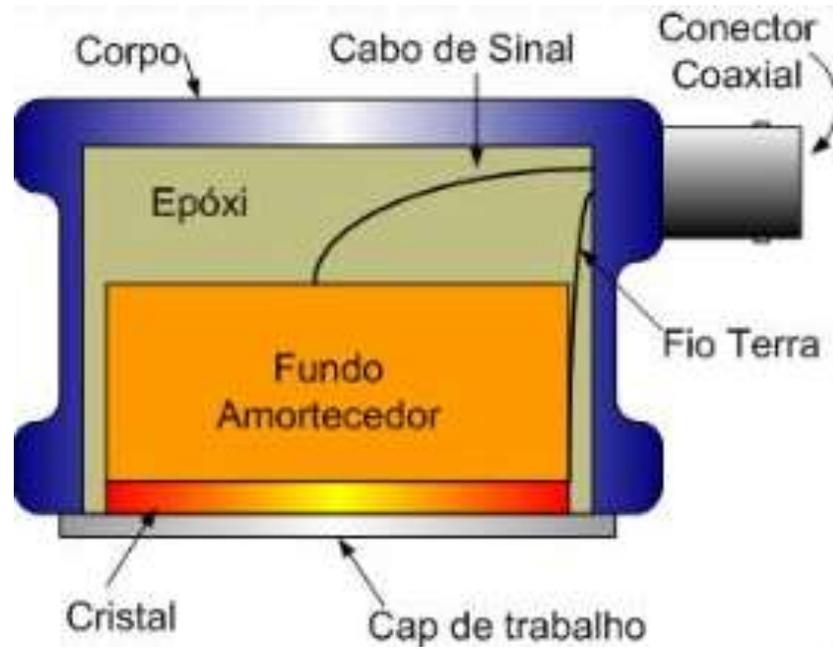
Efecto piezoeléctrico: si a determinados cristales de materiales piezoeléctricos se le deforma mediante una presión mecánica externa, aparecerán cargas eléctricas en su superficie.

Inversamente si a este material se le coloca entre dos electrodos y se le aplica un potencial cambiara su forma.

El efecto piezoeléctrico directo es el que se utiliza para la recepción de las ondas y el reciproco para la generación de las ondas.

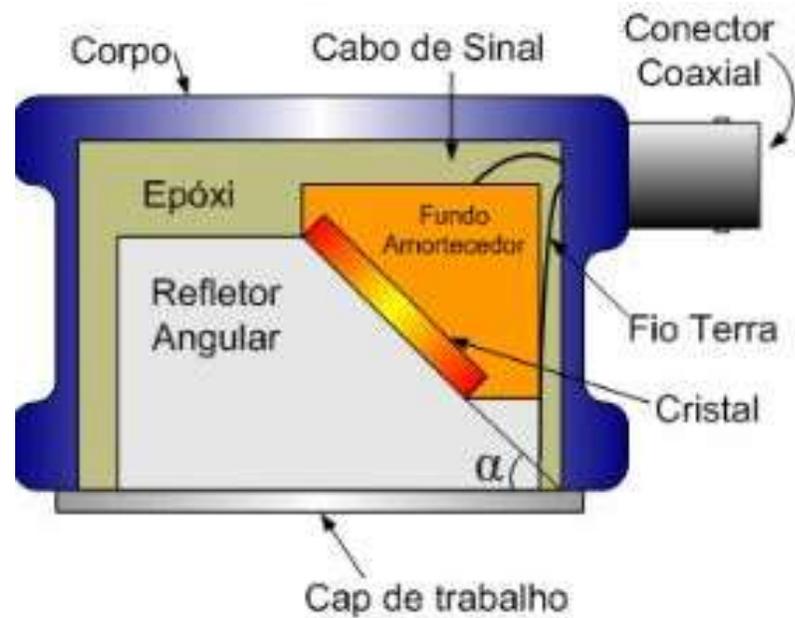


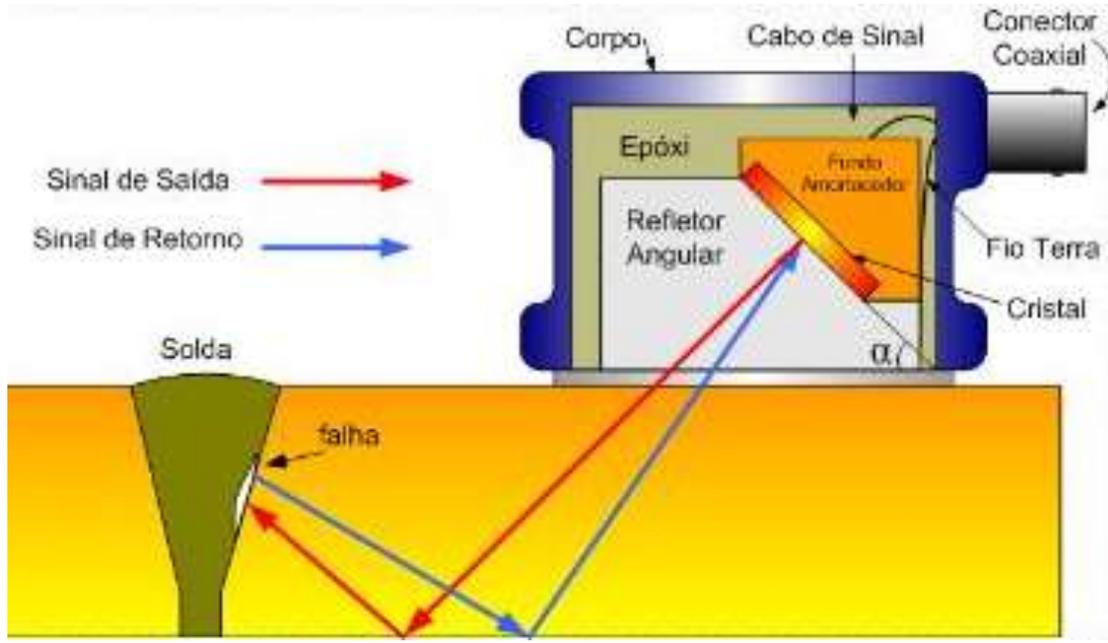
Palpadores normales:





Palpadores angulares:





Atenuación de las ondas ultrasónicas en solidos:

Está relacionado con disminuir, amortiguar y extinguir.

En un material ideal la presión acústica se atenúa en el campo lejano de un palpador a medida que se aleja de la fuente.

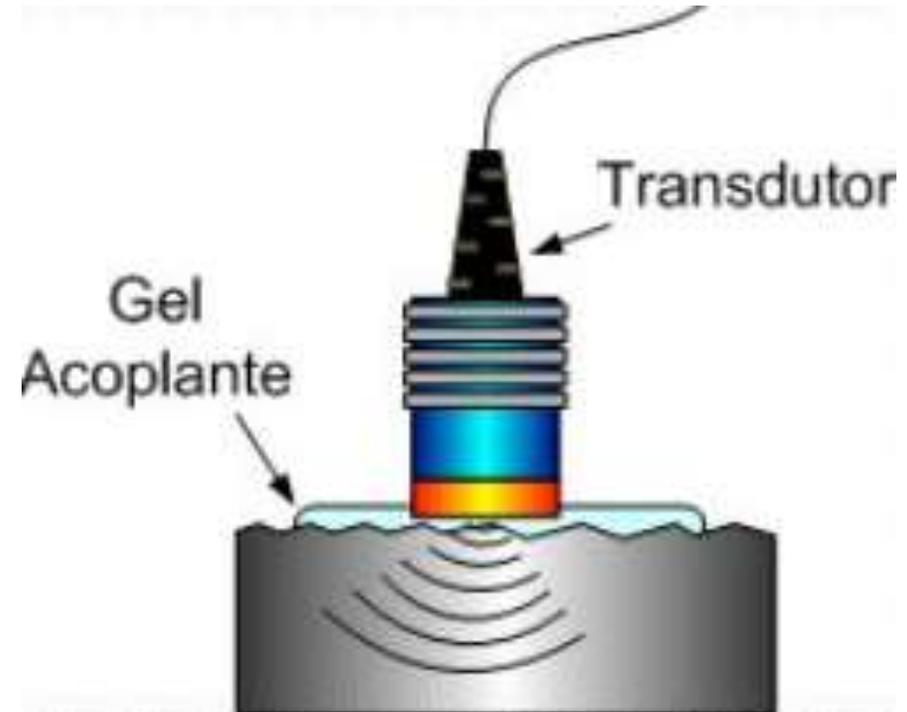
$$\text{Atenuación (At)} = \text{Divergencia del haz} + \text{Dispersión} + \text{Absorción}$$

Acoplante:

Se utiliza porque cuando se presiona el palpador contra la superficie de la pieza a ensayar siempre queda una capa de aire, lo que significa un impedimento para la transmisión de las ondas.

