



## INDICE.

	Pagina
<b>1.- Introducción.</b>	<b>4</b>
<b>2.- Consideraciones generales de la Radiografía.</b>	<b>5</b>
<b>2.1.- Características de los rayos x y gamma. Fuentes.</b>	<b>22</b>
2.1.1.- Características de los rayos x y gamma.	22
2.1.2.- Fuentes Rayos X.	25
2.1.3.- Fuentes Gammográficas.	27
<b>2.2.- Leyes de la radiografía.</b>	<b>31</b>
a.- Ley de propagación. Limitaciones geométricas.	31
b.- Ley de ampliación.	33
c.- Ley de penumbra.	34
d.- Ley de atenuación o de distancia.	37
e.- Ley de absorción.	39
<b>2.3.- Calidad Radiográfica.</b>	<b>42</b>
2.3.1.- Indicadores de calidad de Imagen (IQI). Tipos de indicadores de calidad de Imagen.	43
2.3.2.- Contraste. Película radiográfica. Densidad radiográfica. Densímetros.	52
2.3.3.-Causas de imágenes deficientes o de baja calidad en las películas radiográficas y su corrección.	56
2.3.4.- Digitalización de la imagen radiográfica.	60
<b>3.- Defectología</b>	<b>71</b>
<b>3.1.- Grietas</b>	<b>76</b>
<b>3.2.- Cavidades</b>	<b>78</b>
<b>3.3.- Inclusiones sólidas</b>	<b>80</b>



<b>3.4.- Falta de fusión y de penetración.</b>	<b>81</b>
3.4.1.- Falta de fusión.	81
3.4.2.- Falta de penetración.	82
<b>3.5.- Imperfecciones de forma y dimensión.</b>	<b>83</b>
3.5.1.- Mordedura.	83
3.5.2.- Solapamiento.	84
3.5.3.- Sobreespesor excesivo.	84
3.5.4.- Exceso de penetración.	85
3.5.5.- Ángulo de acuerdo incorrecto.	86
3.5.6.- Falta de alineación o deformación angular.	86
3.5.7.- Falta de metal de soldadura.	87
3.5.8.- Perforación.	87
3.5.9.- Rechupe.	88
3.5.10.- Exceso de simetría en la soldadura en ángulo.	89
3.5.11.- Anchura irregular y superficie irregular.	89
3.5.12.- Empalme defectuoso.	89
<b>3.6.- Otras imperfecciones.</b>	<b>90</b>
3.6.1.- Cebado de arco.	90
3.6.2.- Salpicaduras o proyecciones.	90
3.6.3.- Desgarre local.	90
3.6.4.- Marca de amolado o de burilado.	90
3.6.5.- Amolado excesivo.	90
<b>3.7.- Consecuencias de las imperfecciones de las soldaduras.</b>	<b>91</b>
<b>4.- Causas y soluciones, para imperfecciones en los procesos de soldeo más utilizados.</b>	<b>92</b>
4.1.- Soldeo con electrodos revestidos.	92
4.2.- Soldeo TIG.	95
4.3.- Soldeo MIG/MAG.	98
4.4.- Soldeo con Arco Sumergido.	104



<b>5.- Aplicación. Interpretación y Evaluación.</b>	<b>108</b>
<b>5.1.- Calificación de las uniones soldadas mediante el método de inspección radiográfica (Ensayo No Destructivo).</b>	<b>112</b>
• Serie 100: Fracturas	116
• Serie 200: Porosidades	127
• Serie 300: Inclusiones de sólidos	
• Serie 400: Fusión incompleta y falta de penetración.	152
• Serie 500: Defectos de contorno, traslape, concavidades, cordones irregulares, socavado y rechupes.	163
• Serie 600: Defectos variados.	174
<b>6.- Ejemplo de procedimiento según ASME V y VIII.</b>	<b>175</b>
6.1.- Anexo I.	186
6.2.- Anexo II.	190
6.3.- Anexo III.	197
6.4.- Anexo IV.	200
<b>7.- Ejemplos.</b>	<b>203</b>
<b>8.- Bibliografía.</b>	<b>221</b>



## INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA

### 1-. INTRODUCCIÓN

Este proyecto nace con la intención principalmente didáctica para la formación de futuros ingenieros en un campo en el cual no se profundiza en la medida de la importancia que en la actualidad tiene en el mundo de la industrial.

La radiografía es sin duda el Ensayo No Destructivo (END) más utilizado, fiable e intuitivo de los utilizados en la actualidad, aunque conviene recordar que no hay ningún END definitivo a la hora de emitir una evaluación sobre el estado de una soldadura, sino complementario, en este caso con la inspección por ultrasonidos.



**Soldado MAG** (prensa aplastacoches JCG-250)



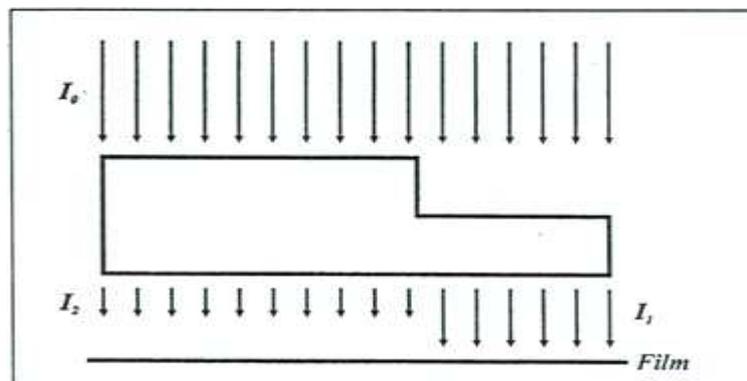
## 2- CONSIDERACIONES GENERALES DE LA RADIOGRAFÍA.

La radiografía (rayos X) es uno de los métodos de inspección no destructivos más importante, versátil y con mayor aceptación actual. A menudo se utiliza el término “calidad rayos X” para indicar soldaduras de alta calidad que han sido analizadas por este método de inspección.

La radiografía se basa en la propiedad de los rayos X y gamma de atravesar metales y otros materiales opacos a la luz, produciendo una impresión fotográfica de la energía radiante transmitida. El material que está expuesto, absorberá una cantidad de energía radiante conocida, y por tanto los rayos X y gamma (Cobalto 60 e Iridium 192) pueden ser utilizados para mostrar discontinuidades e inclusiones localizadas dentro del material. Cuando los rayos X o gamma son dirigidos a una sección de soldadura no toda la radiación pasa a través del metal. Metales diferentes absorben distintas longitudes de onda. Los materiales opacos absorben cierta cantidad de energía, pero cuando hay una sección más delgada o un vacío (grietas o porosidad), esta cantidad disminuye. La fiabilidad y valor de las imágenes radiográficas son función de la nitidez y contraste.

### Diferencia de espesores

A mayor espesor atravesado, mayor absorción de energía y consecuentemente menor impresión de la película.

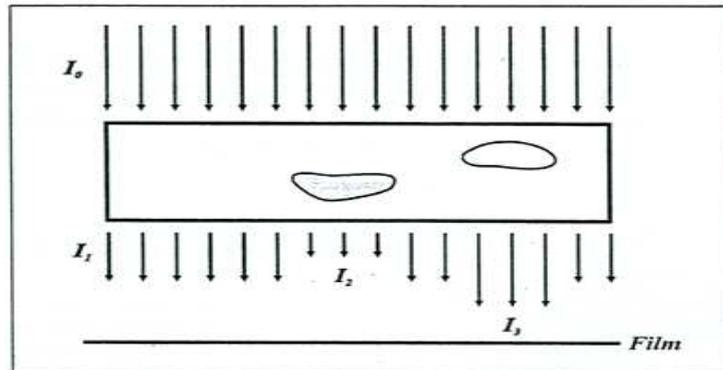




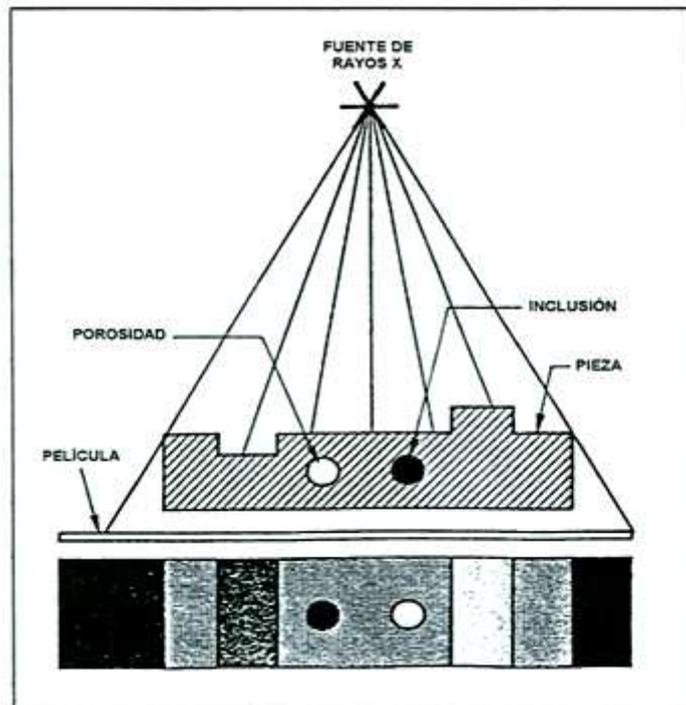
### Diferencias de densidades

Zonas mas densas → mayor absorción → menor impresión de la película. (Zonas blancas).

Zonas menos densas → menor absorción → mayor impresión de la película. (Zonas oscuras).



En la figura siguiente se representa un ejemplo de los anteriores efectos.



Como puede apreciarse, las radiografías están formadas por una serie de zonas claras u oscuras en función de la cantidad total de radiación que alcance la película.



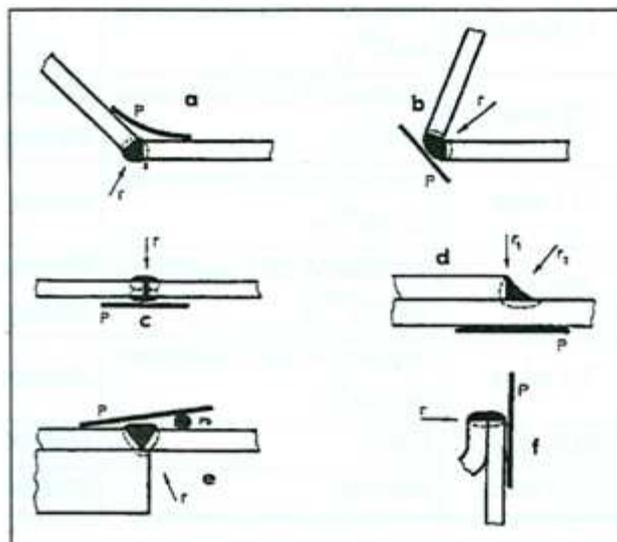
### Realización Del Ensayo.

Básicamente el ensayo consta de dos operaciones:

- **Realización de la radiografía:** Se sitúa la fuente a una cierta distancia de la pieza y se coloca la película por el lado opuesto de la pieza. La radiación emitida incide sobre el objeto y lo atraviesa. La cantidad de radiación que alcanza la película dependerá del espesor de la sección radiografiada así como de la diferencia de densidades, tal y como se vio anteriormente.

La película está compuesta por una emulsión de haluros de plata que quedan sensibilizados por efecto de la radiación.

En la figura siguiente se representan, a modo de ejemplo, algunas configuraciones usuales para la realización de radiografías.

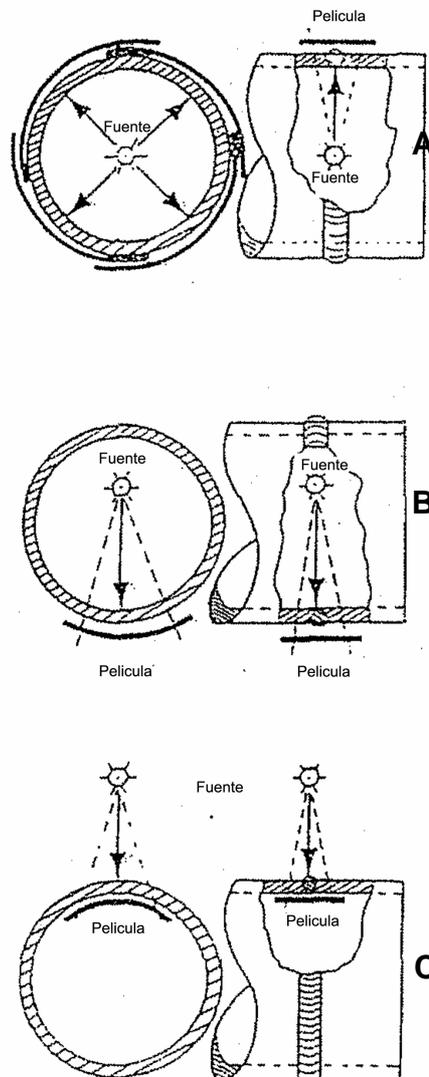




Un caso particularmente frecuente consiste en la radiografía de uniones soldadas en tuberías, estas se pueden realizar mediante las siguientes técnicas.

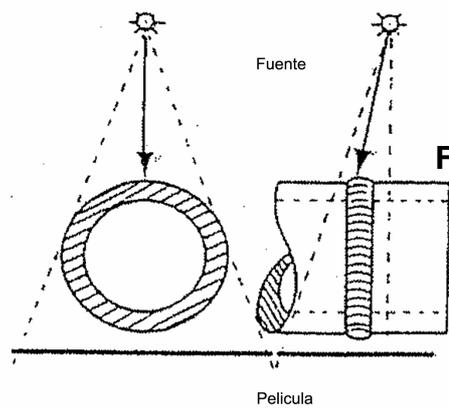
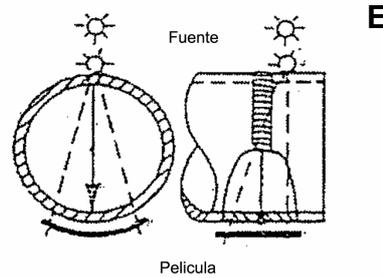
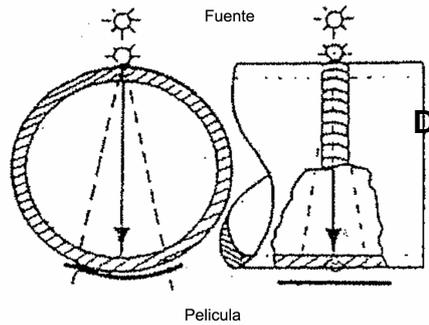
### Técnica de pared simple.

La radiación atravesará únicamente la soldadura a calificar, pudiéndose utilizar simple o doble radiografía dentro del mismo chasis.





**Técnica de pared doble.** La técnica de doble pared, se puede realizar con interpretación de una o de doble pared, la elección de una u otra técnica dependerá únicamente del diámetro exterior.



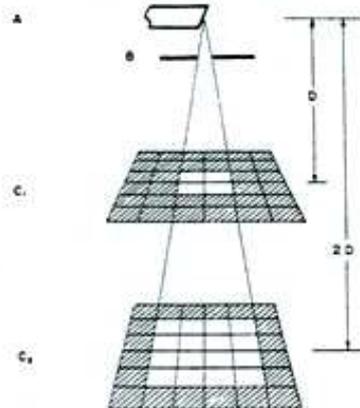


Para la realización de la radiografía, el radiólogo debe determinar el tipo de fuente e intensidad del ensayo, así como la distancia apropiada de colocación entre la película, el objeto y la fuente. En primer lugar se selecciona una fuente o intensidad en función del material y espesor que se desea radiografiar. A partir de la calidad necesaria requerida y de la penumbra máxima admisible, se determina la distancia foco-película. Posteriormente se determina el tiempo de exposición teniendo en cuenta la ley de los cuadrados decrecientes. Este principio, que matemáticamente se puede expresar en la forma siguiente:

#### Ley de los cuadrados decrecientes.

Este principio, que matemáticamente se puede expresar en la forma siguiente:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{D_2^2}{D_1^2}$$



**Revelado de la película:** La película sensibilizada se somete a un proceso de revelado, que hace que precipite la plata contenida en el haluro sensibilizado.

Las zonas de la emulsión que hayan recibido más radiación, tendrán mayor proporción de granos sensibilizados por unidad de superficie y después de revelado, esta zona resultará más oscura por la mayor cantidad de plata liberada.

Terminado el proceso de revelado de la película, se obtiene una imagen con áreas más o menos opacas que van desde el negro denso, de las zonas fuertemente impresionadas, al casi perfectamente transparente, de las zonas que no han recibido radiación. Esta imagen debe observarse por transparencia en un negatoscopio, distinguiendo:



- **Contraste:** Diferencia de color entre dos zonas adyacentes.
- **Definición:** El paso de una densidad a otra en dos regiones contiguas no tiene lugar de una forma brusca, sino que existe una zona más o menos amplia en la que se puede observar una serie de densidades intermedias, cuanto más estrecha sea esta zona mejor es la definición.
- **Densidad de la película:** La densidad de la película fotográfica está determinada por el nivel de ennegrecimiento de la película. La densidad es en sí misma un número abstracto obtenido a partir de la ecuación:

$$D = \log ( I_0/I_t )$$

En la que  $I_0$  es la intensidad de luz incidente en el film y  $I_t$  es la cantidad de luz transmitida a través de la película. Se utiliza el valor logarítmico con el fin de manejar números pequeños. En radiología industrial se trabaja con densidades del orden de 2 ó 2.5. Radiografías que presenten densidades menores deben darse por defectuosas.

Una cuestión importante que de momento no se ha mencionado y que afecta considerablemente a la calidad de la imagen obtenida es el efecto de la radiación secundaria. Esta consiste en que la radiación que incide sobre el material, hace que este emita una segunda radiación secundaria o difusa, que produce velo uniforme sobre la película radiográfica, reduciendo el contraste y la definición. Para evitar este fenómeno se utilizan pantallas que permitan atrapar esta radiación, como es el caso de las pantallas de plomo, de un espesor tal que no sea un obstáculo para la radiación primaria.

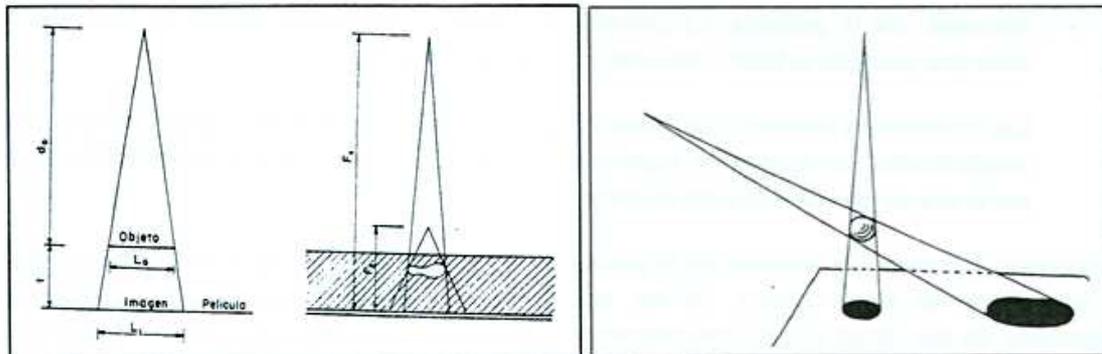
### Evaluación De La Radiografía.

El proceso de realización de la radiografía, tal y como se ha descrito, consiste, básicamente, en obtener la “sombra” que un haz de rayos X o gamma produce sobre una película al atravesar un objeto traslúcido a dicho haz. Dependiendo de la posición relativa del foco emisor de la radiación, del objeto y la pantalla, se pueden producir fenómenos de distorsión de la imagen, tal y como se aprecia en la figura.



**PROYECTO FIN DE CARRERA:  
BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS  
EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION  
RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES  
METALICOS.**

Hoja 12 de 221



Nótese que, en la figura, el foco se ha considerado puntual y que la imagen es superior al tamaño del objeto, aparte de que éste pueda aparecer distorsionado por efecto de una incidencia oblicua del haz sobre la película.

Cuando el foco no es puntual, aparece el efecto de la aparición de una cierta penumbra geométrica, tal y como se aprecia en la siguiente figura . Esta penumbra dificulta la interpretación de las indicaciones, ya que difumina los bordes del objeto.

La penumbra geométrica se puede calcular por la fórmula:

$$U_g = \frac{F \cdot t}{d_o}$$

donde:

- $U_g$  = penumbra geométrica.
- $F$  = Tamaño del foco
- $t$  = Espesor del objeto.



Fijado un valor máximo de la penumbra  $U_g$  como admisible, se determina el valor mínimo de la distancia foco-película.

$$D.F.P. = (F_t/U_g) + t$$

Otro aspecto importante que debe considerarse es la **sensibilidad** del ensayo, que se define por la imperfección de menor tamaño que el ensayo es capaz de detectar. Normalmente se expresa en forma de un tanto por ciento del espesor real del objeto:

$$S (\%) = (e/t) \times 100$$

donde:

e= espesor de la capa más delgada visible colocada sobre el objeto

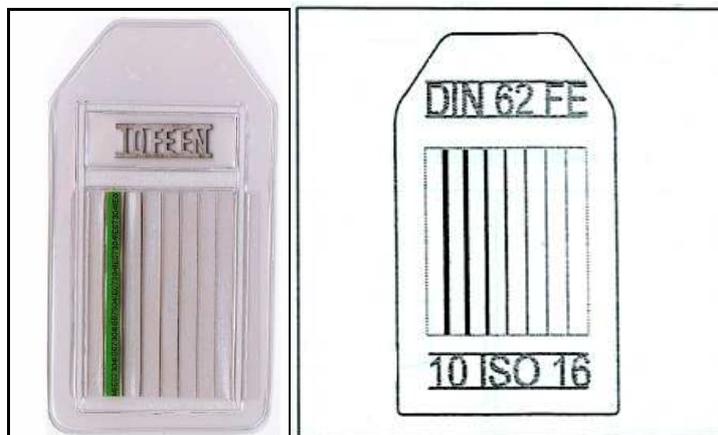
t= espesor del objeto

S= sensibilidad radiográfica

Para medir la sensibilidad del ensayo se sitúan los “**indicadores de la calidad de imagen**” (IQI). Existen una gran diversidad de indicadores de calidad de imagen entre los que destacan: indicadores de hilos, indicadores de placas de espesor constante e indicadores de taladros, recogidos en diversas normativas, Europea, ASTM,.....

En Europa se encuentran recogidos en las Normas:

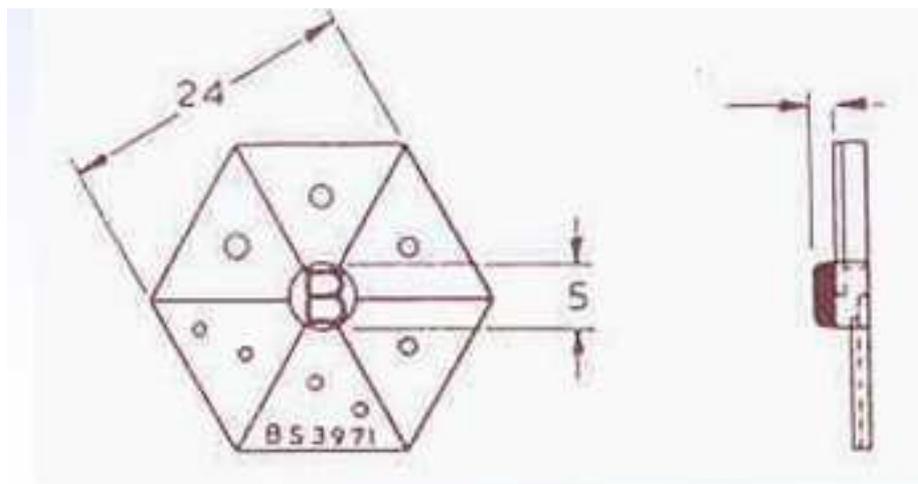
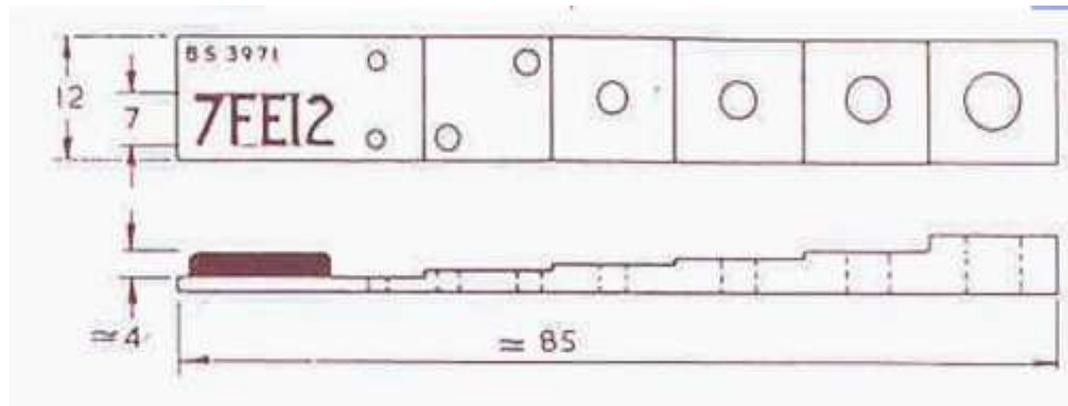
- **EN 462-1:** Ensayos no destructivos. Calidad de imagen de las radiografías. Parte 1: Indicadores de calidad de imagen (Tipo hilos). Determinación del valor de calidad de imagen.



Ejemplo de indicador de hilos



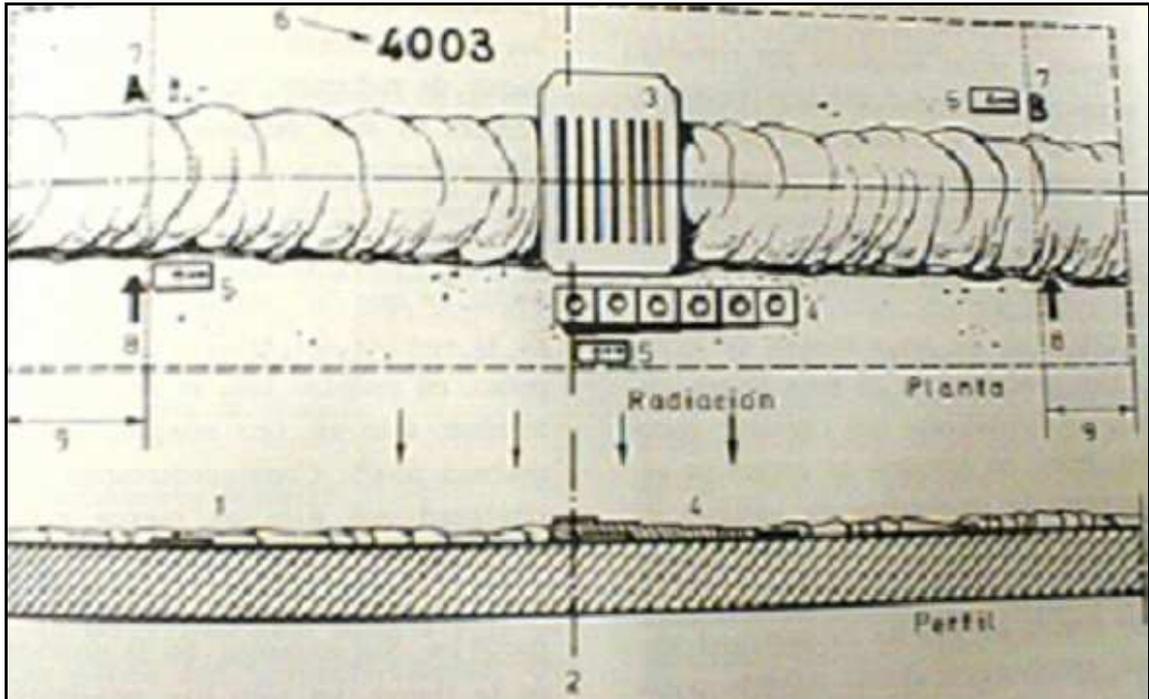
- **EN 462-2:** Ensayos no destructivos. Calidad de imagen de las radiografías. Parte 2: Indicadores de calidad de imagen (Tipo taladros y escalones). Determinación del valor de calidad de imagen.



Ejemplos de indicadores de calidad de escalones y taladros



El indicador de calidad se sitúa sobre la pieza durante la realización de la radiografía y posteriormente el diámetro del hilo más fino que se observe, se utiliza para cuantificar el efecto mínimo que detectarse, esto es, la sensibilidad del ensayo.





### Normativa Europea de aplicación.

La norma **UNE EN 1435**: 1998 “Examen no destructivo de uniones soldadas. Examen radiográfico de uniones soldadas”. Regula todos los aspectos relativos a la realización de las radiografías, incluyendo las distintas técnicas aplicables.

Respecto a los niveles de aceptación, tenemos la norma **UNE EN 12517**: 1998 “Examen no destructivo de soldaduras. Examen radiográfico de uniones soldadas. Niveles de aceptación”.

### Análisis de las imperfecciones.

El análisis de la placa radiográfica debe hacerse con el fin de aumentar el contraste subjetivo en una habitación oscura y con un negatoscopio adecuado.



Imagen de un negatoscopio



Veamos una breve descripción de las indicaciones que se obtienen en función del defecto existente en la pieza radiografiada, relacionándolos con los procesos de soldeo susceptibles de generar este defecto.

- **Falta de penetración.**

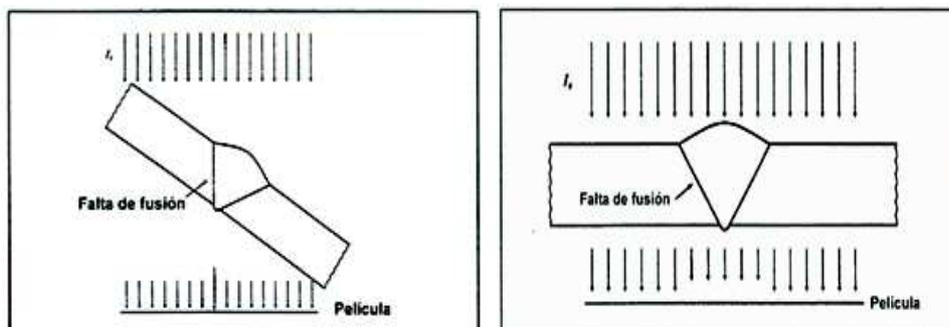
- Imagen radiográfica: Línea oscura, continua o intermitente en el centro del cordón de soldadura.

- **Falta de fusión**

- Imagen radiográfica: Línea oscura delgada con bordes muy definidos. La línea puede tender a ser ondulada y difusa, según sea la orientación del defecto respecto a la dirección de la radiación.

El defecto de falta de fusión no siempre es detectable por radiografía. En el caso de que el baño de fusión se derrame sobre la superficie sólida del metal base, este solidificará quedando íntimamente unido, por lo que la radiografía no detectará variaciones volumétricas. El defecto sólo se detecta cuando queda una cavidad como consecuencia de esta falta de fusión. La figura 9 muestra este hecho

Este tipo de defecto es especialmente peligroso en soldaduras bajo protección gaseosa, y normalmente se suele presentar entre la pasada de raíz y la segunda pasada.





- **Porosidad.**

- Imagen radiográfica: aparecen representadas por manchas negras, muy definidas. Dependiendo del tipo de porosidad pueden presentar distinta morfología, distinguiéndose las que presentan un aspecto circular, poros ordinarios y las que presentan un aspecto de gusano, poros vermiculares.

- **Inclusiones.**

- Imagen radiográfica: Manchas de contorno irregular. Dependiendo del material causante de la inclusión presentan las siguientes tonalidades:
  - Manchas oscuras: Inclusiones de óxidos, escorias, restos de fundente,.....
  - Manchas claras: Inclusiones de metales pesados, principalmente tungsteno. Este tipo de defecto aparece sólo en el soldeo TIG, cuando por fusión del electrodo de tungsteno se introduce parte del mismo en el cordón de soldadura. El Tungsteno absorbe en mayor medida la radiación por lo que la presencia de este hace que aparezca en forma de manchas blancas sobre el cordón.

- **Exceso de penetración: Descoladura.**

- Imagen radiográfica: Aparece como una mancha blanca en el centro del cordón con un carácter más o menos continuo.

- **Mordedura.**

- Imagen radiográfica. Aparece como una mancha oscura situada sobre los bordes de la soldadura. Cuanto más oscura, más profundidad presenta el defecto. Además si el cambio de tonalidad cambia bruscamente denota un cambio brusco de la mordedura y por tanto una transición menos suaves, lo que resulta especialmente perjudicial para las propiedades de la unión.

Las mordeduras pueden aparecer tanto en el cordón de raíz como en el acabado.



- **Falta de sobreespesor.**
  - Imagen radiográfica. Aparece con un color ligeramente más oscuro respecto al fondo de la pieza.
  
- **Grietas.**
  - Imagen radiográfica. Aparece como una línea oscura, más o menos perfilada.

### **Cualificación del Personal**

La cualificación del personal de ensayos no destructivos viene recogida en la **Norma UNE EN 473**: “Ensayos no destructivos. Cualificación y certificación del personal que realiza ensayos no destructivos. Principios generales”.

Esta norma establece tres niveles distintos de personal:

- ✓ Nivel I, personal operario; está autorizado para realizar las radiografías.
- ✓ Nivel II, supervisor de los Niveles I; está autorizado a calificar radiografías.
- ✓ Nivel III, supervisor de los anteriores; es el responsable total de la interpretación de las radiografías.

En la norma se determinan los perfiles académicos y profesionales que los aspirantes a los distintos niveles tienen que justificar, en función del tipo de END para el que soliciten cualificación.



### Protección de la Radiación.

Debido a que las radiaciones ionizantes tienen consecuencias biológicas nocivas, es importante conocer las dosis máximas admisibles de radiación y tenerlas en cuenta. La dificultad de determinar estas dosis se revela en el prudente enunciado de la *Comisión Internacional de Protección Radiológica* que describe la dosis máxima admisible como: “ *la dosis de radiación ionizante que no se espera, a la luz de los actuales conocimientos científicos, que provoque una lesión cualquiera a una persona en cualquier momento de su vida*”.

Al principio de la radiología, los esfuerzos para la seguridad fueron ante todo dirigidos hacia aquellos que se hallaban implicados: el paciente, el equipo radiológico y los asistentes. Hoy día, la seguridad interesa a todo el mundo.

La razón de ello reside en que, cuando se provocan consecuencias somáticas a largo plazo por la acumulación de dosis recibidas, las consecuencias genéticas pueden ser provocadas a largo plazo por dosis extremadamente reducidas de irradiación y manifestarse independientemente de la cantidad real de exposición.

Pueden incluso manifestarse consecuencias genéticas con un valor igual a la dosis de población total y es, por ello, que importa tanto que el gran público esté protegido contra un exceso de radiación y que el nivel de radiación admisible sea mantenido lo más reducido posible.

Dado que las dosis de irradiación admisible son muy complejas, muestro en el siguiente cuadro, a título de ejemplo, los valores aplicables para una irradiación externa.

ÓRGANO	Radiación exterior admisible para las personas expuestas profesionalmente			
	En toda la vida	Por año	Por trimestre	Por semana
El cuerpo entero	30 rem	5 rem	3 rem	0,1 rem
La epidermis		30 rem	15 rem	
Las extremidades		75 rem	40 rem	
Todos los demás órganos		15 rem	8 rem	



La “cantidad de radiación” se mide en “*roentgens*”. El roentgen es la unidad de dosis de exposición, definida internacionalmente como la cantidad de radiación X o gamma que produce en 0,001293 g de aire, en condiciones normales, iones con una 1 u.e.e. de cantidad de electricidad de cualquier signo.

### Instrumentos de Medida

Cuando queremos medir una cierta cantidad de radiación, debemos determinar, a decir verdad, la ionización que tiene lugar en un cierto volumen de aire. Cuando el aire está ionizado, se vuelve electroconductor y la cantidad de electricidad producida puede medirse con exactitud.

Para una gran zona de longitudes de onda, la ionización es directamente proporcional a la energía absorbida de los rayos X. Existe una cierta cantidad de aire entre las dos placas, el aire se ioniza y se vuelve electro-conductor.

Un galvanómetro indica la intensidad de la corriente que deja pasar el aire ionizado. Si la potencia del haz de rayos X aumenta, también aumenta el número de iones presentes en el aire y la intensidad de la corriente se hace más fuerte.

El técnico radiológico tiene a su disposición principalmente cuatro clases de aparatos de medida:

- a) Dosímetros.
- b) Medidores de velocidad de dosificación.
- c) Dosímetros de filamento de cuarzo.
- d) Dosímetros de película.
- e) Densímetros.



## 2.1.- Características de los rayos x y gamma. Fuentes.

### 2.1.1 Características de los rayos X y gamma.

Tanto los rayos X como los rayos gamma son radiaciones electromagnéticas con una longitud de onda mucho más corta que la de la luz pero una energía irradiada mucho mayor. Para el análisis radiográfico se pueden utilizar ambos tipos de fuentes, fuentes generadoras de rayos X y emisiones de rayos gamma.

- 1- Los generadores de rayos X son unos equipos que permiten la emisión de rayos X por transformación de la energía eléctrica. Regulando la intensidad del equipo se regula la potencia de la emisión.

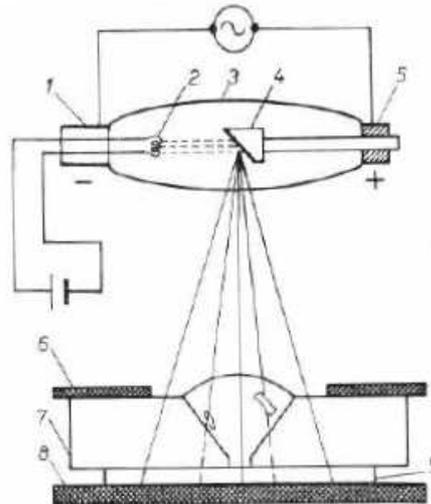
En la página siguiente se muestra un esquema muy general de las distintas partes que conforman un aparato radiográfico común. En la parte superior podemos ver el sistema generador de partículas de Rayos X, constituido por el cátodo de cobre, filamento de tungsteno, ampolla de vidrio, anticátodo de tungsteno y ánodo de cobre.

Entre la probeta del cordón de soldadura encontramos la pantalla de plomo, la cual va a delimitar la zona que se plasmará tras el revelado de la placa radiográfica; ya que el plomo debido a su gran densidad no es atravesado por las partículas de Rayos X, las cuales pasan a través de la probeta, sin que se produzca ninguna desviación reflejando sobre la placa cualquier cambio de densidad; con lo que nos va a marcar la existencia de algún defecto, en tamaño real sobre la placa.

En el siguiente cuadro reflejamos los espesores máximos que pueden penetrarse con rayos X.



ESQUEMA DEL APARATO RADIOGRÁFICO



Examen de una soldadura con rayos X.

1. Cátodo de cobre. - 2. Filamento de tungsteno. - 3. Ampolla de vidrio. -  
 4. Anticátodo de tungsteno. - 5. Ánodo de cobre. - 6. Pantalla de plomo. -  
 7. Probeta. - 8. Pantalla de plomo. - 9. Placa fotográfica.

ESPEORES MÁXIMOS QUE PUEDEN PENETRARSE CON RAYOS X

TENSIÓN FILAMENTO	TIEMPO DE EXPOSICIÓN	PENETRACIÓN (mm)		
		ACERO	COBRE/LATON	BRONCE
150 KV	1 hora	50	30	20
300 KV	"	100	65	40
1 000 KV	"	200	150	150
2 000 KV	"	300	250	250

- 2- Los rayos gamma se obtienen por le emisión natural de un átomo radioactivo o isótopo. La intensidad de emisión es constante para un isótopo determinado. Las fuentes isotópicas emiten radiactividad continuamente, motivo por el cual deben estar convenientemente encapsuladas.



En la figura siguiente aparece un ejemplo de un contenedor de laberinto.

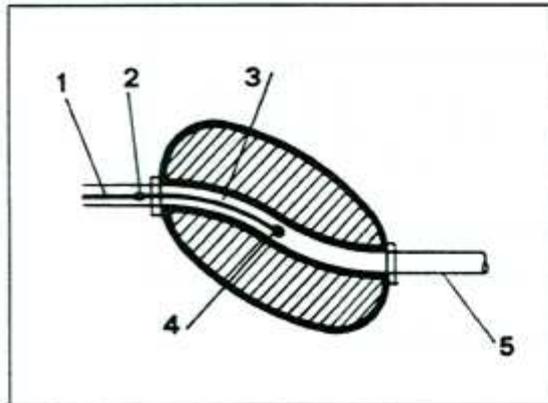


FIGURA 4. CONTENEDOR DE LABERINTO.

- 1.- Cable tractor
- 2.- Mosquetón de enganche
- 3.- "Rabo" flexible de la fuente
- 4.- Fuente
- 5.- Manguera de salida

En la tabla siguiente se representan los principales isótopos utilizados industrialmente.

ELEMENTO	SÍMBOLO	VIDA MEDIA	ORIGEN	UTILIZACIÓN
Sodio	Na <sup>24</sup> <sub>11</sub>	15 horas	Irradiación con neutrones de N <sup>23</sup> <sub>11</sub>	
Iridio	Ir <sup>192</sup> <sub>77</sub>	74 días	Irradiación con neutrones de Ir <sup>191</sup> <sub>77</sub>	Metales ferreos 20÷80mm Aleaciones ligeras 30 mm.
Tántalo	Ta <sup>182</sup> <sub>73</sub>	111 días	Irradiación con neutrones de Ta <sup>181</sup> <sub>73</sub>	Metales férreos 30÷150mm.
Tulio	Tm <sup>170</sup> <sub>69</sub>	127 días	Irradiación con neutrones de Tm <sup>169</sup> <sub>69</sub>	Metales férreos 1÷20mm. Aleaciones ligeras 10÷40mm.
Cobalto	Co <sup>60</sup> <sub>27</sub>	5,3 años	Irradiación con neutrones de Co <sup>50</sup> <sub>27</sub>	Metales férreos 30÷150mm.
Cesio	Cs <sup>137</sup> <sub>55</sub>	26,6 años	Fisión	Metales férreos 30÷90mm
Radio	Ra	1620 años	Natural	Metales férreos 30÷150mm

Nota: nunca se debe estar cerca de una fuente isotópica abierta.



Las principales diferencias entre los generadores de rayos X y los isótopos son las siguientes:

- 1- Las fuentes de rayos X permiten regular la longitud de onda de la radiación y por tanto, la energía de la misma, mientras que las fuentes isotópicas emiten una longitud de onda concreta dependiendo de la fuente seleccionada.
- 2- Los isótopos emiten radiación continuamente, mientras que las fuentes de rayos X sólo emiten cuando estén en funcionamiento.
- 3- Las fuentes isotópicas son fácilmente transportables, por lo que son ideales para equipos portátiles.
- 4- Los isótopos se deterioran con el transcurso del tiempo, es decir, se gasta, por lo que el funcionamiento de la fuente no es el mismo, variando la intensidad de la emisión. Esto hace que conforme pasa el tiempo se tengan que corregir los tiempos de exposición, aumentándolos para contrarrestar el efecto.

### 2.1.2 Fuentes Rayos X.

La cantidad total de radiación emitida por un tubo de rayos X depende de la corriente que circula por él (mA), de la tensión de excitación (KV) y del tiempo (t) de duración de estas dos acciones.

Cuando permaneciendo constantes los valores del tiempo y la tensión de excitación, se varía la intensidad de la corriente, tiene lugar una variación en la intensidad de la radiación emitida. Esta intensidad es aproximadamente proporcional a los miliamperios, siempre que no haya variación en la tensión de excitación, pudiéndose tomar en la práctica como exacta esta proporcionalidad.

Para un valor de longitud de onda determinado se obtiene intensidades de radiación que son dobles unas de las otras, sin que se produzca ninguna modificación en la calidad de la radiación emitida o en su poder de penetración.

La cantidad total de radiación emitida por un tubo de rayos X, trabajando en unas determinadas condiciones de intensidad y tensión de excitación, es directamente proporcional al tiempo. Puesto que la emisión de radiación X es proporcional a la intensidad de corriente y al tiempo, también lo será a su producto. Esto se puede expresar por la ecuación:

$$E = M \cdot t$$



PROYECTO FIN DE CARRERA:  
BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS  
EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION  
RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES  
METALICOS.

Hoja 26 de 221

Donde  $E$  es la exposición,  $M$  la intensidad de la corriente de alimentación del tubo expresada en miliamperios y  $t$  el tiempo que dura la exposición en minutos o segundos. Por tanto, la cantidad de radiación permanecerá constante si la exposición es constante. Esto permite fijar las exposiciones de rayos X en miliamperios-minuto o miliamperios-segundo, sin tener que indicar los valores de la intensidad de la corriente, ni el tiempo.

La tensión (KV) aplicada a un tubo afecta no solamente a la calidad, sino también a la intensidad de la radiación. Al aumentar la tensión se produce una radiación de longitud de onda más corta con mayor poder de penetración. Un aumento en la tensión de excitación implica un aumento simultáneo en el poder de penetración y en la intensidad de la radiación.

El aumento de tensión afecta al contraste radiográfico, de tal forma que la radiografía de un mismo objeto estará tanto más contrastada cuanto menor sea la tensión de excitación utilizada para producir la radiación.

La tabla siguiente, en la cual se encuentran clasificados una serie de equipos de rayos X de acuerdo con su tensión máxima de excitación y poder de penetración, puede servir de orientación para la elección del más indicado al trabajo que se precisa realizar.

Tensión máxima KV	Aplicaciones y límites de espesores aproximados
50	Secciones metálicas muy finas. Madera. Plásticos.
150	Aleaciones ligeras hasta 100 mm 25 a 40 mm de acero o equivalente, según la técnica radiográfica empleada.
250	50 a 75 mm de acero o equivalente, según la técnica radiográfica empleada.
400	75 a 100 mm de acero o equivalente, según la técnica radiográfica empleada.
1000	125 a 150 mm de acero o equivalente.
2000	150 a 200 mm de acero o equivalente.
5000-30000 (acelerador lineal, betatrón)	Secciones gruesas de acero hasta 300 mm.



### 2.1.3 Fuentes Gammográficas.

En gammagrafía es imprescindible conocer de cuanta radiación se dispone para obtener una determinada imagen. Es un dato esencial a considerar para calcular la exposición. La cantidad de radiación disponible depende de la actividad de la fuente; esto es, de la velocidad con que se desintegran los átomos radiactivos en ese momento. Cuando lo hacen a razón de uno por segundo se tiene la unidad natural (e internacional) de actividad que es el Becquerelio, de Henri Becquerel, que fue quien descubrió la radioactividad.

Lo cierto es que para hacer gammagrafías, el Bequerelio es demasiado pequeño, resultando unos números enormes de usar, por lo que en la práctica se sigue usando el viejo curie (o curio). Un curie equivale, por definición, a treinta y siete mil millones de bequerelios, en Europa y a treinta y siete billones los norteamericanos. Por tanto  $1 \text{ Ci} = 3,7 \times 10^{10} \text{ Bq}$ . Para hacer una gammagrafía rara vez se usan menos de dos o tres curies y rarísima vez más de cien.

Al radiar, las fuentes radiactivas se gastan, esto no tiene remedio porque radian continuamente sin que haya posibilidad de pararas o apagarlas mientras no se usan. Así, la cantidad de radiación disponible en cada momento dependerá de lo gastada que este la fuente. Es, pues, necesario conocer esto. Saber cual es su actividad según el tiempo transcurrido desde que se fabricó.

Cuanto más vieja es la fuente tanto menos radiará, por lo que de algún modo su actividad decae con el tiempo, y también la radiación que proporciona.

Si pudiéramos aislar un solo átomo radiactivo para examinarlo a gusto, veríamos que no radia. Si esperamos el tiempo que sea preciso, en algún momento emitirá uno, o varios, fotones de rayos gamma y se convertirá en un átomo de otra clase que, en general, no será radiactivo. Así, el átomo "radiactivo" es sólo "potencialmente" radiactivo hasta que se convierte en otro de otra clase y sólo en el momento de la transformación es cuando radia.

Si se considera ahora la enorme cantidad de átomos "potencialmente" radiactivos que hay en una fuente, cada uno radiará, cuando le toque, en un cierto momento, pero para un observador, la fuente globalmente, radiará de forma continua hasta que se desintegre su último átomo "potencialmente" radiactivo. Lo que pasa es que, como hay tantos, en la práctica eso no llega a ocurrir nunca y así las fuentes radian siempre, aunque sea muy poco, porque siempre queda algún átomo "potencialmente" radiactivo.

La evolución de la actividad tiene que ver con el tiempo que tarda un átomo "potencialmente" radiactivo en desintegrarse, pero ese tiempo es desconocido porque la desintegración radiactiva es un proceso totalmente aleatorio. Si se tomasen átomos aislados en número suficiente, se vería cómo unos se desintegran



inmediatamente, otros, al cabo de segundos o minutos, muchos en horas o días, algunos en años, y unos pocos en siglos o más.

