



# UNIVERSIDAD DE MURCIA

## **FACULTAD DE QUIMICA**

Grado en Ingeniería Química.

## **INGENIERÍA MECÁNICA**

## **PRACTICA Nº 4. INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA.**

PROFESORES: Félix C. Gómez de León Hijes.  
Antonio González Carpena.

**PRACTICA INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA.**  
**INTERPRETACIÓN DE RADIOGRAFÍAS.**

**OBJETIVO.**

El presente procedimiento describe el método operativo y niveles de aceptación que deberán seguirse para efectuar el examen por radiografía a los diferentes elementos y componentes en el montaje mecánico.

La aplicación de este procedimiento se refiere exclusivamente a la detección y evaluación de soldaduras a penetración completa en materiales de acero al carbono, de baja aleación con espesores hasta 200 mm (para la técnica radiográfica a simple pared) y 75 mm para la técnica radiográfica a doble pared de todos aquellos componentes contemplados en este procedimiento, relativos a los criterios de aceptación en función del componente y normativa aplicable.

El presente procedimiento se ha elaborado en base a los requisitos establecidos en la última edición de los siguientes documentos:

- Código ASME (última edición).
  - Sección 1 "Rules for Construction of Power Boiler"
  - Sección V "Non Destructive Examination".
  - Sección VII "Pressure Vessels". Divisiones 1 y 2
- Código ANSI/ASME B.3 1. 1.
- Código AWS D. 1. 1 "Structural Weiding Code".

**FUNDAMENTO TEÓRICO.**

**1.- Técnica Radiográfica.**

Las radiografías se realizarán de acuerdo con alguna de las siguientes técnicas:

*Técnica de simple pared*

En esta técnica la radiación pasa solamente a través de una pared de la soldadura, la cual es interpretada para su aceptación sobre la radiografía.

Siempre que la geometría, dimensiones y accesibilidad lo permitan se utilizará la técnica de simple pared.

#### Técnica de doble pared

En esta técnica la radiación pasa a través de dos paredes y solamente la soldadura del lado de la película es interpretada para su aceptación.

Puede ser utilizada esta técnica para soldaduras en componentes de diámetro exterior menor o igual a 3 1/2", en la que la radiación pasa a través de las dos paredes y la soldadura de ambas paredes es interpretada en la misma radiografía.

Existen dos modalidades:

- Técnica en elipse: El haz de radiación se sitúa desplazado del plano de soldadura un ángulo suficiente para separar las posiciones de soldadura a interpretar. Cuando sea requerido el examen al 100% de la soldadura un mínimo de dos exposiciones a 90° una de otra serán realizadas para cada soldadura.
- Como alternativa la soldadura puede ser radiografiada con el haz de radiación, posicionado de tal modo que las imágenes de ambas paredes aparezcan superpuestas en la radiografía. Cuando sea requerido el examen al 100% de la soldadura un mínimo de tres exposiciones tomadas a 60° ó 120° serán realizadas a cada soldadura.

## **2.- Selección del Penetrómetro.**

La dimensión del taladro esencial o el diámetro del hilo y la designación del penetrómetro será especificada en la ASME V, T-276.

El espesor sobre el cual se basa la selección del penetrómetro será el espesor de soldadura de simple pared más el sobreespesor.

Los anillos o pletinas de respaldo no serán considerados como parte del espesor de soldadura en la selección del penetrómetro.

### **3.- Colocación de Penetrámetros.**

Los penetrámetros se colocarán sobre la superficie del componente a examinar, siempre que sea posible por el lado fuente. Cuando esto no sea posible se colocará del lado película en contacto con la pieza a examinar y se pondrá una letra “F” de plomo adyacente o sobre el penetrámetro pero cuidando de no tapar el taladro esencial.

Los penetrámetros de taladro pueden ser colocados adyacentes o sobre la soldadura y los penetrámetros de hilos pueden ser colocados sobre la soldadura de forma que la longitud de los hilos sea perpendicular al eje de la soldadura.