Generalmente se utiliza:

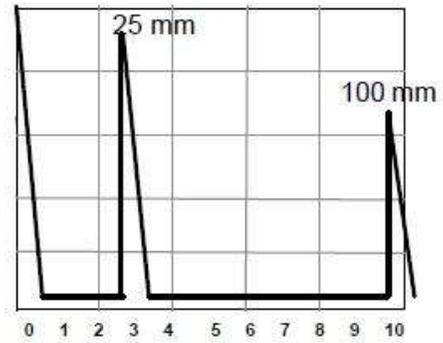
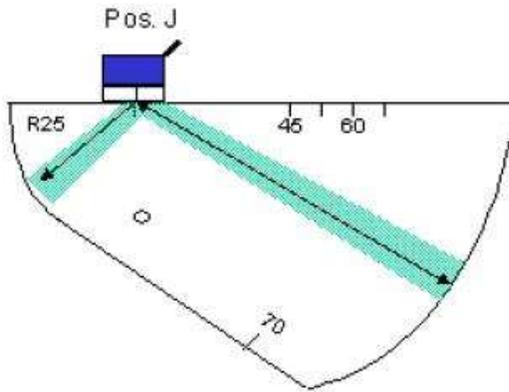
- Agua
- Grasa
- Aceite
- Glicerina
- Carbosimetril celulósico
- Alcohol en gel



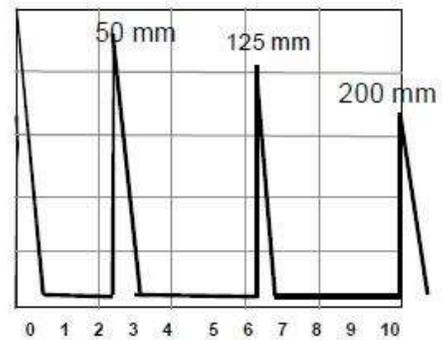
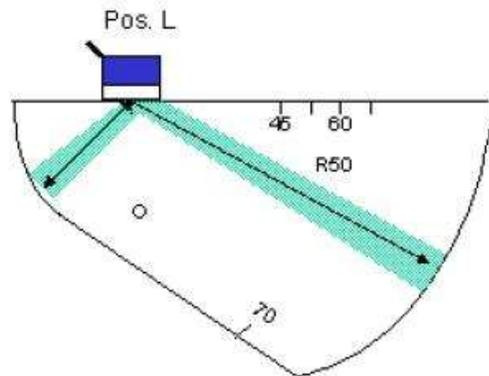
Escalerillas para calibración:



Patrón V2:



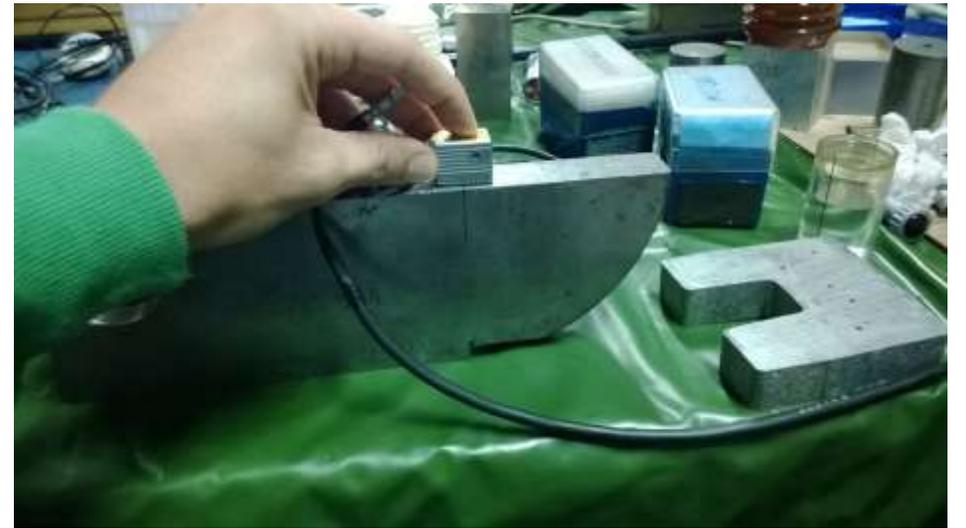
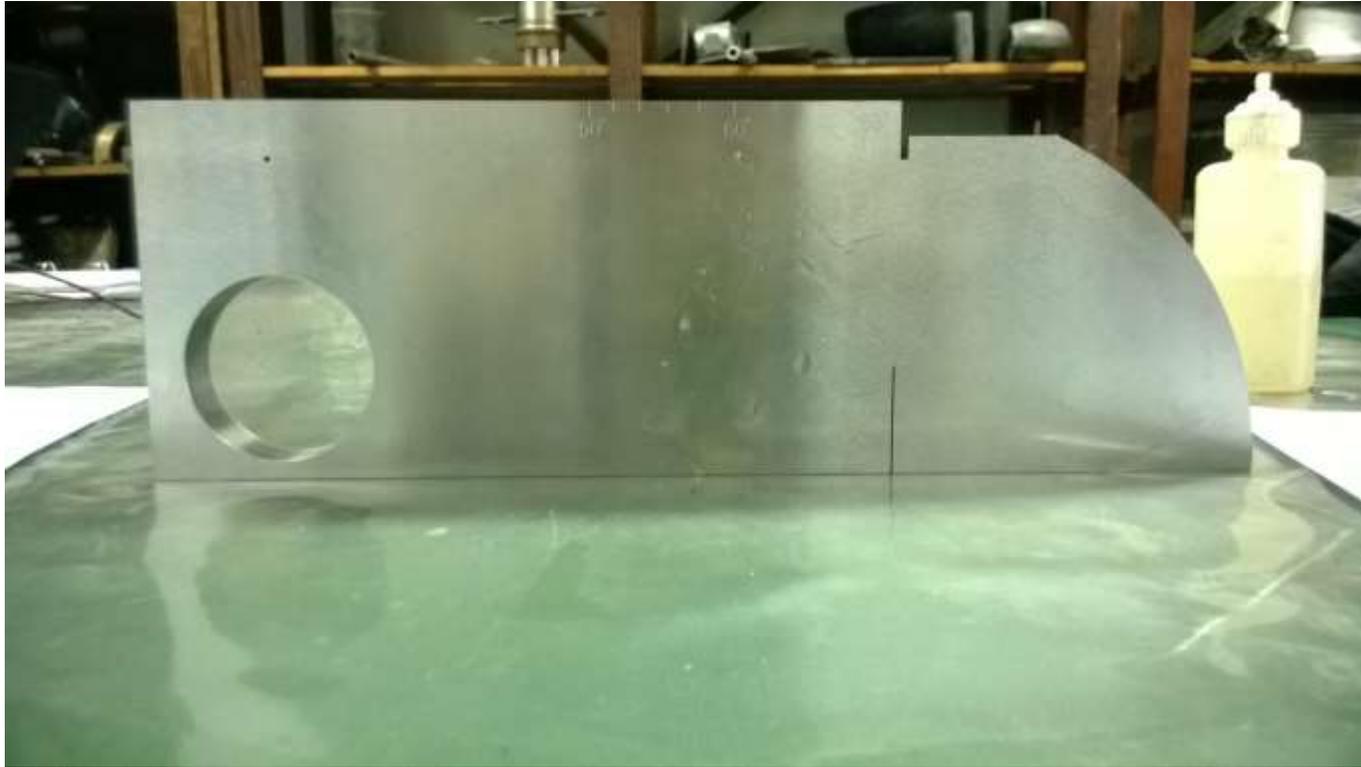
Escala de 100 mm