Ahora bien el análisis de una población suficientemente grande de la actividad de átomos radiactivos de una fuente, puede conocerse la vida media de la misma.

Como lo que se usa es una fuente, y no átomos radiactivos por separado, debe considerar lo que radia globalmente la totalidad de los mismos. Para eso le basta verificar cuánto tiempo tarda en desintegrarse una fracción concreta de esos átomos. Por ejemplo, la mitad, que es la fracción más sencilla, a ese tiempo se llama media vida, o mejor: "periodo de semidesintegración".

### Cálculo de la actividad media.

Si  $A_t$  es la actividad media cuando ha transcurrido un tiempo  $t$  medido desde un momento en que tuvo la actividad  $A_0$  se verifica que:

$$A_t = A_0 e^{-\lambda t}$$

Donde  $\lambda$  es una constante: la constante de desintegración de la fuente, que habría que conocer. Pero como  $\lambda$  no es un dato fácilmente accesible y sin embargo si lo es el valor de semidesintegración,  $t_{1/2}$ , se expresa  $\lambda$  en función de  $t_{1/2}$ :

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}}$$

$$A_t = A_0 e^{-\frac{t \ln 2}{t_{1/2}}}$$

**Por ejemplo:** Si una fuente de  $\text{Ir}^{192}$  tuvo el 1 de enero de 2005 una actividad de 80 Ci, el 5 de junio habrá decaído hasta:

$$A_t = 80 e^{-\frac{156 \ln 2}{74}}$$

Aquí 156 son los días transcurridos entre el 1 de enero y el 5 de junio, y 74 días, la media vida del  $\text{Ir}^{192}$  en días (mirar tabla página 24. Según esto,  $A_t = 18,5$  Ci



### **Rayos gamma:**

La cantidad de radiación emitida por una fuente de radiación es proporcional al tiempo de exposición y a la fuerza o potencia de la fuente expresada en curios o milicurios.

Al ser la cantidad de radiación proporcional a estos dos factores, actividad de la fuente y tiempo, también será directamente proporcional a su producto. Análogamente a como ya se ha indicado para los rayos X, se tendrá que la exposición  $E$  será igual al producto  $M \cdot t$ , donde  $M$  es la actividad expresada en curios o milicurios y  $t$  el tiempo de exposición, lo cual nos indica que la cantidad de radiación será constante cuando el producto  $M \cdot t$  lo sea, haciendo esto que sea posible establecer la exposición con radiación gamma en términos de milicurios por hora, por ejemplo sin tener que fijar el valor de la actividad de la fuente o el tiempo.

En el caso de los rayos gamma hay que hacer notar que la calidad de la radiación (longitud de onda) emitida por cualquier fuente emisora permanece fija, no existiendo posibilidad de variación como ocurre en el caso de la radiación X al modificar la tensión de excitación.

Aunque existen varios cientos de isótopos radiactivos, el número de los que pueden ser utilizados en la práctica es muy reducido. Las características deseables para que un elemento radiactivo pueda ser utilizado en la industria como fuente de radiación gamma son:

1. Su período mediador no debe ser demasiado corto. La reactivación y frecuentes cambios resulta incómodo y costoso.
2. La actividad específica (Ci/g) debe ser alta. Esto permite obtener fuentes de pequeño tamaño con gran potencia de emisión de radiación.
3. El factor K que nos mide la potencia de emisión en roentgen por hora a 1 m de distancia (rhm) debe ser alto.
4. El coste del material básico debe ser bajo.



**PROYECTO FIN DE CARRERA:  
BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS  
EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION  
RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES  
METALICOS.**

Hoja 30 de 221

Lo tres isótopos que se usan con más frecuencia son: cobalto-60, iridio-192 y cesio-137. Las radiaciones emitidas por estos tres elementos, en cuanto a su sensibilidad radiográfica se refiere, pueden considerarse, como equivalente a la radiación X emitida por tubos excitados por 3900, 900 y 1200 KV, respectivamente. Por consiguiente, a los tres corresponde una radiación de gran energía, por lo cual no pueden considerarse apropiados para su empleo sobre pequeños espesores de acero o para aleaciones ligeras.

Radioisótopo Periodo mediador Energía y MeV	Cobalto-60 5,26 <sup>a</sup> 1,17-1,33	Iridio-192 74,4d 0,31-0,47-0,61	Cesio-137 30 <sup>a</sup> 0,60-0,80	Tulio-170 127d 0,052-0,084
Acero	50-150 mm	12,5-62,5 mm	25-100 mm	2,5-12,5 mm
Aleaciones ligeras	150-450 mm	37,5-175 mm	75-300 mm	7,5-37,5 mm
Otros materiales	40-120 g/cm <sup>3</sup>	10-50 g/cm <sup>3</sup>	20-80 g/cm <sup>3</sup>	2-10 g/cm <sup>3</sup>
rh/m/c	1,35-1,30	0,50-0,55	0,35-0,37-0,31 0,34-0,39	0,003-0,001 0,021

Características más importantes de los radioisótopos de mayor aplicación



## 2.2 Leyes de la Radiografía.

Al ser la imagen radiográfica una “sombra” proyectada por el objeto sobre la película radiográfica cuando se la “ilumina” con la radiación penetrante, hay que tener en cuenta, que las partes internas del objeto también proyectarán sus “sombras” en la imagen. Es pues, imprescindible conocer las leyes geométricas de la formación de sombra para interpretar correctamente una imagen radiográfica, incluso en casos relativamente sencillos.

Las leyes geométricas que rigen la formación de la imagen radiográfica corresponden a la llamada “perspectiva cónica” y son:

### a) Ley de propagación. Limitaciones geométricas.

Los rayos X son radiaciones electromagnéticas que se propagan a la velocidad de la luz ( $300.000 \text{ km s}^{-1}$ ), aunque tienen menor longitud de onda, mayor energía y más penetración que la luz visible. Estos rayos no sufren desviación alguna por efecto de campos magnéticos o eléctricos (no son partículas cargadas, ni sus espines están orientados); se propagan por tanto en línea recta, excitan la fosforescencia e impresionan placas fotográficas.

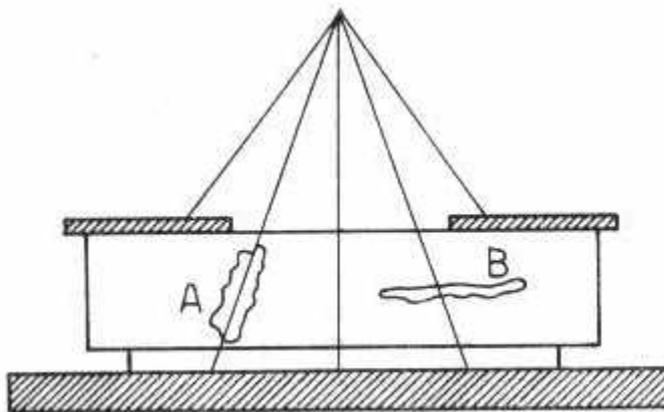
La principal característica de los rayos X es que atraviesan los cuerpos opacos sin reflejarse ni refractarse, (en línea recta) siendo absorbidos en mayor o menor grado según el espesor y la densidad del material, y la longitud de onda de la radiación. Alcanzan así a impresionar una película o placa fotográfica, situada en el lado opuesto del material.

Los defectos de los materiales como grietas, bolsas, inclusiones, etc; de distintas densidades, absorben las radiaciones en distinta proporción que el material base, de forma que estas diferencias generan detalles de contraste claro-oscuro en la placa fotográfica colocada detrás de la pieza. Esto es lo que permite identificar defectos en la inspección de una soldadura por radiografía.



### Limitaciones geométricas.

La norma **UNE 14011** describe los defectos detectables con los rayos X sobre las uniones soldadas. Los defectos más fácilmente detectables son aquellos cuya máxima dimensión está orientada en la dirección de propagación de los rayos X. Son difícilmente detectables los defectos de poco espesor, aunque sean muy extensos, dispuestos perpendicularmente a la dirección de las radiaciones. Por este motivo el objeto debe ser examinado en distintas direcciones



Examen con rayos X.

A) defecto fácilmente detectable. B) defecto difícilmente detectable.

### Los defectos detectables en las soldaduras son los siguientes:

1. Cavidades y porosidades (sopladuras)
2. Inclusiones sólidas (escorias)
3. Fisuras o microgrietas
4. Falta de penetración
5. Falta de fusión (despego)
6. Mordeduras
7. Exceso de penetración (descuelgue).



b) Ley de ampliación:

La imagen obtenida en la radiografía es mayor que la del objeto. La relación entre el tamaño de la pieza y el de la imagen es igual a la relación entre las distancias fuente-objeto y fuente-película.

$$\frac{A}{B} = \frac{D_{fo}}{D_{fp}}$$

$$CD = \frac{AB \times D_{fp}}{D_{fo}}$$

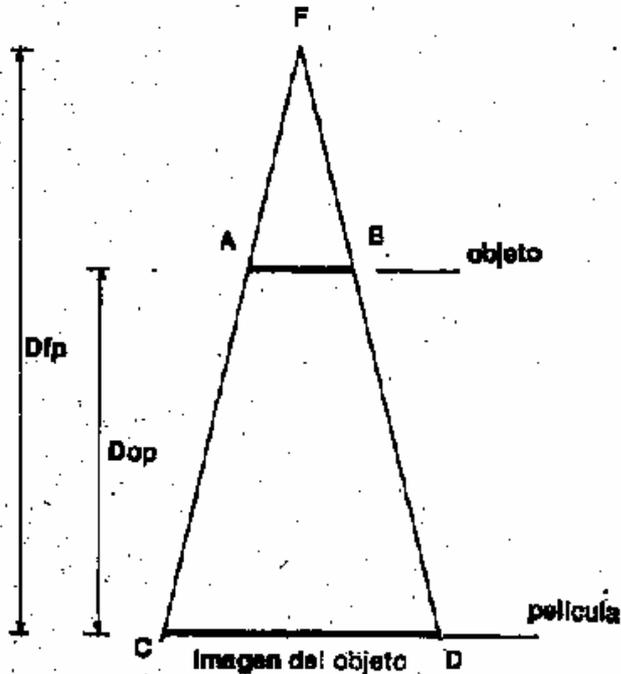
F= tamaño de la fuente

D<sub>op</sub>= distancia del objeto a la película radiográfica

D<sub>pp</sub>= distancia de la fuente a la película radiográfica

AB= dimensión del objeto

CD= dimensión de la imagen



$$\frac{AB}{CD} = \frac{Dfo}{Dfp}$$

$$CD = \frac{AB \times Dfp}{Dfo}$$

F = Tamaño de la fuente

Dfo = distancia de la fuente al objeto

Ddp = Distancia del objeto a la película

Dfp = Distancia de la fuente a la película radiográfica

AB = Dimensión del objeto

CD = Dimensión de la imagen

c) Ley de la penumbra:

Hasta aquí se ha considerado que la fuente F es puntual, esto es, que no tiene dimensiones. Esto no es cierto. Ocurre entonces que cada punto de la fuente se comporta como una fuente que da lugar a una imagen de cada punto del objeto distinta de la formada por cualquier otro punto de la fuente.

Por lo tanto, la "penumbra geométrica" es la superposición de las sombras proyectadas por cada punto de la fuente, cuyas dimensiones son finitas y que se comportan como si fueran focos aislados.

f = FF = dimensiones de la fuente

U = PP = penumbra geométrica



FOF es semejante al POP por ser triángulos opuestos por el vértice  $FOF \approx POP$ , es decir tienen los ángulos iguales y los lados proporcionales.

$$\frac{f}{U} + \frac{Df.p-Dop}{Dop} \quad (2)$$

F = dimensión máxima del foco

U = penumbra geométrica

Dfp = distancia de la fuente a la película

Dop = distancia del objeto a la película, que coincide con el espesor del objeto siempre que a éste se coloque en contacto con la película, lo cual es lo habitual.

De la fórmula (2) podemos sacar las siguientes conclusiones:

- 1) La penumbra geométrica aumenta si lo hace el tamaño de la fuente y la distancia del objeto a la película.
- 2) La penumbra geométrica disminuye si aumenta la distancia de la fuente a la película.

Luego hay que conseguir que el tamaño de la fuente sea el menor posible y la distancia de la fuente a la película el mayor posible. En general suelen aceptarse valores de penumbra iguales o inferiores a 0,2 mm, pero este valor se deduce de las condiciones operativas.

La existencia de la penumbra da lugar a que las partes de la imagen radiográfica correspondientes a las zonas del objeto más alejadas de la película, presenten inevitablemente peor "definición" o nitidez que las más próximas.



Existen también otras dos penumbras:

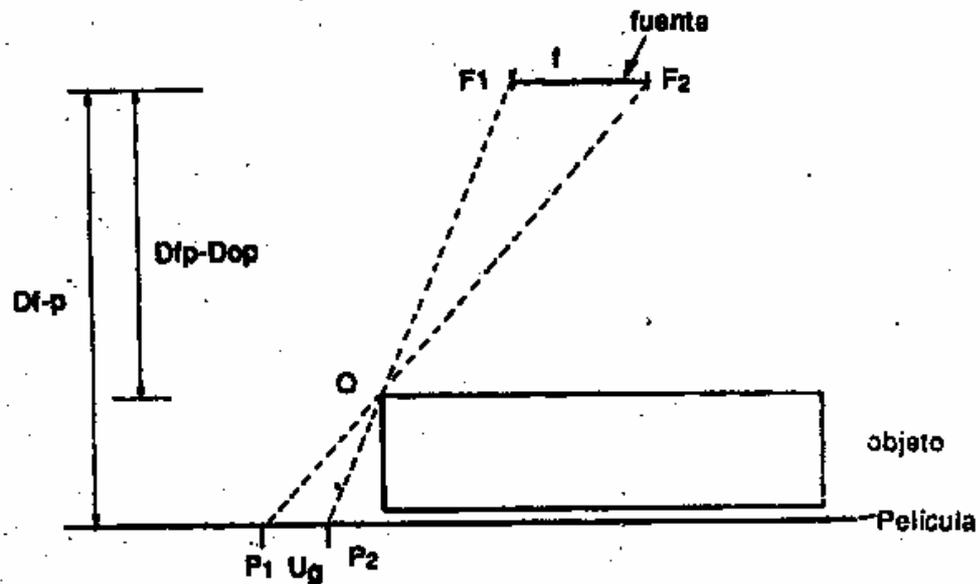
- I. Penumbra de proceso ( $U_p$ ) que aparece cuando durante la exposición se mueve la fuente de radiación o el objeto radiografiado. Su valor será cero si se realiza la radiografía sin problemas.
  
- II. Penumbra de irradiación ( $U_i$ ) producida por la acción de los rayos X o gamma sobre la emulsión fotográfica arrancando electrones de ella que se dirigen en todas direcciones produciendo una zona de sombra que rodea las zonas irradiadas, que aparece cuando se releva la película. Ejemplo: para rayos X de 100 KV utilizando pantallas de plomo de 0,02 mm de espesor, el valor de  $U_i$  es de 0,2 mm. Para rayos gamma producidos por el Iridio 192, utilizando pantallas de plomo de 0,02 mm de espesor el valor de  $U_i$  es de 0,2 mm.

Por lo tanto, la penumbra total en una radiografía viene dada por la expresión:

$$U_T = \sqrt{U_g^2 + U_i^2 + U_p^2}$$

Si se admite que la falta de definición depende únicamente de la penumbra de irradiación y de la geométrica, la penumbra efectiva ( $U_e$ ) viene dada por la expresión:

$$U_e = \sqrt{U_g^2 + U_i^2}$$



$f = F_1 F_2$  dimensiones de la fuente  
 $U_g = P_1 P_2$  Penumbra geométrica

d) Ley de atenuación por la distancia. Ley de los cuadrados decrecientes.

Teórica y prácticamente se demuestra que la intensidad de un haz de radiación se atenúa en razón inversa al cuadrado de la distancia que separa la fuente del punto donde se mide la intensidad del haz. Así, si la distancia se duplica, la intensidad se reduce a la cuarta parte.

Esta relación-distancia-intensidad puede expresarse:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{D_2^2}{D_1^2}$$

$I_1$  = Intensidad a la distancia  $D_1$

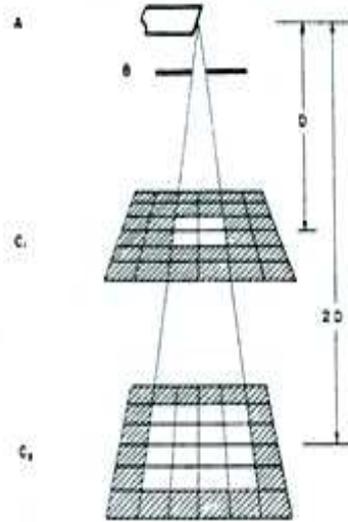
$I_2$  = Intensidad a la distancia  $D_2$



### Ley de los cuadrados decrecientes.

Este principio, que matemáticamente se puede expresar en la forma siguiente:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{D_2^2}{D_1^2}$$

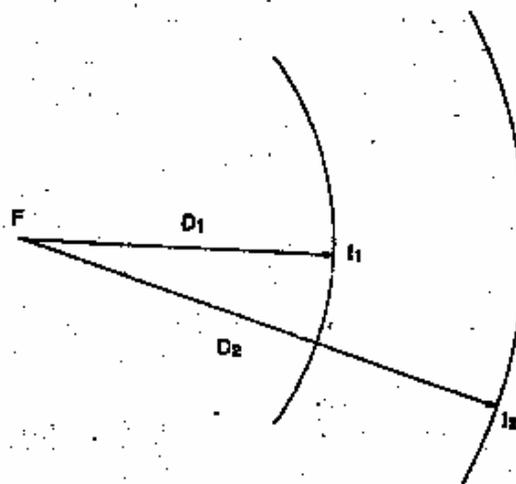


Su demostración es la siguiente:

Sea una fuente puntual F que radie en todas direcciones y sean dos esferas concéntricas en F, de radios  $D_1$  y  $D_2$ . La intensidad, esto es, la cantidad de radiación que llega a cada esfera es  $I_1$  e  $I_2$  respectivamente, siendo  $I_1 > I_2$ . Como la intensidad total que llega a cada esfera es la misma, baste calcular estas cantidades multiplicando  $I_1$  e  $I_2$  por las superficies de ambas esferas e igualando los resultados:

$I_1$  = Intensidad a la distancia  $D_1$ ,

$I_2$  = Intensidad a la distancia  $D_2$ ,



$$I_{\text{Total}} = 4\pi D_1^2 \cdot I_1 = 4\pi D_2^2 \cdot I_2$$

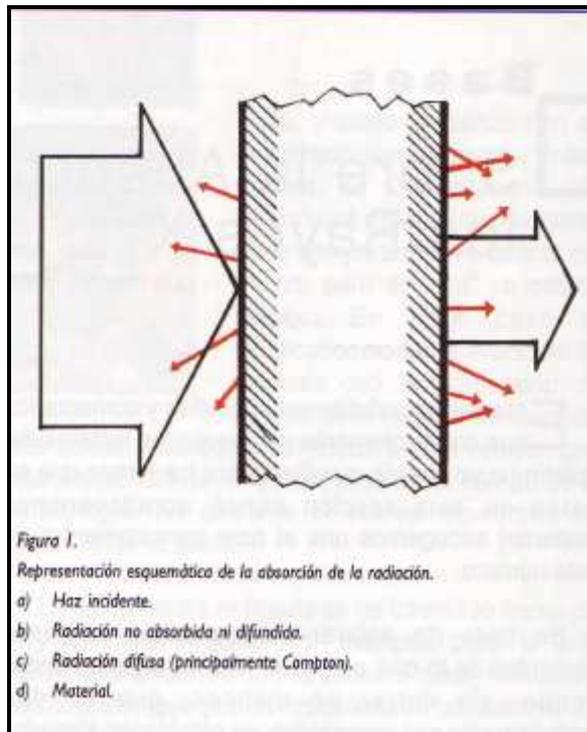
De donde:  $D_1^2 \cdot I_1 = D_2^2 \cdot I_2$



e) Ley de absorción:

El mecanismo de la transmisión y absorción de la radiación por los cuerpos es algo complicado. Esquemáticamente, la absorción de la radiación obedece a la siguiente ley:

$$I = I_0 e^{-\mu t}$$



En la que:

$I_0$  = intensidad de la radiación incidente;

$I$  = intensidad de la radiación emergente;

$t$  = espesor del material absorbente;

$\mu$  = coeficiente de absorción lineal;

$e$  = base de logaritmos neperianos.

Se puede admitir que, cuando la radiación atraviesa un cuerpo, las dos formas básicas de radiación que emergen son: radiación primaria transmitida no modificada y radiación secundaria modificada. La radiación primaria es la que ha seguido una trayectoria rectilínea desde la fuente emisora a través del



**PROYECTO FIN DE CARRERA:  
BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS  
EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION  
RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES  
METALICOS.**

Hoja 40 de 221

material que se va a inspeccionar, sin que se hayan producido en ella fenómenos de absorción o desviación. Este es el componente de radiación útil registrado y medido en la inspección radiográfica.

La radiación que ha sufrido alteración o cambio por el mecanismo de absorción o difracción se denomina radiación secundaria o modificada. La longitud de onda de esta radiación varía entre amplios límites y, aunque gran parte de ella es sumamente blanda y carece de poder de penetración, una parte apreciable emerge del objeto examinado, dando lugar a efectos no deseados. Con tensiones de excitación bajas y hasta aproximadamente los 500 KV, la radiación secundaria se desvía ampliamente de la dirección que sigue el haz de radiación principal. Con tensiones altas, la radiación secundaria tiende a seguir la dirección del haz primario. Por consiguiente, se presentan menos dificultades ocasionadas por la radiación secundaria cuando se emplean equipos del orden de los 1000 KV y más. Estas consideraciones son válidas para la radiación gamma procedente del radio y de los isótopos radiactivos.

Una parte de la radiación que atraviesa un cuerpo, especialmente la radiación secundaria, es difundida en todos los sentidos por los átomos que constituyen el objeto radiografiado. Esta radiación, cuya intensidad crece al aumentar el espesor del objeto, produce sobre la película radiográfica un velo uniforme que reduce el contraste y resta definición a la imagen radiográfica.

En relación con la formación de esta radiación difusa, es preciso hacer constar que todos los cuerpos (soportes, suelo, muros, etc.) situados en las proximidades del objeto que se radiografía, y a las que puede llegar la radiación, la reflejan parcialmente bajo forma de radiación difusa, cuya acción puede llegar a ser de importancia en relación con la radiación transmitida por el objeto sometido a examen.

La radiación difusa puede ser interceptada por un filtro metálico, antes de que ésta incida sobre la película radiográfica, mientras que la radiación que provenga de los cuerpos situados detrás de la película puede ser absorbida por una lámina de plomo.

El empleo de filtros está prácticamente limitado a la radiografía con rayos X. Los filtros empleados en radiografía están constituidos por hojas o láminas metálicas finas que, situadas en la ventana de emisión del tubo de rayos X, absorben las radiaciones blandas y hacen que el haz de radiación principal sea más rico en radiaciones duras. El poder filtrante disminuye progresivamente del plomo al acero, pasando por los valores intermedios que presentan el cobre y el cinc.



### **Pantallas reforzadoras**

El velo producido por la acción de la radiación difusa sobre la película puede ser considerablemente disminuido por el empleo de diafragmas o colimadores y pantallas protectoras, pero sobre todo, con la utilización de pantallas reforzadoras de plomo.

Estas pantallas están constituidas por una lámina de plomo adherida a un soporte delgado que suele ser papel o cartón. Generalmente, se utilizan dos pantallas, una anterior y otra posterior, entre las que se coloca la película radiográfica. El espesor de la lámina de plomo de la pantalla anterior debe ser el adecuado a la calidad de la radiación que se emplee, de forma que permita el paso de la radiación primaria y detenga, tanto como sea posible, la radiación secundaria de mayor longitud de onda y menor poder de penetración. La pantalla anterior suele tener un espesor comprendido entre 0,02 y 0,1 mm.

La superficie de estas pantallas de plomo debe estar pulida para así conseguir un contacto íntimo entre ellas y la película radiográfica. Cualquier imperfección en las pantallas, tales como arañazos o suciedad, serán visibles en la imagen radiográfica.

El plomo que constituye la pantalla reforzadora bajo la acción de la radiación X o gamma emite una radiación  $\beta$  (electrones), a la cual es sensible la emulsión fotográfica. Esta radiación  $\beta$  es tanto más intensa cuanto más dura es la radiación incidente. La acción sobre la película de esta radiación  $\beta$  se suma a la producida por la radiación X o gamma principal, dando lugar a la disminución del tiempo de exposición.

Dado que la emisión de electrones por unidad de superficie es uniforme, al aumentar la superficie se incrementará la cantidad de electrones emitidos. Esto es lo que ocurre cuando la pantalla de plomo presenta un arañazo, ya que en esta zona, al aumentar la emisión de electrones, producirá sobre la película una línea oscura que será la imagen del arañazo o grieta presente en la pantalla. Por el contrario, si las pantallas están sucias, manchas de grasa u óxido, como los electrones poseen un poder de penetración muy bajo, pueden no llegar a atravesarlas, y así dan lugar a zonas más claras en la imagen radiográfica.

La acción reforzadora de las pantallas de plomo se manifiesta a partir de tensiones de excitación de 125 KV o con la radiación gamma y el factor de disminución en el tiempo de exposición es raramente superior a 4.

De lo expuesto se deduce que las pantallas reforzadoras de plomo se utilizan con dos fines principales: reducir el tiempo de exposición y mejorar el detalle de la imagen radiográfica.



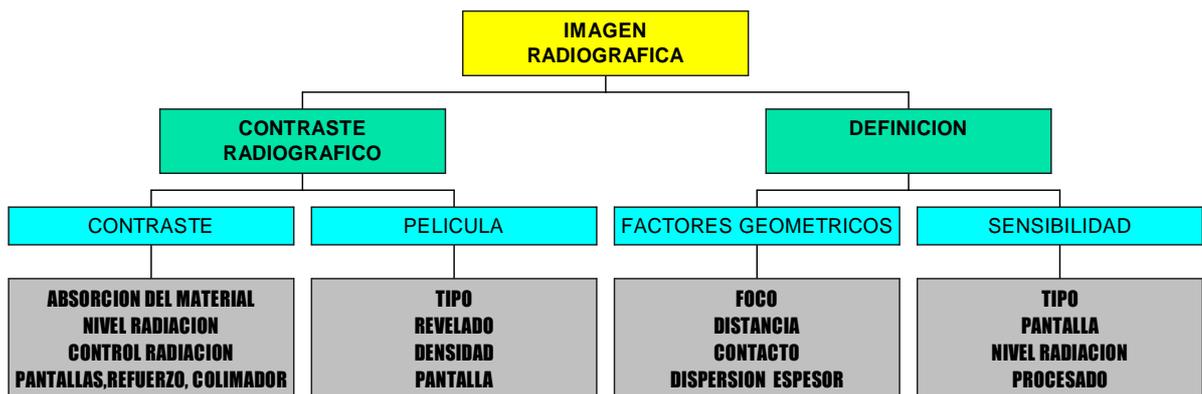
### 2.3.- Calidad Radiográfica.

Se define como calidad de una imagen radiográfica a la cantidad de información que contiene en relación con la que debería contener si:

- Estuviera correctamente expuesta
- Estuviera correctamente procesada
- Se examina correctamente

La calidad de la imagen se conoce también como sensibilidad.

#### FACTORES QUE AFECTAN A LA CALIDAD RADIOGRAFICA



La fiabilidad y valor de las imágenes radiográficas son función de la **definición y el contraste**. Para asegurar la **definición** de las imágenes se utilizan los indicadores de calidad de la imagen (**IQI**) y para asegurar el **contraste** se utilizan los **densímetros**.

Los IQI pueden ser huecos o macizos. En el primer caso están constituidos por una pieza que tiene unos taladros de diferentes diámetros y que su espesor es proporcional al espesor de la pieza a radiografiar. En el caso de los indicadores macizos estos están constituidos por alambres de distintos espesores.

En cualquiera de los dos casos el indicador de calidad de la imagen está construido de un material que tenga la misma densidad radiográfica que el que forma el objeto radiografiado.

Se utilizarán aquellos indicadores de calidad de imagen que estén de acuerdo con las normas establecidas por el código bajo cuyos requerimientos se realice la inspección radiográfica.



La sensibilidad queda determinada por el espesor mínimo del taladro o agujero que puede verse claramente en la radiografía.

El contraste queda determinado por la densidad fotográfica, la cual esta medida por los densímetros, dispositivos utilizados para medir la densidad de la película radiográfica, la cual debe estar comprendida en un intervalo optimo basado en la curvas H-D.

### 2.3.1 Indicadores de calidad de imagen (IQI).

En una pieza sometida a un examen radiográfico, la percepción de los posibles defectos que en ella se pueden presentar depende de la calidad de la radiografía.

Esta calidad de imagen, que es consecuencia de la técnica radiográfica seguida, es necesario plasmarla en un valor numérico y para ello se recurre a los "indicadores de calidad de imagen" (IQI).

El indicador de calidad de imagen, que en general es un pequeño dispositivo constituido por un material de naturaleza idéntica, o de propiedades análogas desde el punto de vista de su poder de absorción de la radiación a la pieza que se va a radiografiar, puede tener una serie de fines distintos, tales como:

- a) Valor de la sensibilidad del indicador de calidad de imagen que ha de alcanzarse para que la radiografía sea considerada como aceptable.
- b) Indicar la sensibilidad en distintas zonas de la radiografía, cuando haya variaciones de espesor en la pieza a inspeccionar.

Existe una cierta relación entre la sensibilidad para detectar un defecto y la sensibilidad del IQI, sobre todo cuando se trata de un defecto complejo. Casi siempre, si se tiene una mayor sensibilidad para el indicador, la correspondiente para la detección del defecto será mayor.

La calidad de la radiografía es tanto mejor cuanto más visibles son sobre ellas las partes más finas y delgadas del indicador de calidad. Sin embargo los indicadores de calidad no pueden garantizar la detección de los defectos cuyas dimensiones sean iguales al valor de la sensibilidad obtenida en la radiografía, ya que la detección de los defectos dependen, por un lado, de su tamaño, y por otro, de su orientación con respecto



a la dirección del haz de radiación. Es, por tanto, un error el considerar los resultados de la sensibilidad como una medida absoluta.

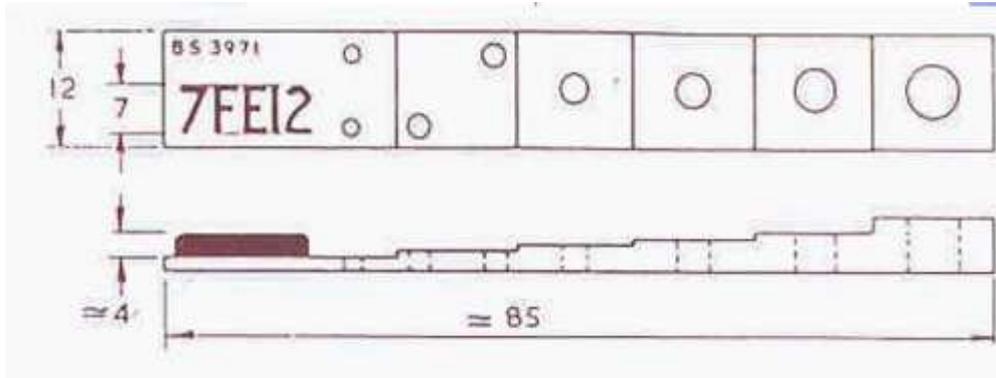
Por otra parte, y aunque se acostumbra a caracterizar la calidad de imagen por una dimensión del indicador expresada en tanto por ciento del espesor radiografiado, es preciso hacer constar el hecho de que, para una misma calidad de imagen, las sensibilidades calculadas a partir de los diferentes tipos de indicadores son muy distintas. Así, por ejemplo, un escalón de espesor determinado es más fácil de ver que un hilo del mismo diámetro, el cual a su vez se distingue más fácilmente que un taladro circular de igual diámetro y profundidad, pues la visibilidad de éste depende a su vez de estas dos dimensiones, diámetro y profundidad.

### Tipos de indicadores de calidad de imagen

- I. **Indicadores de hilos.** Están formados por una serie de hilos de diámetros crecientes embutidos en una lámina de goma o material plástico. Cuando se observa la radiografía se hace notar el hilo de menor diámetro, que sea perfectamente visible, bien en toda su longitud, en el caso de piezas de sección uniforme, bien sobre la parte que más interesa, si el espesor es irregular.

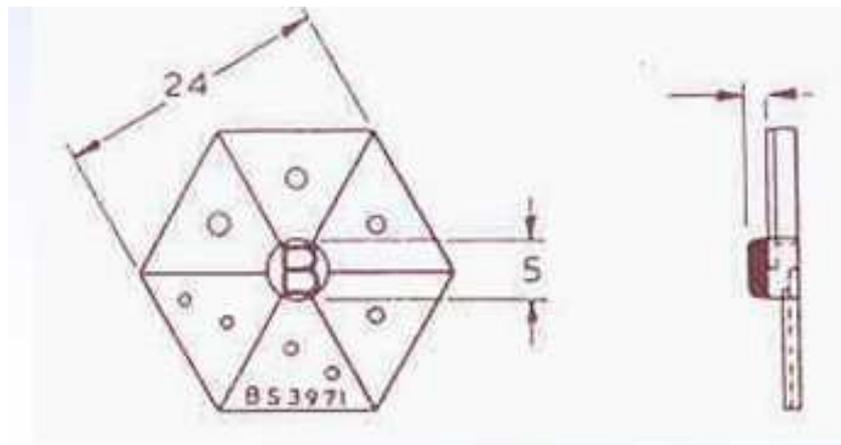


- II. **Indicador de escalones.** Está constituido por una placa de espesores crecientes provistas o no de uno o varios taladros de diámetro constante. La lectura se hace sobre el espesor más delgado, visible sin tener en cuenta el taladro.

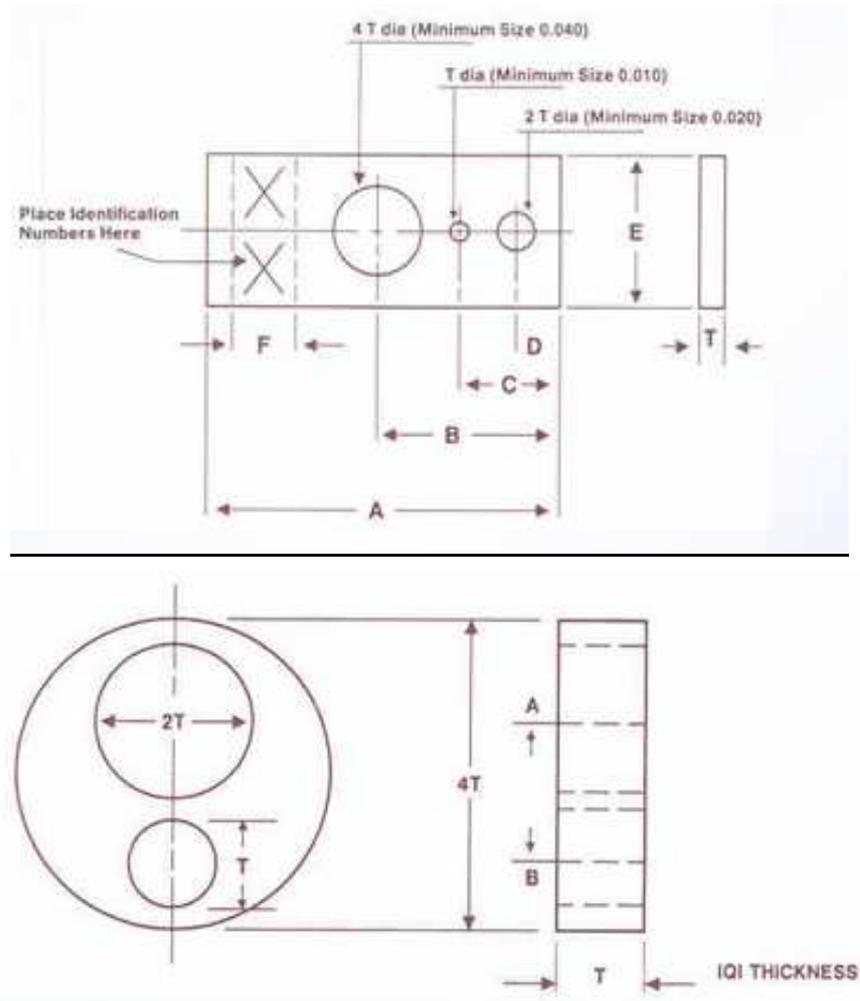


III. **Indicador de escalones con cifras de referencia.** En ellas, cada espesor está provisto de un cierto número de taladros formando una cifra de referencia característica. En la lectura se hace notar e espesor más pequeño, cuya cifra de referencia sea visible.

IV. **Indicador de escalones con taladros calibrados.** En general, el diámetro del taladro es igual al espesor del escalón sobre el que se encuentra. En la lectura se hace notar el diámetro más pequeño del orificio que sea visible.



V. **Indicador de taladros calibrados sobre una placa de espesor constante.** En este caso el espesor de la placa representa un porcentaje determinado del espesor a radiografiar. La placa está provista de una serie de taladros de diámetros crecientes, iguales o múltiplos del espesor de la citada placa. Es su lectura se hace notar la presencia, sobre la imagen, de los taladros que son visibles.



VI. **Indicador con ranuras sobre una placa de espesor constante.** Las ranuras pueden ser de ancho uniforme y profundidad variable, o bien de profundidad constante pero variando el ancho. Igualmente se puede citar aquí los indicadores con taladros ciegos que consisten en placas sobre las que se han hecho taladros de profundidad creciente.

Esta gran variedad de indicadores de calidad de imagen, conforme a las numerosas especificaciones, militares, de la industria del petróleo, naval, etc.; hace que se tienda a imponer un sistema común recomendándose limitar el uso de los indicadores tan sólo a dos modelos, un indicador de hilos y un indicador de escalones y taladros.



### Indicador de hilos

El indicador de calidad de imagen de hilos, constituido de acuerdo con la norma DIN 54 109, 1962, consiste en una serie de hilos cuyos diámetros varían según la progresión geométrica adoptada por el I.I.W. (Instituto Internacional de la Soldadura), habiéndose previsto tres series de indicadores de siete hilos cada una. Estos hilos van embutidos en un material plástico transparente.

Progresión geométrica			
mm	pulg	mm	pulg
0,10	0,004	1,0	0,040
0,125	0,005	1,25	0,050
0,16	0,0065	1,6	0,065
0,2	0,0080	2,0	0,080
0,25	0,010	2,5	0,1
0,32	0,013	3,2	0,13
0,4	0,016	4,0	0,16
0,5	0,020	5,0	0,20
0,63	0,025	6,3	0,25
0,8	0,032		

Valores recomendados por el I.I.W. para el diámetro de los hilos o el espesor de los escalones en los indicadores de calidad de imagen.

Cada uno de estos indicadores llevan una serie de marcas que aparecen en la radiografía. Estas marcas son de dos clases:

Marcas comunes: **DIN-62**  
**ISO**

Marcas variables: **Fe Al Cu**  
**1-7 6-12 10-16**

Estas marcas variables se deben a que existen tres clases de indicadores:

- 1) Una para la radiografía de la fundición y los distintos tipos de acero (clase Fe)
- 2) Para el aluminio y sus aleaciones (clase Al)
- 3) Para el cobre y sus aleaciones (clase Cu).

Los grupos de cifras **1-7**, **6-12** y **10-16**, son los números de orden del primero y último de los hilos de cada indicador según la tabla siguiente.



**PROYECTO FIN DE CARRERA:  
BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS  
EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION  
RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES  
METALICOS.**

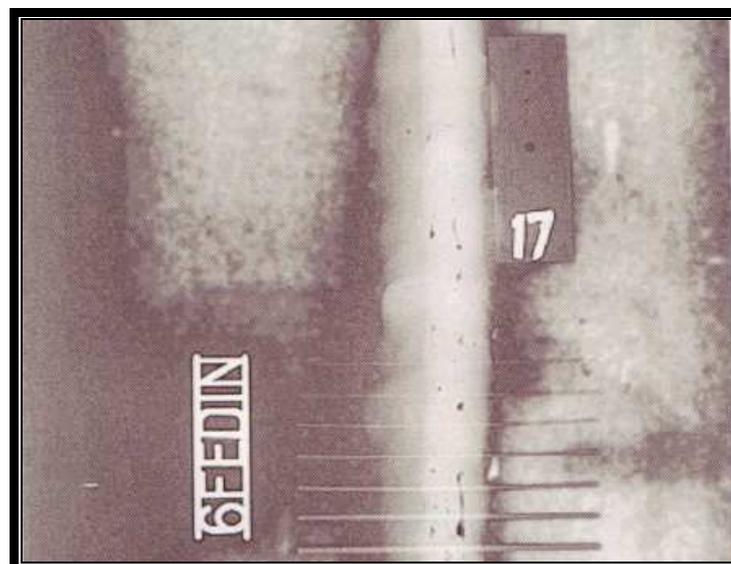
Hoja 48 de 221

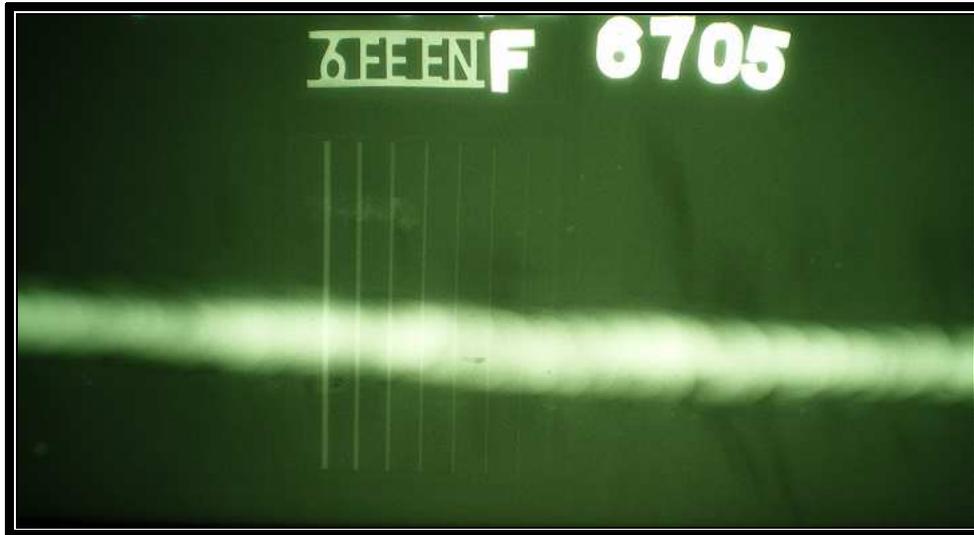


IQI de hilos DIN 54 109								
Fe 1/7			Fe 6/12			Fe 10/16		
Núm.	Ø mm	Ø pulg	Núm.	Ø mm	Ø pulg	Núm.	Ø mm	Ø pulg
1	3,2	0,13	6	1	0,040	10	0,40	0,016
2	2,5	0,10	7	0,80	0,032	11	0,32	0,012
3	2	0,08	8	0,63	0,025	12	0,25	0,010
4	1,6	0,065	9	0,50	0,020	13	0,20	0,0080
5	1,25	0,050	10	0,40	0,016	14	0,16	0,0065
6	1	0,040	11	0,32	0,013	15	0,13	0,0050
7	0,80	0,032	12	0,25	0,010	16	0,10	0,0040

**Tipos de indicadores DIN y diámetros de los hilos presentes en cada uno de ellos.**

Al examinar las radiografías, se podrá observar sobre su imagen una serie de hilos y conociendo la progresión en que varían sus diámetros podemos saber cuál es el del hilo más fino que sea perfectamente visible.





El valor de la sensibilidad expresado en tanto por ciento queda definido por la magnitud D.E. y es la relación del hilo más fino visible al espesor total radiografiado:

$$D.E. = \frac{\text{\textcircled{O}} \text{ del hilo más fino visible en la radiografía}}{\text{Espesor del objeto}} \times 100$$

Cuanto menor sea esta cifra, tanto mejor será la calidad de la imagen.

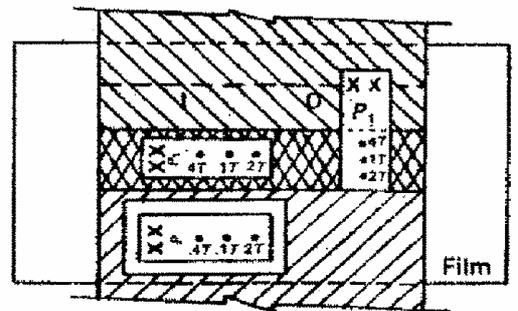
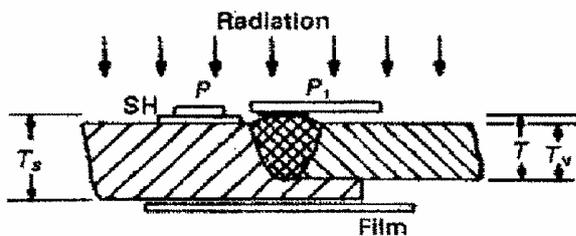
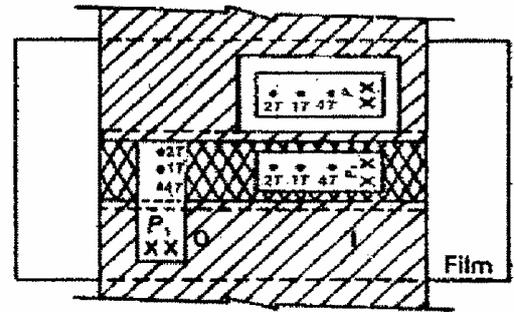
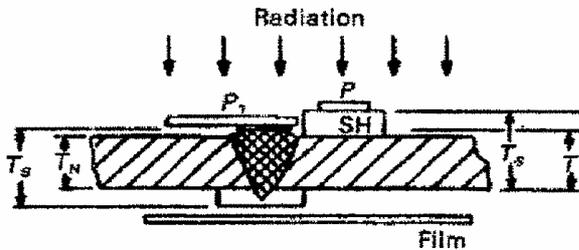
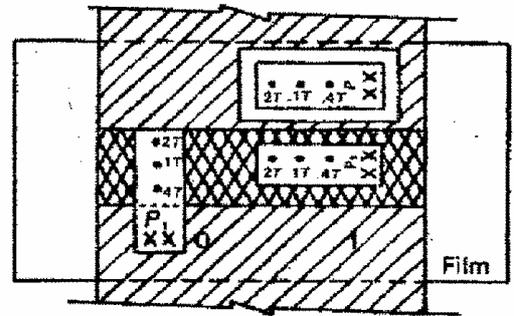
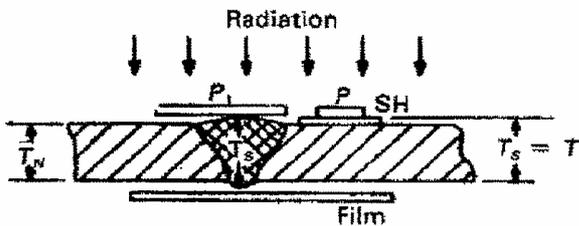
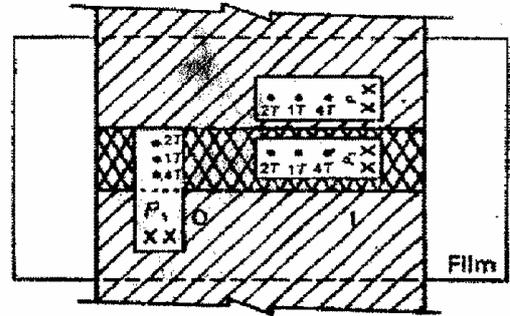
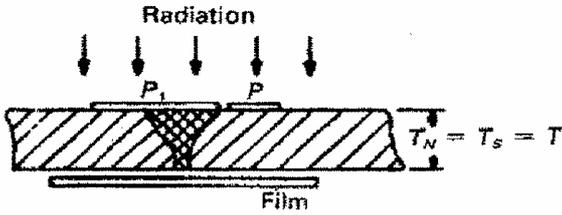
Una sensibilidad del 1,3% sobre 30 mm significa que es visible el hilo de 0,4 mm de diámetro (número de orden 10). Análogamente, si este mismo hilo es visible sobre 45 mm, la sensibilidad será:

$$D.E. = \frac{0,4 \times 100}{45} = 0,9 \%$$

Como puede verse, esta sensibilidad D.E. % es un valor relativo que depende del espesor radiografiado.



**EJEMPLOS DE COLOCACION DE IQI**



NOTAS:

P y P1 son las distintas posiciones posibles de colocación de los IQI, pudiendo utilizarse otras posiciones debido a la configuración geométrica de la pieza o la producción radiográfica.