Las identificaciones y la letra “F” cuando se utilice estarán fuera del área de interés en todos los casos excepto en las condiciones siguientes:

- Cuando la configuración geométrica haga impracticable la colocación penetrámetro en las condiciones anteriores.
- Cuando el material de soldadura no sea radiográficamente similar al material base.

Un suplemento de material radiográficamente similar a la soldadura será colocado debido del penetrámetro de taladros, si es necesario, para que la densidad de la radiografía en el área de interés no varíe más que -15% de la densidad a través del penetrámetro. Las dimensiones del suplemento excederán en al menos tres lados de las dimensiones del penetrámetro de forma que sean visibles como imagen radiográfica.

### **4.- Calidad Radiográfica.**

Como elementos esenciales de la calidad de la imagen radiográfica consideramos la identificación del I.C.I. y la visibilidad del taladro esencial o hilo indicado en la ASME V.

Cualquier película en la que no sea visible el taladro esencial o hilo aplicable será calificada como repetir film (R.F.).

### 5.- Densidad Radiográfica.

La densidad de la película, transmitida a través de la imagen radiográfica del cuerpo del penetrámetro o adyacente al hilo correspondiente del penetrámetro de hilos y el área de interés tendrá:

| <u>Fuente</u> | <u>Densidad</u> |
|---------------|-----------------|
| Rayos X       | 1,8 – 4         |
| Rayos Gamma   | 2 – 4           |

Para interpretación compuesta, cada película simple tendrá una densidad mínima de 1,3

Una tolerancia de 0,05 en densidad es permisible para variaciones entre lecturas del densitómetro.

Si la densidad de la radiografía a través del área de interés varía en más de -15% ó +30% de la densidad a través del cuerpo de penetrámetro o adyacente al hilo del penetrámetro de hilos dentro de los límites establecidos anteriormente, un penetrámetro adicional será colocado para cada área o áreas de variación.

### 6.- Penumbra Geométrica.

Los valores máximos permitidos de penumbra geométrica se reflejan en la tabla siguiente.

| <u>Espesor del Material (e)</u>  | <u>Máxima Penumbra Geométrica (Ug)</u> |
|----------------------------------|--|
| $e < 50,8 \text{ mm}$            | 0,50 mm                                |
| $50,8 = e \leq 76,2 \text{ mm}$  | 0,76 mm                                |
| $76,2 < e \leq 101,6 \text{ mm}$ | 1,01 mm                                |
| $e > 101,6 \text{ mm}$           | 1,77 mm                                |

El cálculo de la penumbra geométrica responde a la ecuación según ASME V.

$$U_g = \frac{F \times d}{D}$$

Siendo:

$U_g$  = Penumbra geométrica

F = Tamaño de la fuente/foco

d = Distancia desde la soldadura del lado fuente a la película

D = Distancia desde la fuente a la soldadura.

### **7.- Sectores Radiográficos.**

Los testigos que delimitan los sectores radiográficos deberán aparecer como una imagen radiográfica y se colocarán sobre la pieza o componente a ensayar. Estando prohibido colocar los testigos sobre el chasis portapelículas.

La localización de los sectores será el lado fuente en los casos siguientes:

- a) Componentes planos y soldaduras longitudinales en componentes cilíndricos o cónicos.
- b) Componentes curvados o esféricos en los que el lado cóncavo es el lado fuente y cuando la distancia fuente material es menor que el radio del componente.
- c) Componentes curvados o esféricos en los que el lado convexo es el lado fuente.

### **8.- Radiación Secundaria.**

Con el fin de poder detectar posible radiación secundaria se colocará a cada chasis en su parte posterior una letra de plomo "B" de una altura mínima de 13 mm y un espesor mayor de 1,6 mm. Cuando esta letra sea visible con una densidad inferior la película será inaceptable debiendo repetirse la exposición colocando una lámina de plomo en la parte posterior del chasis. En general, y sí es posible, se cuidará de que no existan objetos próximos a la película por su parte posterior.