Escala de 200 mm

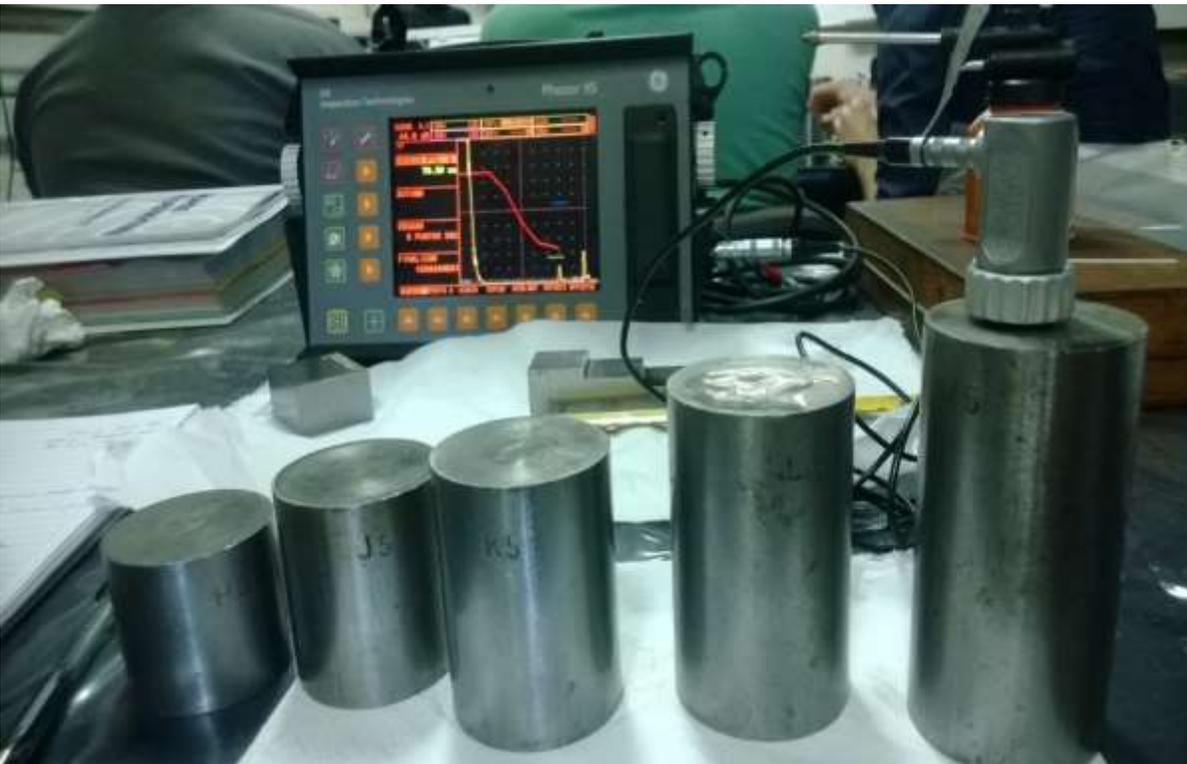


Patrón V1:

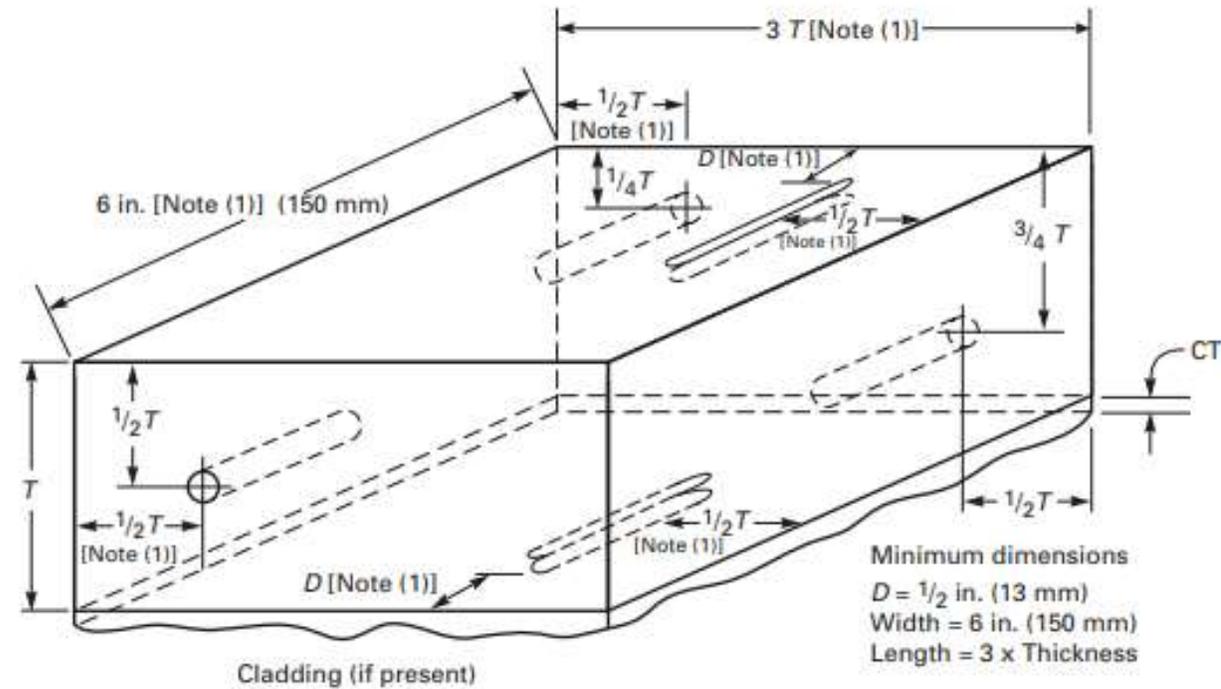


DAC

Corrección Amplitud Distancia



**Figure T-434.2.1
Nonpiping Calibration Blocks**



Notch Dimensions, in. (mm)

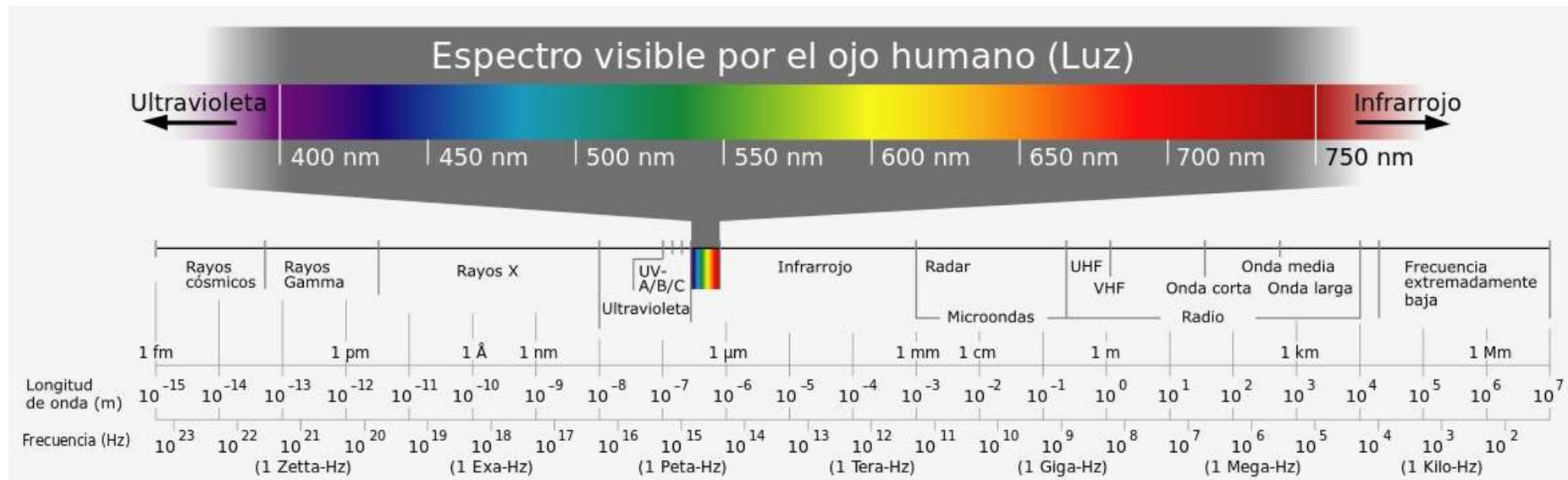
Notch depth = 1.6% T to 2.2% T
 Notch width = $\frac{1}{4}$ (6) max.
 Notch length = 1 (25) min.

| Weld Thickness (t), in. (mm) | Calibration Block Thickness (T), in. (mm) | Hole Diameter, in. (mm) |
|----------------------------------|--|----------------------------|
| Up to 1 (25) | $\frac{3}{4}$ (19) or t | $\frac{3}{32}$ (2.5) |
| Over 1 (25) through 2 (50) | $1\frac{1}{2}$ (38) or t | $\frac{1}{8}$ (3) |
| Over 2 (50) through 4 (100) | 3 (75) or t | $\frac{3}{16}$ (5) |
| Over 4 (100) | $t \pm 1$ (25) | [Note (2)] |

Radiografía - RI

Propiedades de los rayos X y Gamma:

La más notable es su capacidad de atravesar cuerpos opacos a la luz, tales como maderas, metales, plásticos y demás. De esta propiedad saca partido la radiografía industrial y médica. Además, estas radiaciones inducen ciertas reacciones químicas, tales como las fotográficas y ello hace posible la obtención de radiografías sobre películas.