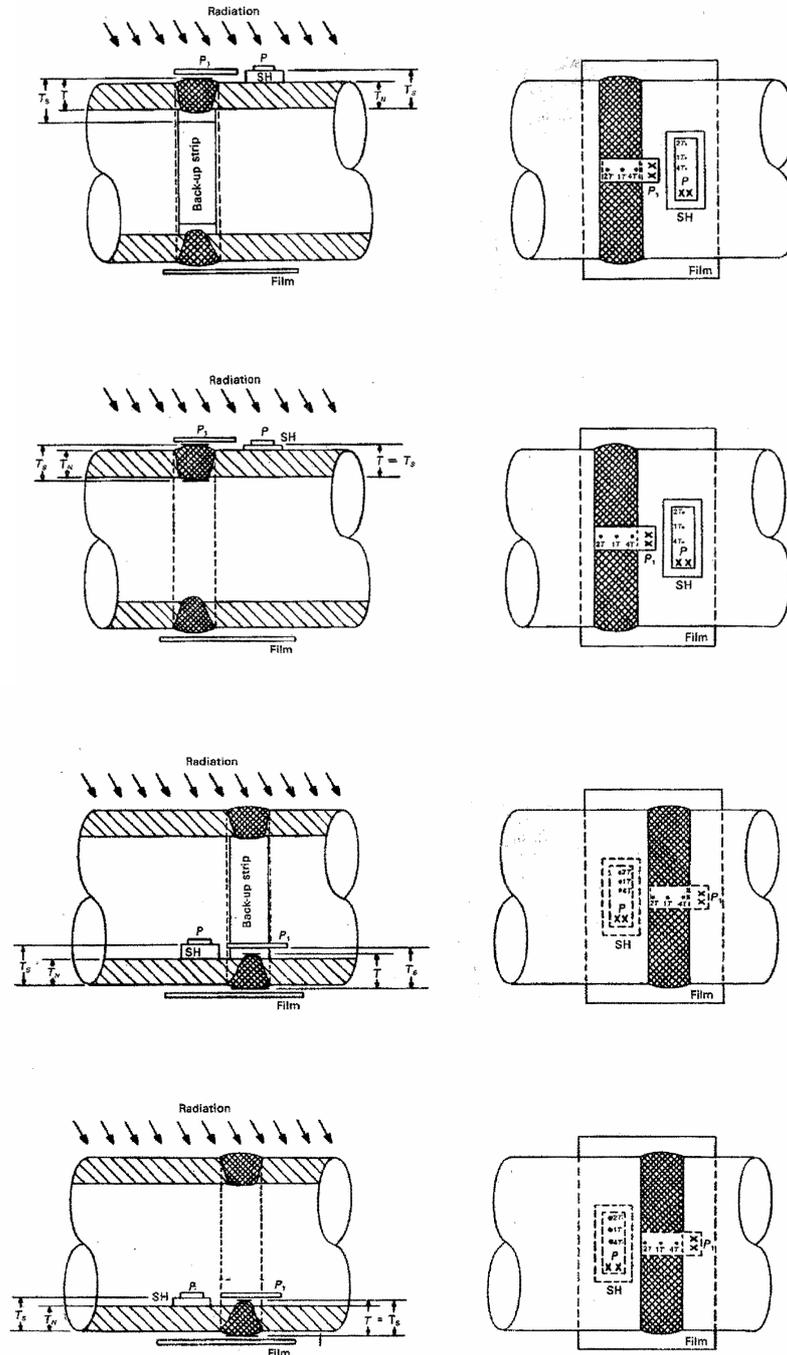
LEYENDA:

- P=Colocación IQI
- P1=Colocación IQI alternativa
- SH=Shim
- T=Espesor de soldadura sobre el que se sitúa el IQI
- TN=Espesor nominal de la pared
- TS=Espesor total de penetración



PROYECTO FIN DE CARRERA:  
 BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS  
 EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION  
 RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES  
 METALICOS.

Hoja 51 de 221



NOTAS:

P y P1 son las distintas posiciones posibles de colocación de los IQI, pudiendo utilizarse otras posiciones debido a la configuración geométrica de la pieza o la producción radiográfica.

LEYENDA:

- P=Colocación IQI
- P1=Colocación IQI alternativa
- SH=Shim
- T=Espesor de soldadura sobre el que se sitúa el IQI
- TN=Espesor nominal de la pared
- TS=Espesor total de penetración



### 2.3.2. Contraste. Película radiográfica. Densidad radiográfica. Densímetros.

#### Película radiográfica

La película radiográfica es básicamente análoga a la empleada en fotografía. Ambas presentan como componentes fundamentales una capa sensible, “emulsión”, recubriendo un soporte flexible y transparente llamado “base”. La diferencia esencial entre la película fotográfica normal y la radiográfica es que la última presenta dos capas de emulsión, una por cada lado de la base. De esta forma se consigue reducir el tiempo de exposición y se obtiene una imagen radiográfica más contrastada.

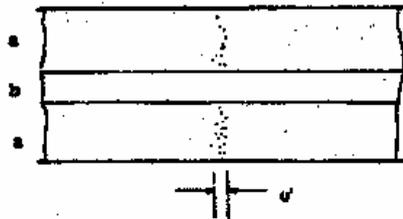
La emulsión consiste en una suspensión de halogenuros de plata en gelatina. Esta emulsión es muy sensible a la acción de la luz y de las radiaciones ionizantes, que actúan sobre los granos de halogenuros de plata originando cambios en su estructura física. Estos cambios dan lugar a la imagen latente, que no puede ser puesta de manifiesto por métodos físicos. Sin embargo, cuando la película impresionada es tratada con determinados agentes químicos, que constituyen la solución o baño “revelador” se producen una serie de reacciones que dan lugar a que deposite plata metálica finamente dividida, quedando estos granos de plata en suspensión en la capa de gelatina para dar lugar a la formación de la imagen; cuanto menor sea el tamaño de estos granos de plata tanto mejor será la definición de la imagen.

Por tanto la imagen radiográfica esta formada, en realidad, por multitud de “puntos” negros y opacos cuya mayor o menor concentración determina el ennegrecimiento o densidad de cada zona. Estos puntos son flóculos formados por un elevado número de granos de emulsión impresionados por la radiación.

En cualquier caso, el tamaño de un “punto” o gránulo es función del de los granos o cristales de haluro de plata. Así, a efectos prácticos, la unidad elemental de imagen es el gránulo o “punto” negro que, aunque de tamaño variable, mantiene una longitud media, estadísticamente constante, para cada tipo de película húmeda tiene realmente su emulsión más gruesa por lo que el efecto acabado de señalar de incremento de la indefinición tiene lugar. Pero además, como muestran las figuras, los gránulos se dispersan ligeramente, lo que contribuye a aumentar la indefinición.



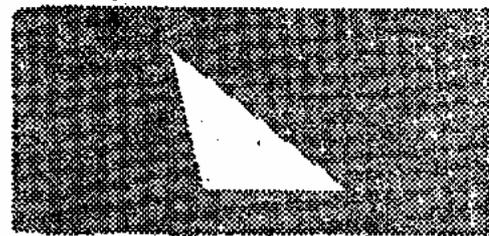
3.1 PELICULA SECA



3.2 PELICULA HUMEDA

En cuanto a la película en sí, influye, como es natural, su "tamaño de grano". Una película de grano grueso registrará imágenes de peor definición que otra de grano fino y como las películas de grano fino son inevitablemente más lentas que las de grano grueso se tiene que:

Las películas "lentas" dan imágenes mejor definidas que las "rápidas" y viceversa. La figura siguiente muestra la influencia del "grano" de la emulsión en la definición de la imagen.





### **Densidad fotográfica. Densímetros**

La técnica radiográfica seguida proporcionará radiografías en las que, después de su revelado normal, la densidad fotográfica en la parte sana del metal fundido así como en la zona de metal base examinada y teniendo en cuenta el velo de la película, para dos películas superpuestas, quede comprendida entre 2,5 y 3,5 (valor H-D)

Curvas H-D: las películas radiográficas, al igual que todas las películas fotográficas, pueden ser comparadas entre sí de una forma cualitativa en cuanto se refiere a su rapidez y contraste, no obstante se hace necesario, para un mejor conocimiento de las películas y de sus posibilidades de aplicación, un examen cuantitativo de lo que éstos términos, rapidez y contraste, representan. Para efectuar este examen cuantitativo es necesario medir exactamente las densidades fotográficas producidas sobre un tipo de película por una serie de exposiciones determinadas; los valores así obtenidos para la densidad y exposición se llevan a un gráfico y se obtiene la "curva característica" de la película utilizada.

Esta curva característica, también llamada "curva sensitométrica" o curva "H-D" (Hurter-Driffield), relaciona la exposición aplicada a una película radiográfica con la densidad fotográfica resultante, obtenida en condiciones de revelado y fijado previamente establecidos y normalizados.

En ningún caso, las películas obtenidas para su interpretación simultánea presentarán densidades inferiores a 1,25 ni superiores a 1,75.

La densidad para la película que haya de ser interpretada aisladamente no será inferior a 1,5 ni superior a 3,5.

La densidad radiográfica, cuando es inferior a 1,8, afecta negativamente a la calidad radiográfica de la imagen.

El límite superior depende del brillo del negoscopio empleado. Los corrientes usados en radiografía industrial permiten visualizar densidades entre 3 y 3,5 como máximo.

Un intervalo prudente de densidades que puede considerarse correcto es el comprendido entre 2 y 3.

La densidad fotográfica se medirá con un densímetro o visualmente por comparación con una cuña patrón.



**PROYECTO FIN DE CARRERA:  
BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS  
EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION  
RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES  
METALICOS.**

Hoja 55 de 221



**Imágenes de la medición realizada por un densímetro**



### 2.3.3. Causas de imágenes deficientes o de baja calidad en las películas radiográficas y su corrección.

A continuación se presentan las principales causas que provocan la obtención de imágenes deficientes:

#### a) Radiografía con densidad muy alta

Se debe a una sobre exposición y se corrige colocando en la pantalla del visor una intensidad alta de luz. Para la repetición de la radiografía y para las subsecuentes es necesario verificar el tiempo de intensidad de la radiación. Se sugiere reducir la exposición un 30 % aproximadamente, así como el tiempo del revelado o la temperatura del revelador.

#### b) Radiografía con baja densidad

Este es un caso opuesto al anterior, es decir, su causa es la falta del tiempo de exposición, por lo que hay que verificar y corregir la intensidad de la radiación y el tiempo de exposición, aumentándolo un 40%: Esta deficiencia también puede deberse a un revelador gastado, la falta de tiempo del revelado o la baja temperatura en el mismo, la presencia de desperdicios o materia extraña entre la película y la pieza radiografiada.

#### c) Radiografía con contraste muy alto

Esta deficiencia puede deberse a que el objeto radiografiado de un contraste alto por su forma geométrica, o bien, que la película sea de alto grado de contraste. Se corrige aumentando el voltaje del tubo de rayos X o alejando la fuente de rayos Gamma, y en su caso, utilizando una película de menor contraste.

#### d) Radiografía con contraste muy bajo

Es el caso opuesto al anterior, ya que el espécimen puede desarrollar bajo contraste o la película puede ser de bajo contraste. Se corrige aumentando el voltaje del tubo de rayos X, corrigiendo la distancia de la fuente radioactiva, proyectando otros ángulos, incrementando el tiempo del revelado, aumentando la temperatura del revelador o cambiándolo, o usando película de mayor grado de contraste.

#### e) Radiografía con definición débil o pobre

Puede originarse por una distancia muy alta entre la película y el objeto radiografiado y se corrige disminuyendo dicha distancia. Si esto no es posible, es necesario aumentar la densidad de radiación o el tiempo de exposición.

Otra causa puede ser una falla en la distancia de la fuente de radiación y, por tanto, hay que corregirla. También el punto focal puede ocasionar esta deficiencia; de igual manera la pantalla lo propicia al no estar en contacto con la película, en este caso se debe verificar que la pantalla esté en íntimo contacto con la película.



Asimismo, otra causa que origina la definición débil puede ser el grano de la película, al ser éste demasiado grueso, entonces es necesario cambiar la película a una de grano mediano o fino.

f) **Radiografía nebulosa**

Ocasionada por una filtración de luz en el cuarto de revelado, exposición de la película a una de las luces de seguridad. Es necesario asegurarse de usar luces de menor intensidad, utilizar filtros para las luces de seguridad.

También puede ser que la película (que es muy sensible) haya estado mal almacenada o empacada exponiéndose con esto a la luz, o bien que haya estado expuesta al calor, a la humedad o gases de soldadura. La película debe revelarse durante la semana siguiente, a la grabación para que no caduque ésta y no aparezca nebulosidad.

Este fenómeno también puede presentarse por sobrevolado, temperatura inadecuada del revelador, por tener el revelador contaminado, o por exponer la película durante el proceso o por inspeccionar ésta durante el mismo. La película no debe ser revisada hasta que la imagen revelada está fija.

g) **Radiografías con motas o efectos de nieve**

Puede originarse por el uso de una película vieja, un cassette defectuoso o un revelador contaminado.

h) **Radiografía con nebulosidad en la orilla o en una esquina**

Se debe a un cassette defectuoso o a una película que no quedó bien guardada.

i) **Radiografía con manchas amarillas**

Esta deficiencia se origina por un revelador caduco o en mal estado, a fallas en el revelado y enjuague, o por el uso de un fijador que no sea el adecuado.

j) **Radiografía con marcas circulares oscuras**

Es ocasionada porque la película fue presionada o marcada por el fondo del recipiente previamente a la acción del revelador y a un deficiente manejo de éste. Se corrige agitando convenientemente la película en el líquido.

k) **Radiografía con lunares o marcas pequeñas y oscuras.**

Se debe a que no se usa suficiente fijador o a que la solución fijadora haya perdido sus propiedades o esté contaminada. En este caso siempre se cambia el líquido fijador por uno nuevo y es necesario asegurarse de la limpieza del recipiente.

l) **Radiografía con líneas corridas y borradas.**

Este defecto es provocado por la electricidad estática generada en la superficie de la película, ocasionada a su vez por la frotación de los sobres de las películas, o por el uso de ropa que produzca



electricidad estática en el momento de manipular las películas, ya sea al grabarlas o al revelarlas. Descargue su electricidad estática con una moneda de cobre.

**m) Radiografía con marca de huellas digitales oscuras.**

Es el resultado de tocar la película con los dedos manchados con productos químicos, por lo que es indispensable usar guantes de hule apropiados y máxima limpieza en las manos.

**n) Radiografía con marcas de huellas digitales claras**

Es originada por tocar la película con los dedos manchados de aceite o grasa. Se recomienda lo mismo que en el caso anterior.

**o) Radiografía con pequeñas manchas negras o líneas ligeras.**

Esta deficiencia tiene su origen en un revelador contaminado con sales metálicas. Utilice un revelador nuevo y asegúrese de lavar y limpiar bien el recipiente.

**p) Radiografía con una sombra creciente y áreas claras.**

Un manejo inadecuado de la película durante el desarrollo del revelado ocasiona esta deficiencia, por tanto; se recomienda mantener plana la película durante el revelado y usar colgadores limpios y adecuados para el tiempo de secado.

**q) Radiografía con manchas circulares claras.**

Se produce porque la película retuvo burbujas de aire durante el revelado y se evita agitando convenientemente la película dentro del líquido revelador.

**r) Radiografías con manchas en forma de gotas de agua.**

Se produce debido a que la película recibe salpicaduras de agua o de solución fijadora antes de la inmersión en el revelado, por lo que hay que tener cuidado de no salpicar las películas y manejarlas con precaución antes de la inmersión en el revelado, durante el revelado, el fijado y el secado.

**s) Radiografía con manchas en formas irregulares y puntos ligeros.**

Provocada por la existencia de polvo o pelusa entre la pantalla de plomo y la película, por tanto, es indispensable la limpieza más completa en las pantallas y en el manejo de la película.

**t) Radiografías con líneas onduladas de diferente tonalidad.**

Esta deficiencia se origina por un revelado irregular y no uniforme. Es necesario agitar la película durante el revelado.



*PROYECTO FIN DE CARRERA:*  
**BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS  
EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION  
RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES  
METALICOS.**

Hoja 59 de 221

**u) Radiografía con apariencia de reticulado semejante al grano de pieles.**

Se produce por un enfriamiento del revelador durante el proceso y se evita manteniendo la temperatura a una graduación uniforme y constante.

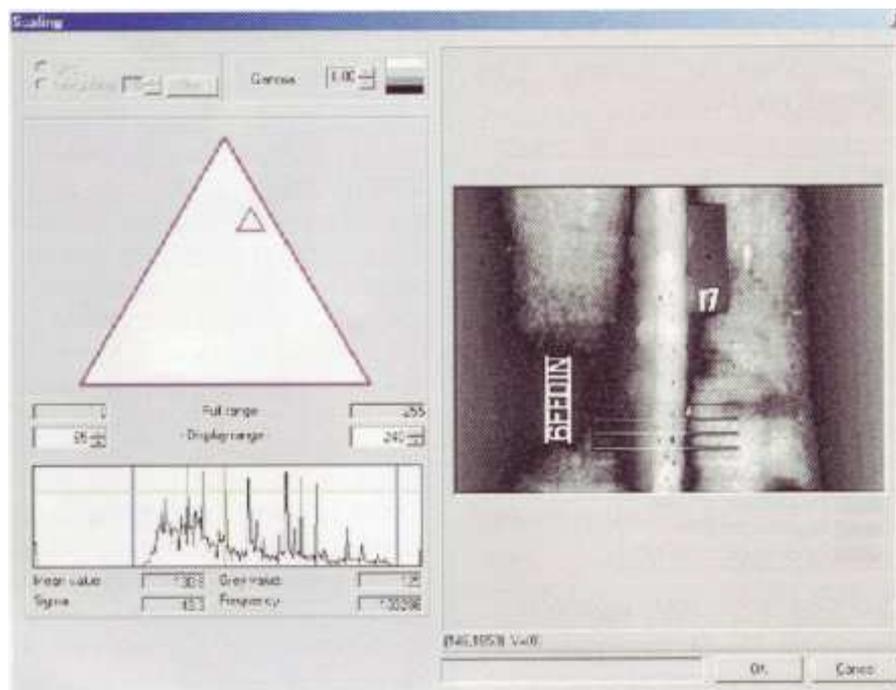
**v) Radiografía con escarolado y apariencia de desprendimiento de la emulsión de la película base.**

Esto se origina cuando la solución fijadora tiene una temperatura más caliente de lo requerido y está gastada por lo que hay que tener cuidado con la temperatura y comprobar la calidad del líquido fijador.



### 2.3.4.- Digitalización de la Imagen radiográfica.

La forma usual de inspección de soldaduras se realiza actualmente mediante la realización de una radiografía con rayos X o con rayos gamma, el examen de éstas por medio del negatoscopio, e inspección visual de un profesional que por medio de cartas de comparación valida o no la soldadura. Para sustituir dicha inspección y poder realizarla informáticamente se ha realizado un programa que mediante algoritmos informáticos realiza un tratamiento digital de la imagen, eliminando partes de ésta y dejando solo aquellas formas que responden a lo que se denomina poros en la soldadura. Además, siguiendo las normas AENOR de soldadura determina el tamaño máximo del poro, el tamaño medio de los poros, la porosidad aislada y al final valida la soldadura clasificándola en tres grupos como indican las normas. El programa puede ser aplicado en empresas que se dediquen a la inspección de uniones soldadas.



### Herramientas de desarrollo

Para la realización de este proyecto se han utilizado 4 programas. Dos de ellos están relacionados con el procesado de imágenes; Neatvisión e ImajeJ 1.0. Los otros dos están relacionados con el lenguaje de programación en Java; uno es el Jdk 1.3 de Sun que se encarga de la compilación mientras que el otro JCreator 1.5 se ha utilizado para escribir el código y depurar errores.



Para seleccionar el lenguaje de programación se han tenido en cuenta las características como: el rendimiento, facilidad de aprendizaje, tratamiento de imágenes del lenguaje, interface sencilla y la posibilidad de implementación de plug-ins u otros elementos. Descartándose el Visual Basic, Delphi por poco aptos y el C y C++ por el inconveniente de que no tiene un interface de usuario adecuado, y el Visual C++ por que la curva de aprendizaje es muy larga, se decidió utilizar el Java ya que es un lenguaje muy documentado y orientado a objetos, que tiene gran soporte para gráficos (Java 2D, Java JAI, JINI, Java 3d) y en el que resulta muy fácil construir interfaces atractivos. También tiene desventajas como son: la poca velocidad de ejecución, y el gran consumo de memoria. Comercialmente existen otros programas de alto precio y que están fuera de nuestro alcance como son: Image Pro Plus (Media Cybernetics), Inspector (Matrox) Optimas, Khoros Pro 2001. Otros de gama media son los siguientes: Neatvision, Xmega Wave (XMW) de libre distribución y Data Scan, Imaje J.

### **Procesamiento de la imagen. Conceptos básicos.**

El procesamiento de imágenes y la visión por ordenador no son conceptos semejantes. Mientras que el campo en el que se centra la visión por ordenador es el de análisis de la imagen, el procesamiento consiste en la manipulación y mejora de ésta. Con la imagen mejorada se logra que el análisis sea mas eficiente. En nuestro caso el procesamiento de la imagen tiene como función obtener otra imagen de mayor calidad que simplifique y facilite posteriores etapas tales como compensar defectos de iluminación y eliminar el ruido.

Un píxel es la unidad mínima de tamaño de una imagen y tiene como mínimo tres características: las coordenadas x e y, y la intensidad de color que en este proyecto serán los niveles de gris (0 para el negro y 256 para el blanco).

Un histograma es la representación gráfica de la frecuencia con la que los niveles de grises aparecen en dicha imagen. Esta información puede ser útil para conocer si la digitalización se ha efectuado correctamente, decidir el valor de umbralización de una imagen o tener una estimación del brillo medio y contraste.

Una tabla de consulta conocida como LUT es una función discreta definida sobre los números naturales comprendidos en el intervalo (0, L-1), siendo L el número el número de niveles de grises empleados en la digitalización. Esta función define una transformación píxel a píxel entre los niveles de grises de la imagen a procesar y los de la imagen resultante. Esta operación muy fácil de implementar permite la umbralización de la imagen, es decir la eliminación de ciertos tonos de grises. La convolución es una operación que modifica el nivel de gris de los píxeles de la imagen teniendo en cuenta los píxeles de su entorno de vecindad. Este tipo de operación a menudo denominada filtrado de la imagen es fundamental como herramienta para el procesado de la imagen y en particular para la eliminación de ruido y detección de bordes. El producto de convolución entre dos señales bidimensionales discretas  $f$  y  $h$  se define como:



$$g(i, j) = f \otimes h = \sum_m \sum_n f(i-m, j-n)h(m, n)$$

En el caso de imagines digitales la señal  $f$  es la imagen a procesar y la señal  $h$  de máscara o filtro de convolución.

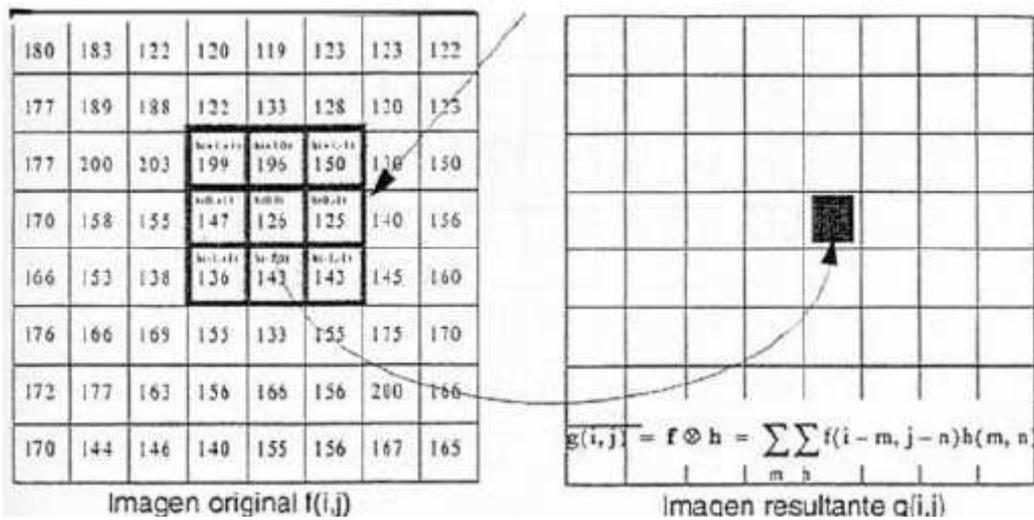


Figura 1 convolución.

Los bordes de una imagen se pueden definir como transiciones entre dos regiones de niveles de gris significativamente distintas.

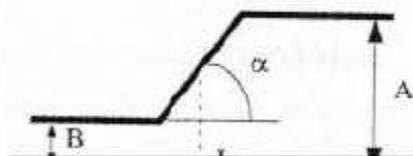


Figura 2. Modelo unidimensional y continuo de borde ideal.



En la figura se representa un modelo unidimensional y continuo de un borde. Este modelo representa una rampa desde un nivel de gris bajo "B" a uno alto "A" con los siguientes parámetros:

- Variación de intensidad  $H = A - B$
- Ángulo de inclinación de la rampa "a"
- Coordenada horizontal "X0" donde se encuentra el punto medio de la rampa.

En las imágenes reales los bordes nunca se ajustan al modelo anterior debido a que las imágenes son discretas, están afectadas por ruidos diversos y porque el origen de los bordes puede ser causado por muy diversas circunstancias. La mayoría de las técnicas para detectar bordes emplean operadores locales basados en distintas aproximaciones discretas de la primera (gradiente) y segunda derivada (Laplaciana) de los niveles de grises, aunque también se pueden emplear patrones de bordes ideales.

### Segmentación de la imagen.

La segmentación es el proceso por el cual se divide la imagen en regiones u objetos cuyos píxeles poseen atributos semejantes. Las distintas técnicas de segmentación pueden encuadrarse en tres grupos fundamentales: técnicas basadas en la detección de frontera, técnicas de umbralización y técnicas basadas en el agrupamiento de píxeles.

Las dos últimas enfocan la segmentación como un problema de clasificación de píxeles o grupos de píxeles donde:

- los píxeles de una misma región deben de ser similares
- píxeles de regiones distintas deben de ser no similares.
- Las regiones resultantes deben de tener cierto significado para el procesamiento posterior.

Esta similitud de píxeles puede residir en el nivel de gris, textura, proximidad, porosidad, posición en la imagen etc. La segmentación basada en la frontera persigue el aislamiento de los objetos del resto de la imagen previa identificación de los píxeles que configuran la frontera de estos. En la umbralización el foco de interés no es el contorno sino la propia región. Así, la segmentación se realiza identificando regiones como zonas con propiedades comunes. La vía mas natural para segmentar la imagen es la intensidad, mediante las cuales se separan las zonas claras de las oscuras.

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{si } f(x,y) > T \\ 0 & \text{otro caso.} \end{cases}$$



El mayor problema que tiene la umbralización es que solo contempla la intensidad y no las relaciones entre píxeles y por tal motivo se pueden encontrar puntos aislados especialmente en los bordes de las regiones y que son debidos al ruido.

### **Técnicas de procesamiento de las imágenes radiográficas.**

Las imágenes obtenidas a partir de radiografías presentan muchos problemas en el proceso de detección de defectos conteniendo elementos superpuestos, variaciones sistemáticas de la intensidad muy grandes, contraste pobre, falta de detalle y ruido. Los tipos de defectos que tienen que ser detectados incluyen grietas, poros, falta de penetración e inclusiones y pueden tener cualquier posición, forma y tamaño. El único indicador del defecto es una región en la imagen cuyo valor de intensidad contrasta con los de los vecinos.

El proceso general de detección de defectos comprende una técnica de reducción del ruido, una técnica de mejora del contraste y un método de detección de defectos. El ruido se presenta en la imagen como píxeles aislados con grandes variaciones de intensidad y distribuido aleatoriamente por la imagen. El ruido puede eliminarse utilizando filtros de la media o de la mediana. Para utilizar un filtro de la media hay que utilizar métodos discretos lineales y la *técnica de la convolución* que promedia la intensidad de los píxeles vecinos sustituyendo el valor de intensidad del píxel por la media de sus vecinos. Tiene el inconveniente de que desdibuja los contornos y otros detalles de la imagen. El filtro de la mediana sustituye el valor de intensidad del píxel por el de la mediana de los vecinos, siendo un método no lineal. Tiene el inconveniente de la pérdida de detalles finos y gran coste computacional.

Una de las razones del pobre contraste de las radiografías es el rango limitado de intensidades que el captador de imágenes es capaz de acomodar. Este problema puede ser superado, redistribuyendo los niveles de intensidad de la imagen para ocupar toda la escala de grises disponible, 0-255. Estas denominadas transformaciones de la escala de grises han sido aplicadas en las imágenes médicas en forma de estiramiento del contraste y ecualización del histograma. El estiramiento es un proceso que transforma los valores de intensidad para distribuirlos por todo el rango disponible. El histograma es un proceso que realiza una redistribución de los valores de intensidad entre los valores máximo y mínimo disponible.

Las técnicas para detectar los defectos son dos: encontrar el contorno del defecto o encontrar los píxeles que representan el defecto completamente. Para detectar el contorno puede utilizarse técnicas de gradiente local que proporcionan una representación muy eficiente de los defectos encontrados, pero que es muy sensible al ruido y no extrae completamente el defecto. El método de encontrar el defecto es la utilización de un filtro que hace las veces de test. Con esta técnica se logra un que las regiones defectuosas sean completas y los valores de intensidad pueden servir para estimar la superficie del defecto.



Desarrollo de un sistema de detección automática de detección de defectos.

Tabla 1. Etapas seguidas para la detección de defectos.

Adquisición	Filtrado	Segmentación	Análisis
	Eliminación de ruido.	Extracción de defectos con técnicas basadas en regiones.	Análisis de los defectos utilizando propiedades geométricas de las regiones.

En las imágenes radiográficas existen tres zonas características: la zona propiamente de soldadura, el fondo y los IQI's.

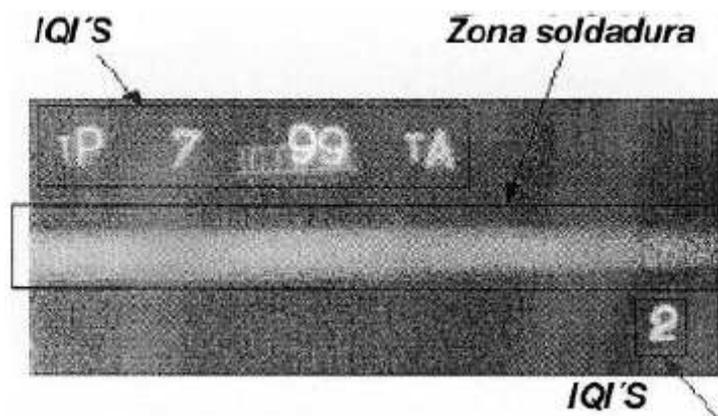
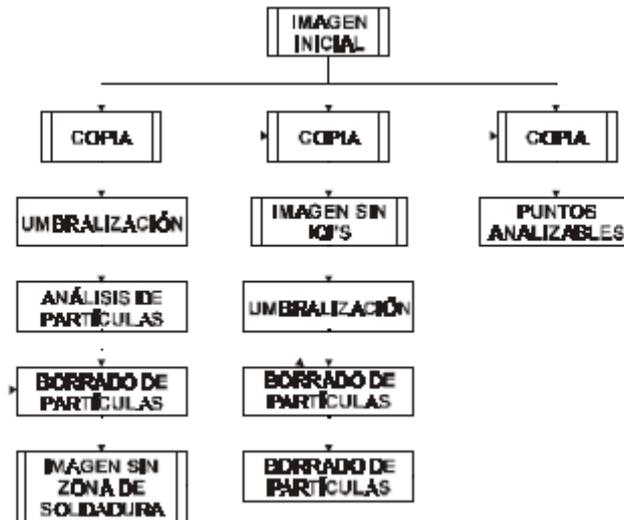


Figura 3. Imagen de la radiografías de las soldaduras.



Un proceso más detallado de la extracción de la zona de soldadura sería la siguiente:



Las técnicas de umbralización adaptativas aplicables son varias: global, lineal vertical, lineal horizontal, lineal de ventana vertical, zonal vertical, zonal horizontal, zonal rectangular, puntual de ventana. Todas ellas son variaciones de:

$$\text{Si } I(x,y) < I_{med} + 3 \sigma_n$$

$$\text{Entonces } I(x,y)=0 \quad \text{si no } I(x,y) = 255$$

$I(x,y)$  es la intensidad de un píxel localizado en las coordenadas  $x$  e  $y$  de la imagen. Siendo  $I_{med}$  la media de las intensidades de todos los píxeles dentro de la zona donde se va a llevar a cabo la umbralización. Es la desviación típica de las intensidades de todos los píxeles dentro de la zona donde se va a llevar a cabo la umbralización. Se calcula mediante la siguiente fórmula y sobre un área de  $m \times n$  píxeles.

$$I_{med} = \frac{1}{m \times n} \sum_{m,n} I(x,y)$$

$\sigma_n$  es la desviación típica de las intensidades de todos los píxeles dentro de la zona donde se va llevar a cabo la umbralización y se calcula como:

$$\sigma_n = \sqrt{\frac{1}{m \cdot n} \sum_{n,m} (I(x,y) - I_{MED})^2}$$

De todos los algoritmos utilizados solo la de ventana lineal vertical ha resultado ser útil.

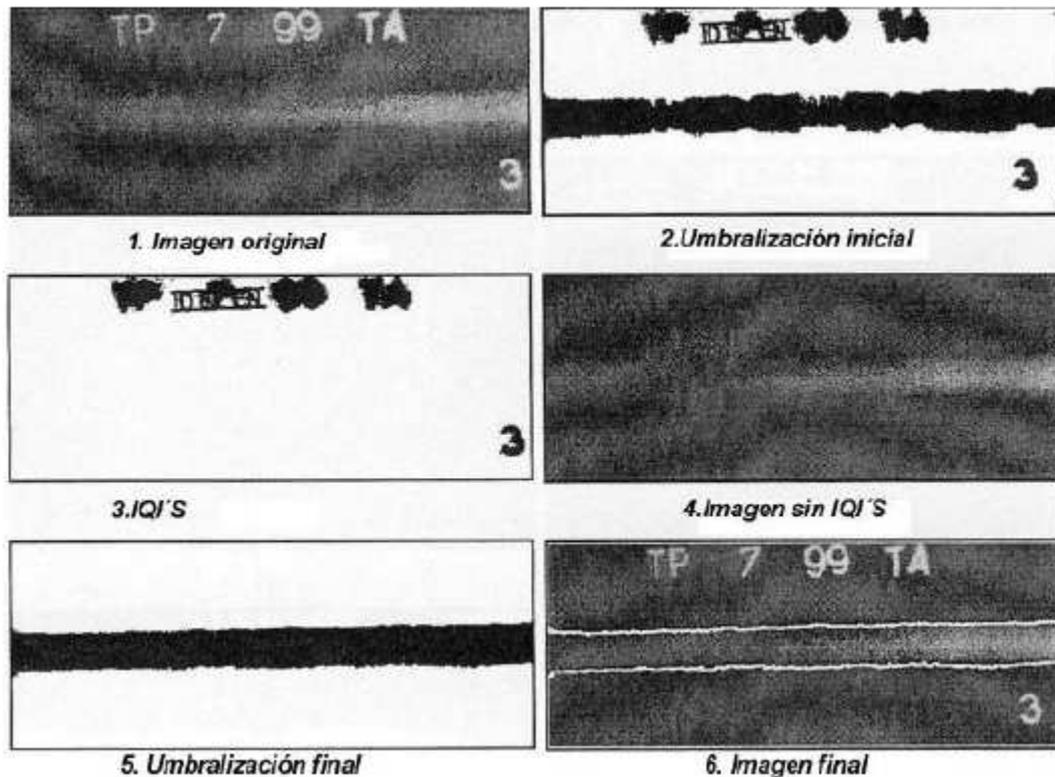


Figura 4. Eliminación de defectos de gran tamaño en la extracción de la zona de soldadura.

#### Extracción de la zona de soldadura.

La tarea de eliminar los IQI'S es conceptualmente mucho mas sencilla que implementarla en un plug-in. Se parte de la suposición de que la zona de soldadura es continua y es el área blanca de mayor tamaño. Tras una umbralización inicial se calcula el área de todas las zonas blancas de la imagen y se quita la de mayor tamaño (zona de soldadura) quedando los mencionados IQI'S y alguna zona del fondo con intensidad elevada. Para ello se parte de la imagen inicial de la que se hacen tres copias. A una de ellas se le hace una umbralización. Para determinar el área se aplica el analizador de partículas que es una función de ImageJ y que determina el área de la región mayor que es la imagen de fondo con los IQI'S y elimina el resto de la imagen. En la copia dos es necesario eliminar los IQI'S para ello se compara con las posiciones de los EQUI'S obtenidos y por medio de una umbralización vertical se sustituyen las intensidades de estas zonas. Tras realizar el proceso se obtiene la imagen sin IQI'S.



El algoritmo utilizado es el de A. Kehoe

$$\text{Si } \frac{|\bar{G} - G|(\bar{i} - p_0(x,y))}{1 + |\bar{G}|} > q_1 \quad p_0(x,y) \text{ es defecto}$$

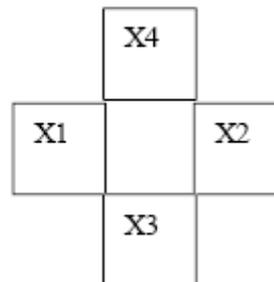
$$\text{Si } \frac{|\bar{G} - G|(\bar{i} - p_0(x,y))}{1 + |\bar{G}|} > q_2 \quad p_0(x,y) \text{ es defecto}$$

Donde  $p(x, y)$  es la intensidad de un píxel;  $\bar{i}$  es la media de las intensidades de los píxeles de la ventana;  $G$  es un gradiente de intensidad local que se calcula de la siguiente forma:

$$G_x = x_2 - x_1$$

$$G_y = x_4 - x_3$$

$$G = |G_x + G_y|$$



$G$  es el gradiente medio de intensidades de ventana.

Se emplean dos máscaras sobre la imagen, se copia la imagen y se aplica una máscara a cada una.

Kx	1	2	1
	0	0	0
	-1	-2	-1

Ky	-1	0	1
	-2	0	2
	-2	0	1

De la máscara Kx se obtiene la imagen A; de la máscara Ky se obtiene la imagen B: De estas dos imágenes se obtiene una imagen de gradiente medio.

$$C = \frac{|A + B|}{2}$$

Con un píxel dado y una ventana determinada se obtienen los valores de  $G$  a partir de  $C$ .

Se prueban distintos valores de umbrales en función de la media, mediana, desviación típica de las intensidades y distintos tamaños de ventana, hasta que se consiguió localizar los defectos.

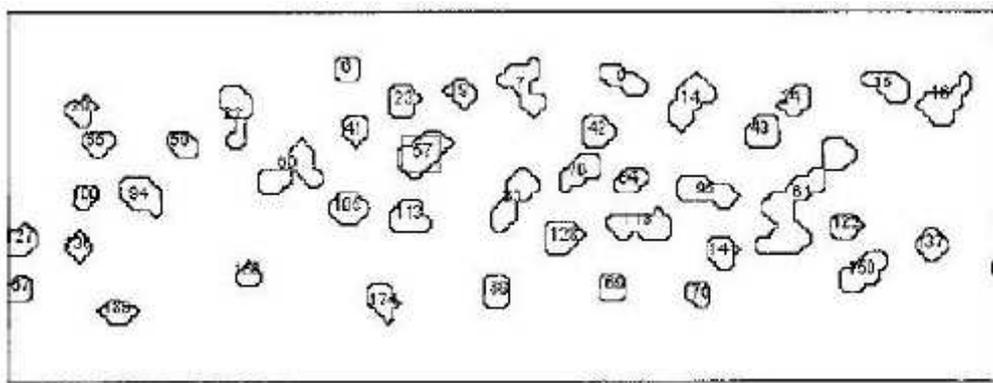


Figura 5. Imagen resultado.

**Normativa.**

Los defectos en las uniones soldadas vienen determinados por la EN 25817 que determina la calidad de la soldadura en tres niveles: B (Elevado), C (intermedio), D (moderado).

Imperfección	Observaciones	Moderado C	Intermedio C	Elevado B
Grietas	Todo tipo de grietas excepto microgrietas $H < 1\text{mm}$	No admisible		
Poros	(a) Medida máxima total del área proyectada. (b) Medida máxima de un poro aislado	4% $d < 0,5s$	2% $d < 0,4s$	1% $d < 0,3s$
Inclusiones sólidas	Imperfecciones cortas. Medida máxima en cualquier caso	4mm	3mm	2mm
Falta de penetración	Imperfecciones largas	No admisible		

Tabla 3. Normativa de los defectos de soldadura.



*PROYECTO FIN DE CARRERA:*  
**BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS  
EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION  
RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES  
METALICOS.**

Hoja 70 de 221

**Conclusiones.**

Desarrollar un sistema que analice y clasifique satisfactoriamente los defectos a un nivel semejante a un trabajador cualificado es muy difícil. Los últimos desarrollos en este campo están empleando técnicas de redes neuronales e inteligencia artificial. El presente trabajo debe de entenderse como una primera aproximación al problema presentado ya que permite examinar ciertos defectos y ajustar los algoritmos a un tipo de soldadura.



### 3-. DEFECTOLOGÍA.

## IMPERFECCIONES DE LAS UNIONES SOLDADAS

### DISCONTINUIDADES

El término discontinuidad se utiliza para describir cualquier variación local en la discontinuidad de los materiales incluyendo cambios geométricos, agujeros, cavidades, grietas, estructuras, composición o propiedades. Algunas discontinuidades tales como taladros, superficies irregulares, etc., pueden ser diseñadas intencionalmente.

Otras discontinuidades pueden ser inherentes al material, debido a su composición química y estructural (distribución atómica tridimensional en la que los metales sólidos existen). Este tipo de discontinuidades puede variar ampliamente en función de cada material, del tratamiento que haya recibido (intencionado o accidental) y el ambiente a que esté expuesto.

Las discontinuidades, por lo tanto, no son siempre peligrosas e incluso algunas veces son necesarias durante el diseño, pudiendo ser beneficiosas en algunos tipos de procesos. Dicho de otra forma, las discontinuidades sólo son objeccionables cuando superan los requisitos especificados para un determinado producto.

Cuando cualquier discontinuidad, única o múltiple, es de tal tamaño, forma, tipo y situación que crea una posibilidad substancial de fallo durante el servicio se la denomina "defecto". Debe entenderse que una deficiencia que es un defecto bajo una serie de condiciones, puede ser solamente una discontinuidad que no sea perjudicial en otras muchas aplicaciones.

A la vista de lo anterior se puede decir que, bajo determinadas condiciones, las discontinuidades pueden ser origen de serios defectos que produzcan fallo. Esto ocurre con mayor facilidad bajo condiciones de servicio y pueden ser debido a los efectos de fatiga o corrosión, especialmente cuando van acompañados de cargas cíclicas. Por ejemplo, una pequeña discontinuidad formada por corrosión, o que sea inherente al material, puede convertirse en una grieta en la que la concentración de esfuerzos, bajo cargas variables, la obligue a propagarse con el tiempo, hasta que no exista suficiente material que resista la carga produciéndose la rotura.

De lo anterior podría deducirse que todos los esfuerzos deben estar dirigidos a conocer los materiales, su estructura y propiedades. En relación con las soldaduras también esto es cierto, pero debe recordarse



que el procesado de los materiales, desde su estado inicial hasta que forman parte de un determinado equipo o producto, tiene una enorme influencia sobre la ejecución y características de las uniones soldadas.

Por lo tanto las imperfecciones son anomalías o irregularidades que se presentan en la unión soldada y se consideran como defecto cuando por su magnitud o localización puedan provocar el fallo de la unión.

Las causas que pueden originar estas imperfecciones son, entre otras, una inadecuada:

- Preparación, disposición o limpieza de las piezas a unir.
- Ejecución de la soldadura.
- Soldabilidad del material base.
- Elección de los consumibles ( gases, metal de aporte....)

Los principales defectos que se producen en el soldeo por fusión están clasificados en la norma **UNE-EN ISO 6520-1** en los siguientes grupos:

1. Grietas.
2. Cavidades.
3. Inclusiones sólidas, ( escoria, óxidos, inclusiones de wolframio o de cobre....).
4. Falta de fusión y de penetración.
5. Imperfecciones de forma y dimensión.
6. Otras imperfecciones.

Una soldadura con imperfecciones puede cumplir o no una norma, es decir, podrá ser aceptada o ser rechazada. Se aceptará si las dimensiones de sus defectos están por debajo de lo establecido en la norma aplicable en función del nivel de calidad considerado.



*PROYECTO FIN DE CARRERA:*  
**BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS  
EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION  
RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES  
METALICOS.**

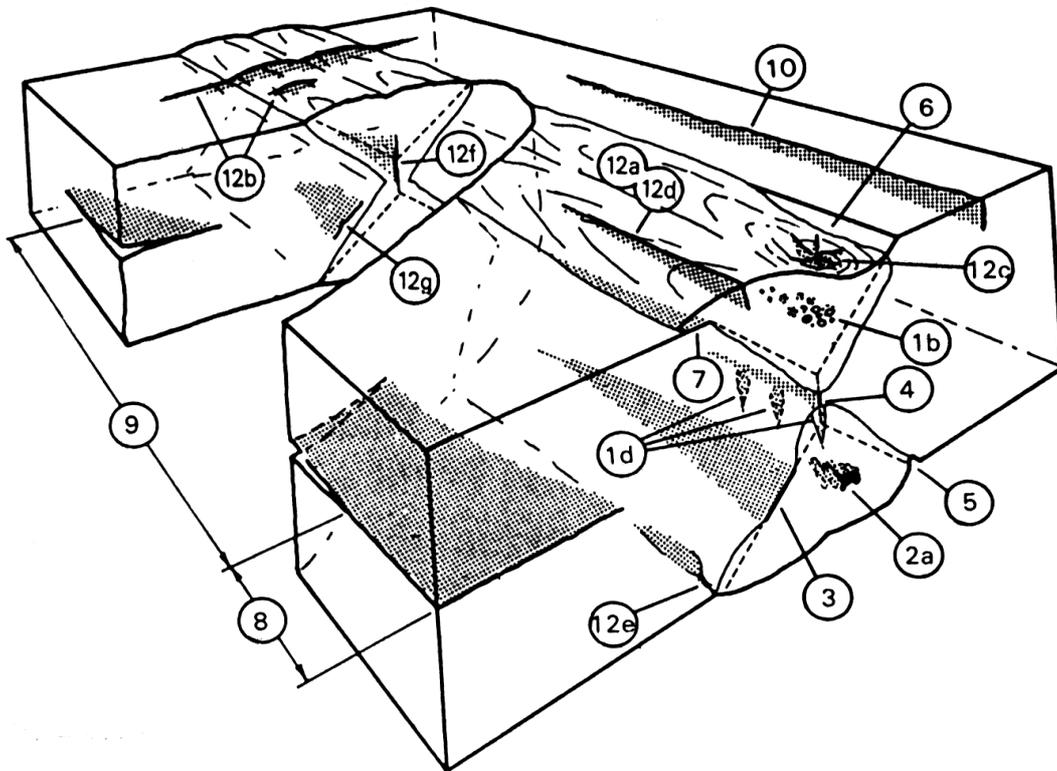
Hoja 73 de 221

Las dimensiones máximas aceptables de las imperfecciones están recogidas en las normas Une **EN ISO 5817: 2004**, en el caso de los aceros, y en la **UNE-EN ISO 10042** en el caso del aluminio y sus aleaciones soldables. Estas normas establecen tres niveles de calidad, de moderado a elevado, de forma que cuanto mayor sea el nivel de calidad las imperfecciones admitidas serán de menores dimensiones. Los niveles de calidad, en cada caso, deberán ser definidos por la norma de aplicación ( norma de diseño) o por la persona responsable junto con el fabricante, usuario o cualquier otra persona involucrada. El nivel de calidad debe ser especificado antes del comienzo de la producción.

Las dimensiones de las imperfecciones en estas normas se establecen en función del espesor de las piezas, de la garganta de las soldaduras en ángulo o de alguna dimensión de la soldadura como su anchura o la profundidad, de forma que las imperfecciones pueden ser mayores cuanto mayores sean estas imperfecciones, pero existiendo en cualquier caso un máximo para cada imperfección de forma que aunque el espesor de las piezas sea muy elevado no se pueda superar este valor.

Para la cualificación de soldadores ( según la norma **UNE-EN 287** ) se exige el nivel más alto: el nivel elevado o nivel B; excepto para algunas imperfecciones de forma que se admite el nivel intermedio o nivel C.

La elección del nivel de calidad para cualquier aplicación debe tener en cuenta las consideraciones de diseño, estados tensionales, condiciones de servicio y consecuencias del fallo. También influyen los factores económicos.



Junta en V, en X, a tope.