## MATERIAL Y PRODUCTOS.

### 1.- Fuentes de Radiación.

Rayos X: Cuando la técnica radiográfica demuestre que se obtiene la sensibilidad radiográfica requerida.

Rayos Gamma: Los espesores mínimos recomendados, para los que pueden ser usados los isótopos radioactivos son:

| MATERIAL | MINIMIZO<br>ESPESOR |            |
|----------|---------------------|------------|
|          | Iridio 192          | Cobalto 60 |
| Acero    | 19mm                | 38mm       |

El tamaño máximo de la fuente para Iridio 192 será de 3mm x 3mm y para Cobalto 60 será de 6mm x 6mm.

Las limitaciones superiores en espesor se encuentran condicionadas al tiempo de exposición y poder de penetración de la fuente empleada.

La limitación de espesor mínimo para la utilización de isótopos radioactivos, puede ser reducida cuando con la técnica radiográfica y material utilizado se demuestre que se obtiene la sensibilidad radiográfica requerida (resolución de penetrámetro).

### 2.- Películas.

Las radiografías serán realizadas usando películas industriales de un tamaño óptimo para poder evaluar la totalidad de las zonas de interés. Se utilizarán películas de grano fino, tipo I según ASME V - SE-1815, (Agfa Gevaert D4, Kodak M o similar).

### 3.- Pantallas Reforzadoras.

Se utilizarán pantallas de plomo exentas de ralladuras u otras imperfecciones que puedan aparecer en la imagen radiográfica. Las pantallas de plomo frontales tendrán un espesor mínimo de 0,13 mm para Iridio 192 y 0,25 mm para Cobalto 60.

#### **4.- Chasis.**

Los chasis portapelículas serán de dimensiones próximas al tamaño de las películas y deberán ser flexibles para que puedan permitir una buena adaptación a la configuración de la zona a radiografiar debiéndose prestarse gran atención al buen ajuste de pantallas y películas cuando estas se introduzcan en los chasis evitando bolsas de aire, marcas de presión o descargas electrostáticas.

#### **5.- Densitómetro.**

Para juzgar la densidad de la película se utilizará un densitómetro calibrado con certificación de su periodo operativo, de acuerdo a ASME V SE-1079, que son los más usados habitualmente.

#### **6.- Indicadores de Calidad de Imagen (I.C.I).**

Los I.C.I. podrán ser del tipo taladro o del tipo hilo y estarán fabricados e identificados de acuerdo con los requisitos establecidos en ASME V SE-1025 y SE-747.

El espesor o diámetro de hilo, la identificación y diámetro de taladros estará de acuerdo a las tablas de ASME V T-233.1 (Tabla 1) y T-233.2 (Tabla 2).



| <b>Tabla 1. T-233.1 Designación, espesor y diámetros de agujero para ICI (tipo taladro en pulgadas).</b> |                                 |                               |                                |                            |
|--|---------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|----------------------------|
| <b>Denominación del Penetrámetro</b>   | <b>Espesor del Penetrámetro</b> | <b>Diámetro del agujero T</b> | <b>Diámetro del agujero 2T</b> | <b>Diámetro agujero 4T</b> |
| 5  | 0.005                           | 0.010                         | 0.020                          | 0.040                      |
| 7  | 0.0075                          | 0.010                         | 0.020                          | 0.040                      |
| 10   | 0.010                           | 0.010                         | 0.020                          | 0.040                      |
| 12   | 0.0125                          | 0.0125                        | 0.025                          | 0.040                      |
| 15   | 0.015                           | 0.015                         | 0.030                          | 0.060                      |
| 17   | 0.0175                          | 0.0175                        | 0.035                          | 0.070                      |
| 20   | 0.02                            | 0.020                         | 0.040                          | 0.080                      |
| 25   | 0.025                           | 0.025                         | 0.050                          | 0.100                      |
| 30   | 0.030                           | 0.030                         | 0.060                          | 0.120                      |
| 35   | 0.035                           | 0.035                         | 0.070                          | 0.140                      |
| 40   | 0.040                           | 0.040                         | 0.080                          | 0.160                      |
| 45   | 0.045                           | 0.045                         | 0.090                          | 0.180                      |
| 50   | 0.050                           | 0.050                         | 0.100                          | 0.200                      |
| 60   | 0.060                           | 0.060                         | 0.120                          | 0.240                      |
| 80   | 0.080                           | 0.080                         | 0.160                          | 0.320                      |
| 100  | 0.100                           | 0.100                         | 0.200                          | 0.400                      |
| 120  | 0.120                           | 0.120                         | 0.240                          | 0.480                      |
| 160  | 0.160                           | 0.160                         | 0.320                          | 0.640                      |
| 200  | 0.200                           | 0.200                         | 0.400                          | -                          |