Como se hace una radiografía:

Para hacer la radiografía de un objeto debe interponerse el cuerpo de estudio entre la fuente radiactiva y la película.

Como la película es sensible, no solo a los rayos X sino también a la luz, es necesario protegerla mediante una funda opaca llamada "Chasis".

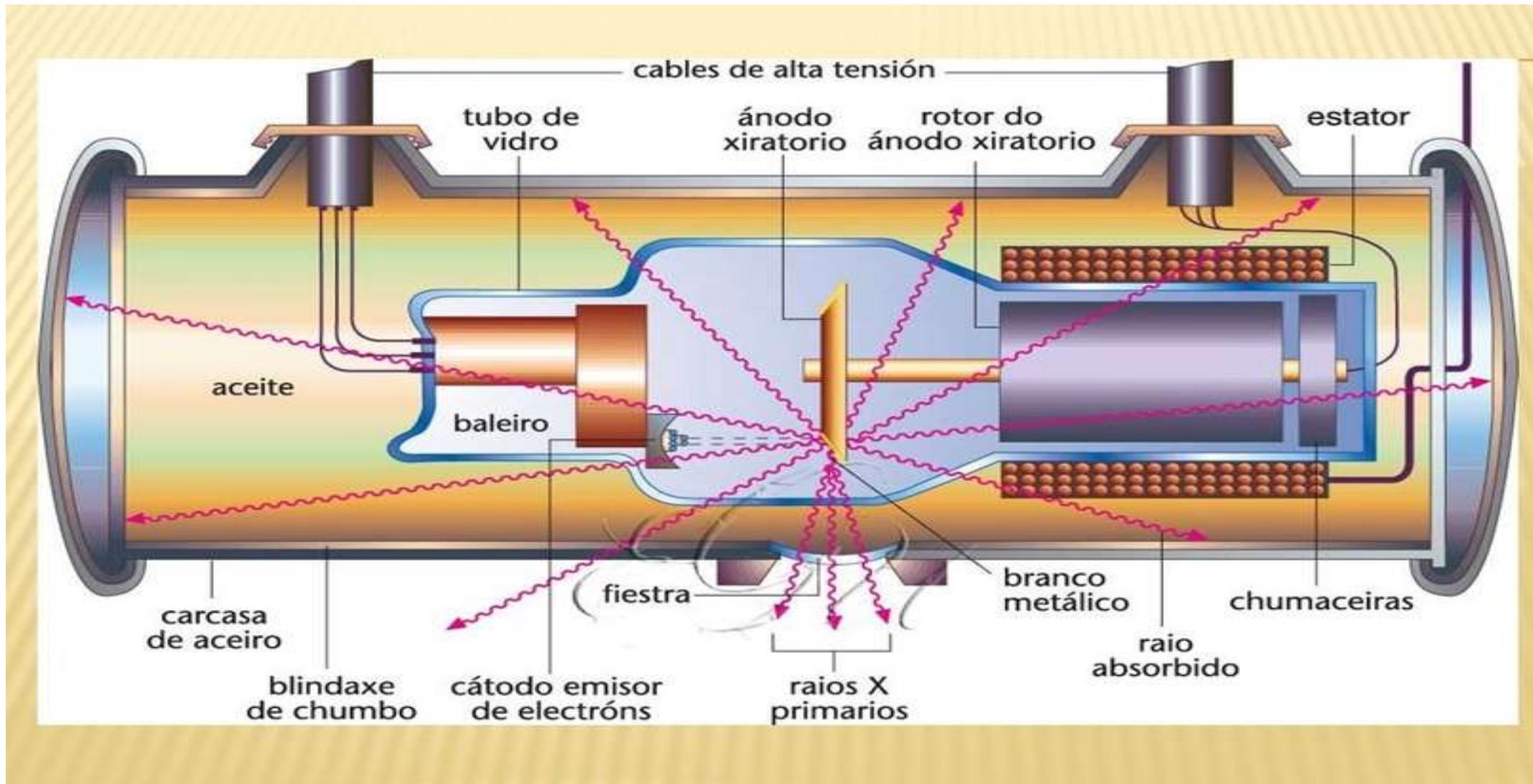
El objeto proyecta una imagen o sombra invisible sobre la película, mediante un proceso fotoquímico esta imagen o sombra se convierte en una imagen real.







Fabricación de rayos X:



Consola de mandos:

Esta contiene:

Un miliamperímetro para conocer la intensidad de corriente que pasa por el tubo.

Un selector para controlar dicha corriente. (Corriente que pasa por el filamento)

Un kilovoltímetro para conocer la tensión aplicada al tubo.

Un selector para controlar dicha tensión.

Un reloj para controlar tiempo de exposición.

Un interruptor general.

Un interruptor de alta tensión.

Luces o indicadores de funcionamiento.



Atenuación de la radiación al atravesar un cuerpo:

Supongamos que disponemos de planchas del mismo espesor de materiales diferentes, radiografiados en las mismas condiciones.

Si lo ordenamos de mayor a menor según su grado de transparencia a los rayos X se obtiene la siguiente lista:

- Madera
- Plástico
- Aluminio
- Hierro
- Cobre
- Latones
- Bronces
- Plata
- Plomo

Atenuación de la radiación con la distancia:

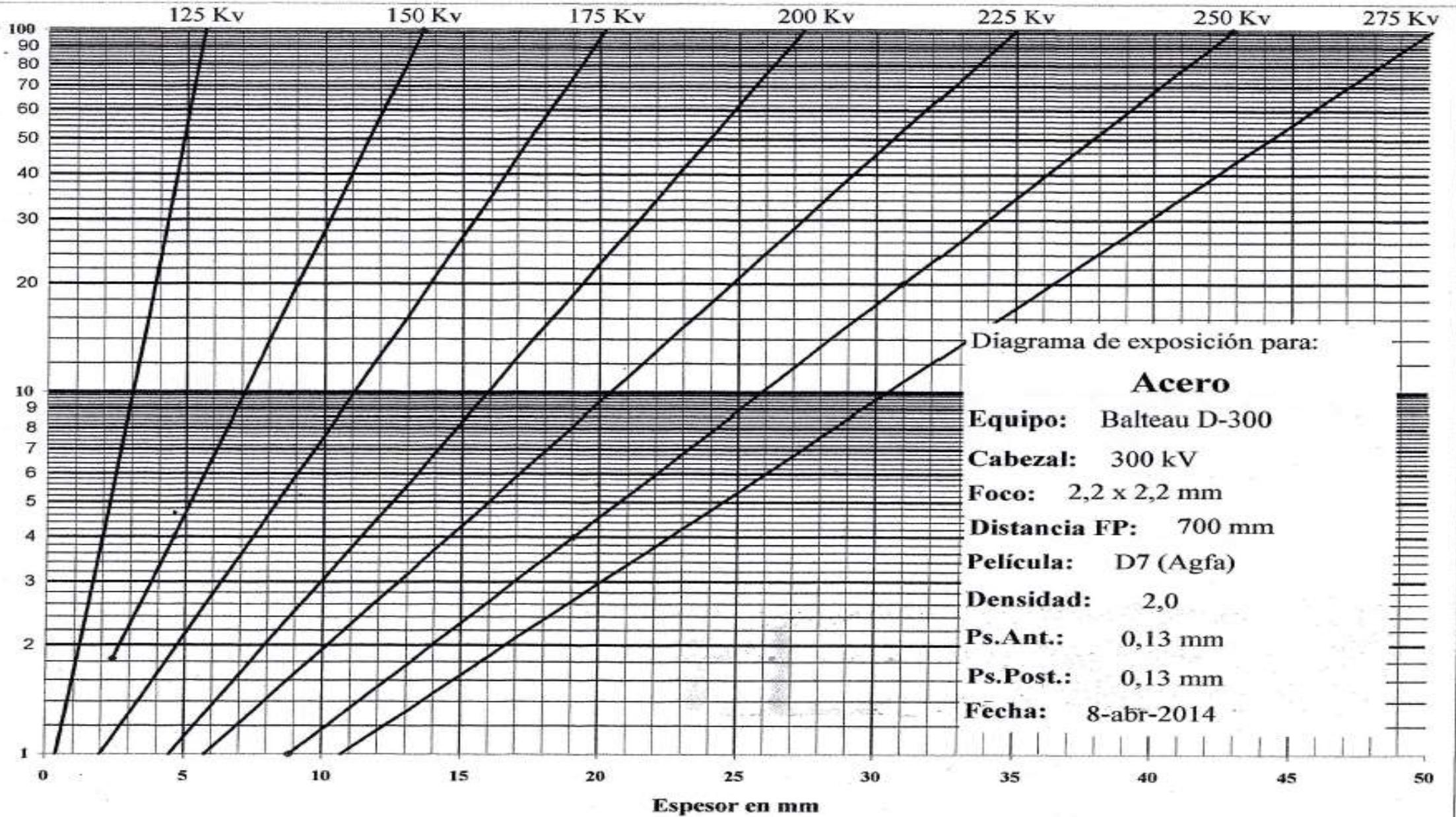
La disminución de la intensidad de irradiación (cantidad de radiación que llega a la película) es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.