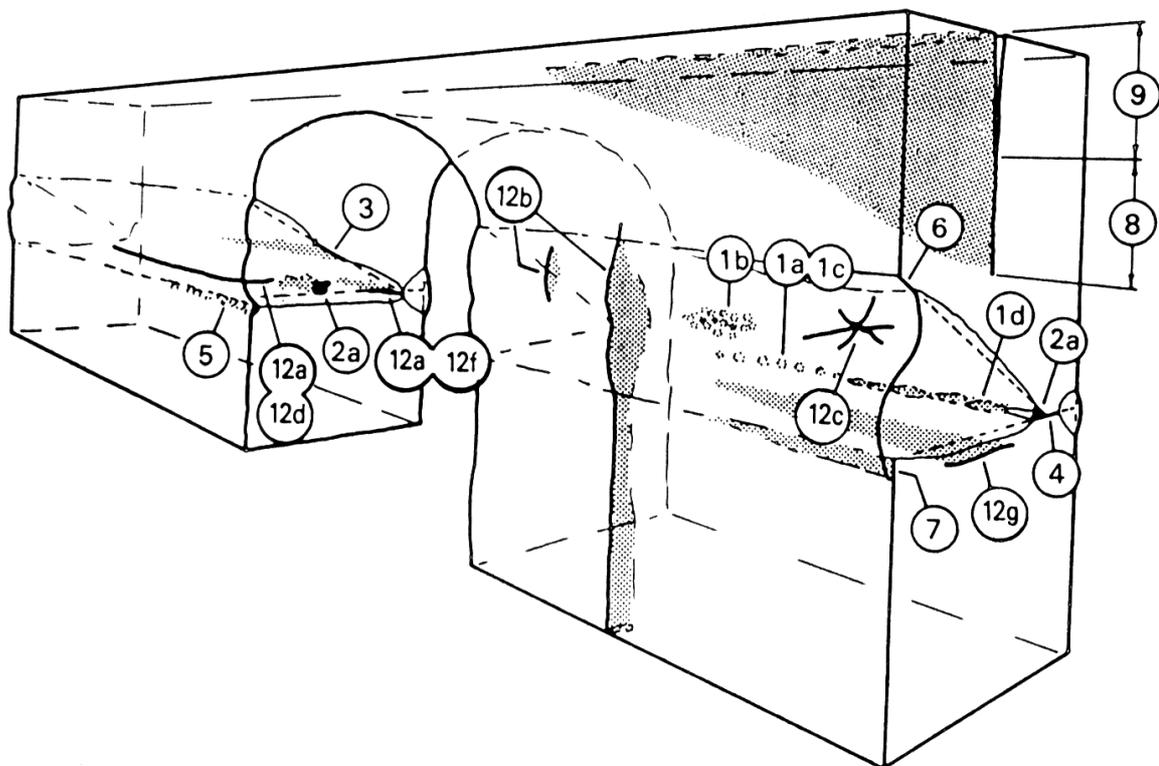
Tipo	REFERENCIA	OBSERVACIONES
POROSIDAD		Cordón
Uniforme	1a	
Agrupada	1b	
Lineal	1c	
Tubular	1d	
INCLUSIONES		Cordón
Escorias	2a	
FALTA DE FUSION	3	Cordón
FALTA DE PENETRACION	4	Cordón
MORDEDURA	5	Zat
FALTA DE RELLENO	6	Cordón
DESBORDAMIENTO	7	Cordón ZAT
LAMINACIONES	8	Metal Base



PROYECTO FIN DE CARRERA:  
 BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS  
 EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION  
 RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES  
 METALICOS.

Hoja 75 de 221

DESLAMINACIONES	9	Metal Base
DISCONTINUIDAD SUPERFICIAL	10	Metal Base
EXFOLIACION LAMINAR	11	Metal Base
GRIETAS		
Longitudinales	12a	Cordón-ZAT
Transversales	12b	Cordón-ZAT-MB
En Cráter	12c	Cordón
Axiales	12d	Cordón
Interfase	12e	ZAT
Raíz	12f	Cordón
Bajo Cordón	12g	ZAT



Junta en V con saneado y cordón de raíz.



### 3. 1-. GRIETAS

Son el efecto de una rotura local incompleta.

Ningún código de diseño admite este tipo de defecto, ya que cuando la construcción soldada se someta a la carga para la que ha sido diseñada la grieta crecerá y provocará su rotura catastrófica.

Las grietas pueden estar localizadas en ( ver figura 1 ).

- El metal base.
- La zona afectada térmicamente.
- La zona de unión entre la zona afectada térmicamente y cordón de soldadura, es decir en el acuerdo de la soldadura.
- El cordón de soldadura.
- El cráter de soldadura.

Pueden ser paralelas al cordón de soldadura, denominándose longitudinales, o pueden ser perpendiculares a éste, denominándose transversales. También pueden aparecer en grupo en forma de estrella, ver figura 1.

Las causas de las grietas pueden ser:

- Soldar con excesiva intensidad.
- Enfriamiento rápido de la soldadura.
- Soldar con un embriamiento excesivo.
- Existir tensiones residuales en el metal base debidas a los procesos previos de fabricación.
- Mala secuencia de soldeo que provoque excesivas tensiones y deformaciones.
- Inadecuado e insuficiente material de aportación ( electrodos, varillas, alambres o gases de protección ).
- Metal base de una mala soldabilidad.
- Finalizar el cordón de soldadura retirando el electrodo de forma rápida y brusca. En este caso se formarán grietas de cráter.

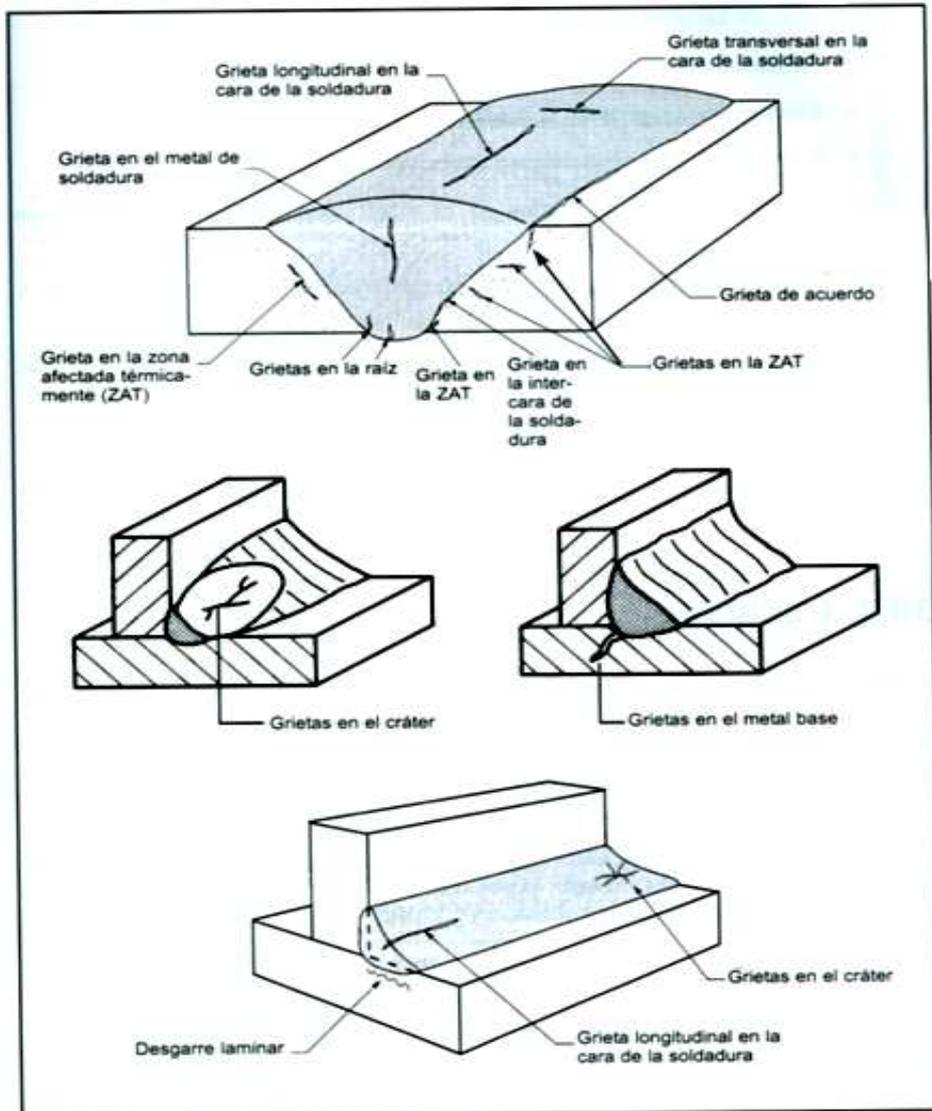


Figura 1: Grietas en las soldaduras



### 3.2.- CAVIDADES

Las sopladuras son cavidades formadas por inclusiones gaseosas ( ver figura 2 ).

Se pueden distinguir los siguientes tipos:

- Sopladuras de forma esférica que también se denominan **poros**.
- **Sopladuras vermiculares**, es decir con forma de gusano que se forman al escapar el gas cuando existe una alimentación continua de éste y la velocidad de solidificación es muy rápida.

Las sopladuras y poros pueden disponerse de forma aislada, alineados o agrupados, siendo siempre menos perjudiciales los primeros que los agrupados o alineados. También pueden ser superficiales, es decir abiertos a la superficie y por tanto visibles ( ver figura 3 ).

Si el cordón de soldadura presenta una ligera porosidad puede no presentar en realidad un defecto grave, sobre todo si tienen forma esférica. Se permiten, por tanto, poros y sopladuras en los códigos de construcción o en las normas de calidad, limitándose sus dimensiones en función del nivel de calidad requerido.

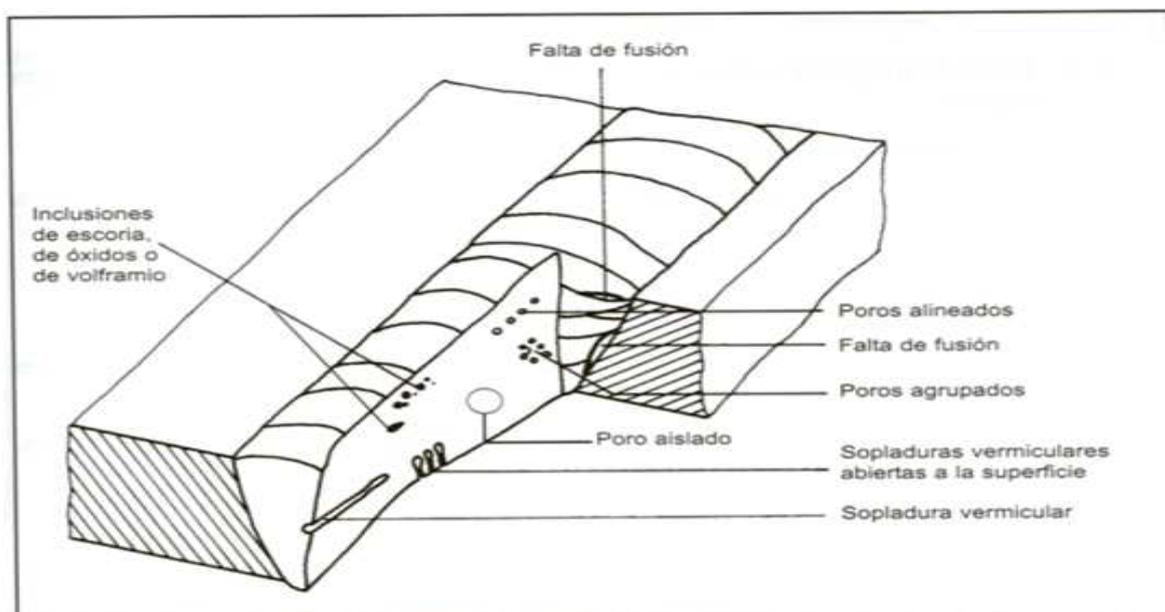


Figura 2. Defectos internos en una soldadura.

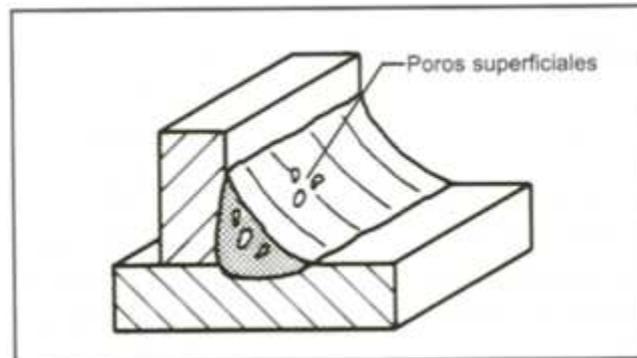


Figura 3. Sopladuras y poros.

El diámetro máximo admitido de un poro aislado según la Norma europea es de un tercio del espesor de la pieza cuando se suelda a tope; nunca debe superar los tres milímetros, para el nivel elevado de calidad, los poros superficiales en el aluminio no pueden ser mayores de 1 mm. Cuando el nivel de calidad es elevado o intermedio, no se aceptan las sopladuras vermiculares ya que son las más peligrosas.

Las causas más probables de la existencia de los poros y sopladuras son:

- Falta de limpieza en los bordes de la unión, presencia de óxidos, pintura o grasa.
- Intensidad excesiva.
- Revestimiento húmedo; emplear electrodos mal conservados, húmedos u oxidados.
- Empleo de electrodos con el extremo desprovisto de recubrimiento.
- Condiciones atmosféricas desfavorables: excesivo viento.
- Mala técnica operatoria: soldar con el arco demasiado largo o con un ángulo de desplazamiento muy grande.
- Equipo de soldeo en mal estado: fugas en el sistema de refrigeración, gases de protección con humedad, etc.
- Gas de protección inadecuado o insuficiente.



### 3.3.- INCLUSIONES SÓLIDAS.

Se representan en la figura 2 pudiendo ser:

- **Inclusiones de escoria**, es decir residuos de revestimiento del electrodo o del fundente, que han fundido y solidificado en la soldadura. Pueden presentarse de forma aislada, alineadas o agrupadas.

La importancia de este defecto depende del tamaño de la inclusión de escoria y de la distancia que exista entre las inclusiones. Cuando el nivel de calidad exigido es elevado sólo se admiten inclusiones menores de un tercio del espesor de la soldadura, siempre que la longitud total de todas las inclusiones existentes sea menor del 25% de la longitud de la soldadura y la dimensión de cada inclusión sea menor del 0,3 veces el espesor del metal base o menor de 2 mm , si son mayores no están admitidas.

- **Óxidos metálicos**, aprisionados durante la solidificación, por ejemplo óxido de aluminio.
- **Partículas de metal extrañas** aprisionadas en el metal fundido; puede ser de wolframio, cobre u otro metal.

En ningún caso se admite la inclusión de wolframio ni de cobre. Las inclusiones de óxidos normalmente tampoco se admiten.

Causas más probables:

- Soldeo con intensidad muy baja en el caso de inclusiones de escoria, o con intensidad demasiado alta para el caso de inclusiones de wolframio en el soldeo TIG ( tan alta que funde el electrodo de wolframio ).
- Contaminación del baño de fusión o de la varilla por contacto con el electrodo de wolframio.
- Mala preparación de la unión: poca separación entre las chapas o bisel con ángulo pequeño.
- Falta de limpieza de la escoria, sobre todo al realizar soldaduras de varias pasadas.
- Inclinación incorrecta del electrodo o inadecuado balanceo de éste.
- Arco demasiado largo.
- Protección deficiente del baño de soldadura, que favorece la aparición de óxidos.



### 3.4.- FALTA DE FUSIÓN Y DE PENETRACIÓN

#### 3.4.1.- Falta de fusión.

La falta de fusión ( figura 2 y figura 4 ) es la falta de unión entre el metal base y el metal depositado, o entre dos cordones consecutivos de metal depositado. Es decir se produce una pegadura y no una verdadera unión.

Éste es un defecto muy peligroso y por tanto normalmente no es aceptado, cuando se acepta sus dimensiones serán muy pequeñas.

Las causas más probables son:

- Arco demasiado largo.
- Intensidad baja.
- Excesiva velocidad de desplazamiento.
- Defectuosa preparación de bordes, por ejemplo bisel con ángulo muy pequeño, una separación muy pequeña entre las chapas a unir o existencias de una desalineación entre las piezas.
- Posición del electrodo incorrecta, no centrada con respecto a los bordes de la unión.
- Soldar encima de un cordón que tiene un exceso de sobreespesor muy grande.
- Realizar empalmes defectuosos.

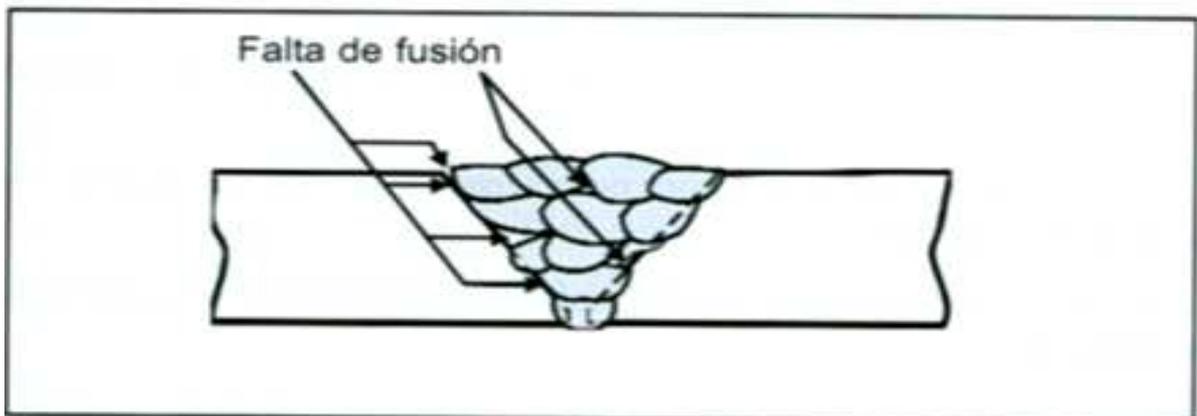


Figura 4: Falta de Fusión.

### 3.4.2 Falta de penetración.

Es una falta de fusión en la zona que se conoce como raíz de la soldadura (ver figura 5). En las soldaduras con penetración parcial se considera falta de penetración cuando se obtienen penetraciones de dimensiones menores a las especificadas o deseadas (ver figura 5 B).

Este tipo de imperfección también es peligroso y sólo se admiten en los niveles de calidad moderado e intermedio, cuando la falta de penetración tiene dimensiones muy pequeñas. Nunca es admisible en los niveles de calidad elevados.

Las causas más probables son:

- Baja intensidad de soldeo.
- Excesiva velocidad de soldeo.
- Separación en la raíz muy pequeña, ángulo del bisel demasiado pequeño o talón de la raíz muy grande.
- Electrodo de diámetro demasiado grande.
- Desalineamiento entre las piezas.

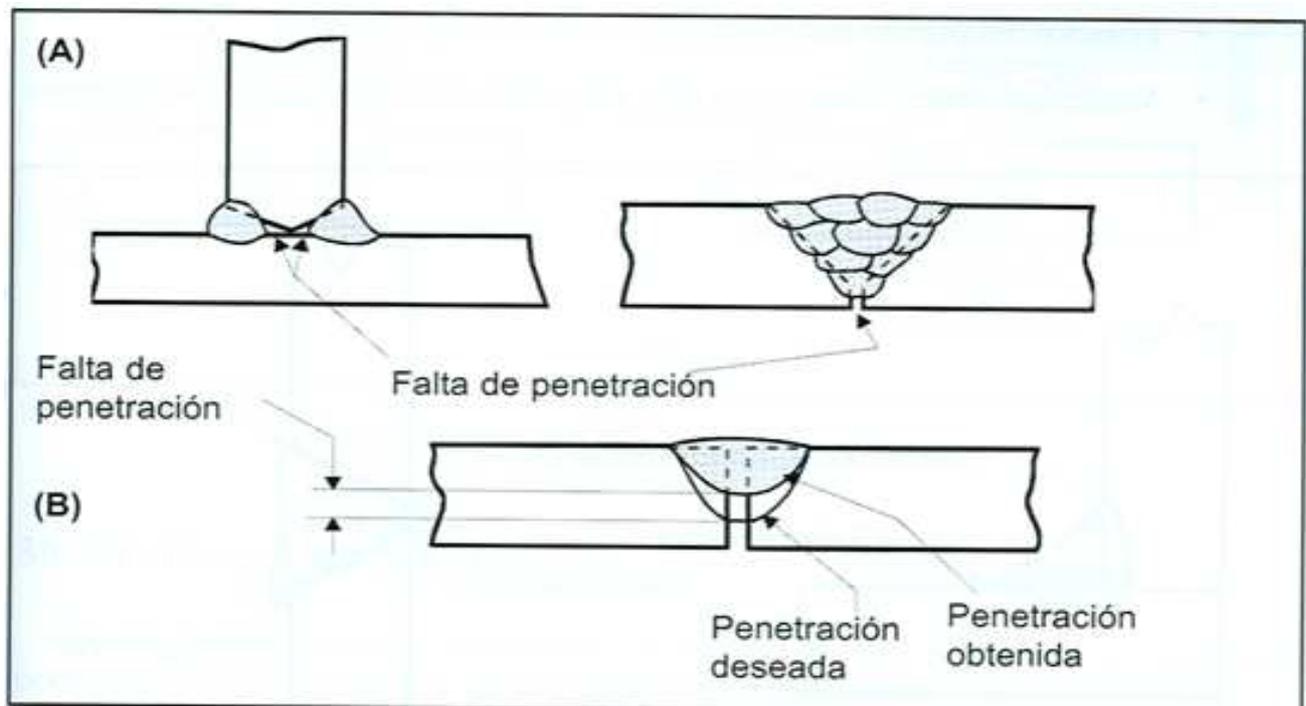


Figura 5: Falta de Penetración.



### 3.5.- IMPERFECCIONES DE FORMA Y DIMENSIÓN.

Son aquéllas que afectan a la forma final del cordón de soldadura, bien en su superficie o en su sección transversal. Se debe tener en cuenta que una soldadura no es mejor cuanto mayor sea, sino cuanto más se parezca a la especificada y cuanto más suavemente realice la transición entre las dos piezas a unir.

#### 3.5.1.- Mordedura.

Una mordedura ( ver figura 6 ) es una falta de metal, en forma de surco de longitud variable, en cualquiera de los bordes de un cordón de soldadura, pudiendo aparecer entre la soldadura y el metal base o entre dos cordones.

Este defecto es tanto más grave cuanto mayor es su profundidad, se admiten las mordeduras poco profundas normalmente inferiores a 0,5 mm.

Causas más probables:

- Electrodo demasiado grueso.
- Excesiva intensidad de soldeo.
- Posición incorrecta del electrodo.
- Velocidad de desplazamiento elevada y falta de retención en los extremos.

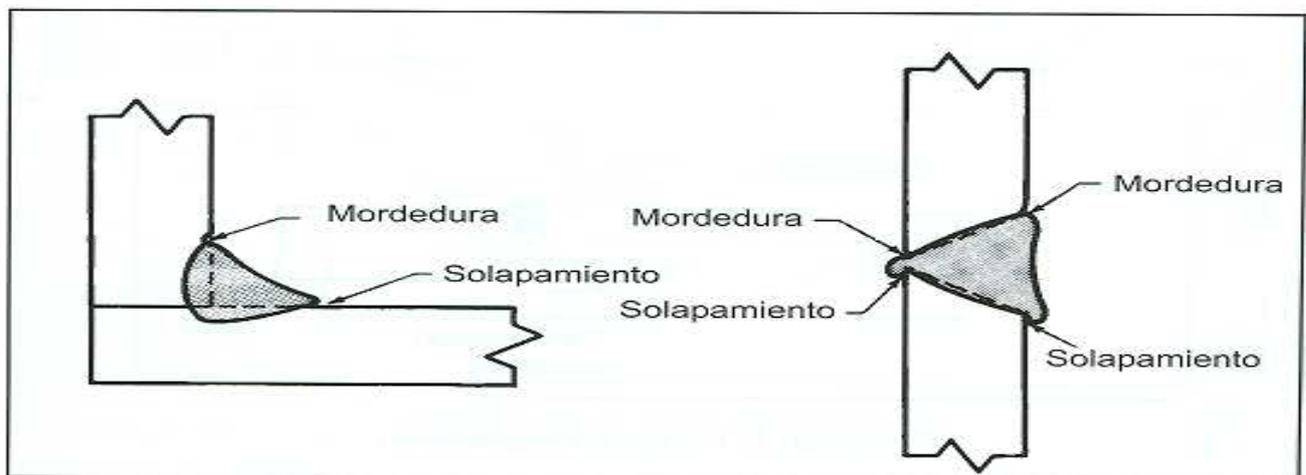


Figura 6: Mordedura y solapamiento



### 3.5.2.- Solapamiento.

Exceso de metal depositado que rebosa sobre la superficie del metal base sin fundirse con él (ver figura 6 ).

No se permite en los dos niveles de calidad más elevados.

### 3.5.3 Sobreepesor excesivo

Es un exceso de metal depositado en las pasadas finales (ver figura 7 ).

Puede ser debido a:

- Poca velocidad de soldeo.
- Poca separación entre las chapas a unir a tope.

El sobreepesor podrá ser mayor cuanto más grande sea el ancho del cordón, normalmente deberá tener una dimensión de 1 a 3 mm no debiendo superar los 5 mm.

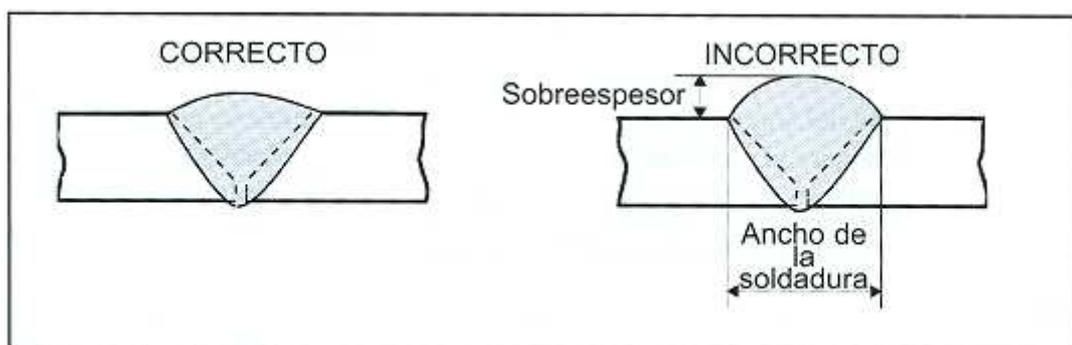


Figura 7: Sobreepesor Excesivo.



### 3.5.4.- Exceso de penetración

Es un exceso del metal depositado en la raíz de una soldadura, normalmente ocurre cuando se suelda por un solo lado ( ver figura 8 ).

Si el exceso de penetración se presenta en la parte interior de una tubería puede ser muy perjudicial.

Se produce por:

- Separación de los bordes excesiva.
- Intensidad demasiado elevada al depositar el cordón de raíz.
- Velocidad muy baja de soldeo.
- Diseño de unión defectuoso con penetración incorrecta del talón.

El exceso de penetración debe ser generalmente de 1 a 2 mm no debiendo superar nunca los 3 mm.

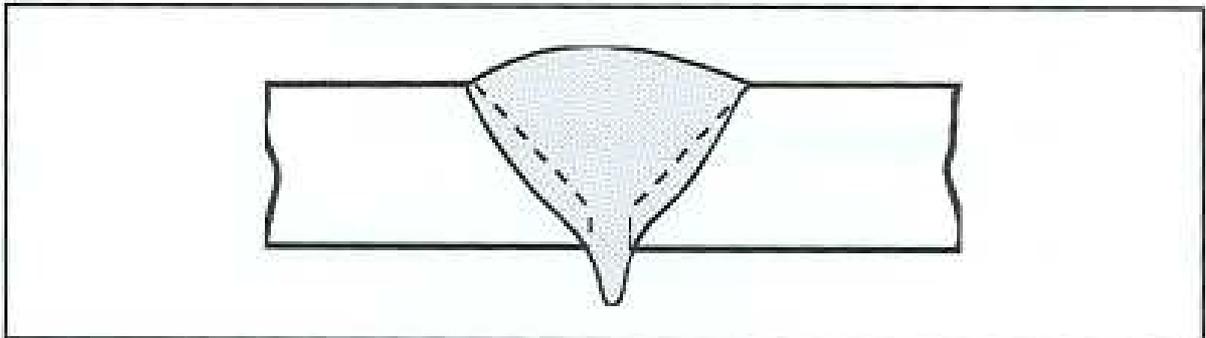


Figura 8: Exceso de penetración.

Una descolgadura es un exceso de penetración puntual.



### 3.5.5.- Ángulo de acuerdo incorrecto.

Valor pequeño del ángulo  $\alpha$  mostrado en la figura 9, donde se puede observar que la transición entre el metal de soldadura y el metal base se realiza de una forma muy brusca cuando el ángulo  $\alpha$  es pequeño, actuando como una entalla donde se concentrarán los esfuerzos cuando la pieza esté en servicio lo que favorecerá la formación de una grieta.

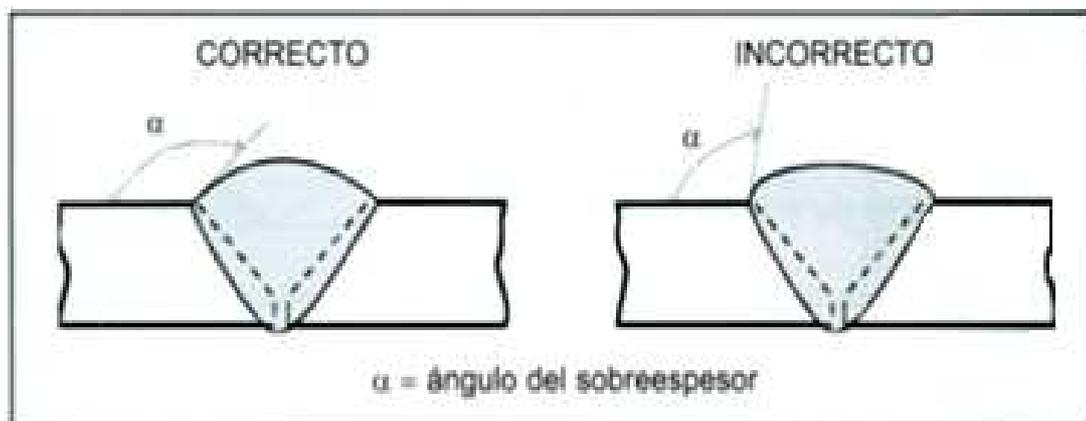


Figura 9: Ángulo del sobreespesor incorrecto.

### 3.5.6 Falta de alineación o deformación angular

Es una falta de alineación de dos piezas soldadas que no se encuentran en el mismo plano, se puede ver en la figura 10.

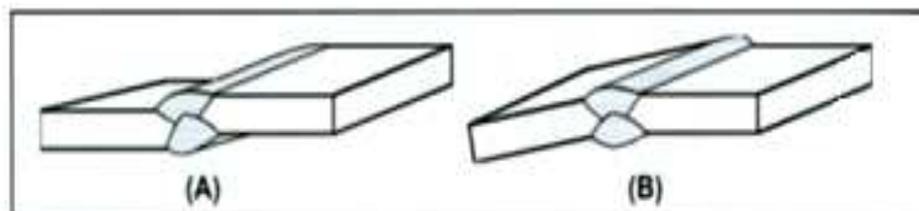


Figura 10: (A) Falta de alineación. (B) Deformación angular

Se suelen admitir desalineaciones menores de la décima parte del espesor de la chapa.



### 3.5.7 Falta de metal de soldadura

Canal longitudinal continuo o discontinuo en la superficie de la soldadura debido a una insuficiente deposición de metal de aportación (figura 11).

Se debe a:

- Excesiva velocidad de soldeo
- Separación entre las chapas muy elevada.

Cuando se produce por desplazamiento del metal depositado debido a su propio peso se denomina desfondamiento. Se permiten faltas de material entre 0,5 y 1 mm.

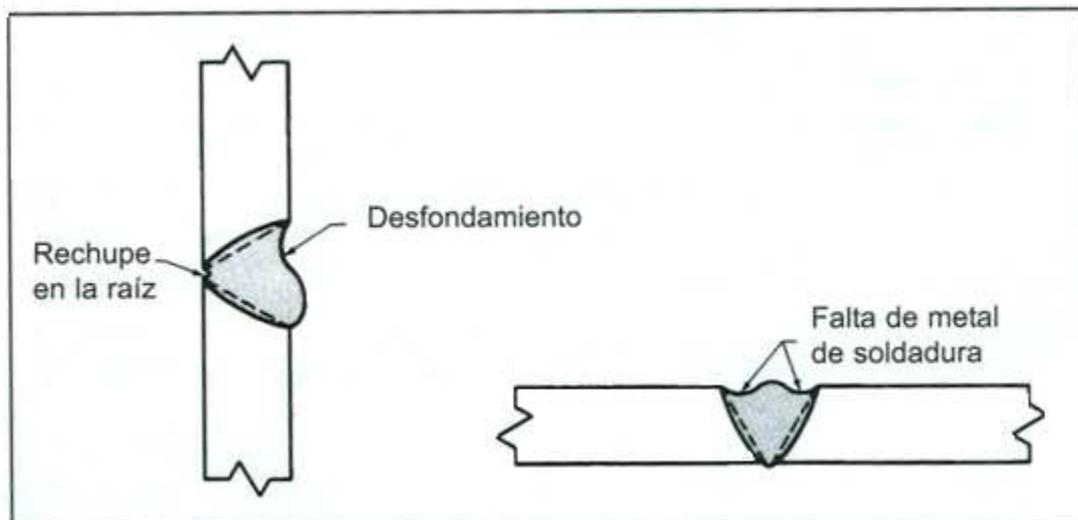


Figura 11: Falta de metal de soldadura.

### 3.5.8.- Perforación.

Hundimiento del baño de fusión que da lugar a un agujero en la soldadura o en un lateral de la misma. No se permiten.



### 3.5.9.- Rechupe.

Los rechupes son cavidades debidas a la contracción del metal durante su solidificación, pueden formarse, entre otros sitios, en el cráter de soldadura, denominándose rechupes de cráter.

Su origen se debe a:

- Soldar con intensidad excesiva.
- Interrumpir bruscamente el arco.

También se pueden formar en la raíz denominándose entonces rechupes de raíz (figuras 11 y 12).

El rechupe no debe ser mayor de 0,5 a 1mm aproximadamente.

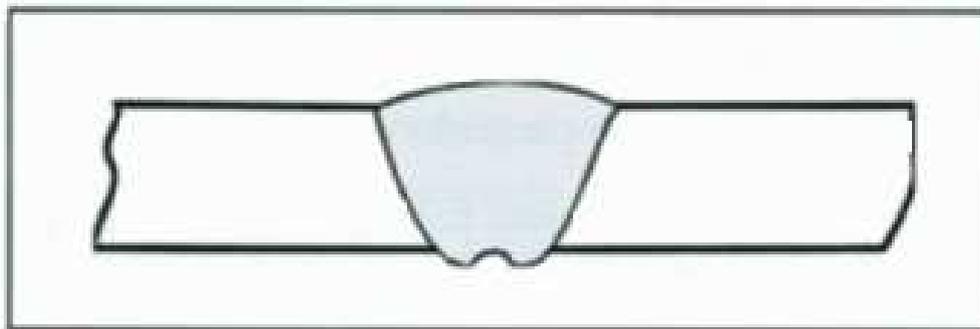


Figura 12: Rechupe de raíz



### 3.5.10.- Exceso de simetría en la soldadura en ángulo.

Se produce por realizar las soldaduras disponiendo el metal de aporte de forma asimétrica respecto a las piezas (ver figura 13).

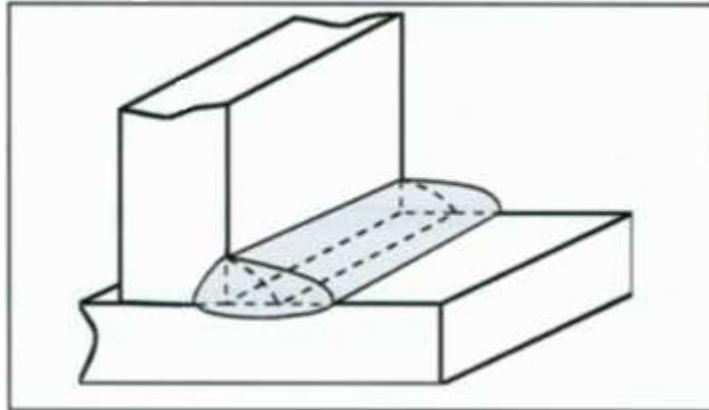


Figura 13: Exceso de asimetría

### 3.5.11.- Anchura irregular y superficie irregular.

Soldadura con anchura diferente en distintas partes de la soldadura o con excesiva rugosidad superficial.

### 3.5.12.- Empalme defectuoso.

Irregularidad local de la superficie de la soldadura en la zona de empalme de dos cordones.

No se permite más que en el nivel de calidad más bajo.



### **3.6-. OTRAS IMPERFECCIONES.**

#### **3.6.1.- Cebado de arco.**

Alteración local de la superficie del metal base a consecuencia del cebado del arco fuera de los bordes de la unión.

No se permite. Hay que cebar el arco en la preparación del cordón, en la zona que todavía no ha sido soldada. Un cebado de arco en el metal base puede constituir un conjunto de grietas de pequeño tamaño que crecerán durante el funcionamiento en servicio de la pieza.

#### **3.6.2.- Salpicaduras o proyecciones.**

Gotas de metal fundido proyectado durante el soldeo que se adhieren sobre el metal base, o sobre el metal de soldadura, ya solidificado.

La aceptación depende de las aplicaciones.

#### **3.6.3.- Desgarre local-**

Superficie deteriorada al eliminar los elementos auxiliares de montaje.

No se permiten.

#### **3.6.4.- Marca de amolado o de burilado.**

Deterioro local debido al amolado o burilado.

No se suele permitir si toca al cordón.

#### **3.6.5.- Amolado excesivo.**

Reducción del espesor debido a un amolado excesivo.

No se permite.



### 3.7-. CONSECUENCIAS DE LAS IMPERFECCIONES DE LAS SOLDADURAS.

- Mala calidad de la estructura soldada y por tanto posible rotura de la misma.
- Mayor tiempo invertido (al tener que reparar).
- Mayor coste (por la reparación o rechazo y demora en el plazo de entrega)

Cuando las imperfecciones sean superiores a las indicadas por la norma se rechazará la pieza. Si lo permite el código o norma de diseño aplicable se resanará el cordón y se volverá a soldar el cordón.

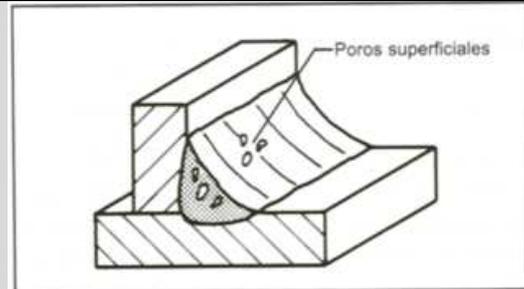
El soldador corregirá (y no tapaná) cualquier imperfección que detecte durante el soldeo empleando los útiles adecuados, o variando los parámetros de soldeo.



#### 4-. CAUSAS Y SOLUCIONES, PARA IMPERFECCIONES EN LOS PROCESOS DE SOLDEO MÁS UTILIXADOS.

##### 4.1 DEFECTOS TÍPICOS EN SOLDEO CON ELECTRODOS REVESTIDOS

<b>DEFECTO: MORDEDURAS</b>	
<p><b>CAUSA:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Intensidad de soldeo demasiado elevada</li> <li>2) Ángulo de desplazamiento excesivamente pequeño. (Electrodo perpendicular a la pieza)</li> <li>3) Arco largo.</li> </ol>	<p><b>REMEDIO:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Seleccionar la intensidad adecuada para el diámetro, posición y tipo de electrodo.</li> <li>2) Inclinar el electrodo hasta que el ángulo de desplazamiento sea de 5 – 10°</li> <li>3) Utilizar una longitud de arco igual al diámetro del electrodo, o a la mitad de éste si el electrodo es básico.</li> </ol>
<b>DEFECTO: INCLUSIONES DE ESCORIA</b>	
<p><b>CAUSA:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Intensidad muy baja.</li> <li>2) Velocidad de desplazamiento elevada, que provoca el enfriamiento rápido de la soldadura no permitiendo la salida de la escoria.</li> <li>3) Soldeo multipasadas sin retirar la escoria del cordón anterior.</li> </ol>	<p><b>REMEDIO:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Utilizar la intensidad suficiente que permita la salida de la escoria antes de que el metal aportado se solidifique.</li> <li>2) Reducir la velocidad de desplazamiento</li> <li>3) Extremar la limpieza; siempre retirar totalmente la escoria antes de realizar el siguiente cordón.</li> </ol>



**DEFECTO: POROSIDAD**

**CAUSA:**

- 1) Suciedad en el metal base (óxidos, grasa, recubrimientos).
- 2) Arco demasiado largo.
- 3) Electrodo húmedos

**REMEDIO:**

- 1) Eliminar cualquier resto de grasa o suciedad antes del soldeo, eliminar también los recubrimientos que puedan tener las piezas.
- 2) Utilizar una longitud de arco adecuada y mantenerla durante el soldeo.
- 3) Conservar adecuadamente los electrodos evitando su contacto con cualquier fuente de humedad, utilizar estufas de mantenimiento y secar en horno antes del soldeo los electrodos básicos

**DEFECTO: GRIETAS EN EL CRATER**

**CAUSA:**

- 1) Interrumpir el arco de forma brusca, especialmente cuando se suelda con altas intensidades.

**REMEDIO:**

- 1) Utilizar una técnica de interrupción del arco adecuada

**DEFECTO: INCLUSIONES DE ESCORIA EN LA RAÍZ**

**REMEDIO:**

- 1) Posicionar las piezas de forma que entre ellas siempre haya contacto.

**DEFECTO: GRIETAS QUE PARTEN DE LA INTERCARA (metal de soldadura-metal base) DE LA UNIÓN.**

**CAUSA:**

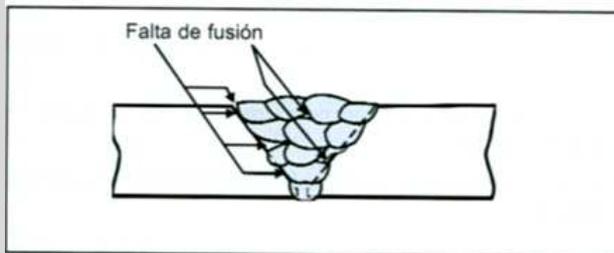
- 1) El material no es soldable.
- 2) Enfriamiento de la soldadura excesivamente rápido.

**REMEDIO:**

- 1) Utilizar las precauciones necesarias para el soldeo de ese material. No soldar
- 2) Evitar enfriamientos rápidos, naturales o provocados



**DEFECTO: FALTA DE FUSIÓN EN LOS BORDES**



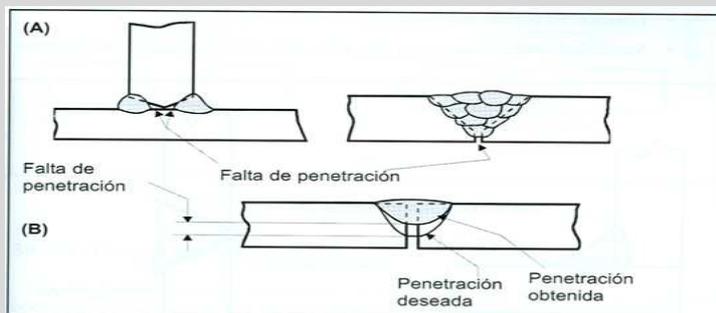
**CAUSA:**

- 1) Inadecuada limpieza, presencia de algún óxido o material extraño que impide la correcta fusión del material base.
- 2) Orientación inadecuada del electrodo.
- 3) Intensidad de soldeo insuficiente o velocidad excesiva.

**REMEDIO:**

- 1) Limpiar el material base, los chaflanes y por lo menos 25 mm a cada lado de la unión. Extremar la limpieza o decapado en el acero inoxidable y aleaciones de aluminio
- 2) Orientar el electrodo correctamente
- 3) Elegir los parámetros de soldeo de forma adecuada.

**DEFECTO: FALTA DE PENETRACIÓN**



**CAUSA:**

- 1) Talón de la raíz excesivo o separación en la raíz insuficiente. Desalineamiento entre las piezas excesiva.
- 2) Intensidad de soldeo insuficiente o velocidad excesiva.
- 3) Diámetro del electrodo demasiado grande que no permite el acercamiento del electrodo a la raíz de la unión.
- 4) Diámetro del electrodo demasiado fino que no tolera la intensidad necesaria para conseguir buena penetración.

**REMEDIO:**

- 1) Preparar y ensamblar las piezas de forma adecuada.
- 2) Elegir los parámetros de soldeo de forma adecuada.
- 3) Seleccionar el diámetro adecuado.
- 4) Seleccionar el diámetro adecuado.



#### **4.2 DEFECTOS TÍPICOS EN SOLDEO TIG**

##### **DEFECTO: FALTA DE FUSIÓN EN LOS BORDES**

Aspecto: Normalmente no visible, detectable por END o doblado lateral.

CAUSA:	REMEDIO:
1) Nivel de corriente demasiado bajo.	1) Incrementar la intensidad.
2) Velocidad de soldeo demasiado alta.	2) Disminuir la velocidad de soldeo.
3) Ángulo de portaelectrodo incorrecto.	3) Inclinar el electrodo hacia atrás y mantener el arco sobre el borde delantero de la gota de metal fundido.
4) Posición no centrada respecto a los bordes.	4) Situar el portaelectrodo centrado respecto a los bordes de la unión.
5) Incorrecta preparación de la unión.	5) Incrementar el ángulo de la unión.
6) Diámetro de la varilla excesivo para el espesor de chapa a soldar.	6) Reducir el diámetro de la varilla.
7) Limpieza insuficiente.	7) Limpiar la superficie de las chapas.

##### **DEFECTO: POROSIDAD**

Aspecto: Poros superficiales y más normalmente subsuperficiales detectables por radiografiado.

CAUSA:	REMEDIO:
1) Protección insuficiente.	1) Incrementar el caudal de gas de protección.
2) Turbulencias en el gas de protección.	2) Disminuir el caudal del gas. Utilizar un laminador de flujo o cambiar la boquilla si presenta algún defecto.
3) Defectuosa distribución de la protección de la unión.	3) Proteger todo el área de la unión.
4) Suciedad en la chapa (aceite, grasa, pintura, etc.)	4) Limpiar las superficies y desengrasarlas.
5) Suciedad en la varilla de aporte.	5) Limpiar y desengrasar la varilla.
6) Gas contaminado.	6) Cambiar las botellas de gas. Purgar las líneas de gas antes de soldar. Comprobar las conexiones. Emplear tubos de cobre o neopreno.



**PROYECTO FIN DE CARRERA:  
BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS  
EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION  
RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES  
METALICOS.**

Hoja 96 de 221

<p>7) Pistola demasiado separada de la pieza.</p> <p>8) Tobera demasiado estrecha.</p> <p>9) Soldeo en campo. Velocidad del viento elevada.</p> <p>10) Ángulo de inclinación de la pistola demasiado pequeño. (Ángulo de desplazamiento muy grande).</p> <p>11) Entrada del agua de refrigeración en el gas de protección por existir una fuga.</p>	<p>7) Acercar la pistola a la pieza.</p> <p>8) Seleccionar la tobera adecuada.</p> <p>9) Proteger la zona de soldeo del viento.</p> <p>10) Aumentar la inclinación respecto al material base.</p> <p>11) Inspeccionar periódicamente el equipo de soldeo.</p>
---	---

**DEFECTO: GRIETAS EN EL METAL DE SOLDADURA.**

Aspecto: Grieta a lo largo del centro de la soldadura.

CAUSA:	REMEDIO:
<p>1) Excesiva tensión transversal en soldaduras embridadas.</p> <p>2) Relación profundidad/ancho demasiado baja.</p> <p>3) Contaminación de las superficies.</p> <p>4) Mal ajuste entre las piezas en las soldaduras en ángulo de forma que quedan aberturas largas.</p>	<p>1) Modificar el proceso de soldeo para reducir las tensiones debidas al efecto térmico.</p> <p>2) Ajustar los parámetros para trabajar con una relación profundidad/ancho 1:1</p> <p>3) Limpiar las superficies, eliminando muy especialmente los lubricantes de corte.</p> <p>4) Mejorar el ajuste de las chapas en la unión.</p>



#### DEFECTO: INCLUSIONES DE VOLFRAMIO

Aspecto: Visible en radiografías. Las inclusiones de volframio tienen el mismo efecto que las entallas y son zonas de posible corrosión rápida.

CAUSA:	REMEDIO:
1) Contacto entre pieza y electrodo de volframio.	1) Separar el portaelectrodos de la pieza. Disminuir la longitud libre del electrodo de volframio.
2) Contacto entre varilla de aporte y electrodo de volframio.	2) Introducir la varilla en el baño de fusión sin tocar al electrodo.
3) Intensidad excesiva tanto en el soldeo c.a. como en c.c.	3) Utilizar la intensidad adecuada.