Tabla 2. T-233.2 de designación y diámetro del hilo del I.C.I. en pulgadas.

| Penetrámetro ASTM | Diámetro del hilo |
|-------------------|-------------------|
| A                 | 0.0032            |
|                   | 0.004             |
|                   | 0.005             |
|                   | 0.0063            |
|                   | 0.008             |
| D                 | 0.010             |
|                   | 0.013             |
|                   | 0.016             |
|                   | 0.020             |
|                   | 0.025             |
| C                 | 0.032             |
|                   | 0.040             |
|                   | 0.050             |
|                   | 0.063             |
|                   | 0.080             |
| D                 | 0.100             |
|                   | 0.126             |
|                   | 0.160             |
|                   | 0.200             |
|                   | 0.250             |
|                   | 0.320             |

## PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

### 1.- Estado superficial.

El estado superficial de las soldaduras y material base adyacente será tal que no pueda enmascarar o confundir la imagen radiográfica. En el caso de que esto suceda, se procederá a un amolado de las superficies (solo si es posible desde el punto de vista constructivo) hasta alcanzar unas adecuadas condiciones para el examen radiográfico. El sobreespesor sobre cada lado no excederá de los valores especificados en función de la normativa y/o documento aplicable para cada tipo de componente.

## **2.- Identificación.**

Las radiografías deberán mostrar, al menos, los datos siguientes:

- Identificación del fabricante.
- Identificación del componente.
- Identificación de la soldadura.
- Identificación del soldador.
- Fecha de examen..

Estos datos deben aparecer como imagen radiográfica, empleando letras y números de plomo, colocados de modo que no enmascaren la zona a interpretar. En casos excepcionales y perfectamente justificados se utilizará otro sistema de marcado tal como tinta indeleble que proporcione un marcado permanente.

## **3.- Cualificación de personal.**

El personal que realice el examen deberá estar cualificado al menos con Nivel I, mientras que la interpretación y evaluación de resultados será siempre efectuada por un Nivel II o III, de acuerdo con las recomendaciones de SNT-TC-1A de ASNT.

## **4.- Procesado de películas.**

Las películas se revelarán mediante procesos mecánicos o manuales en un cuarto oscuro de acuerdo, con la Parte III de la Práctica Recomendada de ASME V (SE-94).

## **5.- Interpretación.**

Las radiografías serán interpretadas mediante un negoscopio de intensidad luminosa suficiente y regulable.

## **6.- Evaluación.**

La evaluación de indicaciones se efectuará conforme a los criterios de aceptación aplicable en función del componente y normativa aplicada.

## **7.- Reparaciones.**

Las áreas reparadas como consecuencia de este procedimiento serán examinadas por Líquidos Penetrantes hasta comprobar la eliminación total de defectos. Después de recargar las áreas afectadas se examinarán de acuerdo al mismo método de examen y parámetros que en el examen inicial teniendo la precaución de incluir una “R” en la identificación que evidencie la realización de la radiografía después de la reparación.

## **CUESTIONES.**

Se elaborará un informe final cumplimentando todos los datos reflejados en el impreso tipo (ver Figura 1) y adjuntando un mapa radiográfico de localización. Asimismo se adjuntarán los certificados de cualificación del personal.