$$I_1/(D_2^2) = I_2/(D_1^2)$$

Recordemos que se llama exposición al producto de la intensidad de corriente con el tiempo que la película es expuesta a la radiación. Este último es proporcional a la intensidad de irradiación, dada la dificultad de medir la intensidad de irradiación, es común utilizar la siguiente fórmula para hacer los cálculos necesarios.

$$E_1/(D_1^2) = E_2/(D_2^2)$$

mA.Minuto



m.A.Minuto

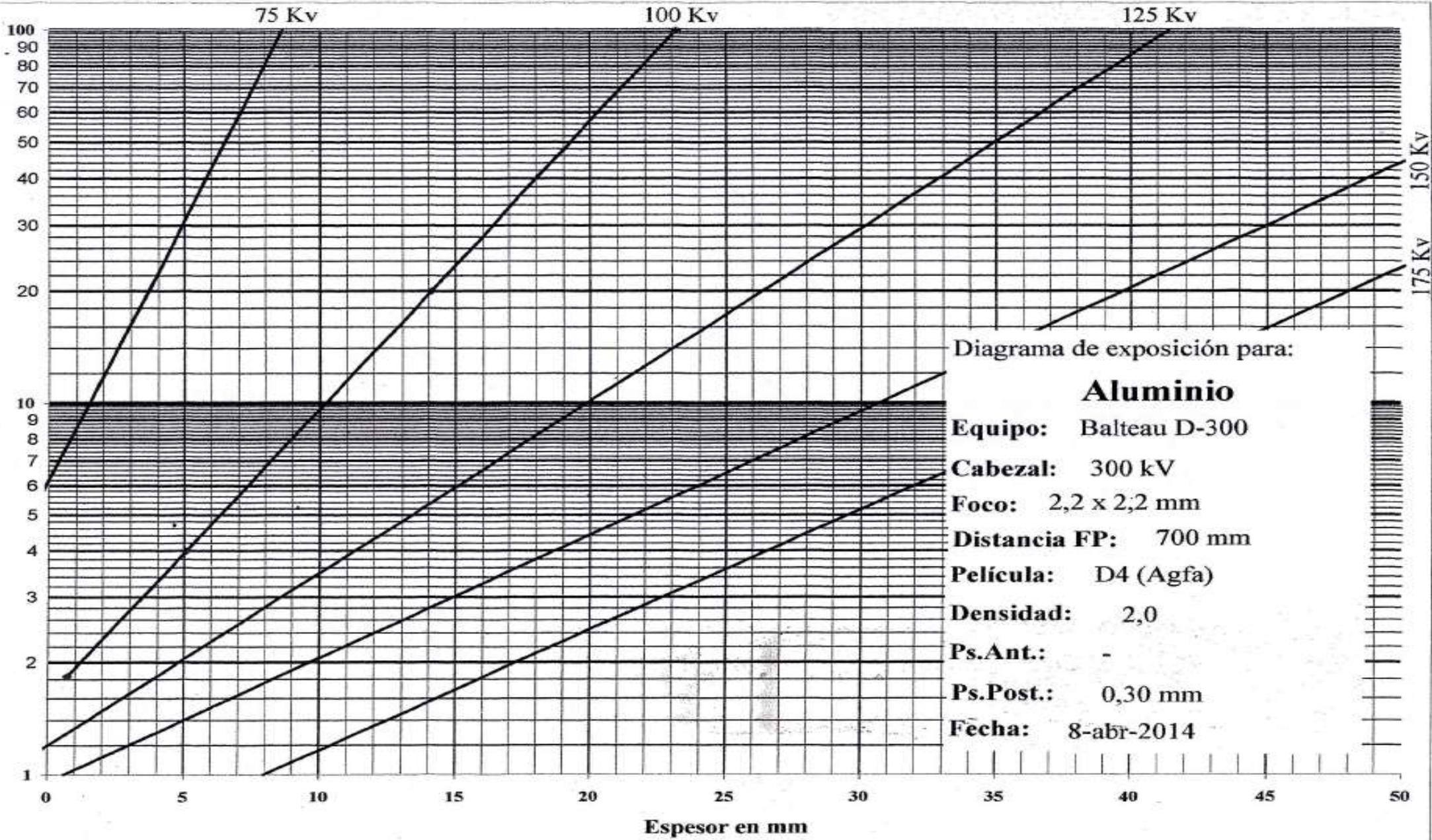


Diagrama de exposición para:

Aluminio

Equipo: Balteau D-300

Cabezal: 300 kV

Foco: 2,2 x 2,2 mm

Distancia FP: 700 mm

Película: D4 (Agfa)

Densidad: 2,0

Ps.Ant.: -

Ps.Post.: 0,30 mm

Fecha: 8-abr-2014



Película radiográfica:

La película consta de dos partes:

- Soporte: es una hoja de plástico transparente.
- Recubrimiento: gelatina con finas partículas de halogenuros de plata (bromuro) y otros componentes.

Las películas radiográficas son sensibles a la luz ordinaria, por ese motivo toda su manipulación debe realizarse en el cuarto oscuro.

A la hora del ensayo se utiliza dentro de un chasis opaco.

En las zonas donde la placa recibe mayor radiación, mayor cantidad de granos de bromuro de plata serán afectados y se generara una región oscura en la placa.

En las zonas donde llegue menor radiación pasara lo contrario.



Características de las películas

- Grano
- Velocidad
- Contraste propio o intrínseco
- Latitud

Procesado de la película:

Consiste en las siguientes operaciones:

- Revelado
- Paro de revelado o detenido
- Fijado
- Lavado
- Secado



Equipo de rayos gamma:

Las fuentes utilizadas en gammagrafía (radiografía de rayos gamma) requieren cuidados especiales de seguridad porque una vez activada emiten radiación constantemente.

Por tanto, es necesario contar con equipos que proporcionen blindaje contra la radiación emitida por la fuente cuando no se está utilizando.

Es necesario dotar a este blindaje de un sistema que permita retirar la fuente de su interior, para que se tome la radiografía. Este equipo se llama irradiador.