#### DEFECTO: INCLUSIONES DE ÓXIDOS

Aspecto: Inclusiones de forma irregular. Visibles mediante radiografía.

CAUSA:	REMEDIO:
1) Insuficiente limpieza de las superficies del metal base y de la varilla, especialmente en materiales con óxidos refractarios (aluminio y magnesio).	1) Realizar una limpieza mecánica y/o química adecuada. También se deberá cepillar entre pasadas.
2) Técnica de soldeo no adecuada. Sacar repetidamente la varilla fuera de la "cortina" de gas protector en el movimiento de vaivén de la varilla durante el soldeo.	2) Utilizar una técnica adecuada.
3) Preparación de la soldadura inadecuada. Excesivo talón.	3) Reducir el talón. Cuando se suelda el aluminio se achaflanará el borde inferior de las piezas.

#### DEFECTO: RAÍZ OXIDADA

Aspecto: Óxido en la raíz de la soldadura

CAUSA:	REMEDIO:
1) Falta de protección en la raíz. Oxidación de la raíz.	1) Utilizar gas de respaldo.



### **4.3 DEFECTOS TÍPICOS EN EL SOLDEO MIG/MAG**

<b>DEFECTO: POROSIDAD</b>	
<b>CAUSA:</b>	<b>REMEDIO:</b>
1) Caudal de gas bajo que produce una protección defectuosa o proyecciones en la tobera que reduce la sección de esta.	1) Aumentar el caudal de gas de protección y retirar las proyecciones de la tobera.  En el caso de CO <sub>2</sub> situar calentadores entre la válvula de la botella y el manorreductor. En el caso de haberse atascado el manorreductor por hielo utilizar calentadores.
2) Caudal de gas alto. La turbulencia generada por el excesivo caudal permite que el aire se introduzca en el baño de fusión.	2) Disminuir el caudal para eliminar la turbulencia.
3) Excesivas corrientes de viento	3) Proteger la zona de soldeo del viento.
4) Material base contaminado.	4) Extremar la limpieza del material base.
5) Electrodo contaminado o sucio.	5) Utilizar exclusivamente electrodos limpios y secos.
6) Tensión muy elevada.	6) Disminuir la tensión.
7) Longitud visible ("extensión") muy grande.	7) Acortar la extensión y determinar la tensión adecuada.
8) Insuficiente protección debida a una velocidad de soldeo elevada.	8) Reducir la velocidad.
9) Pistola demasiado separada de la pieza.	9) Acercar la pistola a la pieza. Mantener la pistola al final de la soldadura hasta que ésta se solidifique.
10) Ángulo de desplazamiento demasiado grande.	10) Disminuir el ángulo de desplazamiento (situar la pistola más vertical).
11) Contaminación del gas de protección.	11) Utilizar gases de protección de gran calidad. Purgar las botellas (excepto las de hidrógeno y mezclas con hidrógeno) antes de conectarlos a las mangueras para eliminar la acumulación de polvo que pudiera existir.



**DEFECTO: FALTA DE FUSIÓN O DE PENETRACIÓN.**

NOTA: El baño de fusión no aporta, por sí solo, la cantidad de calor suficiente para fundir el material base, solamente el calor aportado por el arco es capaz de hacerlo. Si el arco no llega a las caras o a la raíz de la unión se producirá la falta de fusión.

CAUSA:	REMEDIO:
1) Parámetros de soldeo no adecuados.	1) Aumentar la tensión y al velocidad de alimentación del alambre Reducir la velocidad de desplazamiento Disminuir la "extensión". Reducir la dimensión del alambre. Reducir el espesor de cada cordón de soldadura.
2) Manipulación de la pistola inadecuada. <ul style="list-style-type: none"> <li>o Situación de la pistola asimétrica respecto a los lados del bisel.</li> <li>o Pistola con inclinación excesiva hacia un lado.</li> <li>o Falta de accesibilidad.</li> </ul>	2) <ul style="list-style-type: none"> <li>o Distribuir el calor del arco en forma simétrica respecto a ambas piezas.</li> <li>o Mantener la inclinación correcta.</li> <li>o Cambiar el diseño de la unión o elegir una boquilla de menor tamaño.</li> </ul>
3) Diseño inapropiado de la unión.	3) Reducir el desalineamiento. Aumentar la separación en la raíz. Reducir el talón. Aumentar el ángulo del chaflán.
4) Realizar el soldeo sobre cordones con sobreespesor excesivo.	4) Eliminar el exceso de sobreespesor mediante amolado.
5) Empalme entre cordones defectuoso.	5) Amolar el final del cordón anterior y cebar el arco antes del final del cordón.
6) Superficies del chaflán sucias u oxidadas.	6) Limpiar y decapar si fuera necesario, las superficies del chaflán.
7) Técnica de soldeo no adecuada.	7) Cuando se realicen cordones con balanceo pararse momentáneamente en los extremos.
8) Cordones excesivamente anchos sin llegar a fundir el chaflán.	8) Limpiar la anchura del cordón, cuando el chaflán se ensanche se preferirá realizar 2 cordones estrechos a uno ancho.
9) El baño de fusión se adelanta al arco e impide la perfecta fusión de los bordes. Causas:	9)



<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Velocidad de desplazamiento baja o tasa de deposición (velocidad de alimentación del alambre) demasiado alta. Este defecto puede ocurrir más fácilmente en la posición PG (vertical descendente).</li> </ul> <p>10) Ángulo de desplazamiento demasiado grande.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Reducir el espesor de cada cordón individual. Disminuir la velocidad de alimentación del alambre en vertical descendente.</li> </ul> <p>10) Reducir el ángulo de desplazamiento.</p>
---	---

**DEFECTO: GRIETAS**

CAUSA:	REMEDIO:
1) Embridamiento excesivo.	1) Reducir el embridamiento. Precalentar. Utilizar un metal de aportación más dúctil. Realizar un martillado.
2) Electrodo inadecuado.	2) Revisar la composición del alambre.
3) Penetración excesiva respecto a la anchura del cordón.	3) Disminuir la velocidad de alimentación del alambre o aumentar la tensión.
4) Aportación de calor demasiado elevada que causa deformaciones grandes.	4) Reducir la tensión, la velocidad de alimentación del alambre o aumentar la velocidad de desplazamiento.
5) Tensiones residuales elevadas, enfriamiento rápido y grandes deformaciones.	5) Precalentar para reducir el nivel de las tensiones residuales, utilizar una secuencia de soldeo adecuada.



**DEFECTO: MORDEDURAS**

CAUSA:	REMEDIO:
1) Tensión excesiva.	1) Disminuir la tensión.
2) Intensidad excesiva.	2) Reducir la velocidad de alimentación del alambre.
3) Movimiento lateral muy rápido.	3) Dar un movimiento lateral más lento y retener un poco a los lados del cordón.
4) Velocidad de desplazamiento excesiva.	4) Disminuir la velocidad de desplazamiento.
5) Pistola con inclinación excesiva.	5) Mantener la inclinación adecuada de la pistola.

**DEFECTO: PROYECCIONES**

CAUSA:	REMEDIO:
1) Humedad en el gas.	1) Emplear gas de protección bien seco.
2) Arco demasiado largo.	2) El arco debe tener una longitud de unos 3 mm.
3) Intensidad demasiado elevada.	3) Disminuir la velocidad de alimentación del alambre.
4) Tensión muy elevada.	4) Disminuir la tensión, con tensión alta las proyecciones son muy grandes.
5) Pistola al polo negativo.	5) Conectar la pistola en el polo positivo.
6) Extremo libre del alambre excesivo.	6) Disminuyendo la longitud libre de varilla disminuyen las proyecciones.
7) Velocidad de soldadura alta.	7) Seleccionar la velocidad adecuada.
8) Inclinación excesiva de la pistola.	8) Llevar la inclinación correcta.



**DEFECTO: AGUJEROS**

CAUSA:	REMEDIO:
1) Intensidad muy elevada.	1) Disminuir la intensidad para evitar la perforación de la chapa.
2) Tensión de arco muy baja.	2) Aumentar la tensión y disminuirá la penetración.
3) Movimiento de desplazamiento muy lento.	3) Aumentar la velocidad de desplazamiento.
4) Bordos de las chapas muy separados.	4) Disminuir la separación entre los bordes.
5) Metal base muy caliente.	5) Dejar enfriar antes de depositar un nuevo cordón.

**DEFECTO: FALTA DE ESPESOR. FALTA DE MATERIAL O RELLENO INSUFICIENTE DEL CHAFLÁN.**

CAUSA:	REMEDIO:
1) Velocidad excesiva.	1) Disminuir la velocidad de desplazamiento.

**DEFECTO: EXCESO DE METAL APORTADO.**

CAUSA:	REMEDIO:
1) Diámetro de alambre demasiado grueso.	1) Utilizar alambre de menor diámetro.
2) Velocidad de desplazamiento muy lenta.	2) Aumentar la velocidad de desplazamiento.



**PROYECTO FIN DE CARRERA:  
BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS  
EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION  
RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES  
METALICOS.**

Hoja 103 de 221

**DEFECTO: CORDÓN IRREGULAR.**

CAUSA:	REMEDIOS:
1) Intensidad excesiva.	1) Disminuir la intensidad.
2) Tensión muy baja.	2) Aumentar la tensión.
3) Movimiento de avance irregular.	3) Dar a la pistola un movimiento de avance uniforme.
4) Avance irregular del alambre.	4) Dar mas presión a las ruletas de arrastre del alambre. Cambiar las guías si están desgastadas. Cambiar el tubo de contacto si está desgastado o si tiene irregularidades en su interior.
5) Arco muy largo.	5) Disminuir la longitud del arco.
6) Excesiva inclinación de la pistola.	6) Colocar la pistola con la inclinación debida.



#### **4.4 DEFECTOS TÍPICOS DEL SOLDEO POR ARCO SUMERGIDO**

<b>DEFECTO: POROSIDAD</b>	
<b>CAUSA:</b>	<b>REMEDIO:</b>
1) Material base contaminado.	1) Extremar la limpieza del material base.
2) Alambres contaminados o sucios.	2) Desengrasar. Evitar la suciedad en el taller.
3) Velocidad de soldeo elevada.	3) Ajustar la velocidad de desplazamiento.
4) Insuficiente cantidad de fundente.	4) Utilizar la cantidad de fundente adecuada.
5) Contaminantes en el fundente.	5) Recuperación del fundente controlada.
6) Fundente atrapado en la zona inferior de la unión tras la(s) primera(s) pasada(s)	6) Realizar una limpieza adecuada.
7) Residuos de escoria en las pasadas de raíz realizados con electrodo revestido.	7) Realizar una limpieza adecuada.

<b>DEFECTO: FALTA DE FUSIÓN O DE PENETRACIÓN</b>	
NOTA: El baño de fusión no aporta, por sí solo, la cantidad de calor suficiente para fundir el material base. Solamente el calor aportado por el arco es capaz de hacerlo. Si el arco no llega a las caras o a la raíz de la unión se producirá la falta de fusión.	
<b>CAUSA:</b>	<b>REMEDIO:</b>
1) Parámetros de soldeo no adecuados.	1) Aumentar la intensidad Reducir la velocidad de soldeo. Disminuir la extensión. Reducir el diámetro del alambre. Elegir polaridad directa.
2) Diseño inapropiado de la unión.	2) Aumentar la separación de la raíz. Reducir el talón.
3) Alambre no centrado con respecto a la unión.	3) Centrar el alambre.



**DEFECTO: MORDEDURAS**

CAUSA:	REMEDIO:
1) Intensidad excesiva.	1) Disminuir la intensidad para que el calentamiento de la pieza sea menor.
2) Velocidad de avance excesiva.	2) Disminuir la velocidad de avance.

**DEFECTO: GRIETAS SITUADAS NORMALMENTE EN EL CENTRO DEL CORDÓN.**

CAUSA:	REMEDIO:
1) Cordones excesivamente profundos o altos.	1) Mantener la anchura de cada cordón (a) mayor que su altura (p). Corregir la geometría de la unión o las variables de soldeo (reducir la intensidad y la velocidad)
2) Embridamiento excesivo.	2) Reducir el embridamiento. Precalentar. Utilizar un metal de aporte más dúctil. Realizar un martillado.
3) Inclusión de hidrógeno.	3) Secar el fundente siguiendo las recomendaciones del fabricante. Limpiar los restos de grasa o suciedad del alambre. Aumentar la temperatura de la pieza para permitir la salida del hidrógeno, postcalentamiento a baja temperatura.



**DEFECTO: INCLUSIONES DE ESCORIA.**

CAUSA:	REMEDIO:
1) Mala limpieza entre cordones.	1) Extremar las limpiezas de las soldaduras.
2) Intensidad de corriente muy baja.	2) Aumentar la intensidad para que la escoria se funda y flote en el baño.
3) Cordones mal distribuidos.	3) Distribuir los cordones de forma que no queden estrías muy profundas donde pueda quedarse atrapada la escoria.
4) Baja tensión de soldeo que produce cordones muy abultados donde puede quedar escoria atrapada en los bordes.	4) Soldar con la tensión adecuada.

**DEFECTO: PERFORACIONES.**

CAUSA:	REMEDIO:
1) Intensidad muy elevada.	1) Disminuir la intensidad para evitar la perforación de la chapa.
2) Movimiento de avance muy lento.	2) Aumentar la velocidad de avance.
3) Bordos de las chapas muy separados.	3) Disminuir la separación entre los bordes.
4) Metal base muy caliente.	4) Dejar enfriar antes de depositar un nuevo cordón.

**DEFECTO: FALTA DE MATERIAL O RELLENO INSUFICIENTE DEL CHAFLÁN**

CAUSA:	REMEDIO:
1) Disposición inadecuada del alambre en las soldaduras circunferenciales.	1) Escoger la posición adecuada del alambre.
2) Velocidad excesiva.	2) Disminuir la velocidad de avance.



**PROYECTO FIN DE CARRERA:  
BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS  
EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION  
RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES  
METALICOS.**

Hoja 107 de 221

**DEFECTO: EXCESO DE METAL APORTADO.**

CAUSA:	REMEDIO:
1) Diámetro del alambre demasiado grueso.	1) Utilizar alambre de menor diámetro.
2) Velocidad de avance muy lenta.	2) Aumentar la velocidad de avance.

**DEFECTO: CORDÓN IRREGULAR**

CAUSA:	REMEDIO:
1) Intensidad excesiva.	1) Disminuir la intensidad.
2) Tensión muy baja.	2) Aumentar la tensión.
3) Avance irregular del alambre.	3) Dar más presión a las ruletas de arrastre del alambre. Cambiar las guías si están desgastadas. Cambiar el tubo de contacto si está desgastado, o si tiene irregularidades en su interior.



## 5-. APLICACIÓN, INTERPRETACIÓN Y EVALUACIÓN.

Una vez expuestos los diferentes defectos que podemos encontrar en una unión soldada, así como sus causas y la forma en que podrían evitarse, pasamos a continuación a la interpretación y evaluación de la placa radiográfica.

Las indicaciones, que son los resultados que se obtienen en cualquier método de ensayo no destructivo, y que podemos calificar como discontinuidad de la homogeneidad de la unión soldada, en nuestro caso aparecerá como un cambio de densidad en la placa, reflejado con un contraste de grises. Estas indicaciones hay que interpretarlas.

Interpretar una indicación consiste en decidir cuál es la causa que la originó (por ejemplo, puede ser un poro, una mordedura, una grieta, una falta de fusión, un exceso de penetración, una cavidad, inclusión de tungsteno, etc...).

La evaluación, que se hace después de interpretar cuando ya se conocen las discontinuidades que existen, es decidir sobre su efecto por lo que respecta a la utilidad de la soldadura, es decir, si la soldadura puede ser aceptada, debe ser reparada o rechazada, para lo que normalmente se dispone de criterios de aceptación y rechazo de acuerdo a normas, códigos o especificaciones de cliente, aplicables al ensayo no destructivo de la soldadura.

Para facilitar la labor interpretación y evaluación, se usan **colecciones de radiografías patrón**, en las cuales los defectos están claramente identificados para unas condiciones dadas de tipo de material y tipo de soldadura, que es de lo que trata este proyecto.

En las página siguiente podemos observar ejemplos tipo de radiografía patrón, en la que marcaremos con un color (negro, azul, verde, marrón o rojo ) según el grado de importancia del defecto que aparece, el cual esta especificado en la norma **UNE 14011**.



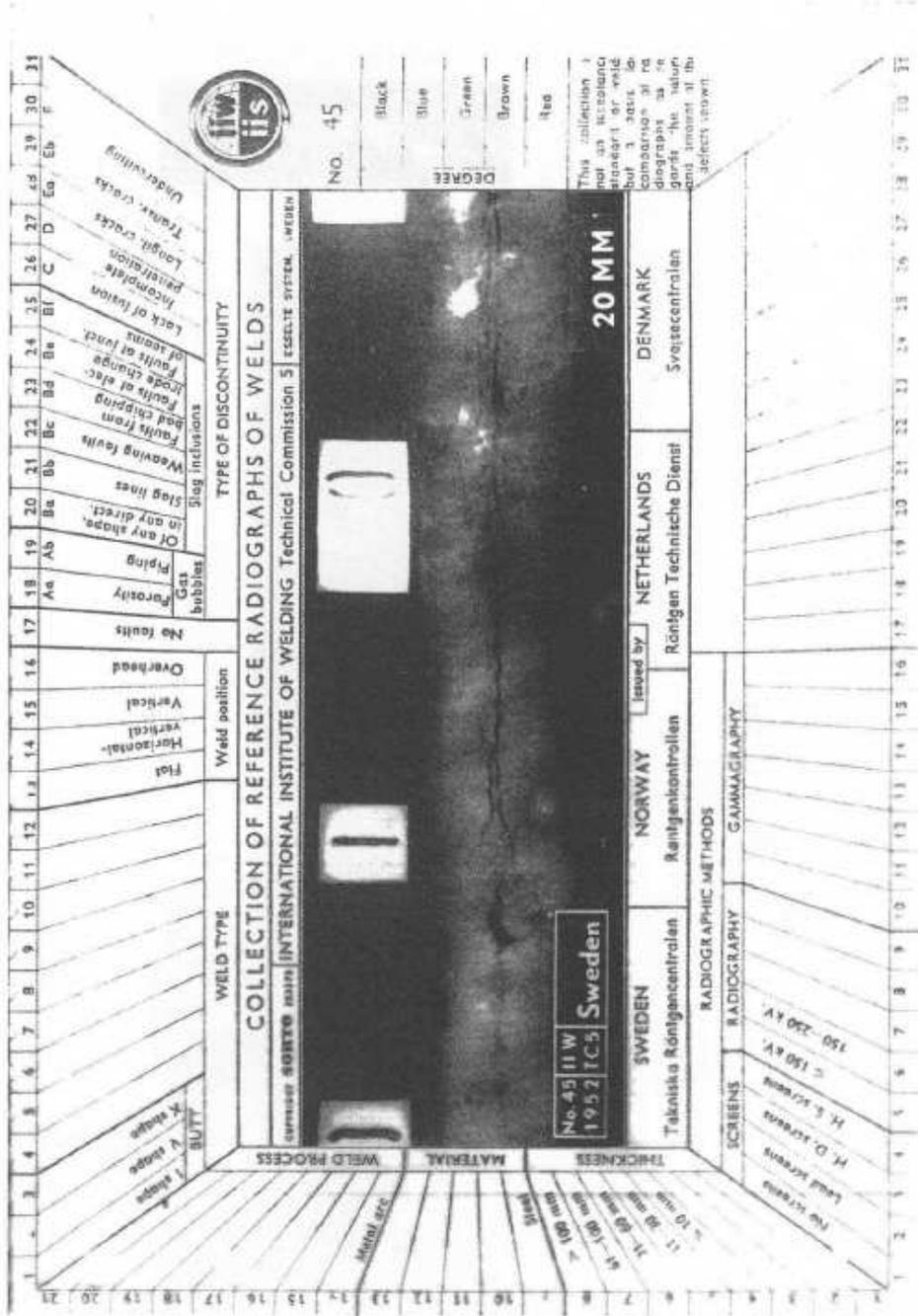
En el marco que rodea la placa tipo marcaremos :

- 1- **Proceso utilizado en la soldadura** : TIG, MIG, MAG, Arco Sumergido, Soldadura por arco.
- 2- **Preparación del proceso de soldadura**: Chaflán o bordes en “J”, “U”, “X” o en “V”.
- 3- **Posición del soldador** : Horizontal (cordón plano), Horizontal/Vertical (cordón en ángulo), Vertical, Techo (cordón de techo).
- 4- **Material soldado** : Acero o Acero Austenítico.
- 5- **Espesor material base**: 2-5, 6-10, 11-20, 21-50, 51-100 (mm.).
- 6- **Método Radiográfico**
- 7- **Grupo de calificación de la soldadura**: Negro (perfecta), Azul (buena), Verde (regular), Marrón (mala), Rojo (muy mala).
- 8- **Grupos de defecto de soldadura con sus diversas modalidades**: Fracturas, Porosidades y Cavitaciones, Inclusión de Sólidos, Fusión Incompleta y Falta de Penetración, Defectos de Contorno y Defectos Diversos o Misceláneos.



PROYECTO FIN DE CARRERA:  
 BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS  
 EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION  
 RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES  
 METALICOS.

EJEMPLO DE RADIOGRAFÍA PATRÓN





**PROYECTO FIN DE CARRERA:  
BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS  
EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION  
RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES  
METALICOS.**

Hoja 111 de 221

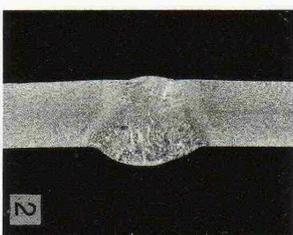
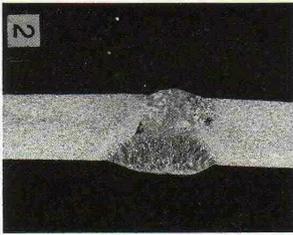
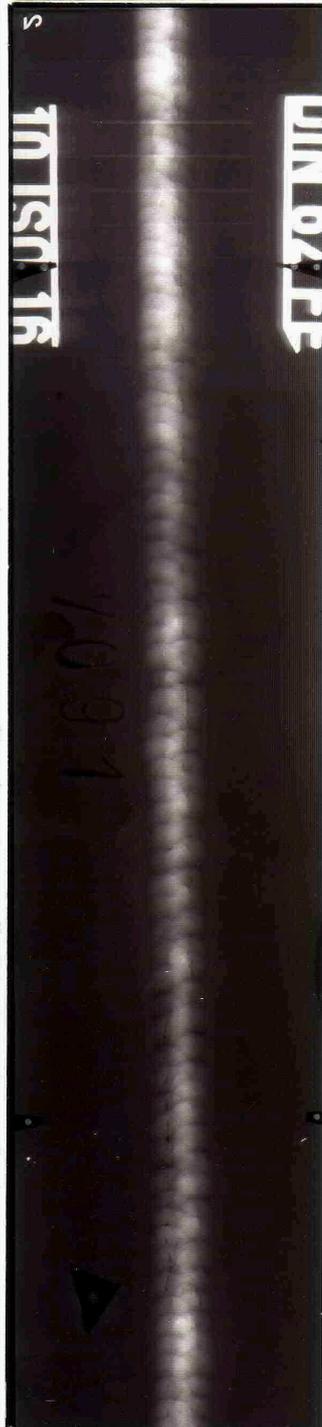


**ISO 5817**

Reference card  
Carte de référence  
Referenzkarte  
Page/Page/Blatt  
No./Nº/Nr.

Cracks Fissures Risse	1	
Crater crack Fissures de cratère Endkraterriß	2	
Porosity, Gas pores Soufflures, Soufflures sphéroïdales Porosität, Poren	3	
Localized (clustered) porosity Nid de soufflures Porennest	4	
Elongated cavities, Wormholes Soufflures allongées, Soufflures vermiculaires Gaskanal, Schlauchporen	5	
Solid inclusions (other than copper) Inclusions solides (autres que cuivre) Feste Einschlüsse (außer Kupfer)	6	D
Copper inclusions Inclusions de cuivre Kupfereinschlüsse	7	
Lack of fusion (incomplete fusion) Manque de fusion (collage) Bindefehler	8	D
Lack of penetration (incomplete penetration) Manque de pénétration Ungenügende Durchschweißung	9	
Undercut Caniveau ou morsure Einbrandkerbe	11	B
Excess weld metal Surépaisseur excessive Zu große Nahtüberhöhung	12	B
Excessive penetration Excès de pénétration Zu große Wurzelüberhöhung	16	B
Local protrusion Surépaisseur locale Örtlicher Vorsprung	17	
Linear misalignment Défaut d'alignement Kantenversatz	18	
Incompletely filled groove, Sagging Manque d'épaisseur, Effondrement Decklagenunterwölbung, Verlaufenes Schweißgut	19	
Root concavity, Shrinkage groove Retassure à la racine, Retassure Wurzelrückfall, Wurzelkerbe	21	
Overlap Débordement Schweißgutüberlauf	22	
Poor restart Mauvaise reprise Ansatzfehler	23	
Stray flash or arc strike Coup d'arc Zündstelle	24	
Spatter Projections (perles) Schweißspritzer	25	

2



2:1

2:1

Welding process	Procédé de soudage	Schweißprozeß	ISO 4063
Parent metal, type	Métal de base, type	Grundwerkstoff, Typ	C, C/Mn-
Plate thickness	Épaisseur de tôle	Blechdicke	5 mm
Consumables, type	Métal d'apport, type	Schweißzusatz, Typ	~0,1 C; ~1,0 Si; ~1,8 Mn [%]
Shielding gas	Gaz de protection	Schutzgas	100 CO <sub>2</sub> [%]
Welding flux	Flux de soudage	Schweißpulver	-
Backing strip	Support à l'envers	Schweißbadstärkung	-
Joint preparation	Préparation des joints	Schweißnahtvorbereitung	V <sub>3</sub>
Welding position	Position de soudage	Schweißposition	PF
			ISO 6947
			ISO 2553



## **5.1 CALIFICACIÓN DE LAS UNIONES SOLDADAS MEDIANTE EL MÉTODO DE INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA (ENSAYO NO DESTRUCTIVO)**

Son muchas las causas que afectan a la calidad de una unión soldada y no solamente la presencia de unos defectos, pues un defecto de tamaño y naturaleza determinados puede ser admitido en una zona de una pieza poco sometida a tensiones y no ser admisible en otra zona más crítica de la misma pieza.

La Inspección Radiográfica se basa en la propiedad que tienen las partículas radiantes y específicamente los Rx y Rgamma de atravesar los metales y de impresionar una película fotográfica (placa) con diferentes tonos cuando existe una discontinuidad o una diferencia de densidad en el metal atravesado.

La interpretación de las placas de radiografía permite detectar los defectos de las uniones soldadas, deducir de qué tipo son, porqué se han producido y el modo de corregirlos.

Los Rx y Rgamma son en la actualidad la técnica de inspección que ofrece mayor seguridad en la localización de los defectos de soldadura, ya que regulando la intensidad de la radiación y con la película de sensibilidad adecuada se consiguen placas en las que se pueden apreciar poros muy pequeños y fisuras de muy poco espesor, y tiene la ventaja de dejar un documento gráfico del defecto y su localización.

Una de las limitaciones de esta técnica es el peligro de radiación a personas (son capaces de destruir células vivas), y la de su aplicación, que debe ser realizada y controlada por personal autorizado por la junta de Energía Nuclear.

La radiografía de las uniones soldadas cualesquiera que sea, se obtendrá por el método de la transparencia situando la unión a radiografiar entre la película y la fuente de radiación.

Para su interpretación, las placas radiográficas se observan con un Negatoscopio que emite una luz uniforme de gran intensidad a través de un cristal opal que permite que se distingan en la placa los poros, fisuras, etc. Por su diferencia de tonalidad respecto al cordón de soldadura y al metal base.

La inspección Radiográfica debe ser considerada como una técnica para la detección de defectos y no como un completo ensayo de aceptación de las uniones soldadas, pues estudios sobre uniones a tope en tubos con soldaduras defectuosas han demostrado que muchos de estos defectos internos, tales como fina porosidad dispersa y discretas inclusiones de escoria, ejercen poca o ninguna influencia sobre la resistencia a la fatiga de la unión, y que frecuentemente la eventual causa de la rotura era una entalla en la raíz de la unión soldada, la cual no tenía radiográficamente tanta importancia como las inclusiones de escoria o la porosidad.



La inspección radiográfica se emplea para mantener un nivel de ausencia de defectos que es posible alcanzar con una buena técnica de soldadura y que una experiencia previa ha demostrado que no pueden dar lugar a ningún fallo de la unión soldada en las condiciones de servicio a que se ha de encontrar sometida.

Es difícil tratar de establecer un nivel de aceptación o admisión de defectos. Aunque estos códigos existen, éstos son completamente arbitrarios y dependen de trabajos de tanteo más que de un fondo científico o de criterios de ingeniería cuantitativos.

Según su forma y dimensiones, los defectos mas frecuentes en las uniones soldadas pueden ser agrupados en tres clases:

- clase 1**: De forma regular, esférica o redonda sobre tres dimensiones; tales como las inclusiones gaseosas y la porosidad.
- clase 2**: De forma irregular sobre tres dimensiones, como las inclusiones de escoria y defectos análogos.
- clase 3**: De forma irregular, fundamentalmente sobre dos dimensiones, como las grietas, la falta de fusión y la falta de penetración.

En la práctica, las grietas, la falta de penetración y la falta de fusión no son admitidas en una soldadura de alta calidad por ninguno de los códigos en vigor, aunque las opiniones sobre el grado de aceptación de la porosidad y de las inclusiones de escoria, sobre todo en cuanto a su tamaño y frecuencia en los límites de aceptabilidad se refiere, son de lo más variadas.

En el año 1952, la Comisión V de Ensayos, medidas y comprobación de las soldaduras, del Instituto Internacional de la soldadura (INTERNACIONAL INSTITUTE OF WELDING) inició la publicación de una colección de radiografías que muestran los defectos tipo de las soldaduras correspondientes a distintos grados de severidad. Esta colección esta destinada a servir de guía para la interpretación de las radiografías, para la unificación de criterios en los distintos países, así como para fines educativos tales como la formación de soldadores y la instrucción de radiólogos e inspectores. En su forma actual esta colección de radiografías no constituye un código de aceptación de soldaduras y solamente debe ser considerado como una base de comparación en cuanto concierne a la naturaleza e importancia de los defectos que pueden presentarse en las soldaduras y que son puestos en evidencia por la radiografía.

Las radiografías que forman esta colección, según la importancia relativa de los defectos en ellas presentes, se han dividido en cinco grupos. Los cinco grupos, que vienen señalados en colores distintos, son los siguientes:



**GRUPO 1 (negro):** soldadura sana y que solamente contiene algunas pequeñas inclusiones dispersas. Según la norma UNE 1411 se califica como **perfecta**.

**GRUPO 2 (azul):** defectos muy pequeños en forma de una o de varias de las siguientes imperfecciones: inclusiones gaseosas, inclusiones de escoria, mordeduras... Según la norma UNE 1411 se califica como **buena**.

**GRUPO 3 (verde):** pequeños defectos de compacidad en forma de uno o varios de los defectos siguientes: inclusiones gaseosas, inclusiones de escoria, mordeduras, falta de penetración... Según la norma UNE 1411 se clasifica como soldadura **regular**.

**GRUPO 4 (marrón):** defectos notables de compacidad en forma de uno o varios de los defectos siguientes: inclusiones gaseosas, inclusiones de escoria, mordeduras, falta de penetración, falta de fusión... Según la norma UNE 1411 se clasifica como soldadura **mala**.

**GRUPO 5 (rojo):** grandes defectos en forma de uno o varios de los siguientes: inclusiones de escoria, inclusiones gaseosas, mordeduras, falta de penetración, falta de fusión, grietas... Según la norma UNE 1411 se clasifica como soldadura **muy mala**.

Para uniformar los términos, se ha especificado que los defectos de soldadura queden comprendidos dentro de varios grupos, que han sido numerados de esta manera:

- **100: fracturas**
- **200: porosidades y cavidades**
- **300: inclusión de sólidos**
- **400: fusión incompleta y falta de penetración**
- **500: defectos de contorno, rechupes, socavados, traslape, concavidades y cordones irregulares**
- **600: defectos diversos o misceláneos**

Así existirán defectos que por su misma naturaleza quedan dentro de los límites de tolerancia que especifican los códigos de soldadura, y que se aceptan como defectos mínimos tolerables; y otros que por el tamaño o importancia del defecto sobrepasan los límites de tolerancia y que por tanto, son rechazados y calificados como soldadura defectuosa.



**PROYECTO FIN DE CARRERA:  
BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS  
EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION  
RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES  
METALICOS.**

Hoja 115 de 221

La evaluación se hace en base a la probabilidad de que los defectos encontrados provoquen fallas de soldadura durante el trabajo de la parte o pieza mecánica soldada.

En el caso de soldaduras con defectos mínimos tolerables debe considerarse la posibilidad de que puedan ser reparados, o bien aceptar que trabajen en ese estado, no sin antes verificar que cumplen con los mínimos de tolerancia de las normas internacionales y que el inspector juzgue que no existirán riesgos.

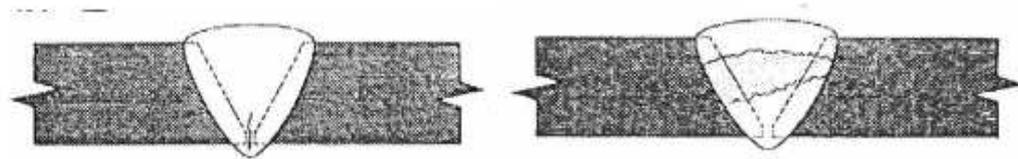
Cada tipo de defecto no es exclusivo o concerniente a un proceso determinado o método de soldadura, sino que la mayor parte de los defectos son comunes a los diversos procesos que existen, no obstante, nos encontramos excepciones, por ejemplo, el defecto de inclusión de tungsteno en soldadura, que únicamente se da en el proceso de soldadura GTAW (TIG), pues en él se genera el arco eléctrico entre un electrodo de tungsteno y la pieza a soldar, si éste toca el cordón de soldadura o el metal base, deja inclusiones de tungsteno.



## **SERIE 100: FRACTURAS**

Esta serie incluye fracturas ( grietas ) de todo tipo, ya sean longitudinales, transversales, radiales, de cráter, ramificadas y grupo de grietas discontinuas.

La fractura es una separación de un tamaño indeterminado o una discontinuidad en la estructura homogénea del metal de soldadura o del metal base soldado, producida por rotura como resultado de tensiones producidas en el mismo durante la soldadura, y se considera como el más importante de los defectos de la soldadura.

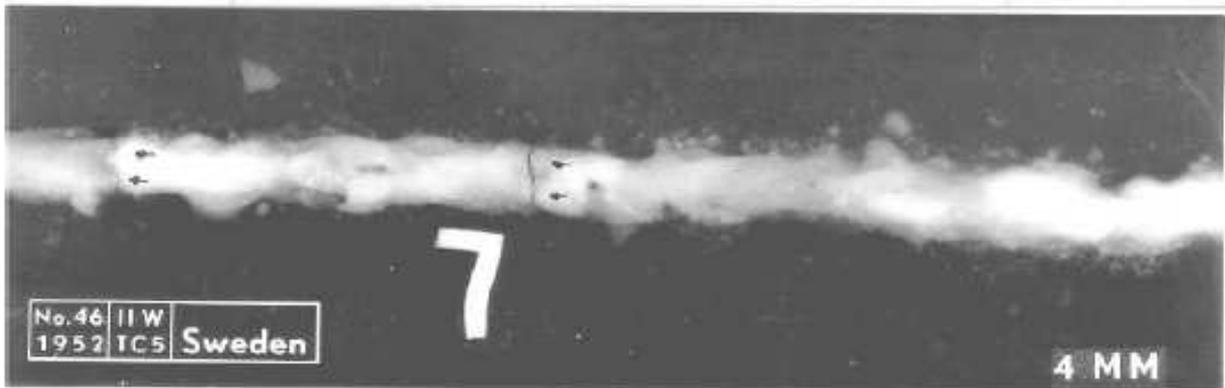


Son varias las causas que originan una fractura, y puede ser por una técnica deficiente de soldadura, exceso de temperatura, enfriamiento brusco, fricción, exceso de tensión, fatiga del metal, etc.

Siempre que se detecte una fractura es necesario tomar una acción correctiva, ya que cualquier tipo de fractura es considerado peligroso dado que da lugar a accidentes y a la destrucción de la pieza en la parte fracturada.

Las fracturas pueden presentarse durante el proceso de soldadura al terminar éste, también durante el periodo de enfriamiento y algún tiempo después de haber terminado la pieza y de que se haya enfriado. Esto se debe a esfuerzos de tensión interna, por tanto, para eliminar éstos se aplica un tratamiento que da por resultado la homogenización de la estructura cristalina, acomodando los elementos que la componen y evitando que la soldadura se fracture cuando se someta a los esfuerzos que requiera el trabajo mecánico.

**Registro radiográfico:** Líneas finas oscuras con orillas ásperas; se presentan generalmente en el primer cordón de soldadura aunque también aparecen en los otros cordones y aun en las paredes soldadas. Se pueden diferenciar de la falta de fusión o penetración porque las grietas dan lugar, generalmente a una línea ondulada.



**Tipos de roturas o fracturas:**

1. Grietas longitudinales.
2. Grietas transversales.
3. Grietas radiales.
4. Grietas de cráter.
5. Grupo de grietas discontinuas.
6. Grietas ramificadas.

**Códigos:** Ningún código admite ninguna rotura o fractura, excepto fracturas de cráter poco profundo o grietas de forma de estrella, localizadas en el punto de terminación de los cordones de soldadura y que son el resultado de la contracción, que no considerarán defectos perjudiciales a menos que su longitud se exceda de  $5/32''$  ( 3.96 mm ). Así ninguna soldadura que contenga roturas, sin importar su tamaño o localización, debe ser aceptada.



## 101: FRACTURAS LONGITUDINALES

### 1011: Fractura longitudinal en el metal de soldadura.

58 (ROJO): Se observa una fractura a lo largo del eje de soldadura. Aunque aparenta no tener gran importancia debido a que es muy estrecha, este aspecto es muy engañoso, pues recordemos que ningún código tiene aceptabilidad en roturas o fracturas, por tanto se trata de una soldadura que tiene un defecto con alto grado de severidad, clasificándola por tanto como una soldadura MALA y que ha de ser rechazada, sin posible utilización.



Imagen 58 (ROJO).



59 (ROJO): Podemos ver una grieta longitudinal de gran longitud y profundidad. Esta soldadura se rechazará por su alto grado de severidad en el defecto que presenta ya que se trata de un defecto grave por ser una fractura. Así, este es otro caso de soldadura desechable, sin posible uso posterior y calificada como MALA.

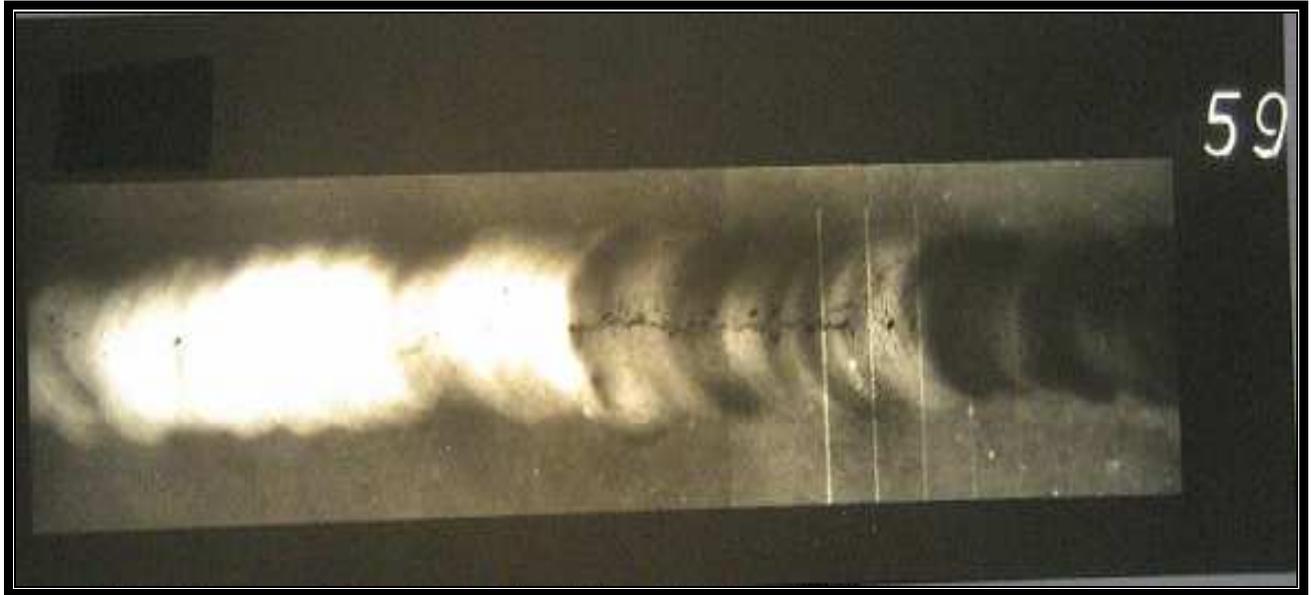


Imagen 59 (ROJO).

52 (ROJO): En este caso tenemos una grieta que mide aproximadamente unos 30 mm de longitud y que como en los casos anteriores se trata como ya sabemos de un defecto grave que no tiene admisión por ningún código y que hará que se deseché, por tanto, la soldadura y que se la califique como MALA.

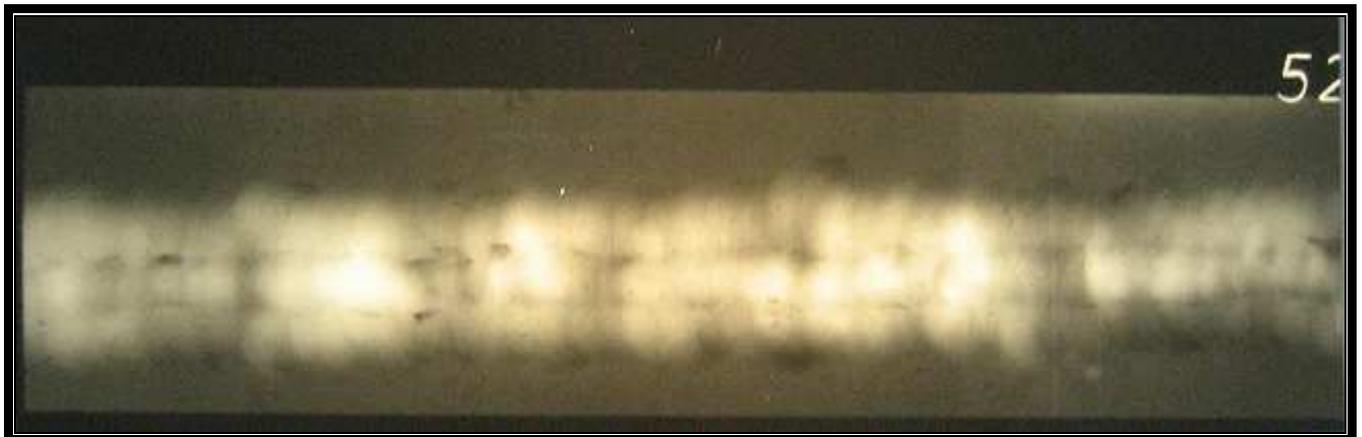


Imagen 52 (ROJO).



64 (**ROJO**): Fractura Longitudinal de gran longitud en el metal de soldadura. Ningún código admite este defecto y al encontrarnos con una soldadura que presente un defecto de tales características se desechará inmediatamente, sea cual sea el uso posterior, aún formando parte de un elemento que vaya a estar sometido a fuertes tensiones, pues se trata de un defecto grave que hace que se trate de una soldadura MALA.

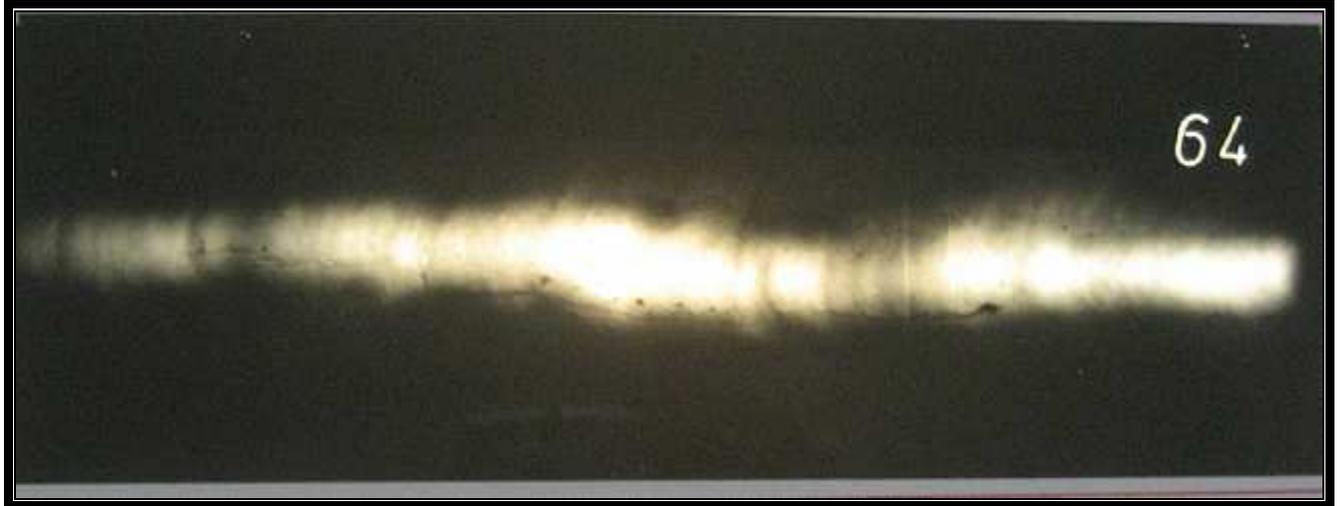


Imagen 64 (**ROJO**).

104 (**NEGRO**): Fractura longitudinal en el metal de soldadura de 45mm de largo. Aparece también porosidad distribuida a lo largo de la soldadura y algunas inclusiones de tungsteno. Esta soldadura se desechará, en principio, con sólo ver la grieta. En segundo lugar, además de por la grieta, también se desecharía porque aparece una zona de porosidades demasiado juntas y en línea, lo cual puede provocar una fractura.



Imagen 104 (**NEGRO**).



105 (**NEGRO**): Se puede observar una grieta a la izquierda de la radiografía y otra un poco más a la derecha, con lo cuál ya desecharíamos esta soldadura. Además de esto también aparecen una serie de porosidades que por su colocación pueden ocasionar una fractura, pues están demasiado juntas y alineadas. Esto también sería un motivo para desechar esta soldadura. (Como en el caso anterior también aparecen algunas inclusiones de tungsteno que no revisten importancia).



Imagen 105 (**NEGRO**).

106 (**NEGRO**): Caso similar a los dos anteriores, presenta los mismos defectos y es desechable por los mismos motivos.



Imagen 106 (**NEGRO**).



107 (**NEGRA**): Aunque es un caso similar a los presentados en 104, 105 y 106, aquí el problema es mucho más grave, pues es mayor la cantidad de grietas y de porosidades, que están muy juntas y en línea, pudiendo provocar la formación de grietas.

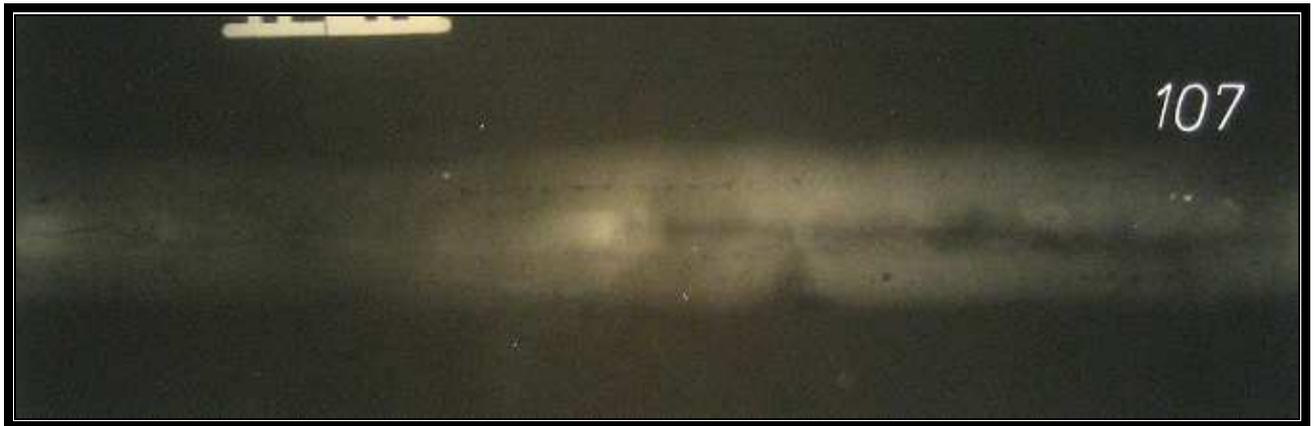


Imagen 107 (**NEGRA**).