Se conservará por la empresa encargada de la calidad de la obra las películas radiográficas durante un periodo mínimo de cinco años, identificando proyecto, equipo y soldadura a la que pertenece en un lugar seco y sin exposición directa a la luz solar.

INFORME RADIOGRÁFICO

| CLIENTE:<br>Customer  |  |                   |                                  |                                      |                                    | PEDIDO:<br>Purchaser Order.                     |   |                                    |  |                                |  |                                 |                                  |   |
|---|--|-------------------|----------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|---|---|------------------------------------|--|--------------------------------|--|---------------------------------|----------------------------------|---|
| EQUIPO:<br>Equipment.   |  |                   |                                  |                                      |                                    | CALIFICACIÓN S/NORMA:<br>Calification Standard. |   |                                    |  |                                |  |                                 |                                  |   |
| MATERIAL:   |  |                   |                                  |                                      |                                    | ESPESOR:<br>Thickness.                          |   |                                    | EXTENSIÓN EXAMEN:<br>Control Extensión.  |                                |  |                                 |                                  |   |
| DESCRIPCIÓN DEL EXAMEN – Description of Examination           |  |                   |                                  |                                      |                                    |   |   |                                    |  |                                |  |                                 |                                  |   |
| PROCEDIMIENTO:<br>Procedure.                                  |  |                   |                                  | PENETR.: N°<br>[Q]                   |                                    | SITUACIÓN:<br>Situation.                        |   | GALGA:<br>Shim.                    |  |                                |  |                                 |                                  |   |
| TIPO DE FUENTE:<br>Source Type.                               |  |                   | ENERGÍA MÁXIMA:<br>Max-Energx.   |                                      |                                    | TAMAÑO FOCAL:<br>Focal Size.                    |   |                                    |  |                                |  |                                 |                                  |   |
| TIPO FILM:<br>Film Type.                                      |  |                   | TAMAÑO:<br>Size.                 |                                      | N° FILMS:                          |   | CHASIS:<br>Chasis.                        |                                    | PANTALLAS:<br>Screens                    |                                |  |                                 |                                  |   |
| DISTANCIA F.F.<br>F.F. Distance.                              |  |                   | KV:<br>M.A.:                     |                                      | DENSIDAD:<br>Density.              |   | Activ. Ci:                                |                                    | TIEMPO EXP:<br>Time Expos.               |                                |  |                                 |                                  |   |
| IDENTIFICACIÓN<br>N° Radiografía.<br><br>Film Identification. |  | POROS<br>Porosity | POROS VERMICULARES<br>Worm Holes | ESCORIA IRREGULAR<br>Slag Inclusion. | ESCORIAS ALINEADAS<br>Slags Lines. | FALTA DE FUSIÓN.<br>Lack Fusion.                | FALTA DE PENETRACION<br>Lack Penetration. | GRIETA LONGITUDINAL<br>Long Crack. | GRIETA TRANSVERSAL.<br>Transverse Crack. | MORDEDURAS<br>Undercut.        | INCLUSIÓN FLUX/TUNGSTEN.<br>Flux/Tungsten. | CRÁTER-RECHUPES.<br>Shrinkages. | OTROS DEFECTOS<br>Other Defects. | Interpretación y calificación según Norma UNE 14.011.<br>1. Soldadura perfecta -Negra<br>2. Soldadura buena-Azul<br>3. Soldadura regular-Gris<br>4. Soldadura mala-Marrón.<br>5. Soldadura muy mala - Rojo.<br><br>Interpretación y calificación según código ASME.<br>A – Acceptable.<br>R - Rechazable<br>Calificación - Results OBSERVACIONES<br>Remarks |
|   |  | Aa                | Ab                               | Ba                                   | Bb                                 | C   | D   | Ea                                 | Eb                                       | F                              | G/H  | K                               | O                                |   |
|   |  |                   |                                  |                                      |                                    |   |   |                                    |  |                                |  |                                 |                                  |   |
|   |  |                   |                                  |                                      |                                    |   |   |                                    |  |                                |  |                                 |                                  |   |
|   |  |                   |                                  |                                      |                                    |   |   |                                    |  |                                |  |                                 |                                  |   |
|   |  |                   |                                  |                                      |                                    |   |   |                                    |  |                                |  |                                 |                                  |   |
|   |  |                   |                                  |                                      |                                    |   |   |                                    |  |                                |  |                                 |                                  |   |
|   |  |                   |                                  |                                      |                                    |   |   |                                    |  |                                |  |                                 |                                  |   |
|   |  |                   |                                  |                                      |                                    |   |   |                                    |  |                                |  |                                 |                                  |   |
|   |  |                   |                                  |                                      |                                    |   |   |                                    |  |                                |  |                                 |                                  |   |