Los equipos se componen básicamente de tres componentes fundamentales:

- Blindaje
- Fuente radiactiva
- Dispositivo para exponer la fuente



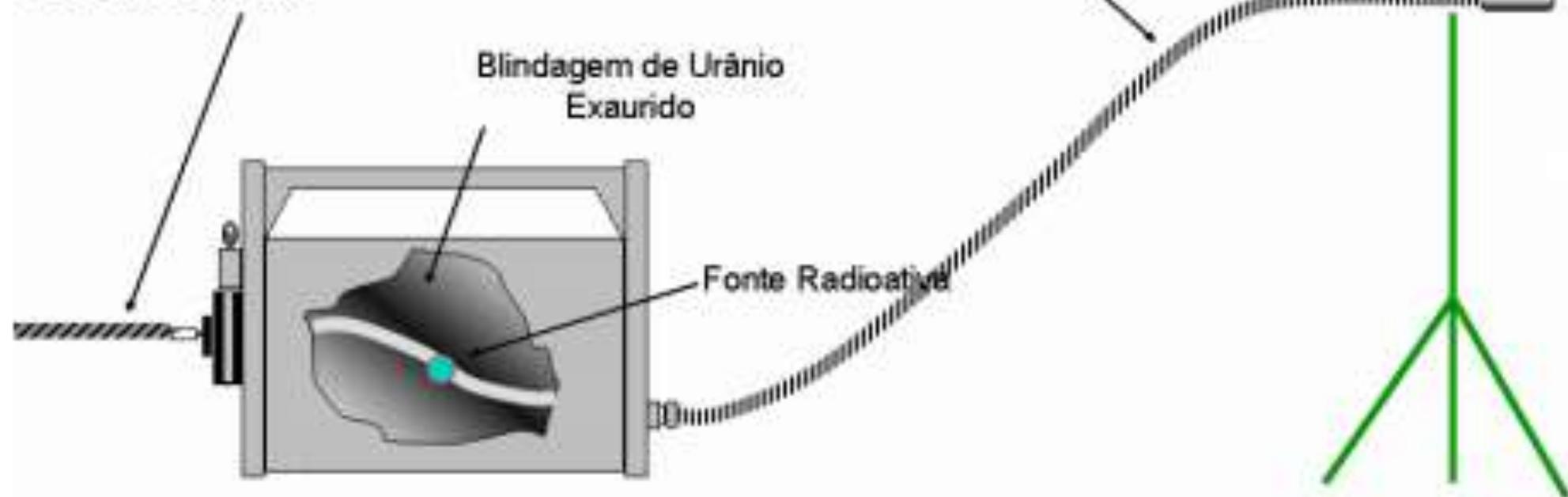
Cabo de Comando



Tudo Guia da Fonte (flexível)



colimador



Esquema do Equipamento para Gamagrafia Industrial



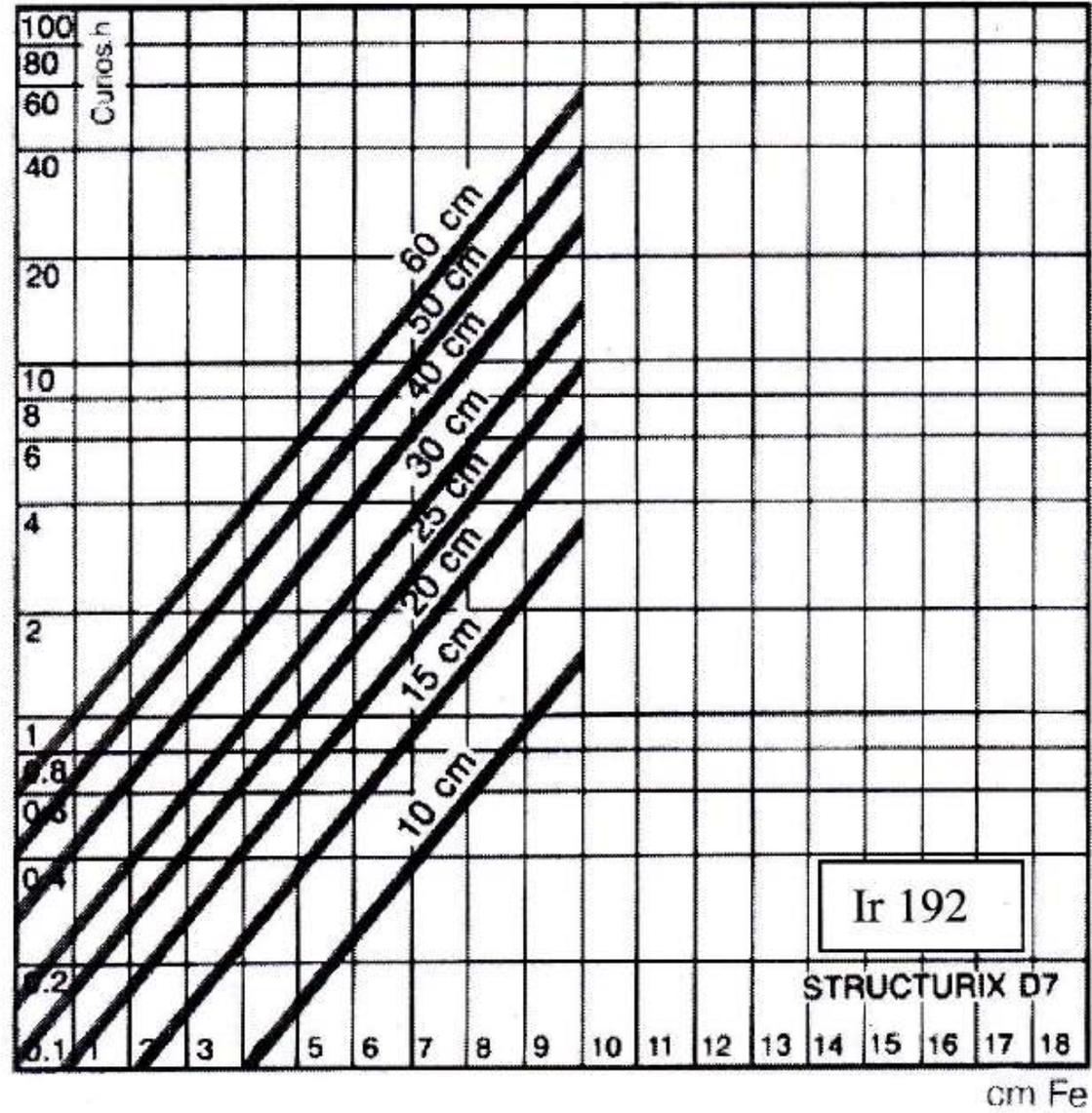
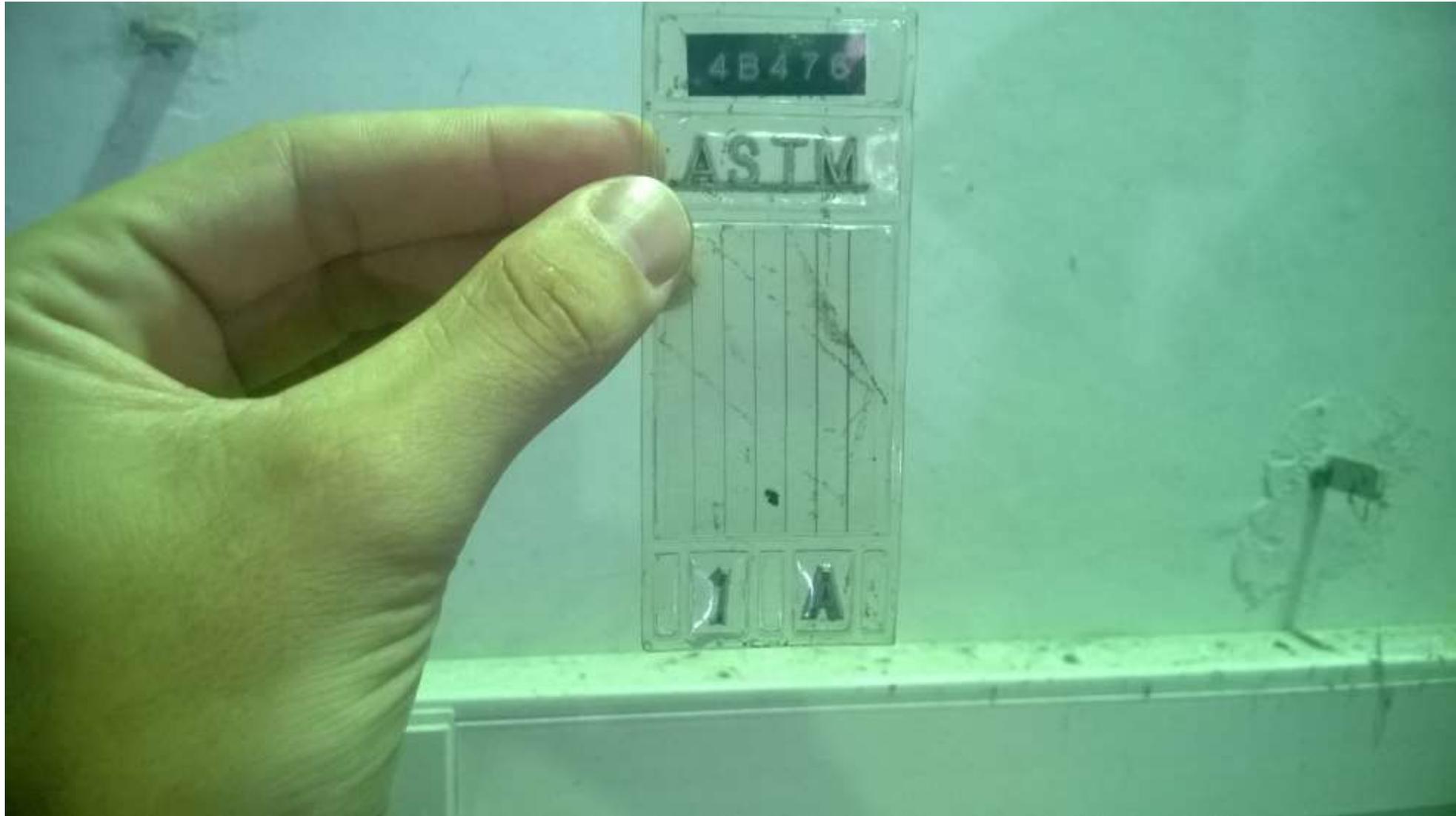