108 (**NEGRA**): Se puede observar muy claramente una fractura longitudinal de gran tamaño (aprox. 70 mm de longitud). Por el hecho de tratarse de una fractura, como hemos dicho antes, se desechará la soldadura, pero este caso además, se ve claramente la gravedad del defecto ya que la grieta tiene una gran longitud y un gran espesor.

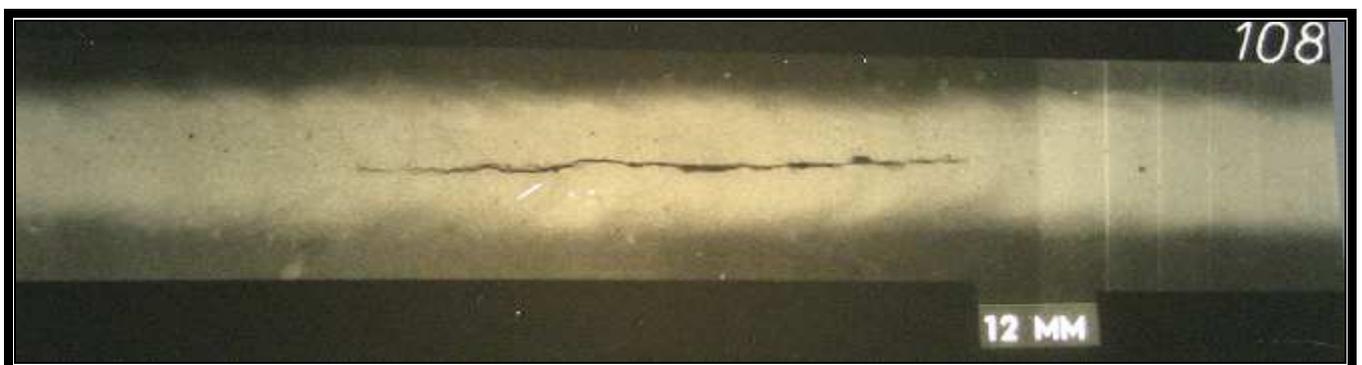


Imagen 108 (**NEGRA**).



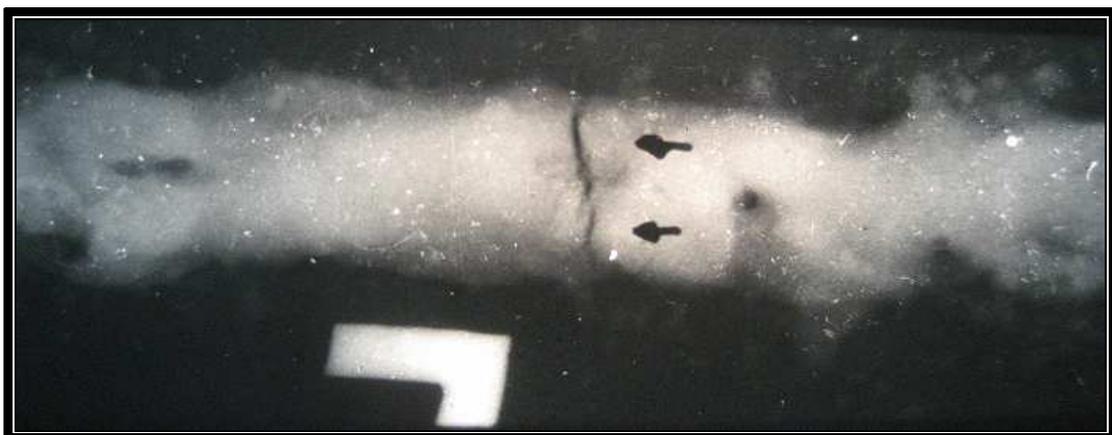
## 102: GRIETAS TRANSVERSALES

### 1021: En el metal de soldadura.

60 (ROJO): Se observan claramente dos grietas transversales al eje en el metal de soldadura, que lo atraviesan. La severidad de este defecto es grave por tratarse de una fractura, y además importante. Desecharemos una fractura de características como estas, que pueden dar lugar a resultados desastrosos de no procederse de esta manera. (Soldadura MUY MALA).



Imagen 60 (ROJO).



Detalle Imagen 60 (ROJO).



PROYECTO FIN DE CARRERA:  
BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS  
EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION  
RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES  
METALICOS.

Hoja 124 de 221



Detalle Imagen 60 (ROJO).

65 (ROJO): Es otro caso de grieta transversal al eje de soldadura, situada en el metal de soldadura. Este defecto es grave y no lo acepta ningún código, desechándose la soldadura, pues se trata de una soldadura MUY MALA.

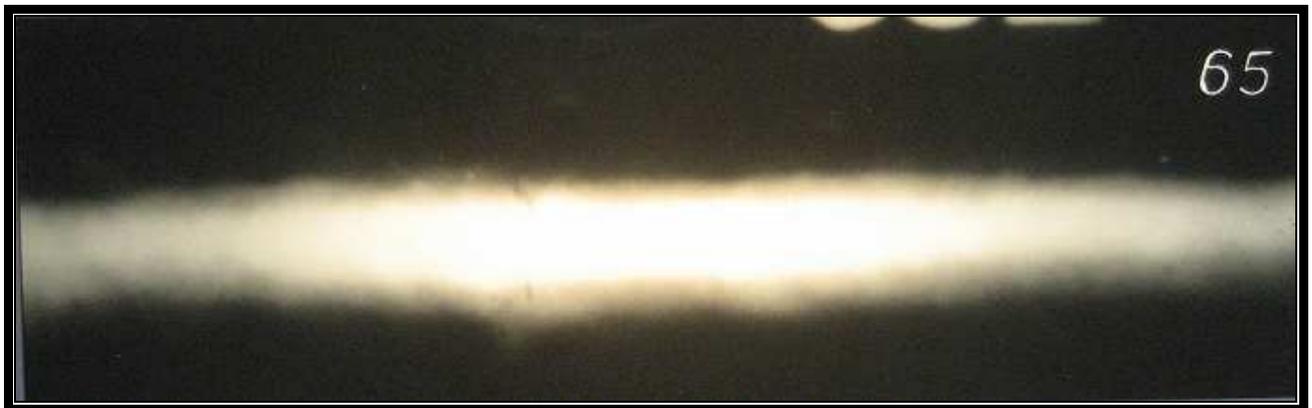


Imagen 65 (ROJO).



## 105: GRUPO DE GRIETAS TRANSVERSALES

### 1051: En el metal de soldadura.

61 (ROJO): Aparecen gran cantidad de grietas discontinuas que se distribuyen por el metal de soldadura. Se trata de un defecto grave y no aceptable, pues ya sabemos que ningún código acepta este defecto.



Imagen 61 (ROJO).



## 104: GRIETAS DE CRATER

### 1041: Grietas de cráter transversales.

63 (MARRÓN): Se observa una grieta de cráter, transversal, aproximadamente por el centro de la radiografía. Se trata de un defecto notable y desechará la soldadura.

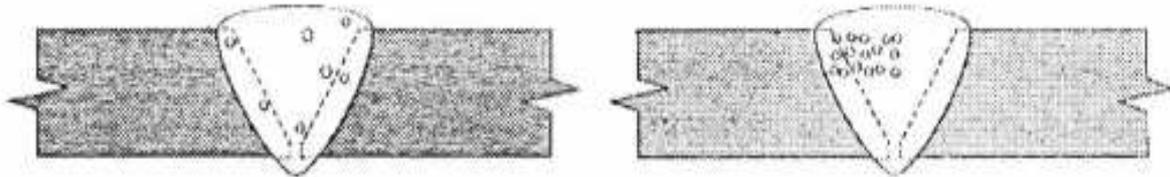


Imagen 63 (MARRÓN).



## **SERIE 200: POROSIDADES Y CAVITACIONES.**

La porosidad es un defecto que se origina por el gas atrapado en la masa metálica de la soldadura, cuando se encuentra en estado de fusión o semifusión y puede localizarse en las fundiciones de metales ferrosos y no ferrosos. La porosidad se presenta como pequeñas cavidades o huecos esféricos en la masa metálica, y cuando su tamaño es muy grande se le conoce como sopladura en la fundición.

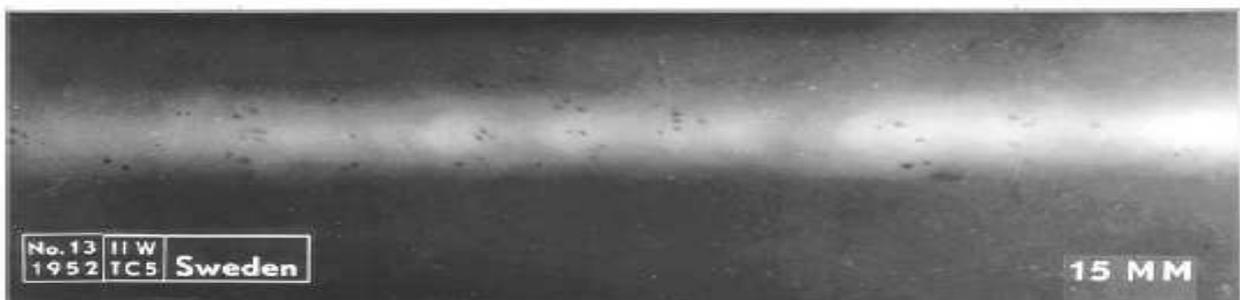


Las porosidades no son tan críticas como las fracturas debido a que por sus formas esféricas, no tienden a prolongarse como ellas. Podemos encontrar tanto porosidades superficiales, como internas.

Los poros pueden ser esféricos, semiesféricos o tubulares ( los poros tubulares también se conocen como poros túnel o de aguja y se localizan en el centro del cordón de soldadura). Son de tamaños variados que van desde grandes dimensiones a tamaños mínimos.

Las cavidades son otro tipo de porosidades formadas por la contracción de los metales al momento del enfriamiento y proceso de solidificación.

Los huecos, cavidades y porosidades que comúnmente se encuentran en el proceso de soldadura son causados en gran parte por los gases producidos en el arco eléctrico de la soldadura, y también por la combustión de materias orgánicas (como son suciedad, grasas, restos de pintura, óxidos, etc). También el alto contenido de azufre en el metal base, la humedad en el ambiente provocando vapor de agua en el arco eléctrico, electrodos con el fundente sucio ocasionando que los gases no sean efectivos en su actividad de proteger el metal de aporte entremezclándose, quedando atrapados en el cordón de soldadura.





## 201: CAVIDADES DE GAS

### 2011: Cavity esférica.

4 (**NEGRO**): Se ven pequeñas cavidades esféricas aisladas y sin importancia. Es una soldadura aceptable y considerada perfecta según la norma **UNE 14011**.

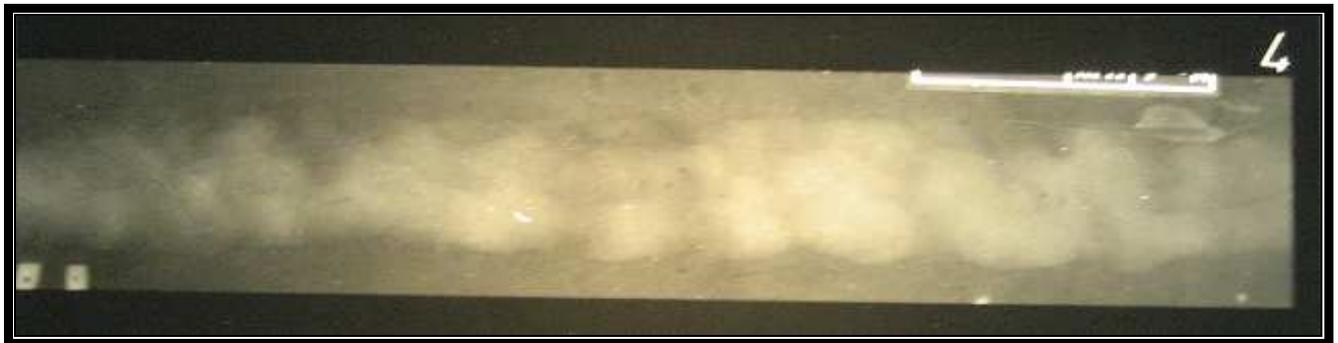


Imagen 4 (**NEGRO**).

### 2012: Porosidad uniformemente distribuida

5 (**AZUL**): Se observa una serie de poros distribuidos de manera uniforme a través del metal de soldadura. Los poros son de tamaños variados y según las normas de aceptabilidad, esta soldadura es aceptable. Este no es el caso de una soldadura perfecta, pero sí el de una soldadura BUENA según UNE 14011, pues presenta defectos muy pequeños.

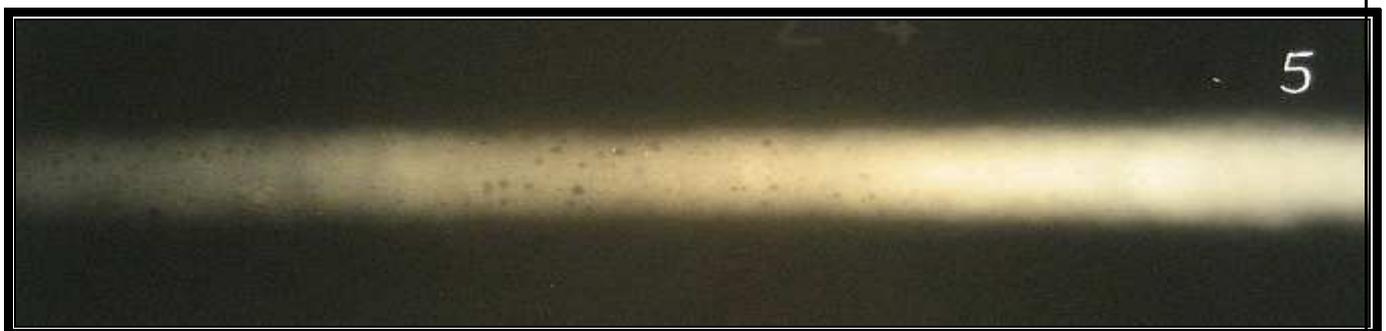


Imagen 5 (**AZUL**).



6 (AZUL): Como en el caso anterior, también tenemos una serie de poros distribuidos en una zona del metal de soldadura, aunque hay unos pocos menos. Este es otro caso de soldadura BUENA.

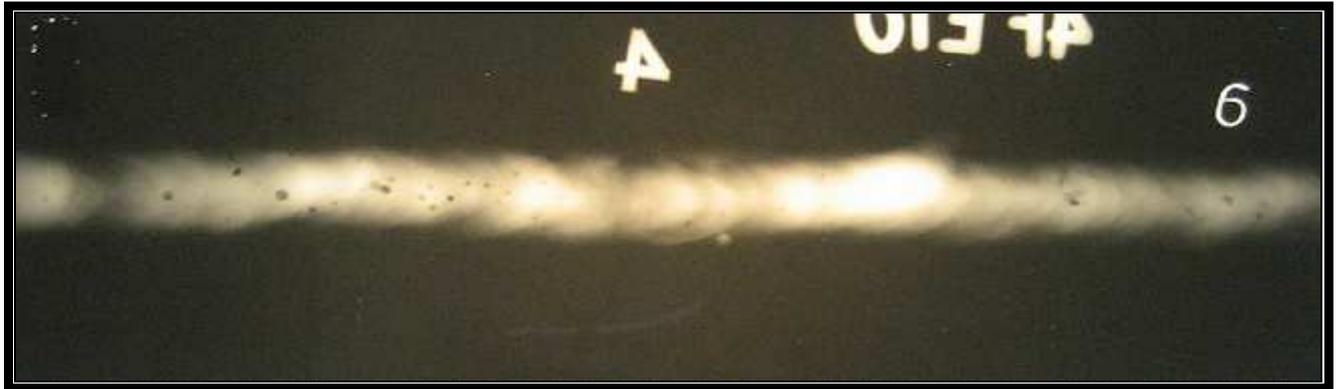


Imagen 6 (AZUL).

7 (VERDE): En este caso, las porosidades son de tamaño mayor que en los dos casos anteriores y están distribuidas a lo largo de toda la soldadura, no en una parte de ella como antes. Esta soldadura se aceptará o rechazará según la aplicación a la que posteriormente vaya a ser sometida. Si esta aplicación es de importancia, no aceptaremos esta soldadura. En términos generales podemos decir que este ejemplo presenta unos defectos algo más grandes que los dos anteriores. Según UNE se trata de una soldadura considerada como REGULAR (defectos pequeños).



Imagen 7 (VERDE).



8 (VERDE): Caso similar al anterior con porosidades que hacen que aceptemos o no a la soldadura según la aplicación que le vayamos a dar, considerándola como REGULAR.



Imagen 8 (VERDE).

9 (VERDE): Soldadura prácticamente igual a la nº 8.



Imagen 9 (VERDE).



10 (MARRÓN): Se presenta una gran cantidad de porosidades tanto en el metal de soldadura como en la zona afectada térmicamente. Son tantas y tan cercanas estas porosidades, además de tener un tamaño considerable (algunas llegan a tener unos 4 mm de diámetro), que esta soldadura no es aceptable, considerándose como soldadura MALA. También he de decir que ocupan área excesivamente grande (15 mm). Todos estos factores unidos, pueden provocar la rotura de la soldadura, calificándola como MALA.



Imagen 10 (MARRÓN).

11 (MARRÓN): Aunque en este caso el tamaño de las porosidades es más pequeño que en el anterior, ocupan todo el área de soldadura y están muy juntas, dando lugar a una soldadura considerada como MALA.



Imagen 11 (MARRÓN).



12 (MARRÓN): Porosidades de gran tamaño, alguna llegan a tener un diámetro de 4mm, distribuidas a lo largo de toda la soldadura. Son defectos notables que hacen que se trate de una soldadura MALA.



Imagen 12 (MARRÓN).

13 (ROJO): Gran cantidad de porosidades, que están tan cercanas que llegan a unirse unas con otras. Afectan a toda la soldadura. Este caso debe ser desechado al instante y **UNE 1411** la califica como MUY MALA.



Imagen 13 (ROJO).



104 (**NEGRA**): Presenta algunas porosidades en la parte derecha, además de una grieta a lo largo del metal de soldadura e inclusiones de tungsteno, esta soldadura se desecharía nada más ver la grieta, pero si tenemos en cuenta solamente las porosidades, al tratarse de un defecto menos importante y no tener una forma y tamaño que perjudiquen gravemente, en principio, aceptaríamos o rechazaríamos la soldadura según la aplicación que posteriormente pretendiésemos darle.



Imagen 104 (**NEGRA**).

105 (**NEGRA**): Igual que la placa 104.



Imagen 105 (**NEGRA**).



106 (NEGRA): Igual que la placa 104.



Imagen 106 (NEGRA).

107 (NEGRA): Igual que la placa 104.

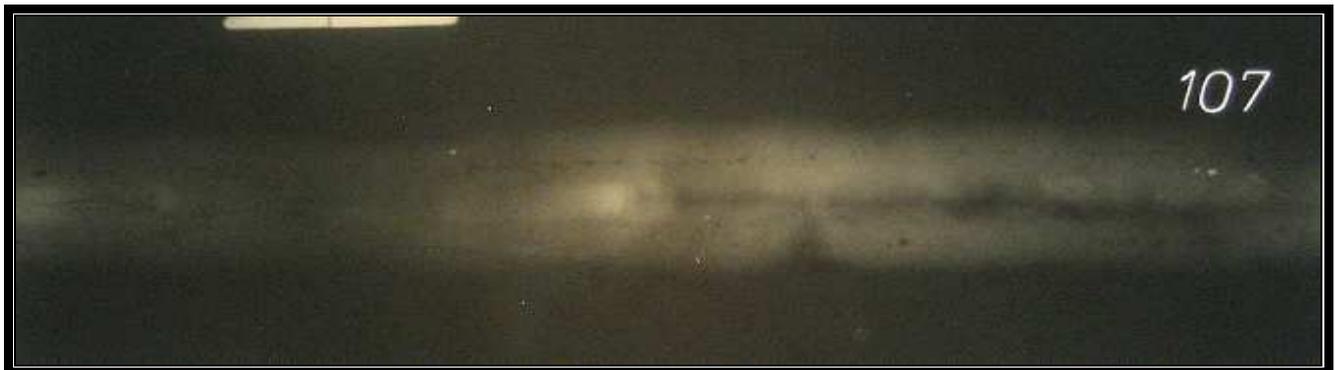


Imagen 107 (NEGRA).



### 2013: Grupo de cavidades de gas

14 (AZUL): Pequeño grupo de cavidades de gas, que ocupa un área que no es excesiva (8 mm) y que por tanto se puede aceptar, considerándose como BUENA. Aparecen también algunas porosidades de gas aisladas que no tienen mayor importancia.



Imagen 14 (AZUL).

15 (VERDE): Aparecen tres grupos de cavidades, el de la izquierda sin mucha importancia, pero los dos de la derecha sí que la presentan, pues se trata de poros que están muy unidos. Esta soldadura se aceptará o rechazará según la aplicación que le queramos dar, siendo calificada como REGULAR.

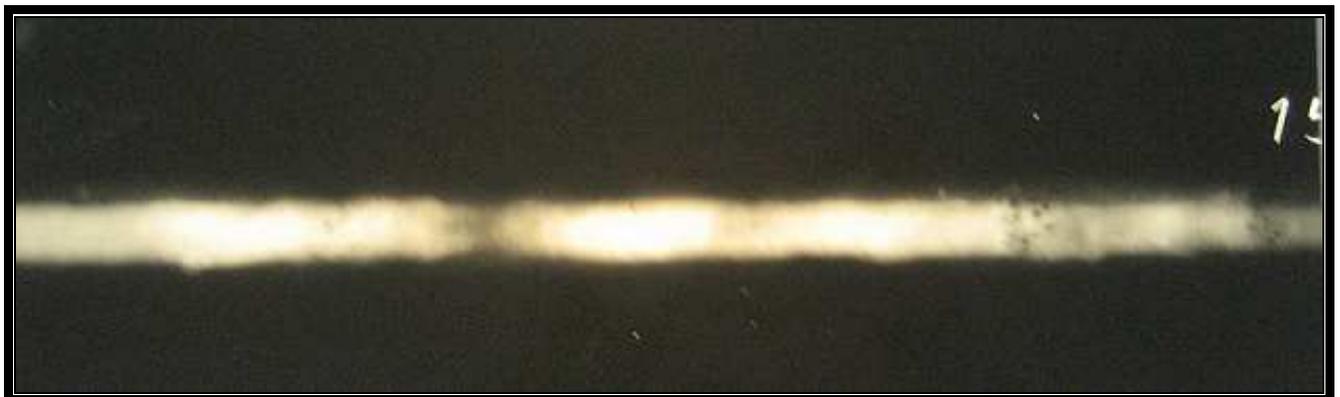


Imagen 15 (VERDE).



16 (MARRÓN): Además de unas porosidades de gran tamaño y no muy juntas, aparece un grupo de estas de gran tamaño, que ocupan una superficie considerablemente grande, encontrándose además muy cercanas entre sí. El diámetro que poseen llega a superar los 15 mm. Se trata pues de una soldadura MALA y por tanto desechable.



Imagen 16 (MARRÓN).

20 (VERDE): Grupo de cavidades que hacen que la soldadura sea calificada como REGULAR, aceptándose o no según el caso.



Imagen 20 (VERDE).



**2014: Porosidad lineal.**

18 (AZUL): Poros distribuidos linealmente a lo largo del cordón de soldadura. Aunque su tamaño es más o menos grande entra dentro de las normas de aceptación y se considera aceptable. Soldadura clasificada como BUENA.

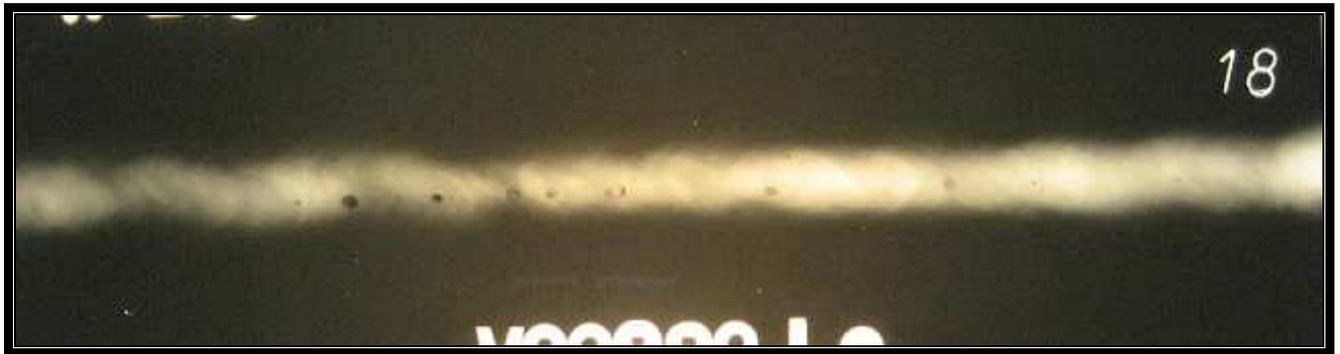


Imagen 18 (AZUL).

19 (VERDE): Poros distribuidos linealmente, paralelos al eje del cordón de soldadura, que están muy cercanos entre sí. Esto hace que se considere esta soldadura como REGULAR y que se acepte o no dependiendo de su posterior aplicación.



Imagen 19 (VERDE).



21 (MARRÓN): Poros de gran tamaño, el mayor alcanza los 5 mm de diámetro. Consideramos a la soldadura como MALA.

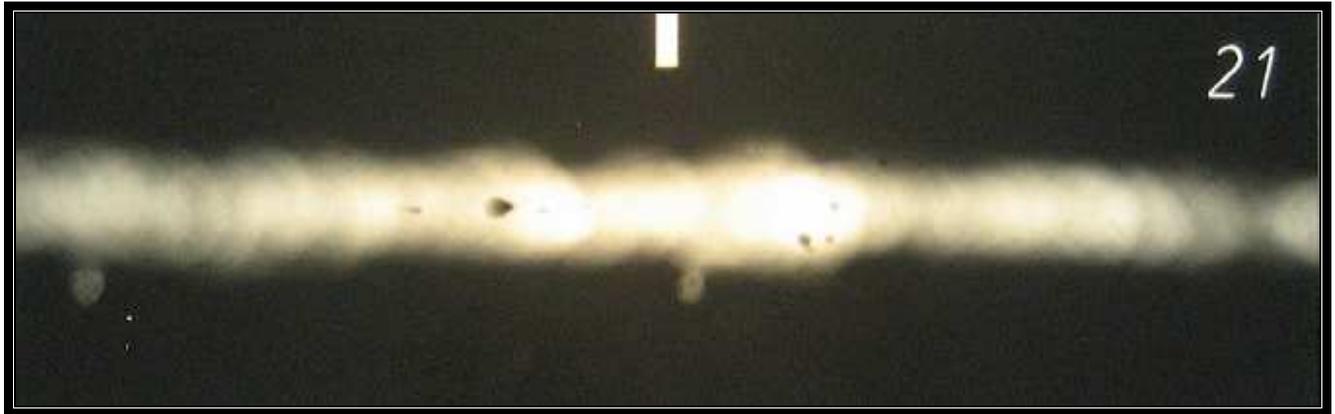


Imagen 21 (MARRÓN).

#### 2015: Cavidades alargadas

17 (MARRÓN): Cavidades que no son esféricas como las anteriores, sino que tienen su mayor dimensión paralela al eje de soldadura. Aparece también un grupo de cavidades. Es una soldadura calificada como MALA y por tanto se desecha sea cual su posterior uso. (Lo que la hace desechable es el grupo de cavidades).



Imagen 17 (MARRÓN).



27 (AZUL): Cavidades alargadas que no revisten importancia. Podemos clasificar la soldadura como BUENA.

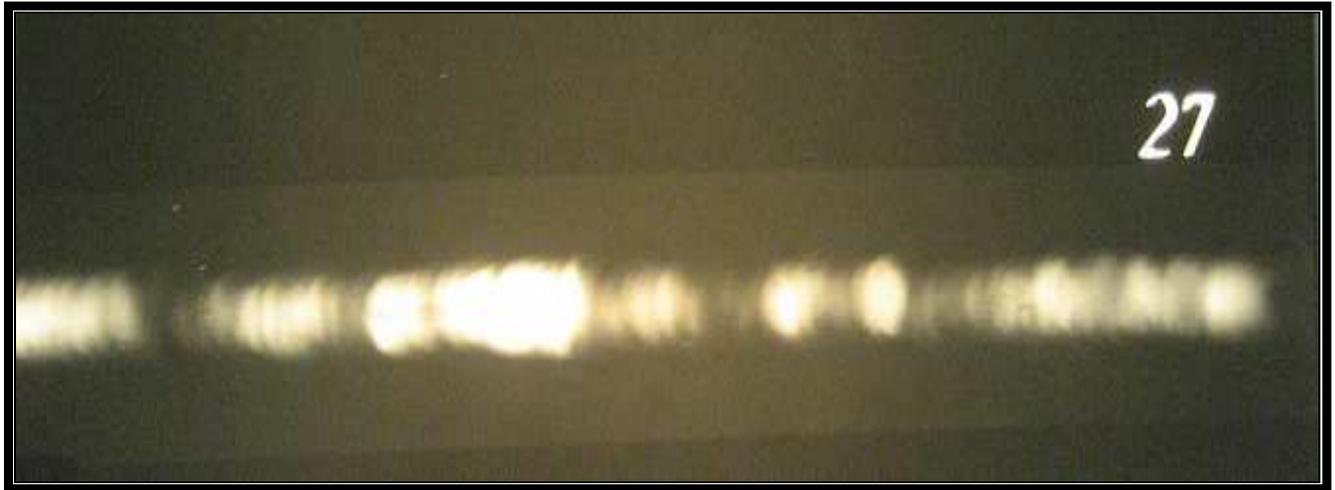


Imagen 27 (AZUL).

28 (VERDE): Porosidades alargadas y cercanas que hacen que se considere como una soldadura REGULAR que se aceptará o no según la aplicación.



Imagen 28 (VERDE).



29 (MARRÓN): El tamaño que presenta la cavidad hace que se considere como MALA.

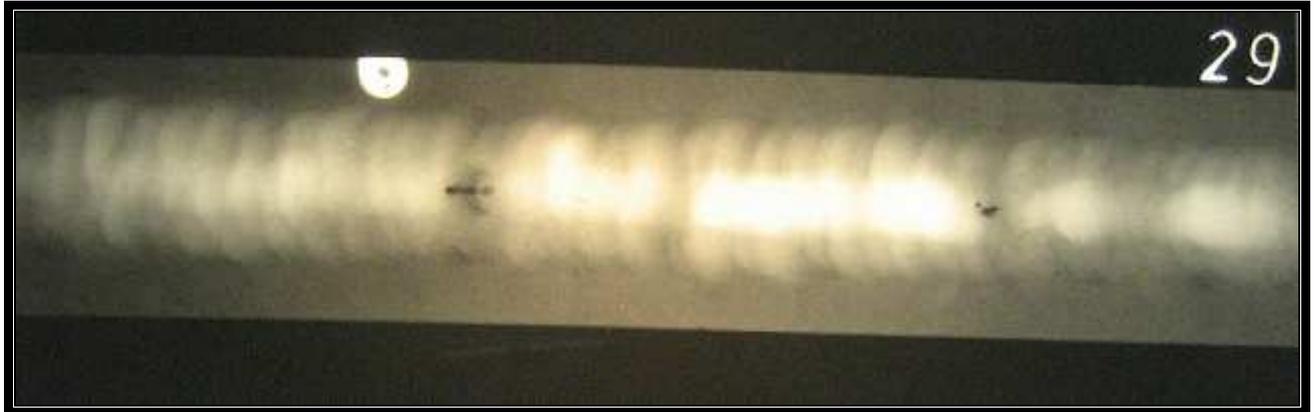


Imagen 29 (MARRÓN).

#### 2016: Cavidades tubulares

9 (VERDE): Presenta porosidad distribuida y también porosidad tubular en la parte izquierda. Se aceptará o no dependiendo de su uso. En este caso la porosidad tubular no reviste no demasiada importancia, es más condenable la porosidad distribuida, que se presenta por gran parte de la soldadura. Aún así en la mayoría de los casos la porosidad tubular es un defecto que tiene bastante importancia.



Imagen 9 (VERDE).



22 (AZUL): Tenemos una porosidad de túnel o de aguja (porosidad tubular), que puede no considerarse como un defecto condenable ya que no es continua. Según British Standard es aceptable y la califica como BUENA, sin embargo mi criterio personal sería calificarla como REGULAR, aceptándola o no según el uso que posteriormente se la vaya a dar, pues tiene una longitud cercana a los 20 mm.



Imagen 22 (AZUL).

23 (VERDE): Aparece una porosidad tubular o de túnel de una longitud aproximada de unos 35 mm. Es más condenable que la anterior. Este defecto en soldadura sería calificado como REGULAR o MALO, según el código que se aplique para inspeccionarlo. Puesto que tiene discontinuidades, puede ser considerado como REGULAR y así, se usará o desechará según los esfuerzos que vaya a tener que soportar posteriormente. Si ha de soportar grandes tensiones lo desecharemos, y lo aceptaremos en caso de no ser así.

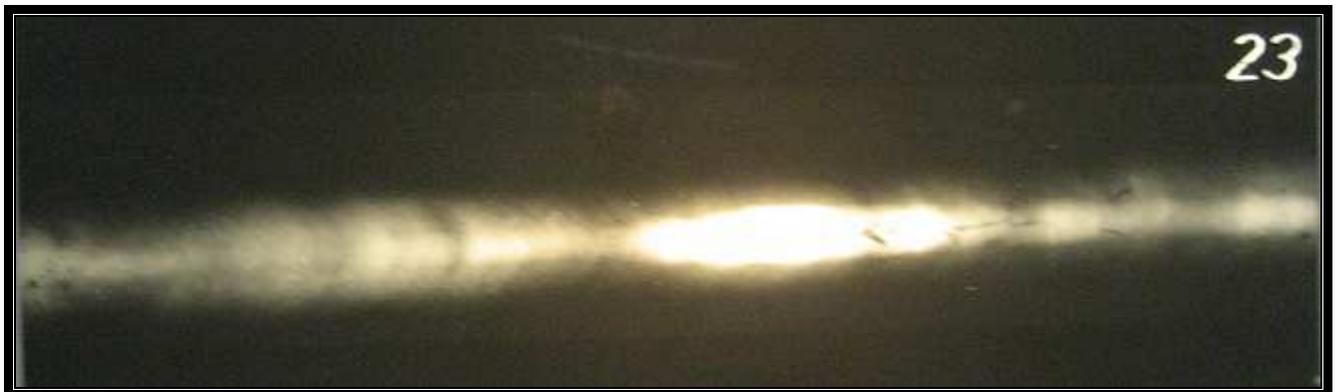


Imagen 23 (VERDE).



24 (MARRÓN): Cavity tubular de gran tamaño, pues ocupa la mayor parte de la soldadura (unos 120 mm de longitud). Es un defecto condenable, que puede provocar fácilmente la rotura por fractura, así que se calificará esta soldadura como MALA. (También se puede observar que se trata de un cordón muy irregular).



Imagen 24 (MARRÓN).



Detalle Imagen 24 (MARRÓN).



25 (ROJO): Cavidades tubulares distribuidas en la mayor parte de la soldadura y que ocupan toda su anchura. Es un defecto condenable y esta soldadura se rechazará nada más verla, calificándola como MUY MALA.



Imagen 25 (ROJA).

26 (ROJO): Soldadura de características muy similares a la anterior, también calificada como MUY MALA.

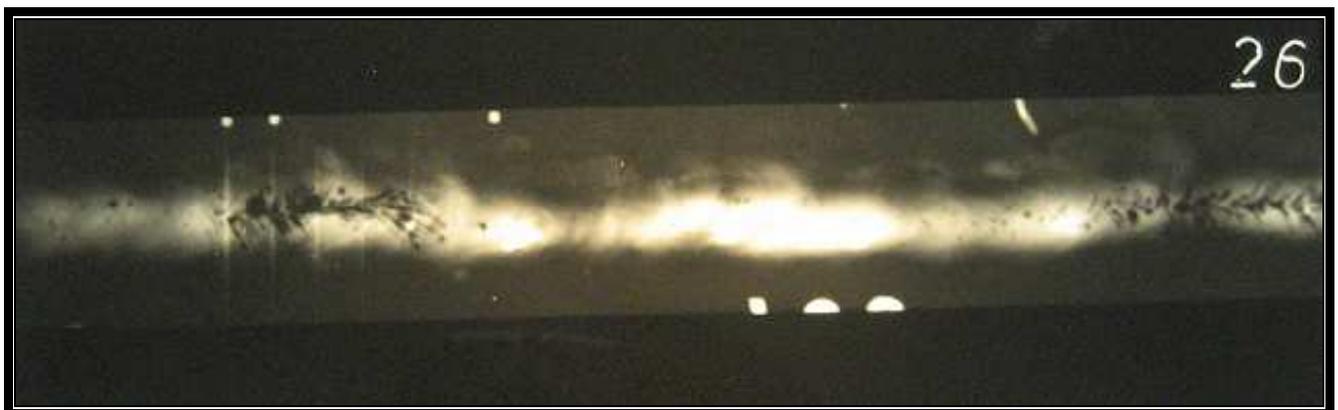


Imagen 26 (ROJA).



30 (ROJO): Soldadura que presenta dos defectos de aguja, muy condenables, pues ocasionarán una rotura prácticamente segura. Tienen unas longitudes de unos 40 mm aproximadamente. Se califica esta soldadura como MUY MALA.



Imagen 30 (ROJA).

43 (MARRÓN): Defectos de aguja, además de algunas porosidades. Calificaremos esta soldadura como MALA.

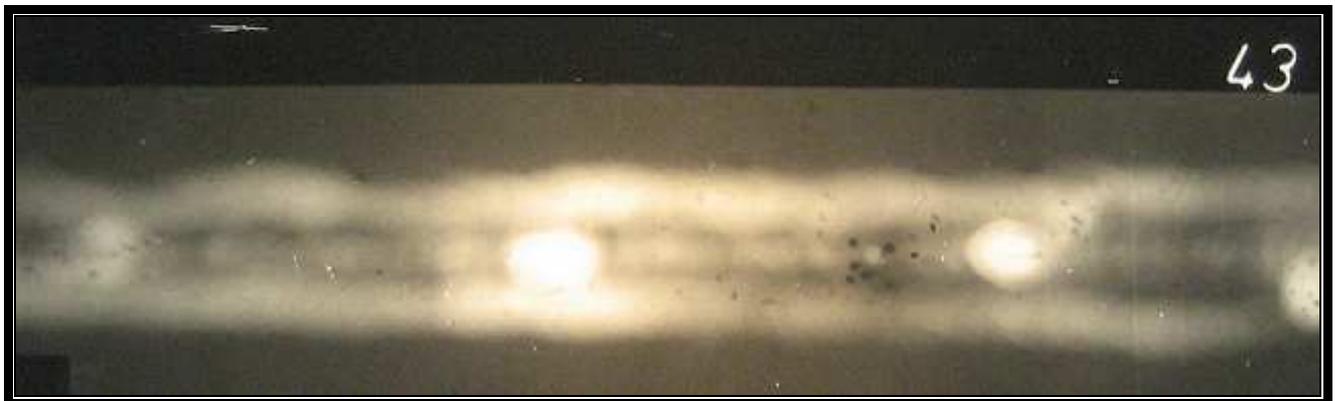
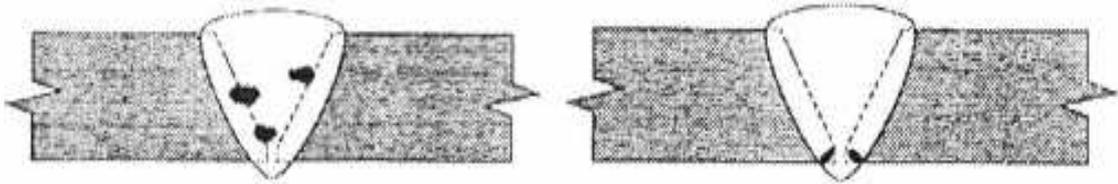


Imagen 43 (MARRÓN).



## **SERIE 300: INCLUSION DE SÓLIDOS**

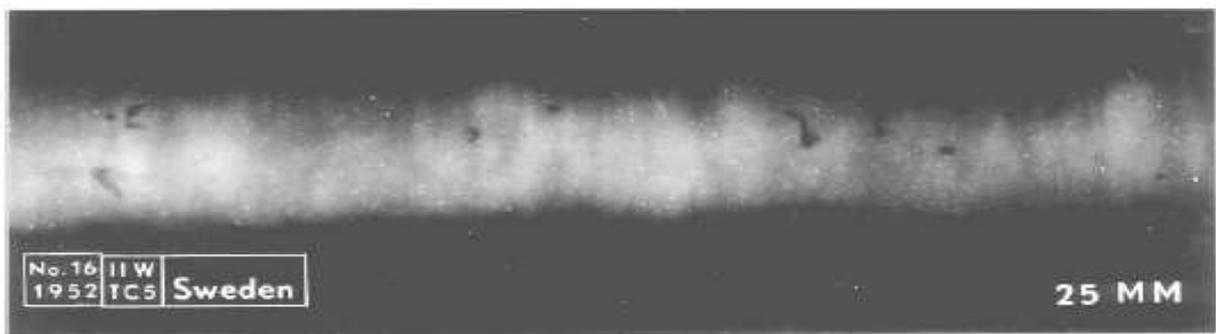
Este defecto también se conoce como inclusión de escoria, y se origina cuando los metales o materia sólida quedan atrapados en el cordón de soldadura, entendiéndose por materia sólida la escoria que se forma en el fundente de los electrodos con el calor del arco eléctrico y se solidifican. Suelen presentarse con más frecuencia en las uniones soldadas por pasadas múltiples.



Estas inclusiones pueden ser intermitentes, continuas o muy aisladas y su grado de tolerancia es semejante al defecto de porosidad.

Este defecto se produce por el empleo de una técnica deficiente tanto en la altura del electrodo como en su velocidad de avance; al aplicar el sistema de soldadura de arco eléctrico protegido con gas argón, el metal base puede tocar el electrodo de tungsteno. También puede presentarse el atropamiento de parte del fundente empleado en el sistema de arco sumergido, así como la inclusión de óxidos de aluminio debido a la rápida acción química del aluminio, quedando fácilmente atrapado si no se tiene cuidado en el proceso de preparación y limpieza.

La inspección radiográfica es el proceso apropiado para detectar las inclusiones metálicas y de materias extrañas. Las inclusiones de escoria aparecen en la radiografía como manchas oscuras de contorno irregular, perfectamente diferenciables de la imagen redondeada producida por la porosidad.





## **301: INCLUSION DE ESCORIA**

### **3011: Línea o líneas de escoria.**

**Registro radiográfico:** líneas oscuras con orillas ásperas, que pueden estar a un lado del cordón de soldadura o a ambos lados del mismo. Son paralelas a dicho cordón. Pueden estar en el cordón de soldadura, o entre este y el metal base.

32 (**VERDE**): Pequeñas inclusiones sólidas alineadas a lo largo del cordón de soldadura. No constituyen un defecto condenable que vaya desecharse a primera vista, pues son defectos cuyo tamaño no es importante en principio, aunque puede serlo si va a formar parte de una pieza que vaya a tener que soportar muchas tensiones. Así según British Standar, se califica como REGULAR.



Imagen 32 (**VERDE**).



34 (MARRÓN): En este caso si se trata de un defecto grande, pues los poros, llegan a unirse unos con otros, pudiendo dar lugar a la rotura de la soldadura por esas zonas, pues se pueden ir produciendo fracturas. Calificándose la soldadura como MALA.



Imagen 34 (MARRÓN).

35 (MARRÓN): También se trata de un defecto que presenta importancia, al igual que en el caso anterior, debido a que existen zonas de la soldadura en las que las inclusiones están tan cercanas que pueden provocar una fractura en esos lugares. Calificaremos esta soldadura como MALA.

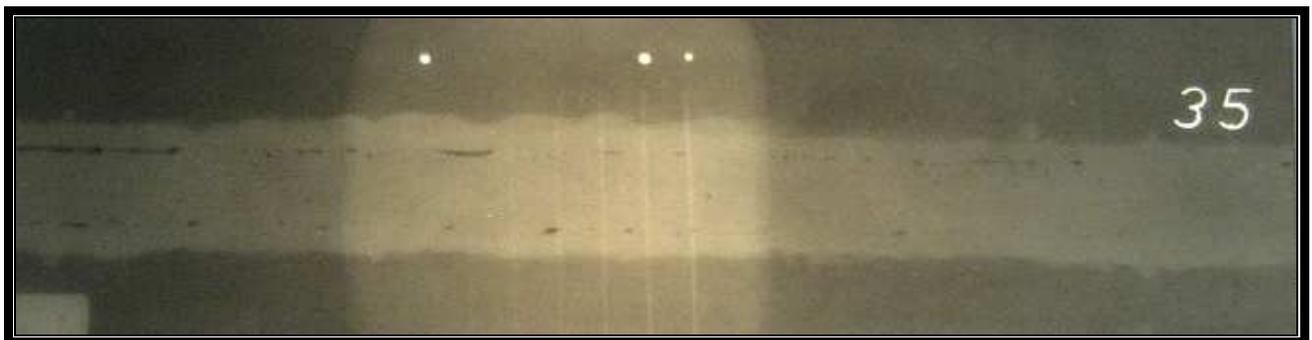


Imagen 35 (MARRÓN).



Detalle Imagen 35 (MARRÓN).

36 (ROJO): Defecto de gran magnitud que ha de desecharse inmediatamente después de su localización. Esta soldadura producirá una segura rotura debida a la gran cantidad de inclusiones, su tamaño y su disposición (todas en línea, y muy cercanas). Clasificaremos la soldadura como MUY MALA.

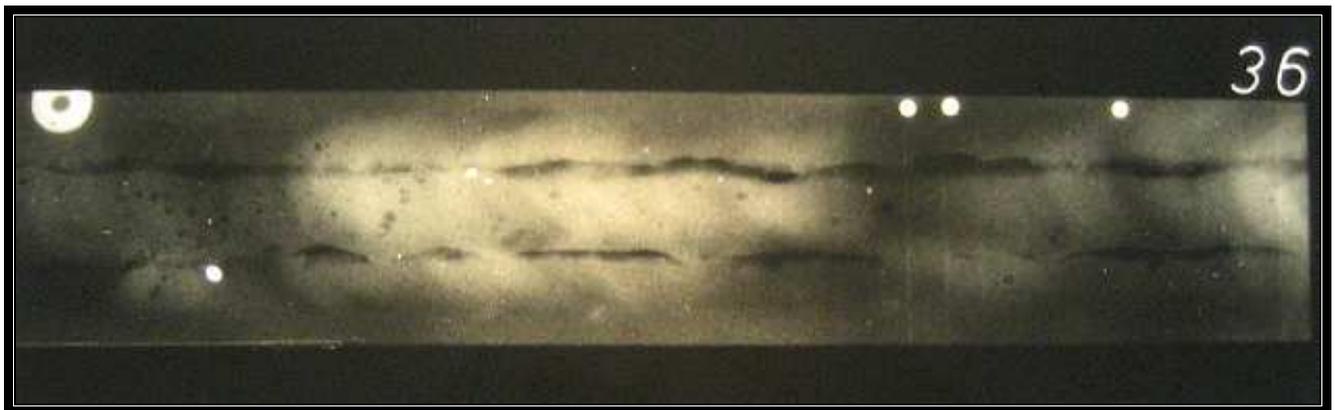


Imagen 36 (ROJA).



**3012: Escoria aislada.**

**Registro radiográfico:** Manchas oscuras con aristas formando ángulos irregulares y formas diversas que pueden estar en cualquier lugar de la soldadura, frecuentemente entre cordones y a veces, junto al metal base. Deben observarse detenidamente los vértices de los ángulos agudos ya que en ocasiones originan roturas.

31 (AZUL): Aparecen pequeñas inclusiones aisladas que no revisten importancia, pudiendo calificar esta soldadura como BUENA.