|   |  |                   |                                  |                                      |                                    |   |   |                                    |  |                                |  |                                 |                                  |   |
|   |  |                   |                                  |                                      |                                    |   |   |                                    |  |                                |  |                                 |                                  |   |
|   |  |                   |                                  |                                      |                                    |   |   |                                    |  |                                |  |                                 |                                  |   |
|   |  |                   |                                  |                                      |                                    |   |   |                                    |  |                                |  |                                 |                                  |   |
|   |  |                   |                                  |                                      |                                    |   |   |                                    |  |                                |  |                                 |                                  |   |
|   |  |                   |                                  |                                      |                                    |   |   |                                    |  |                                |  |                                 |                                  |   |
|   |  |                   |                                  |                                      |                                    |   |   |                                    |  |                                |  |                                 |                                  |   |
|   |  |                   |                                  |                                      |                                    |   |   |                                    |  |                                |  |                                 |                                  |   |
|   |  |                   |                                  |                                      |                                    |   |   |                                    |  |                                |  |                                 |                                  |   |
|   |  |                   |                                  |                                      |                                    |   |   |                                    |  |                                |  |                                 |                                  |   |
|   |  |                   |                                  |                                      |                                    |   |   |                                    |  |                                |  |                                 |                                  |   |
|   |  |                   |                                  |                                      |                                    |   |   |                                    |  |                                |  |                                 |                                  |   |
|   |  |                   |                                  |                                      |                                    |   |   |                                    |  |                                |  |                                 |                                  |   |
|   |  |                   |                                  |                                      |                                    |   |   |                                    |  |                                |  |                                 |                                  |   |
|   |  |                   |                                  |                                      |                                    |   |   |                                    |  |                                |  |                                 |                                  |   |
|   |  |                   |                                  |                                      |                                    |   |   |                                    |  |                                |  |                                 |                                  |   |
|   |  |                   |                                  |                                      |                                    |   |   |                                    |  |                                |  |                                 |                                  |   |
|   |  |                   |                                  |                                      |                                    |   |   |                                    |  |                                |  |                                 |                                  |   |
|   |  |                   |                                  |                                      |                                    |   |   |                                    |  |                                |  |                                 |                                  |   |
|   |  |                   |                                  |                                      |                                    |   |   |                                    |  |                                |  |                                 |                                  |   |
|   |  |                   |                                  |                                      |                                    |   |   |                                    |  |                                |  |                                 |                                  |   |
| OBSERVACIONES:  |  |                   |                                  |                                      |                                    |   |   |                                    |  |                                |  |                                 |                                  |   |
| OPERADOR  |  |                   |                                  |                                      | INSPECTOR CLIENTE - Customer       |   |   |                                    |  | INSPECTOR                      |  |                                 |                                  |   |
| NIVEL.<br>Level   |  |                   |                                  |                                      |                                    |   |   |                                    |  |                                |  |                                 |                                  |   |
| FIRMA Y FECHA:<br>Signed-Date.                                |  |                   |                                  |                                      | FIRMA Y FECHA:<br>Signed-Date.     |   |   |                                    |  | FIRMA Y FECHA:<br>Signed-Date. |  |                                 |                                  |   |