Figura 8.2



Indicadores de Calidad de Imagen . (IQI)



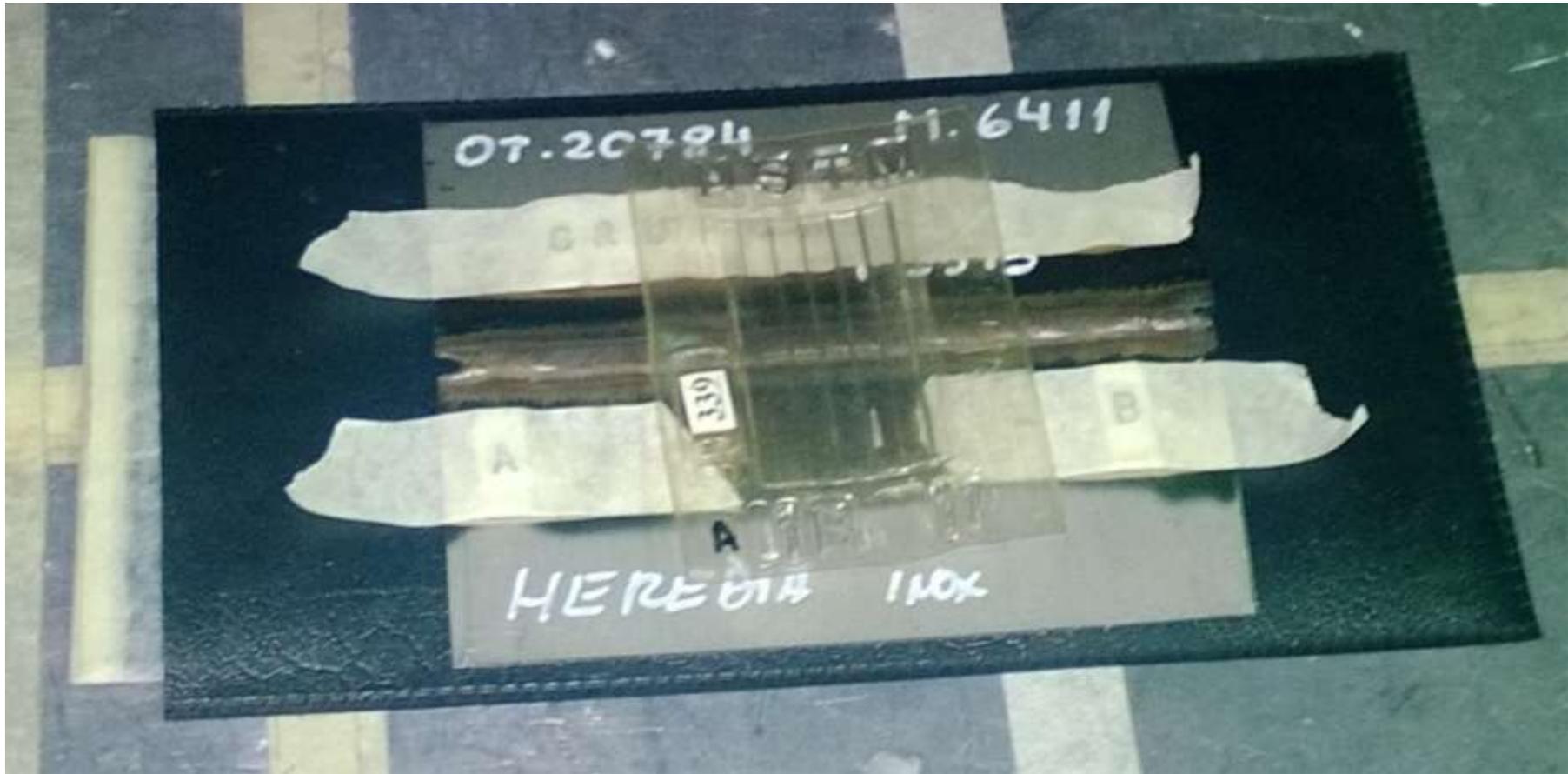
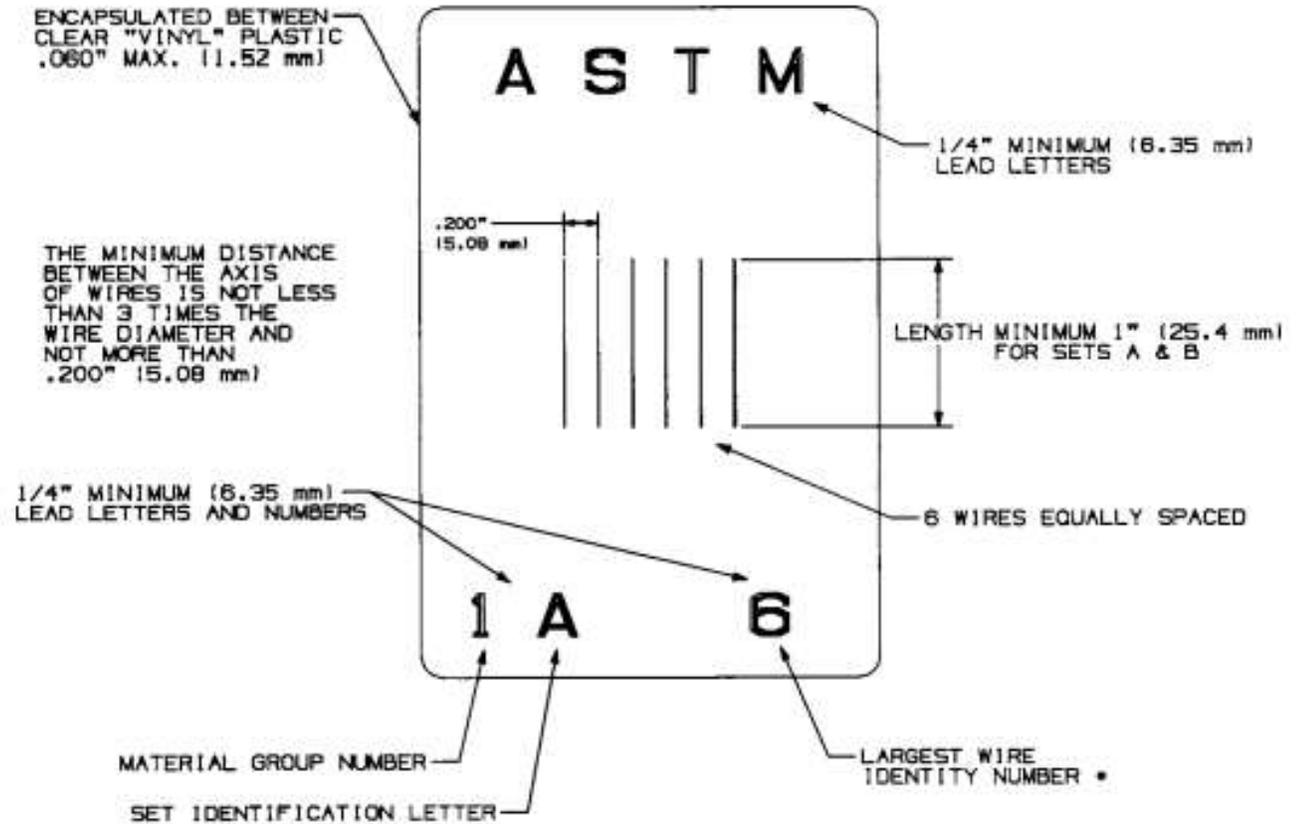