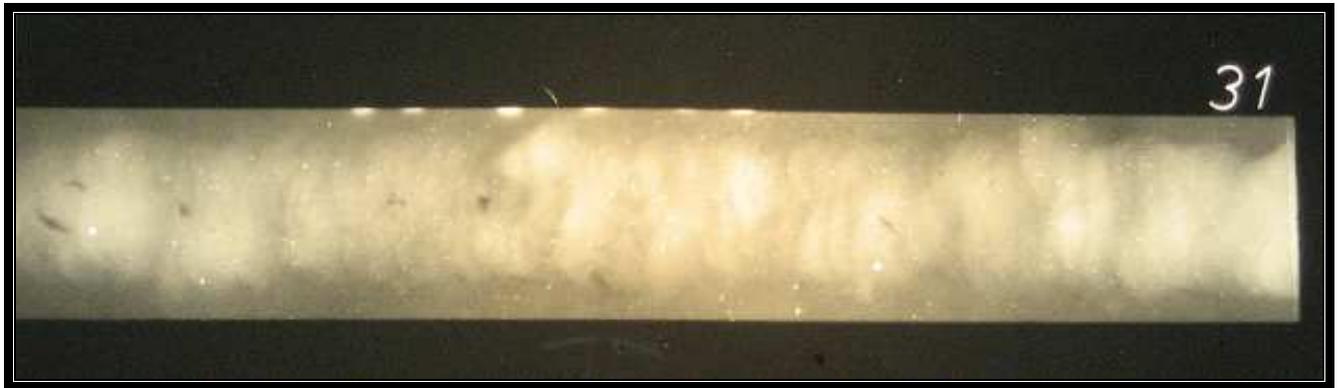


Imagen 31 (AZUL).

**302: Inclusiones de flux**

**3021: Inclusión lineal de flux.**

33 (VERDE): Presenta una inclusión de flux lineal que no reviste importancia. También hay mordeduras de falta de metal, que son surcos extendidos sobre algunos trozos de los bordes de la soldadura (serie 500).

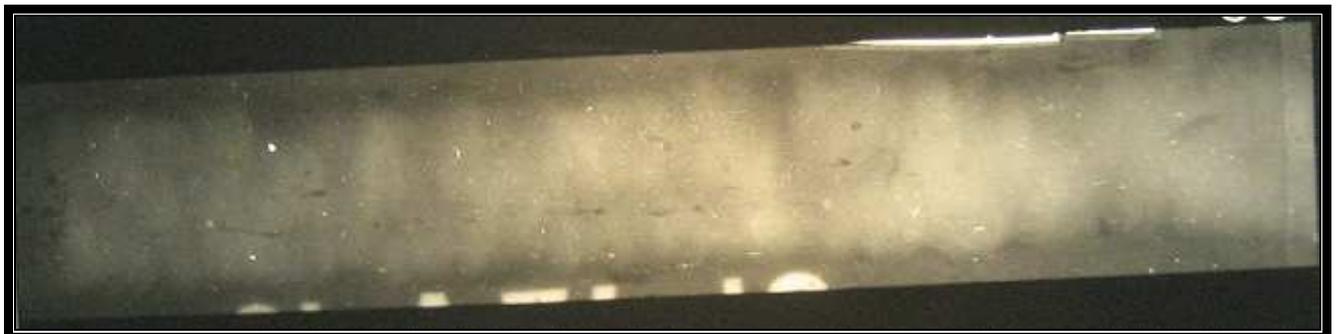


Imagen 33 (VERDE).



### 304: Inclusión metálica

### 3041: Inclusión metálica de tungsteno

104; 105; 106; 107: En estos cuatro casos aparecen inclusiones de tungsteno combinadas con fracturas en el metal de soldadura y porosidad distribuida a lo largo del cordón de la soldadura. (Diferenciamos la escoria de las porosidades porque la escoria es más irregular, son las sombras oscuras con aristas que forman ángulos irregulares y formas diversas que pueden estar en cualquier lugar de la soldadura. Los vértices de ángulos agudos, frecuentemente pueden dar lugar a roturas.



Imagen 104 (NEGRA).



Imagen 105 (NEGRA).



**PROYECTO FIN DE CARRERA:  
BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS  
EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION  
RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES  
METALICOS.**

Hoja 151 de 221

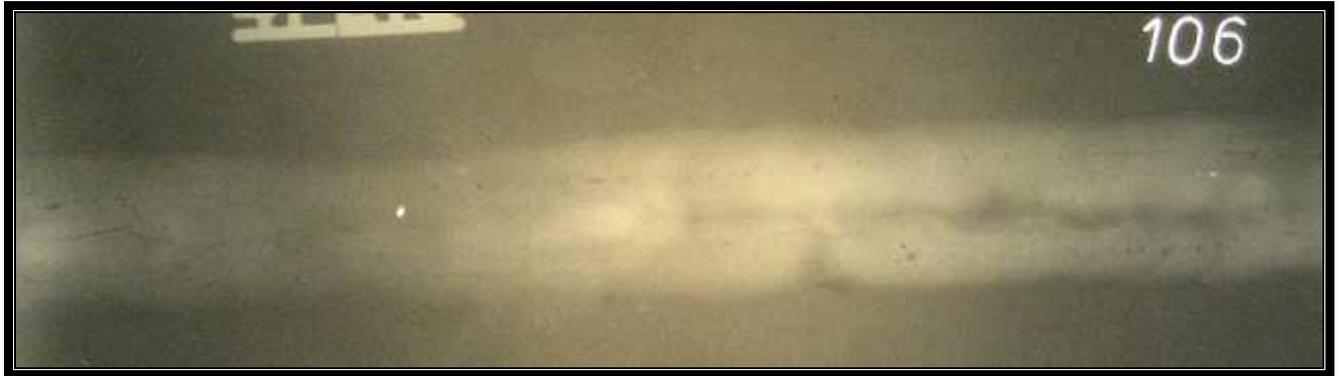


Imagen 106 (NEGRA).



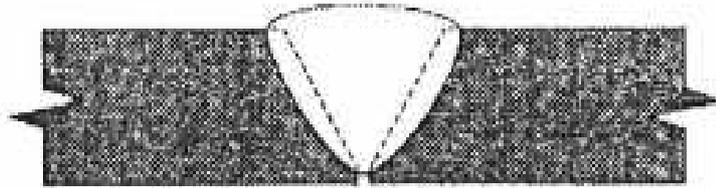
Imagen 107 (NEGRA).



## SERIE 400: FUSION INCOMPLETA Y FALTA DE PENETRACION.

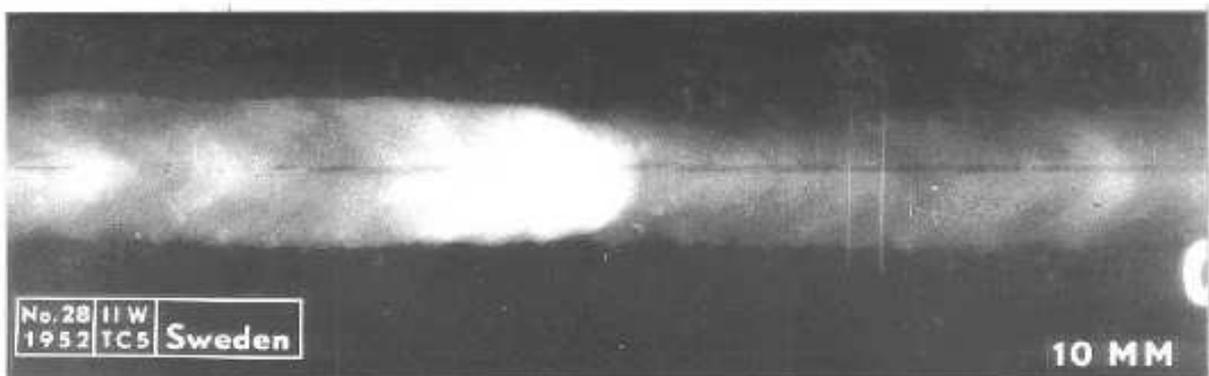
Esta serie incluye los defectos por falta de penetración y de fusión incompleta. Dichos defectos pueden presentarse por separado o bien, puede darse una combinación de ambos.

Se acostumbra a referirse a la **falta de penetración** en relación con el cordón de la raíz de soldadura; presentándose este defecto cuando la soldadura no penetra lo suficiente a través del bisel de la preparación hasta atravesar el hombro de éste y formar el cordón de raíz en el extremo inferior. En este caso, se dice que existe una penetración escasa o que falta penetración para formar el cordón de raíz.



Podemos decir, por tanto, que la falta de penetración consiste en un relleno incompleto del cordón de raíz o del fondo de la soldadura. Es decir, un defecto en dos dimensiones debido a una falta de unión entre el metal base y de aportación.

**El registro radiográfico** será una línea oscura y bien definida en el centro de la soldadura, que puede variar de ancho, de acuerdo al espacio entre las paredes del hombro del bisel de raíz.

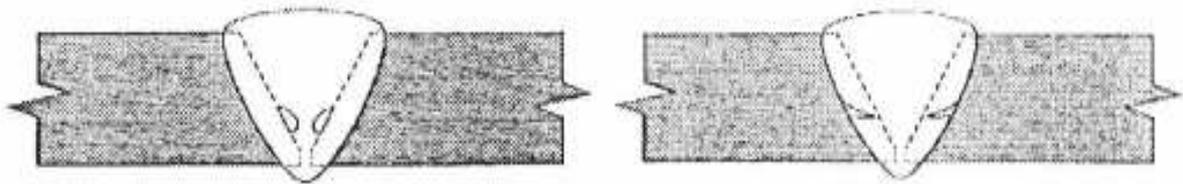




Algunas tolerancias, según algunos códigos son:

- o API: Permite 1" de longitud en un tramo de 12"  
Permite 2" de longitud en un tramo de 24"
- o ASME: No tiene tolerancia en este defecto ya que indica que hay una seria reducción en su resistencia a la tensión.

La **falta de fusión** se puede definir como una falla en un tramo en que no hubo fusión o liga intermetálica entre el cordón de soldadura y el metal base.



El **registro radiográfico** se presenta como una sombra débil en la zona de fusión. La sombra es muy ligera y es difícil de apreciar en la radiografía de los rayos gamma, por tanto, es aconsejable una fuente de mayor intensidad.



Respecto a la tolerancia admitida por diferentes códigos, en los casos API y ASME, presenta las mismas tolerancias que la falta de penetración.



**PROYECTO FIN DE CARRERA:  
BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS  
EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION  
RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES  
METALICOS.**

Hoja 154 de 221

Cuando se presentan estos defectos, la resistencia y el trabajo mecánico de la soldadura se reducen peligrosamente. Debido al grado de riesgo, las soldaduras se someten a pruebas de control de calidad con el fin de asegurarnos de que son sólidas y sana, y que están dentro de las normas internacionales de calidad.

Las causas de estos defectos son:

- ✓ Superficies sucias, con escamas de óxido, grasa, restos de pintura, etc.
- ✓ Preparación deficiente (ausencia del hombro del bisel).
- ✓ Angulo inadecuado del bisel.



**401: Falta de fusión.**

**4011: Entre el metal de soldadura y el metal base.**

56 (MARRÓN): La Falta de fusión se presenta en un lado, lo que indica que se trata de una falta de fusión del metal de soldadura con el metal base. Este defecto es un defecto condenable, que ningún código admite, pues se considera un defecto que provocará una fuerte reducción en su resistencia a la tensión. Calificaremos esta soldadura como MALA.

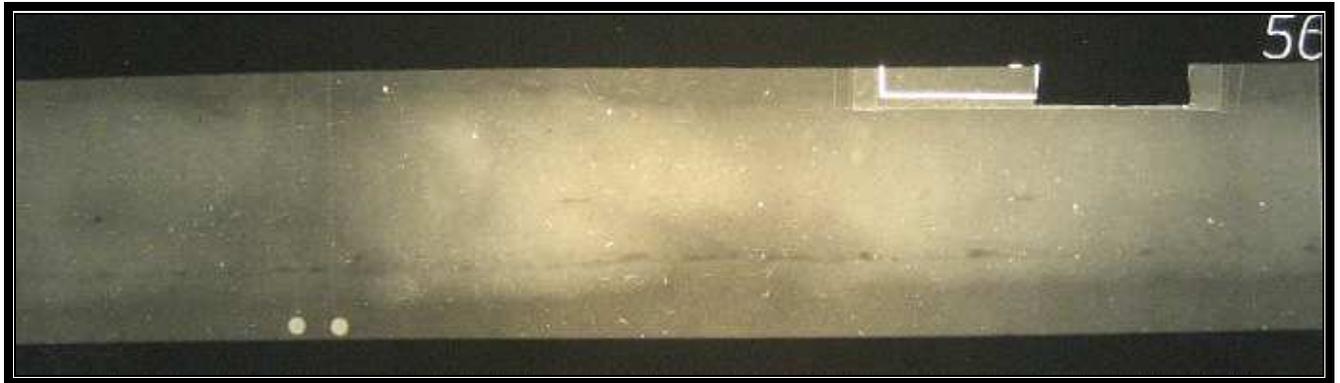


Imagen 56 (MARRÓN).

57 (ROJA): Al igual que en el caso anterior, por tratarse de una falta de fusión es un defecto grave, además en este caso, se ve mas agravado aún. Por tanto también se desechará, clasificándola como MUY GRAVE.

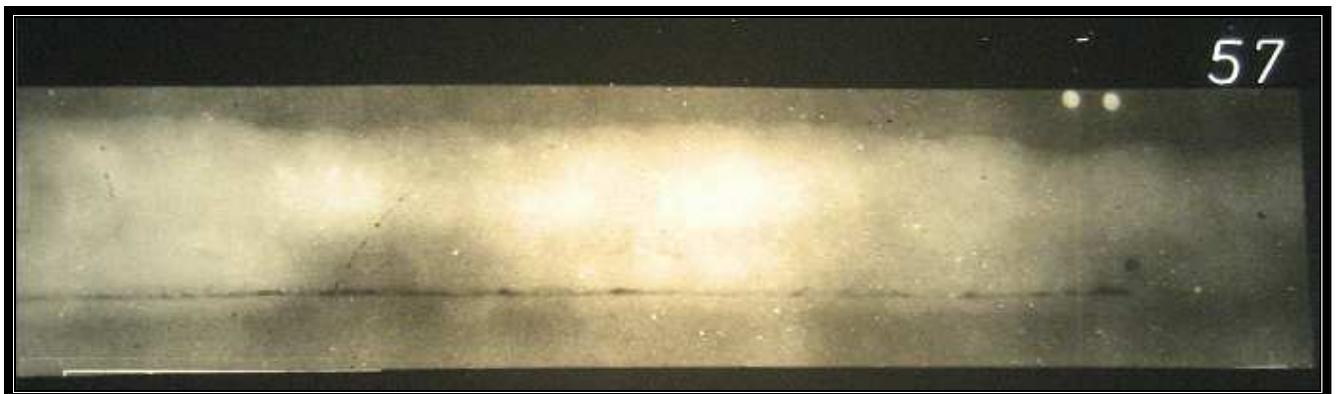


Imagen 57 (ROJA).



**4013: En la raíz del cordón de soldadura.**

54 (**MARRÓN**): Por tratarse de una falta de fusión, es condenable. En este caso, se observa que la falta de fusión aparece en el centro del cordón, esto es porque la falta de fusión se encuentra en la raíz del cordón de soldadura. Calificaremos esta soldadura como MALA.

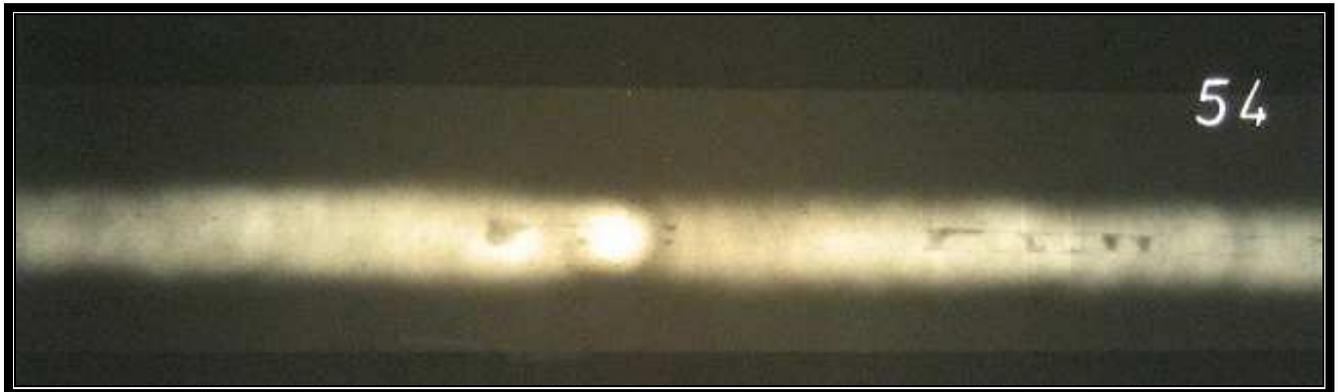


Imagen 54 (**MARRÓN**).

55 (**ROJO**): Caso muy parecido al anterior pero más agravado el problema, la calificaremos, por tanto como MUY MALA.

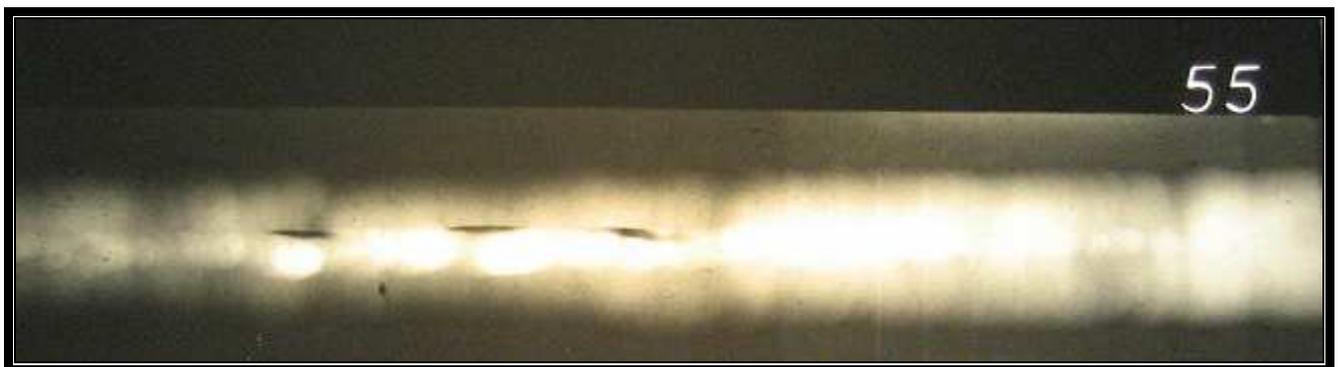


Imagen 55 (**ROJO**).



**402: Falta de penetración.**

44 (AZUL): Este es un caso en el que es tan pequeña la falta de penetración, que puede ser admitida. Así lo sería por el código API y también por el British Standard, pero no por el ASME. La falta de penetración se observa en una pequeña línea, no muy oscura, que tiene muy poco espesor y es por eso por lo que algunos códigos la aceptan, al final la labor de determinar si se aceptará o no será del inspector y dependerá de su criterio personal.

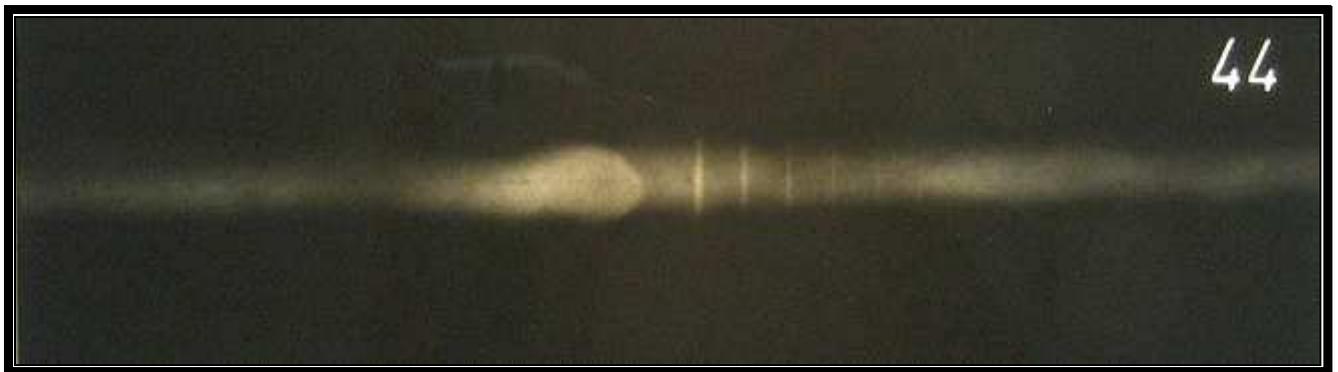


Imagen 44 (AZUL).

45 (VERDE): En este caso si es algo más importante la falta de penetración que presenta esta soldadura, hay más líneas y más oscuras. British Standard califica a esta soldadura como REGULAR, lo que significa, que según ellos, se aceptará o rechazará, dependiendo de si se trata o no de una soldadura que vaya a estar sometida a tensiones. Sin embargo, según API, esta soldadura sería rechazada con toda seguridad.



Imagen 45 (VERDE).



46 (VERDE): Este es un caso similar al anterior en el que se presentan las mismas discordancias entre códigos.



Imagen 46 (VERDE).

47 (MARRÓN): Soldadura que presenta un importante defecto de falta de penetración, que puede ser fatal para la soldadura, siendo desechada por tanto, y habiendo unanimidad entre códigos, pues ningún código la aceptaría. Así, la calificaremos esta soldadura como MALA.



Imagen 47 (MARRÓN).



48 (MARRÓN): Como ocurriría en el caso anterior, esta soldadura se desechará y no será aceptada por ningún código, pues se trata de un defecto importante que puede provocar graves problemas debido a su baja resistencia. Soldadura clasificada como MALA.

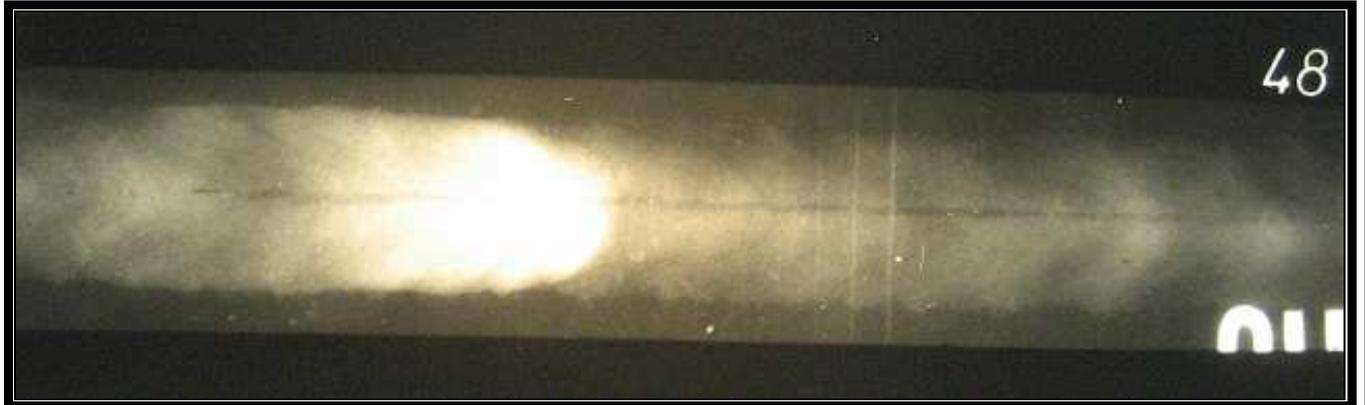


Imagen 48 (MARRÓN).

49 (ROJO): Esta soldadura presenta un gravísimo defecto de falta de penetración. Nunca se aceptará esta soldadura, siendo desecheda y calificada como MALA.

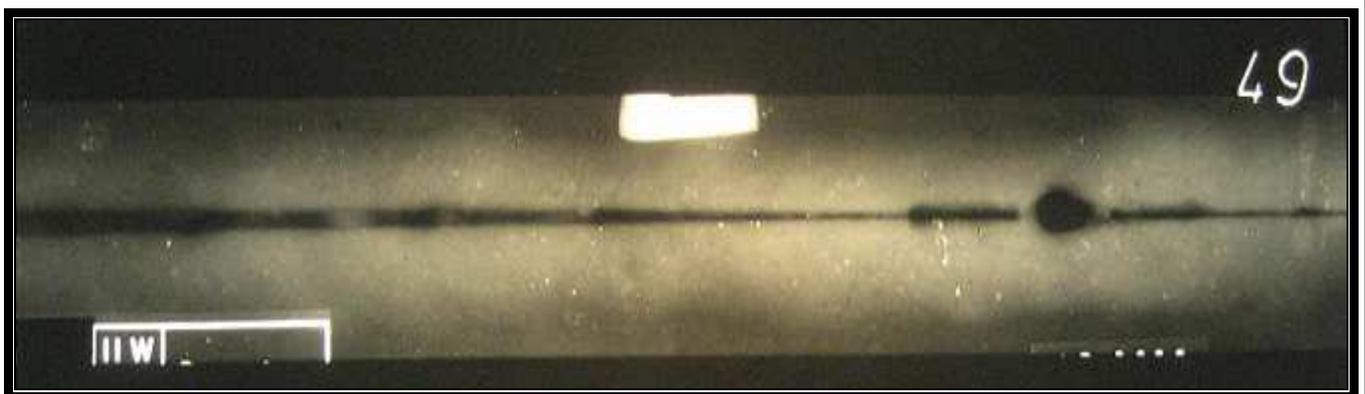


Imagen 49 (ROJA).



50 (ROJO): Es el caso de otra soldadura MALA ha de ser desechada.



Imagen 50 (ROJA).

51 (ROJO): Caso similar a 49 y 50.



Imagen 51 (ROJA).



52(ROJO): Caso similar a 49, 50 y 51.

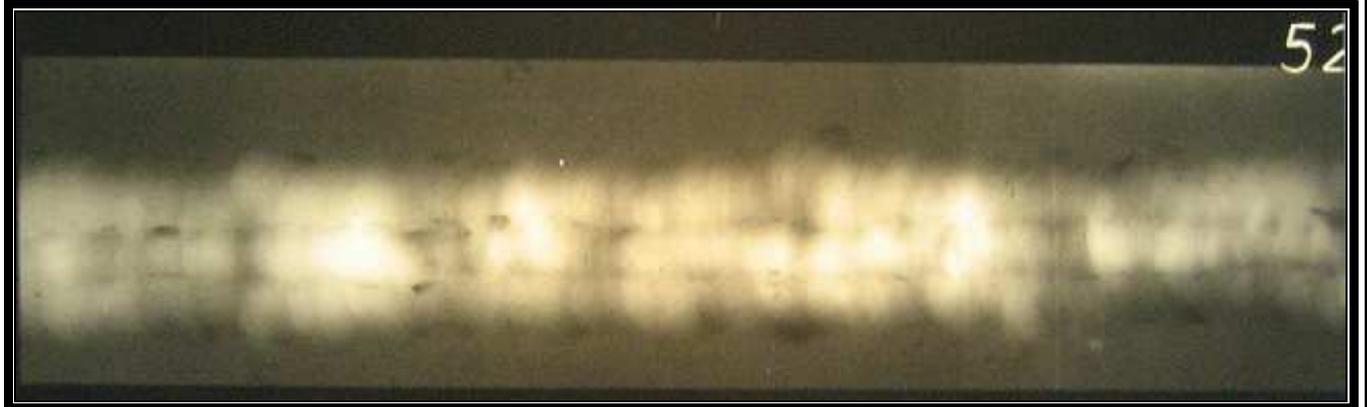


Imagen 52 (ROJA).

53 (MARRÓN): Se observa la falta de penetración en el centro del cordón. (Va combinada con surcos en la raíz, 5013). Esta soldadura es desechable y calificada como MALA.

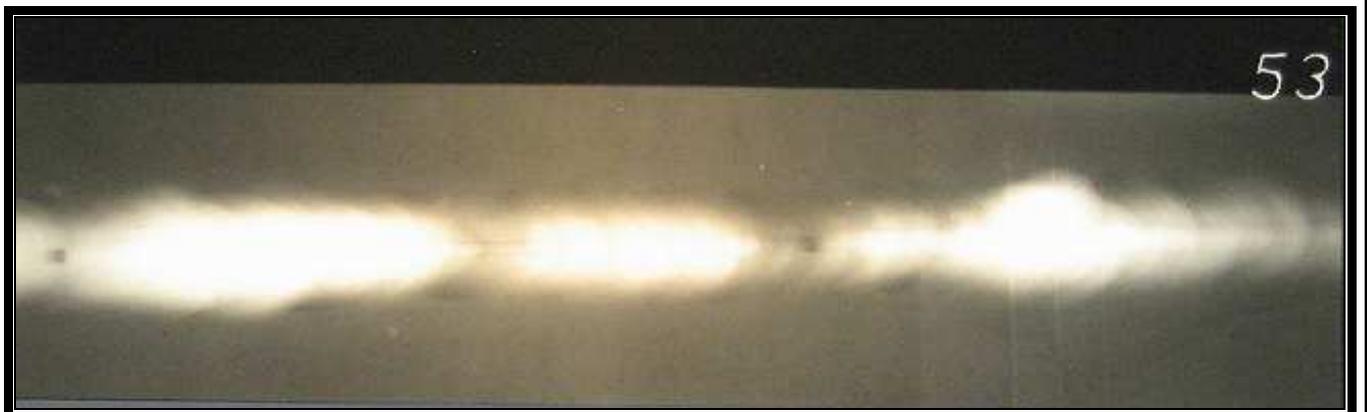


Imagen 53 (MARRÓN).



63 (MARRÓN): En este caso la falta de penetración, aunque es importante, no lo es tanto como en el caso anterior, aún así, ya sabemos que es condenable. Una cosa que hace más condenable aún a esta soldadura es el hecho de que además de presentar falta de penetración, también presenta fracturas de cráter (serie 100), y ya sabemos que las fracturas constituyen el defecto más importante en soldadura.

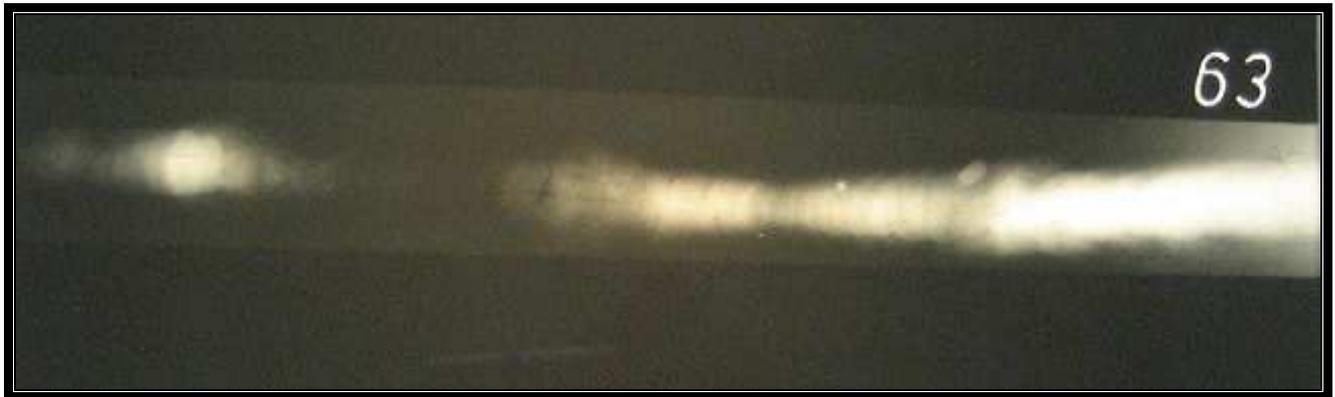


Imagen 63 (MARRÓN).



## **SERIE 500: DEFECTOS DE CONTORNO, TRASLAPE, CONCAVIDADES, CORDONES IRREGULARES, SOCAVADO Y RECHUPES.**

El socavado es uno de los defectos más serios en la soldadura, y puede presentarse tanto en la orilla de la corona del cordón de soldadura como en la orilla del cordón de raíz (es decir, en la parte inferior del cordón).

El socavado crea problemas que afectan a la resistencia de la soldadura, que consisten en la disminución de la resistencia a la tensión, con un rápido desarrollo de la fatiga y rotura por las contracciones que originan el trabajo de la pieza soldada así como una alta respuesta en la flexión. Debido a todo esto es un defecto grave y que puede darse debido a:

- a. Una corriente excesiva al soldar.
- b. Manipulación incorrecta del electrodo (ya sea en la altura del arco o en el ángulo, o en la velocidad de avance).

En el cordón superior es posible detectar el defecto a simple vista, pero en un cordón de raíz es necesario recurrir a la prueba radiográfica.

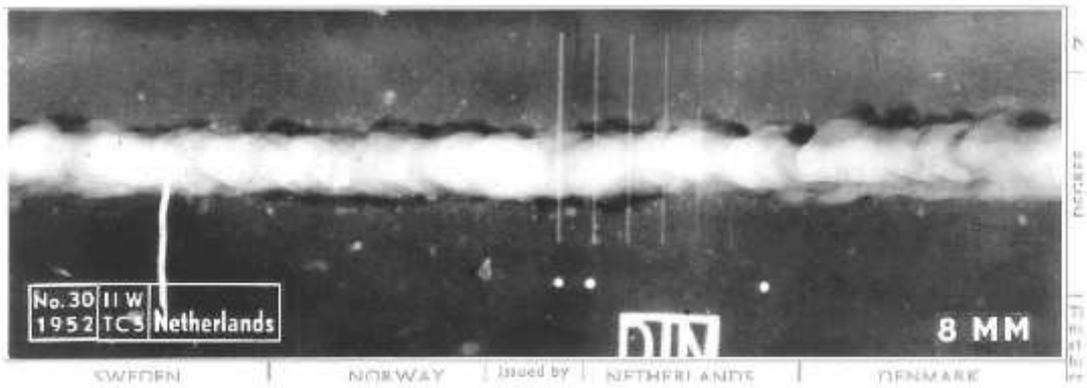
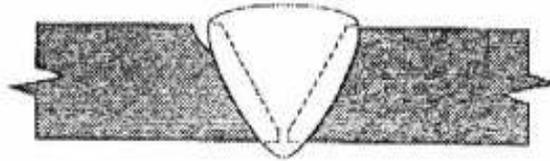
Otros defectos, como el traslape, son objetables pero aceptables, pero la decisión final la tomará el inspector. Por lo general dichos defectos son aceptables cuando su gravedad es mínima.



PROYECTO FIN DE CARRERA:  
BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS  
EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION  
RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES  
METALICOS.

Hoja 164 de 221

501: Surcos, mordeduras, socavado.





**5011: Surcos o mordeduras continuas.**

28 (VERDE): Este es el caso de una soldadura, que además de presentar algunas cavidades, presenta también mordeduras que aparecen uniformemente a lo largo de todo el cordón, (por eso se le llama "continuo"). Las mordeduras son las sombras que van apareciendo, en este caso, por los bordes del cordón. Este defecto puede provocar una disminución de la resistencia a la tensión y a la fatiga, pudiendo dar lugar a que la pieza se rompa. Esta soldadura, por tanto, nunca deberá aceptarse si su fin es el de soportar grandes esfuerzos, aunque sí podría usarse en un caso en el que no fuese precisa una soldadura muy buena debido a la poca importancia de la pieza y a que esta no esté sometida a ninguna tensión y, por tanto la pieza no se rompa. Así, calificaremos esta soldadura como REGULAR.



Imagen 28 (VERDE).

33 (VERDE): Este es un caso muy similar al anterior, que presenta mordeduras continuas. También se pueden observar en este ejemplo algunas inclusiones de flux. Calificaremos a la soldadura como REGULAR.

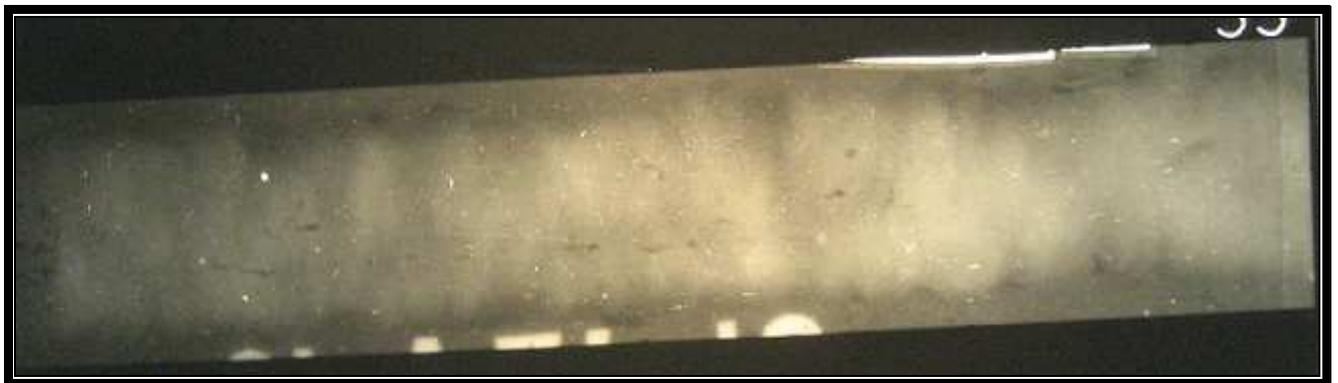


Imagen 33 (VERDE).



39 (MARRÓN): Se observa la mordedura a ambos lados del cordón de soldadura y a lo largo del mismo. Ya de por sí, la mordedura es un defecto que reduce la resistencia a la flexión y a los esfuerzos a los que se somete a la soldadura. Además, en este caso, su magnitud y grosor hacen que se trate de un defecto condenable, grave, desechando esta soldadura y clasificándola como MALA.

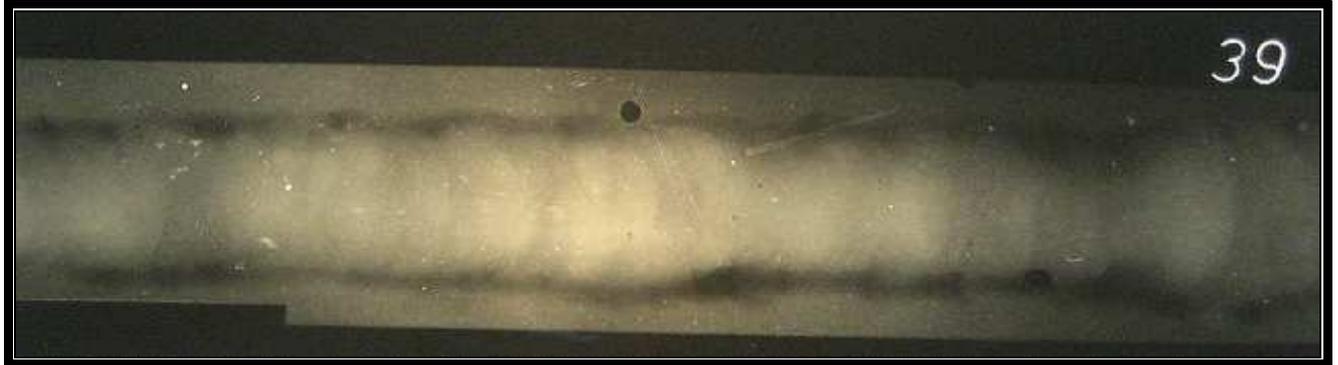


Imagen 39 (MARRÓN).

40 (ROJA): Este es el caso de una soldadura con un defecto de mordedura, que se extiende a lo largo de todo el cordón de la soldadura, y que presenta aún más gravedad que el caso anterior. Es un defecto muy grave y se califica la soldadura como MUY MALA.

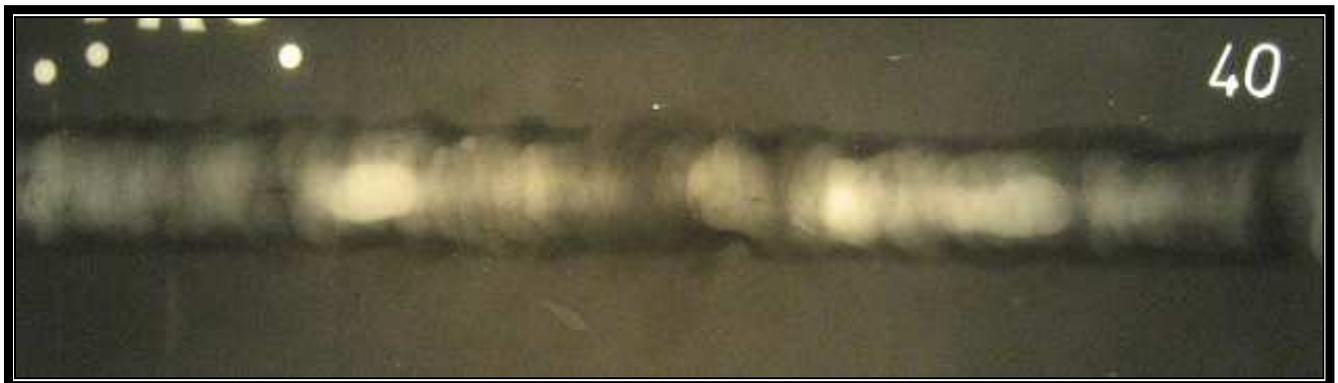


Imagen 40 (ROJA).



**5012: Mordedura intermitente.**

21 (MARRÓN): Soldadura con mordeduras intermitentes de tamaño considerable, que pueden provocar la fractura segura, en el momento en que fuesen sometidas a algún esfuerzo, por su baja resistencia. También se ven un par de salpicaduras en la parte inferior de la fotografía, pero que no revisten importancia, y alguna porosidad. Esta soldadura se desechará porque, como ya hemos dicho, se puede romper fácilmente.

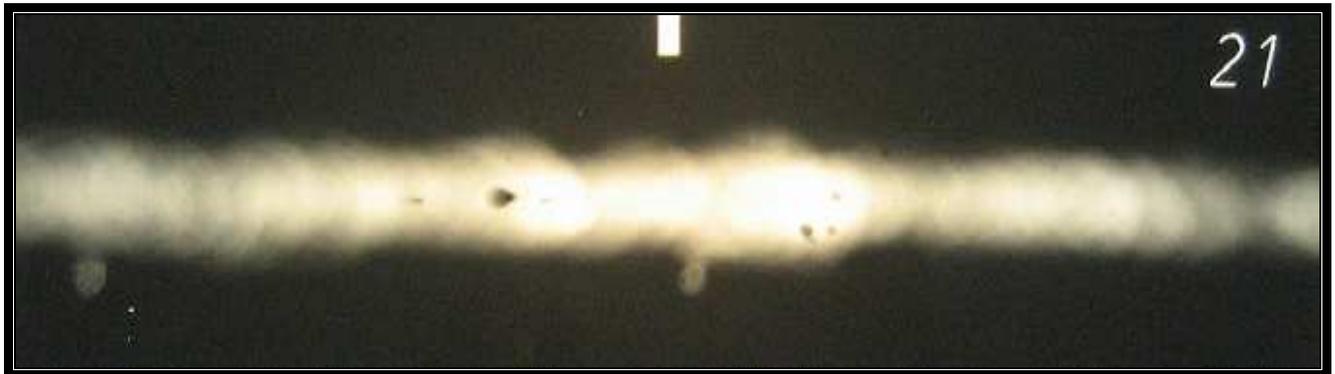


Imagen 21 (MARRÓN).

37 (AZUL): Soldadura en la que aparece algo de exceso de penetración en el cordón de raíz y dos mordeduras. Esta soldadura, para ser utilizada, debe ser reparada, rellenando la falta de material en las mordeduras y eliminando el exceso de material en el cordón, estando entonces en el caso de soldadura BUENA.

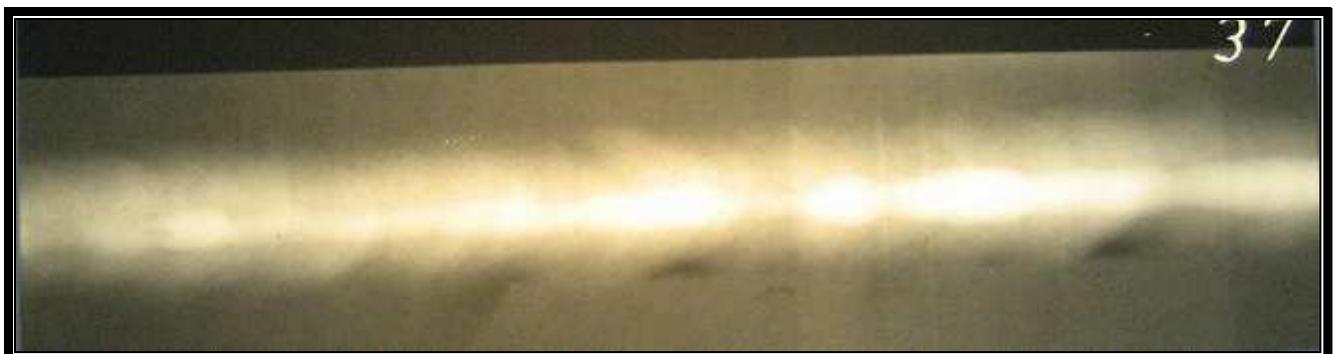


Imagen 37 (AZUL).



**5013: Surcos o mordeduras en la raíz.**

53 (MARRÓN): Esta soldadura presenta en el cordón de raíz unos surcos, que pueden disminuir su resistencia a los esfuerzos a los que pueda estar sometida. También se presenta, en este caso, una penetración incompleta en el mismo cordón de raíz. Esta soldadura puede romper fácilmente por lo que no podrá ser utilizada hasta su reparación. Calificamos, por tanto, esta soldadura como MALA.

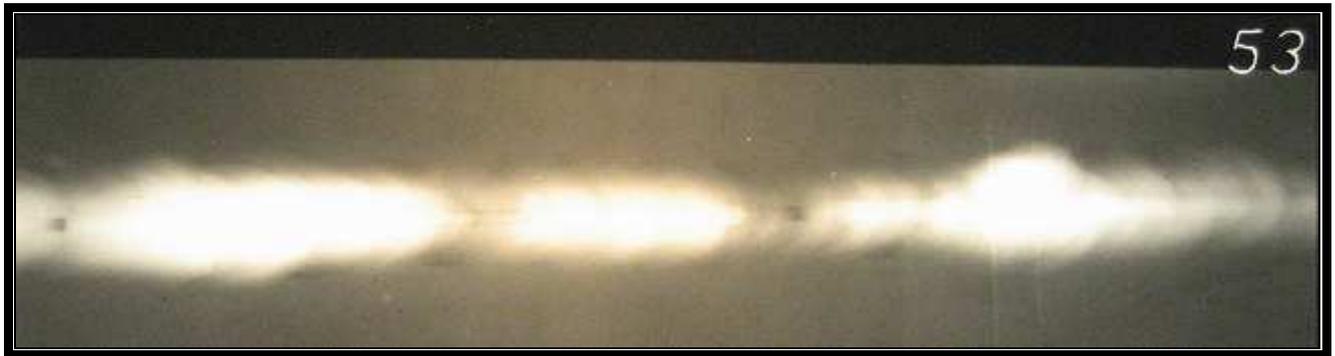


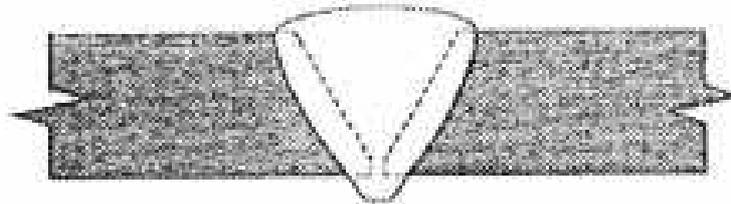
Imagen 53 (MARRÓN).



#### 504: Exceso de penetración.

Lugares donde el cordón de soldadura se colgó en el cordón de raíz. Aparecen manchas muy claras en formas ovaladas o alargadas en el centro del cordón que a veces presentan continuidad y otras son espaciadas.

API y ASME establecen que este defecto es aceptable con tolerancia de (3/32").



#### 5041: Exceso local de penetración.

102 (**NEGRA**): Se ve una penetración excesiva en varias zonas del cordón de soldadura, en él se pueden ver claramente las manchas claras que aparecen. También se observan unas mordeduras en algunas zonas del cordón, además de una zona oscura que puede ser una inclusión de metal o revestimiento del electrodo, si usa un tipo de electrodo revestido. Además de todo esto, y aunque no revistan demasiada importancia, podemos observar algunas salpicaduras.



Imagen 102 (**NEGRA**).



**507: Tubo desalineado.**

Dos tubos cuyas bocas que no coinciden en las líneas de sus paredes y que se encuentran asimétricas, ya sea en las circunferencias interna y externa o en cualquiera de ellas.

**Registro radiográfico:** En uno de los lados del centro del cordón se observa una mayor densidad que se revela por el tono más oscuro. Es necesario verificar bien ya que en ocasiones se confunde con el defecto de falta de penetración porque, aún cuando el primer cordón penetre bien, puede no fusionar el borde haciéndolo aparecer como falta de penetración.

101: Se observa el desalineamiento, pues se ve un lado del cordón más oscuro que el otro.