Table T-233.2
Wire IQI Designation, Wire Diameter, and
Wire Identity

| Set A | | Set B | |
|----------------------------|------------------|----------------------------|------------------|
| Wire Diameter, in. (mm) | Wire Identity | Wire Diameter, in. (mm) | Wire Identity |
| 0.0032 (0.08) | 1 | 0.010 (0.25) | 6 |
| 0.004 (0.10) | 2 | 0.013 (0.33) | 7 |
| 0.005 (0.13) | 3 | 0.016 (0.41) | 8 |
| 0.0063 (0.16) | 4 | 0.020 (0.51) | 9 |
| 0.008 (0.20) | 5 | 0.025 (0.64) | 10 |
| 0.010 (0.25) | 6 | 0.032 (0.81) | 11 |
| Set C | | Set D | |
| Wire Diameter, in. (mm) | Wire Identity | Wire Diameter, in. (mm) | Wire Identity |
| 0.032 (0.81) | 11 | 0.100 (2.54) | 16 |
| 0.040 (1.02) | 12 | 0.126 (3.20) | 17 |
| 0.050 (1.27) | 13 | 0.160 (4.06) | 18 |
| 0.063 (1.60) | 14 | 0.200 (5.08) | 19 |
| 0.080 (2.03) | 15 | 0.250 (6.35) | 20 |
| 0.100 (2.54) | 16 | 0.320 (8.13) | 21 |



**Table T-276
IQI Selection**

| Nominal Single-Wall Material Thickness Range, in. (mm) | IQI | | | | | |
|---|--------------------------|-------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------|-----------------------------|
| | Source Side | | | Film Side | | |
| | Hole-Type Designation | Essential Hole | Wire-Type Essential Wire | Hole-Type Designation | Essential Hole | Wire-Type Essential Wire |
| Up to 0.25, incl. (6.4) | 12 | 2T | 5 | 10 | 2T | 4 |
| Over 0.25 through 0.375 (6.4 through 9.5) | 15 | 2T | 6 | 12 | 2T | 5 |
| Over 0.375 through 0.50 (9.5 through 12.7) | 17 | 2T | 7 | 15 | 2T | 6 |
| Over 0.50 through 0.75 (12.7 through 19.0) | 20 | 2T | 8 | 17 | 2T | 7 |
| Over 0.75 through 1.00 (19.0 through 25.4) | 25 | 2T | 9 | 20 | 2T | 8 |
| Over 1.00 through 1.50 (25.4 through 38.1) | 30 | 2T | 10 | 25 | 2T | 9 |
| Over 1.50 through 2.00 (38.1 through 50.8) | 35 | 2T | 11 | 30 | 2T | 10 |
| Over 2.00 through 2.50 (50.8 through 63.5) | 40 | 2T | 12 | 35 | 2T | 11 |
| Over 2.50 through 4.00 (63.5 through 101.6) | 50 | 2T | 13 | 40 | 2T | 12 |
| Over 4.00 through 6.00 (101.6 through 152.4) | 60 | 2T | 14 | 50 | 2T | 13 |
| Over 6.00 through 8.00 (152.4 through 203.2) | 80 | 2T | 16 | 60 | 2T | 14 |
| Over 8.00 through 10.00 (203.2 through 254.0) | 100 | 2T | 17 | 80 | 2T | 16 |
| Over 10.00 through 12.00 (254.0 through 304.8) | 120 | 2T | 18 | 100 | 2T | 17 |
| Over 12.00 through 16.00 (304.8 through 406.4) | 160 | 2T | 20 | 120 | 2T | 18 |
| Over 16.00 through 20.00 (406.4 through 508.0) | 200 | 2T | 21 | 160 | 2T | 20 |

**Table A-110
Imperfection vs. Type of NDE Method**

| | Surface [Note (1)] | | Subsurface [Note (2)] | | Volumetric [Note (3)] | | | | |
|---|--------------------|-----|-----------------------|-----|-----------------------|-----|-----|-----|-----|
| | VT | PT | MT | ET | RT | UTA | UTS | AE | UTT |
| Service-Induced Imperfections | | | | | | | | | |
| Abrasive Wear (Localized) | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ... | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ... | ⊙ |
| Baffle Wear (Heat Exchangers) | ⊙ | ... | ... | ⊙ | ... | ... | ... | ... | ... |
| Corrosion-Assisted Fatigue Cracks | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ... | ⊙ | ⊙ | ... | ⊙ | ... |
| Corrosion | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| -Crevice | ⊙ | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ⊙ |
| -General / Uniform | ... | ... | ... | ⊙ | ⊙ | ... | ⊙ | ... | ⊙ |
| -Pitting | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ... | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ |
| -Selective | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ... | ... | ... | ... | ... | ⊙ |
| Creep (Primary) [Note (4)] | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| Erosion | ⊙ | ... | ... | ... | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ... | ⊙ |
| Fatigue Cracks | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ... | ⊙ | ... |
| Fretting (Heat Exchanger Tubing) | ⊙ | ... | ... | ⊙ | ... | ... | ... | ... | ⊙ |
| Hot Cracking | ... | ⊙ | ⊙ | ... | ⊙ | ⊙ | ... | ⊙ | ... |
| Hydrogen-Induced Cracking | ... | ⊙ | ⊙ | ... | ⊙ | ⊙ | ... | ⊙ | ... |
| Intergranular Stress-Corrosion Cracks | ... | ... | ... | ... | ... | ⊙ | ... | ... | ... |
| Stress-Corrosion Cracks (Transgranular) | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ... | ⊙ | ... |
| Welding Imperfections | | | | | | | | | |
| Burn Through | ⊙ | ... | ... | ... | ⊙ | ⊙ | ... | ... | ⊙ |
| Cracks | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ... |
| Excessive/Inadequate Reinforcement | ⊙ | ... | ... | ... | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ... | ⊙ |
| Inclusions (Slag/Tungsten) | ... | ... | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ... |
| Incomplete Fusion | ⊙ | ... | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ... |
| Incomplete Penetration | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ... |
| Misalignment | ⊙ | ... | ... | ... | ⊙ | ⊙ | ... | ... | ... |
| Overlap | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ... | ⊙ | ... | ... | ... |
| Porosity | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ... | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ... |
| Root Concavity | ⊙ | ... | ... | ... | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ |
| Undercut | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ... |
| Product Form Imperfections | | | | | | | | | |
| Bursts (Forgings) | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ... |
| Cold Shuts (Castings) | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ... |
| Cracks (All Product Forms) | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ... |
| Hot Tear (Castings) | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ... |

**Table A-110
Imperfection vs. Type of NDE Method (Cont'd)**

| | Surface [Note (1)] | | Subsurface [Note (2)] | | Volumetric [Note (3)] | | | | |
|--------------------------------|--------------------|-----|-----------------------|-----|-----------------------|-----|-----|----|-----|
| | VT | PT | MT | ET | RT | UTA | UTS | AE | UTT |
| Inclusions (All Product Forms) | ... | ... | ⊗ | ⊗ | ⊙ | ⊗ | ⊙ | ⊙ | ... |
| Lamination (Plate, Pipe) | ⊙ | ⊗ | ⊗ | ... | ... | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ |
| Laps (Forgings) | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊗ | ... | ⊙ | ⊙ | ... |
| Porosity (Castings) | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ... | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ... |
| Seams (Bar, Pipe) | ⊙ | ⊙ | ⊙ | ⊗ | ⊙ | ⊗ | ⊗ | ⊙ | ... |

Legend:

AE — Acoustic Emission

ET — Electromagnetic (Eddy Current)

MT — Magnetic Particle

PT — Liquid Penetrant

RT — Radiography

UTA — Ultrasonic Angle Beam

UTS — Ultrasonic Straight Beam

UTT — Ultrasonic Thickness Measurements

VT — Visual

⊙ — All or most standard techniques will detect this imperfection under all or most conditions.

⊗ — One or more standard technique(s) will detect this imperfection under certain conditions.

⊙ — Special techniques, conditions, and/or personnel qualifications are required to detect this imperfection.

Bibliografía

Libros y guías de la Asociación Española de Ensayos No Destructivos

Material de cursos INTI

ASME Sección V

Practica recomendada SNT-TC-1A

UNIT-ISO 9712

UNIT-NM 315

UNIT-NM 334

UNIT-NM 342

UNIT-NM-ISO 16809

UNIT-NM 336

NM-ISO 5579

UNIT-ISO 17636

¡Muchas gracias!