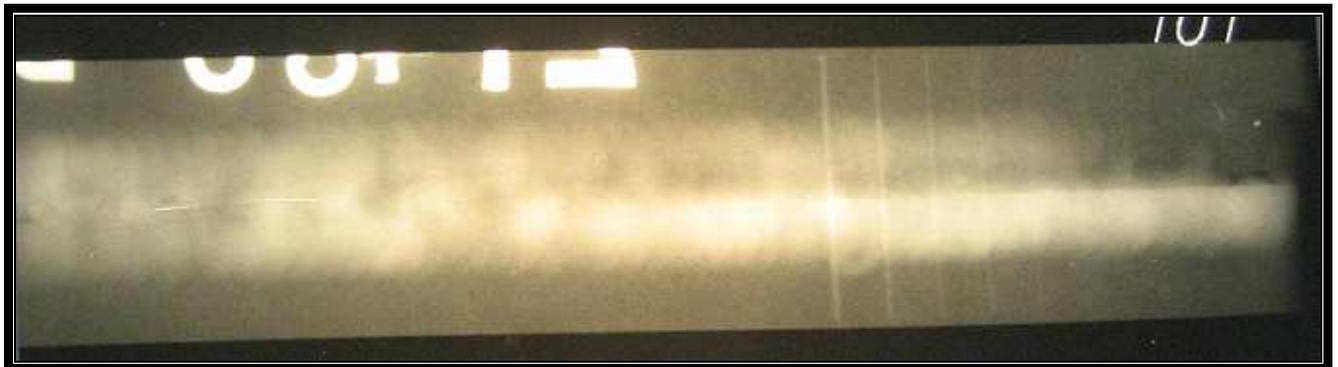


Imagen 101 (NEGRA).



**511: Falta de espesor o corona baja.**

Es un cordón de soldadura con un perfil incorrecto que presenta depresiones continuas o aisladas.

**Registro radiográfico:** En el centro del cordón se observan manchas oscuras bien definidas y con formas irregulares. Si este defecto es apreciable a simple vista, deberá identificarse para no confundir con otros defectos internos.

43 (**MARRÓN**): Este defecto no es tolerable si ocupa demasiada superficie, solamente, cuando esta es mínima. En este caso, la superficie que ocupa es considerable y por tanto, se desechará la soldadura, calificándose como soldadura MALA.



Imagen 43 (**MARRÓN**).



**514: Caras irregulares o soldadura desalineada.**

Es un cordón de soldadura que sigue una línea sinuosa y se va trasladando pronunciadamente a ambos lados del bisel que sirve del centro del cordón.

**Registro radiográfico:** En el centro se observa un registro claro, a los lados, el metal de la soldadura que forma la corona del cordón se aprecia en forma gris y claramente sinuosa, cargándose a uno y otro lado alternadamente.

API y ASME lo consideran defecto aceptable y se señala como falta de destreza en la técnica del soldador.

61 (**ROJO**): Se ve claramente la soldadura desalineada, y además presenta algunas grietas, que son las que hacen que esta soldadura se califique como MALA.



Imagen 61 (**ROJO**).



**515: Contracción o rechupe en la raíz.**

El rechupe es un lugar donde el metal de la soldadura se contrae formando canaladuras espaciadas en el centro del cordón de raíz y a un lado de dicho cordón, junto al metal base.

**Registro radiográfico:** Manchas oscuras en forma de islotes regularmente espaciadas, que se encuentran en el centro del cordón de raíz.

API y ASME establecen que el defecto es aceptable aunque señalan pobreza de técnica y posible punto de débil soldadura.

41 (AZUL): Se produce el rechupe a lo largo de toda la raíz del cordón de soldadura. Esta soldadura es aceptable y calificada como BUENA.

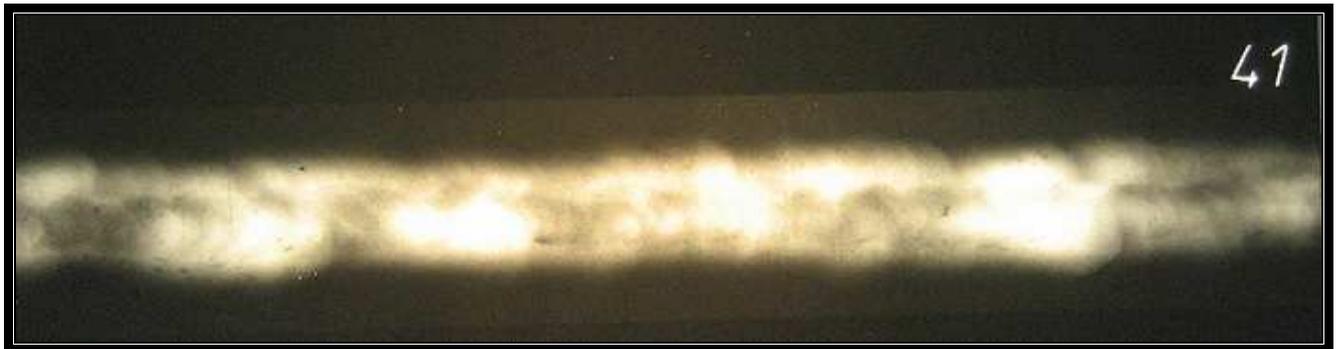


Imagen 41 (AZUL).

42 (VERDE): Rechupe a lo largo de toda la raíz del cordón de soldadura, pero que en este caso es más profundo que en el caso anterior. Aceptaremos o no esta soldadura según si la tarea que vaya a desempeñar creará o no grandes tensiones en la soldadura, por tanto la calificaremos como REGULAR.

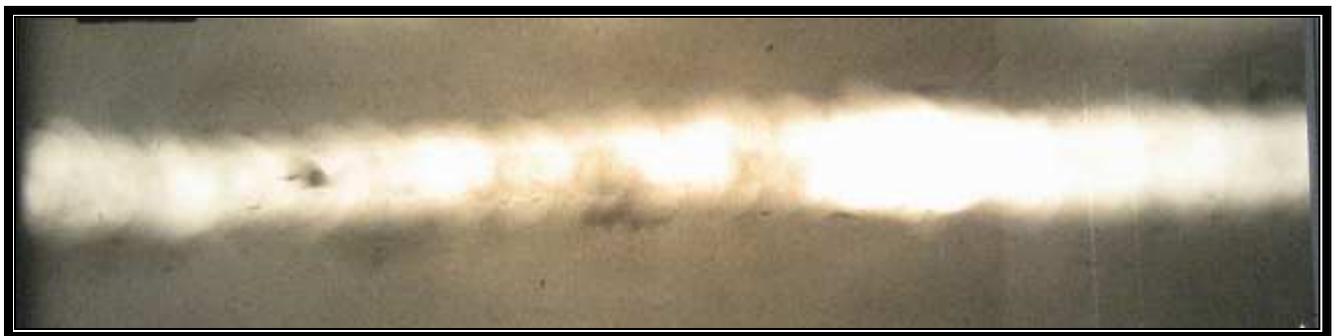


Imagen 42 (VERDE).



## SERIE 600: DEFECTOS VARIADOS.

### **602: Salpicaduras, proyecciones o perlas.**

3 (**NEGRO**): Son glóbulos de metal de soldadura expulsados durante la soldadura y adheridos a la superficie del metal base o al metal de soldadura solidificado.

En la radiografía se observan unos pequeños puntitos muy claros, que son esos glóbulos de que hablamos. Se trata de un defecto que no reviste importancia. Así, este ejemplo, que no tiene ninguna clase de defecto más, es el de una soldadura perfecta, calificándola, por tanto como MUY BUENA.



## 6-. EJEMPLO DE PROCEDIMIENTO SEGÚN ASME V y VIII.

### 1 OBJETO

El presente procedimiento establece el método operativo y criterios de aceptación para el examen radiográfico de uniones soldadas. El material podrá ser acero al carbono y / o acero inoxidable.

### 2 NORMAS DE APLICACIÓN

En la preparación de este procedimiento se han tenido en cuenta los siguientes códigos y normas en sus últimas ediciones.

- Código ASME Sec.V Art.1 y Art.2 (Edición 2004).
- Código ASME Sec.VIII Div.1, UW 51 (Edición 2004)
- Norma ASNT SNT-TC-1A (Edic.1992)
- Norma UNE-EN-473 (Edic.2001)
- Guías del Consejo de Seguridad Nuclear

### 3 CUALIFICACION DEL PERSONAL

Todo el personal que aplica la técnica de inspección radiográfica según el presente procedimiento está debidamente cualificado por una **Entidad de Certificación de Personal (END)** acreditada.

La cualificación mínima requerida será de Nivel I para el operador y de Nivel II para el personal que califique las radiografías, de acuerdo con las exigencias de la especificación ASNT SNT-TC-1A, Edición 1992 o de la norma europea UNE EN-473.

Toda persona que opere con un equipo que emita radiaciones estará en posesión de la correspondiente autorización del Consejo de Seguridad Nuclear.



## **4 MATERIAL A UTILIZAR**

### **4.1. FUENTES DE RADIACION**

Las radiografías se realizarán utilizando fuentes gammagráficas o de rayos X de las siguientes características:

- Fuentes de rayos X (de 600Kvp como máximo)
- Isótopo: Iridio 192
  - Tamaño de la fuente:  $3 \times 1,32 \text{ mm}$ ,  $2 \times 2,84 \text{ mm}$ , etc...
  - Intensidad de la fuente: Según necesidades de obra (de 5 a 80 Ci)

(Estas fuentes se utilizarán para todo el tipo de uniones y piezas a ensayar, siempre que se consiga la calidad requerida)

- Isótopo: Cobalto 60  
(Esta fuente solo se utilizará cuando el espesor del acero a radiografiar exceda de 63,6mm de espesor)

Los contenedores para alojamiento de las fuentes gammagráficas dispondrán del correspondiente certificado de estanqueidad, así como las fuentes gammagráficas irán acompañadas de su curva de decaimiento y certificado de hermeticidad. Dichos certificados serán emitidos por la empresa responsable de la recarga de los contenedores y extenderá siempre que se produzca dicha recarga.

En el caso de los equipos de Rayos X se revisarán cada 5 años, revisión que ha de ser documentada por la empresa acreditada a tal efecto, mediante el correspondiente certificado, además de realizar de manera anual las verificaciones internas del estado de los equipos.

### **4.2. PELICULAS**

Se podrán utilizar diferentes tipos de radiografías de grano fino y alto contraste, tales como:

- Agfa D4      Kodak MX

Otras películas podrían ser empleadas siempre que éstas se sometan a la aprobación de la empresa contratante y proporcionen la calidad requerida.

El formato a utilizar serán, o bien los Standard de 10x24, 10x40 y 10x48cm, (con o sin pantalla de plomo incorporadas).



### **4.3. PANTALLAS REFORZADORAS Y CHASIS**

Se emplearán pantallas reforzadoras de plomo de 0,1mm de espesor, tanto en el lado de la fuente, como en la parte posterior de la radiografía.

Las pantallas de plomo estarán perfectamente pulidas y exentas de rayaduras, suciedad y otras imperfecciones que pueden producir efectos perturbadores sobre las radiografías. Se retirarán aquellas pantallas que presenten cualquiera de los defectos enumerados anteriormente.

El ajuste de las pantallas en las radiografías será lo más perfecto posible, y se efectuará de forma correcta evitando presiones o roces que puedan producir anomalías o descargas electrostáticas.

#### **4.3.1. CHASIS**

Los chasis serán de tipo flexible, de forma que aseguren un contacto íntimo con la pieza a radiografiar, y de las películas y pantallas entre sí. En las radiografías con pantallas de plomo incorporadas, no será necesario la colocación de chasis, al venir estos ya incorporados.

#### **4.3.2. FIJACION**

Los chasis (conteniendo las pantallas y la placa radiográfica), se fijarán a la pieza a radiografiar mediante imanes, cinta adhesiva o cualquier otro sistema que permita un íntimo contacto entre piezas a radiografiar y el chasis.



#### **4.4. CASOS ESPECIALES**

En el caso de que por razones técnicas no se pudiera cumplir con los standard de calidad exigidos se podrán modificar los parámetros tanto de fuentes como de película siempre que se pacten estas condiciones con la empresa contratante de los trabajos.

#### **4.5. INDICADORES DE CALIDAD DE IMAGEN**

Los indicadores de calidad de imagen se utilizaran para la obtención de Standard de calidad necesarios en una imagen radiográfica, su utilización será como se indica en el Anexo II del presente procedimiento.

#### **4.6. NUMEROS DE IDENTIFICACION**

Atendiendo a las indicaciones del punto 10 del presente procedimiento, se utilizarán números de plomo con la finalidad de identificar la radiografía, los citados serán de tamaño comprendido entre 4 y 12mm.



## **5 ESTADO SUPERFICIAL**

El estado superficial de las soldaduras y el material base adyacente, será tal, que no se pueda confundir o enmascarar la imagen de cualquier irregularidad superficial con la de una discontinuidad.

En el caso de que esto suceda, se procederá a un amolado de la superficie hasta alcanzar las condiciones adecuadas para el examen radiográfico.

## **6 TECNICAS RADIOGRAFICA**

Teniendo en cuenta que siempre que sea posible, se utilizará la técnica de simple pared, pasamos a describir las distintas técnicas de exploración radiográfica, las cuales se encuentran también reflejadas en el **Anexo I** del presente procedimiento:

### **6.1. TECNICA DE SIMPLE PARED**

La radiación atravesará únicamente la soldadura a calificar, pudiéndose utilizar simple o doble radiografía dentro del mismo chasis.

#### **6.1.1. INTERPRETACION DE SIMPLE PARED**

Cuando la tubería y/o equipos tienen un diámetro superior a 3", se realizará la interpretación de una sola pared en la imagen radiográfica.

### **6.2. TECNICA DE DOBLE PARED**

La radiación atravesará dos paredes, pudiéndose utilizar simple o doble radiografía dentro del mismo chasis.

#### **6.2.1. INTERPRETACION DE DOBLE PARED**

Esta técnica deberá emplearse únicamente en tubería con diámetro inferior a 3" y se realizará la interpretación de ambas paredes en la misma imagen radiográfica.



## 7 FACTORES GEOMETRICOS

### 7.1. PENUMBRA GEOMETRICA

La máxima penumbra geométrica permisible será la siguiente:

Espesor material (máximo)	Penumbra geométrica
Menor de 2" (50,8mm)	0,02" (0,508mm)
De 2" a 3" (50,8 a 76,2mm)	0,03" (0,762mm)
De 3" a 4" (76,2 a 101,6mm)	0,04" (1,016mm)
Más de 4" (101,6mm)	0,07" (1,778mm)

La penumbra geométrica está basada en la siguiente fórmula:

$$P_g = \frac{F D}{d}$$

**P<sub>g</sub>**= Penumbra geométrica.

**F**= Tamaño de la fuente de radiación en mm. (Ø)

**D**= Distancia desde lado fuente de la soldadura a película en mm.  
(Dado que la película debe estar en contacto con la pieza a ensayar, este valor coincide con el espesor de la pieza a radiografiar y en técnicas a doble pared con el diámetro de la pieza).

**d**= Distancia fuente de radiación a soldadura en mm.(este valor determina la distancia mínima fuente-objeto)

### 7.2. DISTANCIA FUENTE PELICULA

En aquellos casos que la pieza permita el radiografiado en panorámica, se utilizará esta técnica.

Para el radiografiado a simple pared, se tendrán en cuenta la penumbra geométrica para la distancia mínima fuente película.

Para el radiografiado a doble pared, la distancia mínima vendrá dada por el diámetro de la pieza.



## **8 INDICADORES DE CALIDAD DE IMAGEN**

La imagen del indicador de calidad se usará como indicador básico, para determinar la calidad de cualquier radiografía. Se utilizará un indicador de calidad de imagen en cada radiografía, excepto en el caso que se realice una exposición panorámica donde se utilizarán al menos 3 indicadores a 120° cada uno.

El nivel de calidad requerido es del 2% (2-2t cuando usamos IQI del tipo taladro). Ver **Anexo II**

### **8.1. TIPOS**

Los indicadores de calidad de imagen, estarán de acuerdo con las tablas **T-276**, **T-233-1** y **T-233-2** de la norma **ASME Sec.V** (Edición 2004) y el código **ASTM E-747-97**.

En el **Anexo II**, se adjuntan las citadas tablas así como las figuras de los IQI y sus características.

### **8.2. COLOCACION**

Los indicadores de calidad de imagen se colocarán en la pieza a radiografiar del lado de la fuente.

Los indicadores de hilo se colocarán atravesando la soldadura.

El indicador de taladro se colocará adyacente a la soldadura.

Cuando no sea posible colocar el indicador de imagen del lado de la fuente motivado por la geometría de la pieza o a su situación, se colocará en el lado de la película en contacto con la parte examinada.

Así mismo se colocará una letra de plomo “F” junto al penetrámetro a la misma altura que la identificación del mismo.

La imagen del indicador de calidad se usará como indicador básico, para determinar la calidad de cualquier radiografía. Se utilizará un IQI en cada radiografía, excepto en el caso que se realice una exposición panorámica donde se utilizarán al menos 3 indicadores, a 120° cada uno, en el Anexo II se muestran algunos ejemplos de colocación de los IQI.



### **8.3. SHIMS**

- Los Shims serán de material radiográficamente similar al material a examinar.
- El espesor del Shim será igual al del sobreespesor total del cordón de soldadura.
- Las dimensiones del Shim excederán de las dimensiones del penetrámetro de forma que la imagen de las líneas exteriores de, al menos, tres lados del penetrámetro sean visibles en la radiografía.
- La posición del Shim será siempre debajo del penetrámetro y en contacto con el mismo.

## **9 DENSIDAD RADIOGRAFICA**

### **9.1. DENSIDAD MINIMA**

Para los casos de interpretación a simple película, la densidad radiográfica mínima será de 2 para radiografías realizadas con gammagrafía. Pudiendo llegar a 1,8 en el caso de que estas se realizaran con rayos X.

Para los casos de interpretación a doble película, esta densidad podría llegar a un mínimo de 1,3 medida en cada película.

### **9.2. DENSIDAD MAXIMA**

En ningún caso se puede sobrepasar la densidad de 4 (ni con simple ni con doble película).

### **9.3. MEDIDA DE DENSIDAD**

Si la densidad de la radiografía en cualquier punto del área de interés varía entre - 15% y +30% del valor medido en el IQI, se colocará un indicador adicional en cada área o áreas excepcionales, repitiéndose la radiografía.

Si de esta forma se cumplen los requisitos de densidad del párrafo 9.1, usaremos mas de un indicador de forma que uno representará el área de interes más clara y el otro la más oscura.



#### **9.4. VARIACIONES DE DENSIDAD**

La densidad se medirá con un densitómetro calibrado.( *Se aceptan desviaciones de +/- 0.05 en densidad.*)

#### **9.5. SENSIBILIDAD DE LA PELICULA**

Se considerarán como elementos esenciales que determinarán la sensibilidad de la radiografía, el que se manifiesten los hilos, taladros esenciales, que se especifican en las tablas de penetrámetros del **Anexo II**, atendiendo a los espesores a radiar.

### **10 IDENTIFICACION Y MARCADO DE LAS RADIOGRAFIAS**

Las radiografías llevarán las marcas de situación e identificación permanentes necesarias para poder localizar en todo momento la pieza, soldadura y el sector o zona a que corresponda la radiografía.

También pueden aparecer en las radiografías de forma permanente: el fabricante, la fecha, número de plano, símbolo o número de soldador, etc...

Las marcas anteriores pueden aparecer como imagen radiográfica por medio de números y letras de plomo, siempre y cuando no enmascaren la zona útil de interpretación.

El marcado sobre la pieza será de forma indeleble y sobre la película “siempre como imagen radiográfica”.

Se omitirá todo número o letra que no sea absolutamente imprescindible.

Cuando el sobreespesor del cordón de soldadura se encuentre esmerilado, se colocarán unas guías de referencia en plomo para poder identificar los límites de la soldadura en la radiografía.

Cuando se radiografíen soldaduras completas, se efectuará un solape entre radiografías de unos 2 cm aproximadamente.

En el caso de reparaciones, a las marcas indicadas en el primer párrafo, se añadirá la letra “R”.



Tanto los números como las letras de plomo, se situarán, o bien sobre la pieza a radiografiar, o bien sobre el chasis.

## **11 RADIACION SECUNDARIA**

Deberá protegerse la radiografía de la radiación secundaria proveniente de objetos situados en los laterales o bajo la radiografía, para lo cual, si fuera preciso se colocarán láminas de plomo con el fin de absorber dicha radiación.

Con el fin de detectar la posible radiación secundaria, siempre que se considere que esta puede existir, se colocará en la parte posterior del chasis una letra “B” de plomo. Si esta letra aparece en la radiografía con una imagen más clara que el fondo sobre el que se encuentra, nos indica que hay un exceso de radiación secundaria y la radiografía es rechazable.

Si la imagen de la letra “B” aparece más oscura que el fondo, nos indica que la radiación secundaria es aceptable y la radiografía es válida.

## **12 PROCESADO DE LAS RADIOGRAFIAS**

Las radiografías se procesarán en un cuarto oscuro siguiendo las recomendaciones del fabricante. Las radiografías estarán exentas de anomalías mecánicas y/o químicas que puedan perturbar la interpretación de las mismas, estas podrán ser procesadas de forma manual o automática.

## **13 EXAMEN DE LAS RADIOGRAFIAS**

Las radiografías se examinarán perfectamente secas. Antes de iniciar el examen de las radiografías, el inspector adaptará su vista a la penumbra el tiempo que fuera preciso.

El examen de las radiografías, se realizará en un local debidamente acondicionado con baja iluminación ambiental, y que no produzca reflejos o proyecte sombras perturbadoras para el inspector.

El negatoscopio tendrá una intensidad luminosa suficiente y regulable para que el indicador de calidad de imagen sea visible dentro del rango de las densidades especificadas.



Es recomendable que el negoscopio tenga capacidad de enmascaramiento de luz.

## **14 CRITERIOS DE ACEPTACION**

Los criterios de aceptación del presente procedimiento corresponden a lo indicado en el Código **ASME Sec.VIII Div.1 (Edic.2004/UW-51)** el cual indica que cualquier imperfección que supere los límites que seguidamente se establecen será considerada **inaceptable**:

- Cualquier tipo de **GRIETA, FALTA DE FUSIÓN o FALTA DE PENETRACION.**
- Cualquier tipo de imperfecciones alargadas que tengan una longitud mayor de:
  - 6mm para espesores (T) hasta 19mm
  - 1/3T para espesores (T) de 19mm a 57mm
  - 19mm para espesores (T) mayores de 57mm(DONDE "T" ES EL ESPESOR DE LA SOLDADURA)
- Grupos de indicaciones alineadas que tengan una longitud acumulada mayor que (T) en una longitud de 12T, excepto cuando la distancia entre indicaciones sucesivas sea superior a 6L, siendo L la longitud de la indicación más larga.
- Indicaciones redondeadas que excedan lo especificado en las cartas de porosidad indicadas en el **Anexo III** del presente procedimiento.

## **15 INFORME FINAL Y ARCHIVO**

Los resultados de la inspección radiográfica se presentarán en un informe final, cuyos formatos se adjuntan en el **Anexo IV**.

Las radiografías se entregarán al cliente junto con su informe para archivo.



## **ANEXO I: TECNICAS RADIOGRAFICAS**

---

**Disposiciones generales para radiografiado de uniones en ángulo**

**Disposiciones para radiografiado de uniones tubulares:**

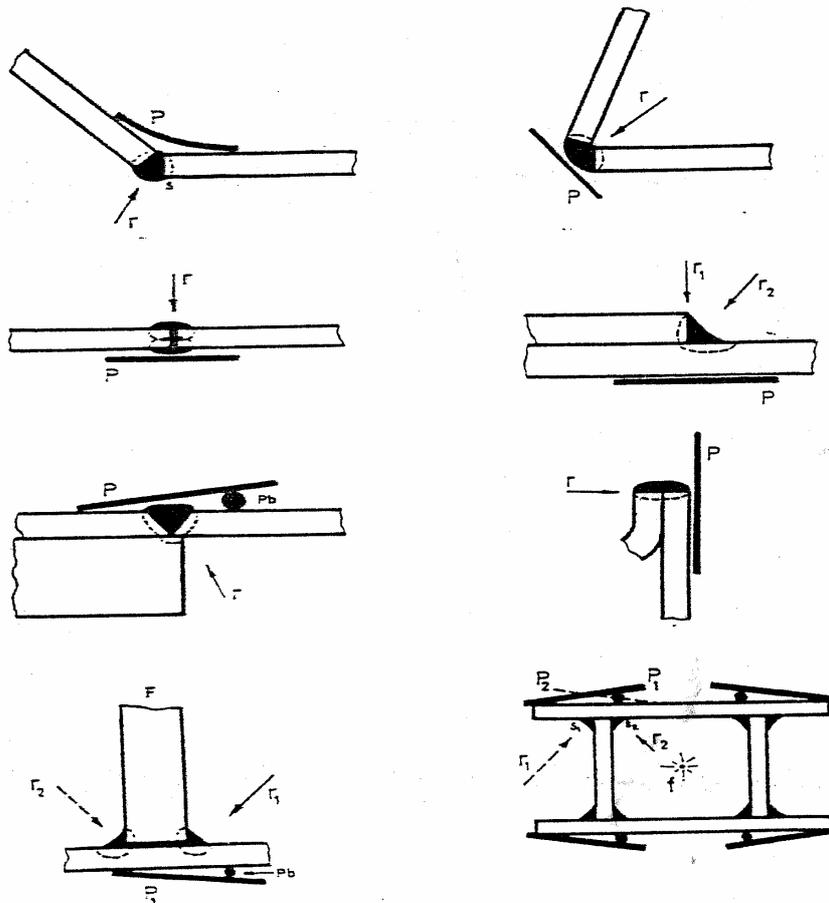
**Técnica de Simple pared, Apartados A, B y C**

**Técnica de Doble pared-Doble Imagen, Apartado F**

**Técnica de Doble pared-Simple Imagen, Apartados D y E**



**DISPOSICIONES GENERALES PARA RADIOGRAFIADO DE UNIONES EN ANGULO**



**LEYENDA**      P: Placa radiográfica  
                      r: dirección de radiación



**DISPOSICIONES PARA RADIOGRAFIADO DE UNIONES TUBULARES**

**Técnica de Simple pared, Apartados A, B y C**

Técnica Exposición	Inter.- pretación sobre	Posición relativa		
		Fuente	Objeto	Película
		Sección Transversal	Sección Longitudinal	Apartado
Pared simple	Una sola pared			<b>A</b>
Pared sencilla	Una sola pared			<b>B</b>
Pared sencilla	Una sola pared			<b>C</b>



**Técnica de Doble pared-Simple Imagen, Apartados D y E**  
**Técnica de Doble pared-Doble Imagen, Apartados F**

Técnica Exposición	Interpretación sobre	Posición relativa		
		Fuente Sección Transversal	Objeto Sección Longitudinal	Película Apartado
Doble pared	Una sola Pared  Al menos tres exposiciones a 120°			D
Doble pared	Una sola Pared  Mínimo tres exposiciones a 60°  Imágenes superpuestas			E
Doble pared	Una sola pared  Mínimo dos exposiciones a 90°  Imagen del lado de la película y de la fuente			F



## **ANEXO II: INDICADORES DE CALIDAD DE IMAGEN**

**IQI de TALADROS  
IQI de HILO**

**CONFORME NORMAS:**

ASME sec.V, Tabla T-276

ASME sec.V, Tablas T-233-1 y T-233-2

ASTM E-747-97

**EJEMPLOS DE COLOCACION DE IQI.**



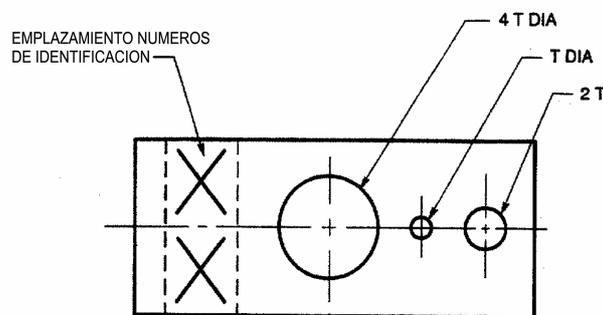
**TABLA T-276**  
**REQUERIMIENTOS PARA EL IQI DE TALADROS**

ESPESOR NOMINAL DE PARED (mm)	LADO FUENTE		LADO PELICULA	
	DESIGNACION IQI DE TALADRO	TALADRO ESENCIAL VISIBLE	DESIGNACION IQI DE TALADRO	TALADRO ESENCIAL VISIBLE
Hasta 6,4 (incluido)	12	2T	10	2T
Desde 6,4 a 9,5	15	2T	12	2T
Desde 9,5 a 12,7	17	2T	15	2T
Desde 12,7 a 19,0	20	2T	17	2T
Desde 19,0 a 25,4	25	2T	20	2T
Desde 25,4 a 38,1	30	2T	25	2T
Desde 38,1 a 50,8	35	2T	30	2T
Desde 50,8 a 63,5	40	2T	35	2T
Desde 63,5 a 101,6	50	2T	40	2T
Desde 101,6 a 152,4	60	2T	50	2T
Desde 152,4 a 203,2	80	2T	60	2T
Desde 203,2 a 254,0	100	2T	80	2T
Desde 254,0 a 304,8	120	2T	100	2T
Desde 304,8 a 406,4	160	2T	120	2T
Desde 406,4 a 508,0	200	2T	160	2T



**TABLA T-233.1**  
**DESIGNACION DE PENETRAMETRO**  
**DE TALADRO**  
**ESPESOR Y DIAMETRO DE TALADRO**

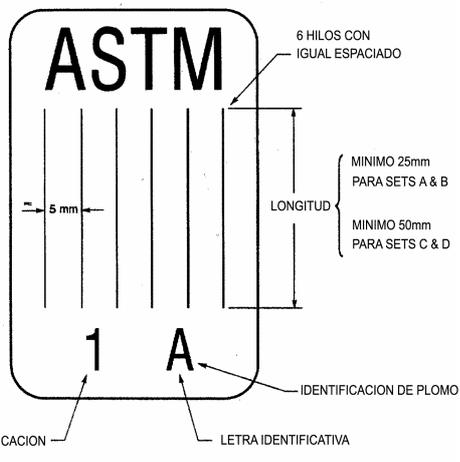
DESIGNACION	ESPESOR (mm)	∅ TALADRO 1T (mm)	∅ TALADRO 2T (mm)	∅ TALADRO 4T (mm)
5	0,13	0,25	0,51	1,02
7	0,19	0,25	0,51	1,02
10	0,25	0,25	0,51	1,02
12	0,32	0,32	0,64	1,27
15	0,38	0,38	0,76	1,52
17	0,44	0,44	0,89	1,78
20	0,51	0,51	1,02	2,03
25	0,64	0,64	1,27	2,54
30	0,76	0,76	1,52	3,05
35	0,89	0,89	1,78	3,56
40	1,02	1,02	2,03	4,06
45	1,14	1,14	2,29	4,57
50	1,27	1,27	2,54	5,08
60	1,52	1,52	3,05	6,10
70	1,78	1,78	3,56	7,11
80	2,03	2,03	4,06	8,13
100	2,54	2,54	5,08	10,16
120	3,05	3,05	6,10	12,19
140	3,56	3,56	7,11	14,22
160	4,06	4,06	8,13	16,26
200	5,08	5,08	10,16	....
240	6,10	6,10	12,19	.....
280	7,11	7,11	14,22	....





**TABLA T-276**  
**REQUERIMIENTOS PARA EL IQI DE HILOS**

ESPESOR NOMINAL DE PARED (mm)	LADO FUENTE		LADO PELICULA	
	IDENTIFICACION DE HILO	DIAMETRO DE HILO	IDENTIFICACION DE HILO	DIAMETRO DE HILO
Hasta 6,4 (incluido)	5	0,203	4	0,152
Desde 6,4 a 9,5	6	0,254	5	0,203
Desde 9,5 a 12,7	7	0,330	6	0,254
Desde 12,7 a 19,0	8	0,406	7	0,330
Desde 19,0 a 25,4	9	0,508	8	0,406
Desde 25,4 a 38,1	10	0,635	9	0,508
Desde 38,1 a 50,8	11	0,812	10	0,635
Desde 50,8 a 63,5	12	1,016	11	0,812
Desde 63,5 a 101,6	13	1,270	12	1,016
Desde 101,6 a 152,4	14	1,600	13	1,270
Desde 152,4 a 203,2	16	2,540	14	1,600
Desde 203,2 a 254,0	17	3,200	16	2,540
Desde 254,0 a 304,8	18	4,064	17	3,200
Desde 304,8 a 406,4	20	6,350	18	4,064
Desde 406,4 a 508,0	21	8,128	20	6,350



PARA SETS A & B, LA MINIMA DISTANCIA ENTRE HILOS NUNCA SERA MENOR DE 3 VECES EL DIAMETRO Y NUNCA EXCEDERA LOS 5mm

PARA SETS C & D, LA MINIMA DISTANCIA ENTRE HILOS NUNCA SERA MENOR DE 3 VECES EL DIAMETRO Y NUNCA EXCEDERA LOS 19mm

Los penetrámetros se componen de 6 filamentos y placas de identificación, recubiertos de PVC transparente, según ASTM E-747-97, el material de los filamentos es de ac.carbono para los del grupo 1 y de ac.inox para los del grupo 3.

Existen 4 grupos:

Grupo A para espesores de 6,35 a 19,1 mm

Grupo B para espesores de 19,1 a 44,4 mm

Grupo C para espesores de 44,4 a 102 mm

Grupo D para espesores de 102 a 152 mm



PROYECTO FIN DE CARRERA:  
BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS  
EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION  
RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES  
METALICOS.

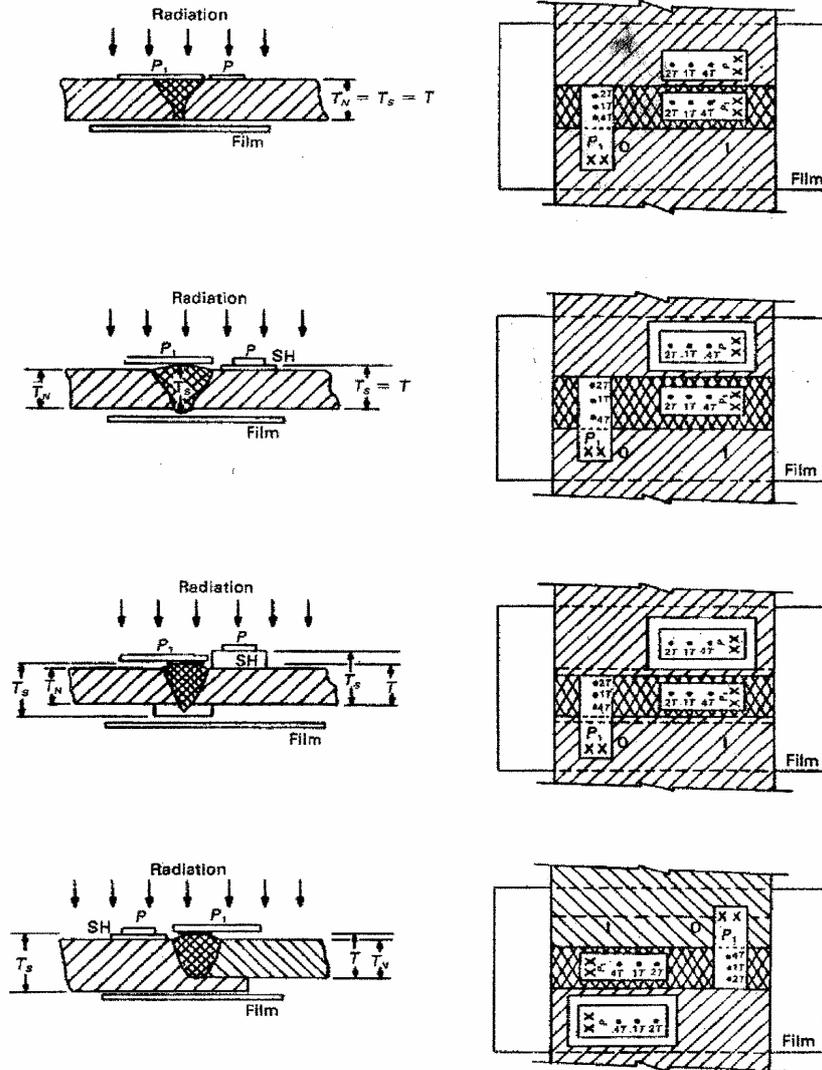
Hoja 194 de 221

**DIAMETROS DE HILO PARA IQI DE HILO (mm)**

SET A		SET B		SET C		SET D	
Ø HILO (mm)	IDENT. HILO						
0,08	1	0,25	6	0,81	11	2,54	16
0,10	2	0,33	7	1,02	12	3,20	17
0,13	3	0,41	8	1,27	13	4,06	18
0,16	4	0,51	9	1,60	14	5,08	19
0,20	5	0,64	10	2,03	15	6,35	20
0,25	6	0,81	11	2,54	16	8,13	21



**EJEMPLOS DE COLOCACION DE IQI**



NOTAS:

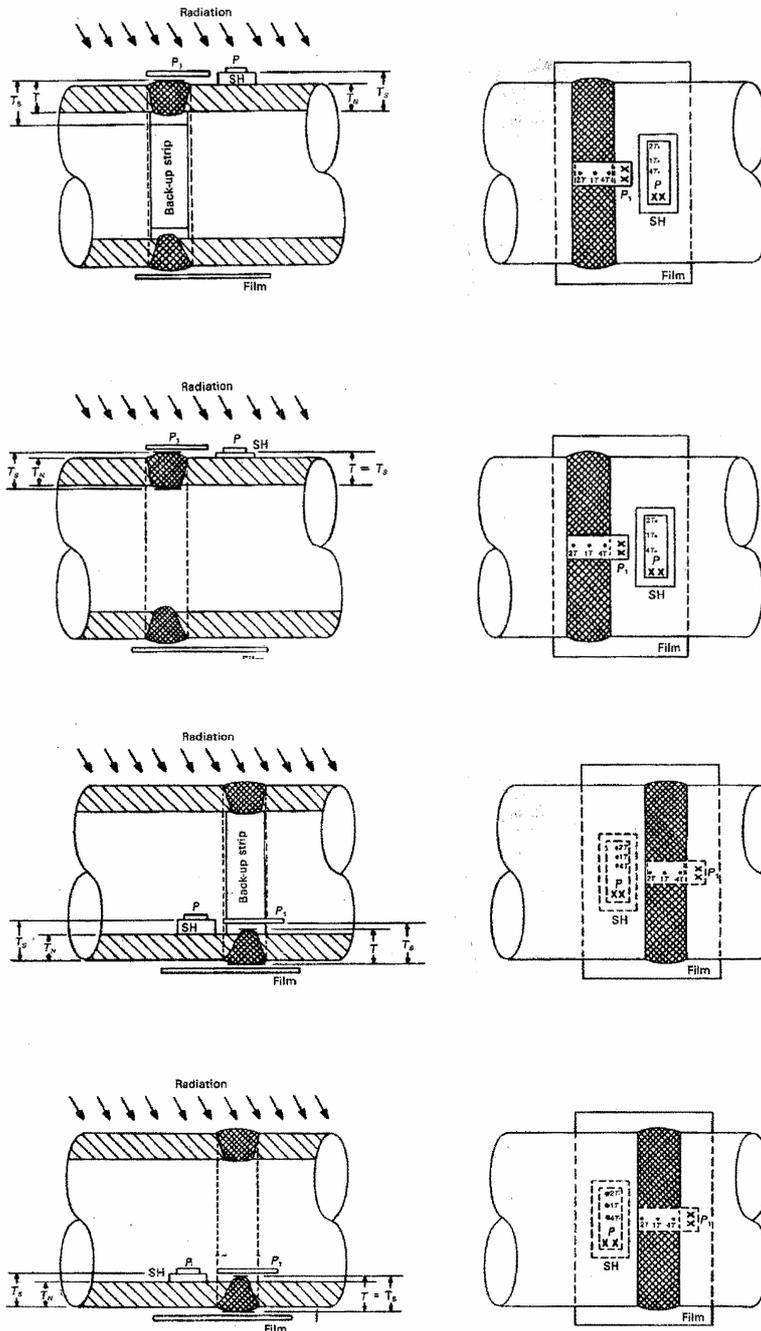
P y P1 son las distintas posiciones posibles de colocación de los IQI, pudiendo utilizarse otras posiciones debido a la configuración geométrica de la pieza o la producción radiográfica.

LEYENDA:

- P=Colocación IQI
- P1=Colocación IQI alternativa
- SH=Shim
- T=Espesor de soldadura sobre el que se sitúa el IQI
- TN=Espesor nominal de la pared
- TS=Espesor total de penetración



**PROYECTO FIN DE CARRERA:**  
**BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS**  
**EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION**  
**RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES**  
**METALICOS.**



**NOTAS:**

P y P1 son las distintas posiciones posibles de colocación de los IQI, pudiendo utilizarse otras posiciones debido a la configuración geométrica de la pieza o la producción radiográfica.

**LEYENDA:**

- P=Colocación IQI
- P1=Colocación IQI alternativa
- SH=Shim
- T=Espesor de soldadura sobre el que se sitúa el IQI
- TN=Espesor nominal de la pared
- TS=Espesor total de penetración



**PROYECTO FIN DE CARRERA:  
BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS  
EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION  
RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES  
METALICOS.**

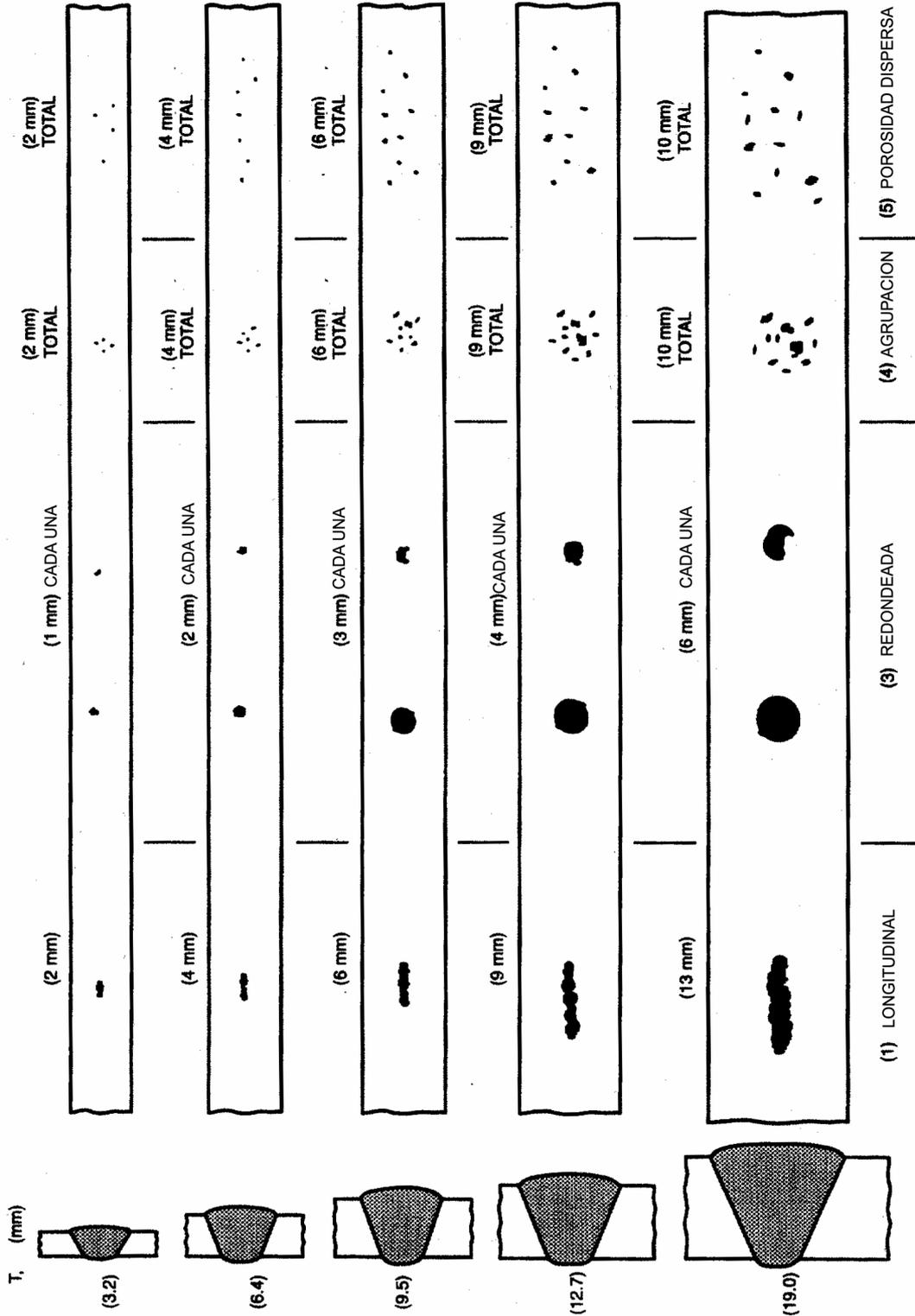
Hoja 197 de 221

### **ANEXO III: CARTAS DE POROSIDAD**

---



PROYECTO FIN DE CARRERA:  
BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS  
EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION  
RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES  
METALICOS.



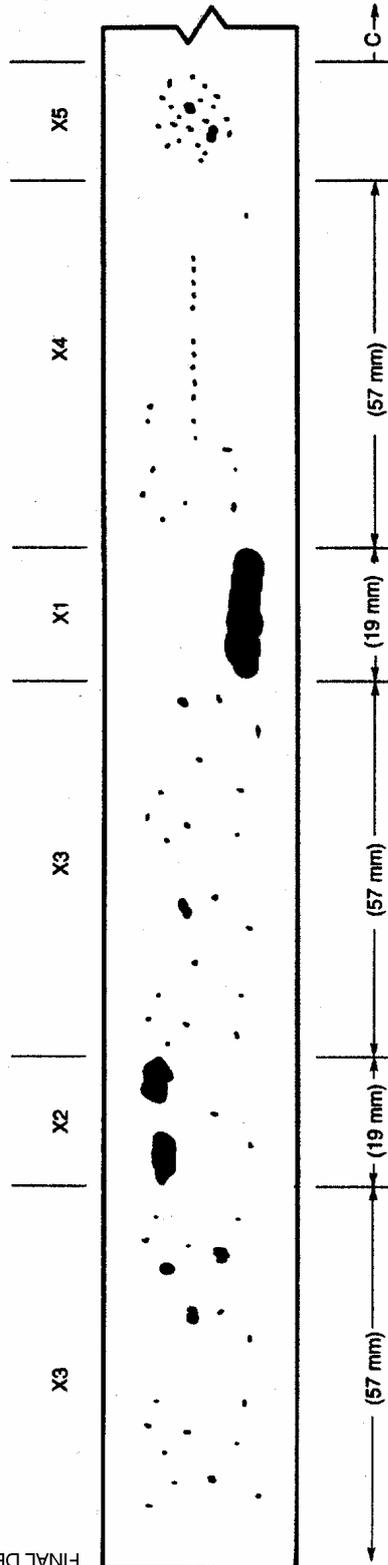
TIPICAS SECCIONES  
DE SOLDADURA



PROYECTO FIN DE CARRERA:  
BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS  
EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION  
RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES  
METALICOS.

Hoja 199 de 221

FINAL DE LA SOLDADURA



NOTAS:

1. C - MINIMO ESPACIO LIBRE PERMITIDO ENTRE BORDES DE DISCONTINUIDADES IGUALES O MAYORES A 2mm. RIGE LA MAYOR DE LAS DISCONTINUIDADES
2. X1 - MAXIMA INDICACION ALARGADA PERMITIDA PARA SOLDADURAS DE ESPESOR (29mm)
3. X2 - MULTIPLES INDICACIONES CON LONGITUDES DENTRO DE LOS LIMITES ACEPTABLES DE LA TABLA 1 PUEDEN SER CONSIDERADAS COMO UNA INDICACION
4. X3 y X4 - DISCONTINUIDADES REDONDEADAS MENORES DE 2mm
5. X5 - INDICACIONES REDONDEADAS AGRUPADAS. TENIENDO LA AGRUPACION DE TODOS LOS POROS UN DIAMETRO MAXIMO DE 19mm SERAN TRATADOS COMO UNA UNICA INDICACION REDONDEADA DE DIAMETRO 19mm.

INTERPRETACION:

LAS DISCONTINUIDADES ALARGADAS Y/O REDONDEADAS SON ACEPTABLES COMO SE MUESTRAN EN LA FIGURA. TODAS ESTAN REPRESENTADAS CON SUS LIMITES MAXIMOS DE TAMAÑO PERMITIDO Y MINIMO ESPACIO LIBRE ENTRE DISCONTINUIDADES O FINAL DE LA UNION SOLDADA.



*PROYECTO FIN DE CARRERA:*  
**BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS  
EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION  
RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES  
METALICOS.**

Hoja 200 de 221

## **ANEXO IV: MODELO DE INFORME**

---







**PROYECTO FIN DE CARRERA:  
BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS  
EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION  
RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES  
METALICOS.**

Hoja 203 de 221

**7-. EJEMPLOS.**

Todas las placas están realizadas en posición vertical ascendente (PF) y bajo techo (PE), el material base es Acero al carbono grupo 1, el espesor de la chapa es de 10 mm. y es una soldadura a tope realizada con electrodo básico de 3,2.

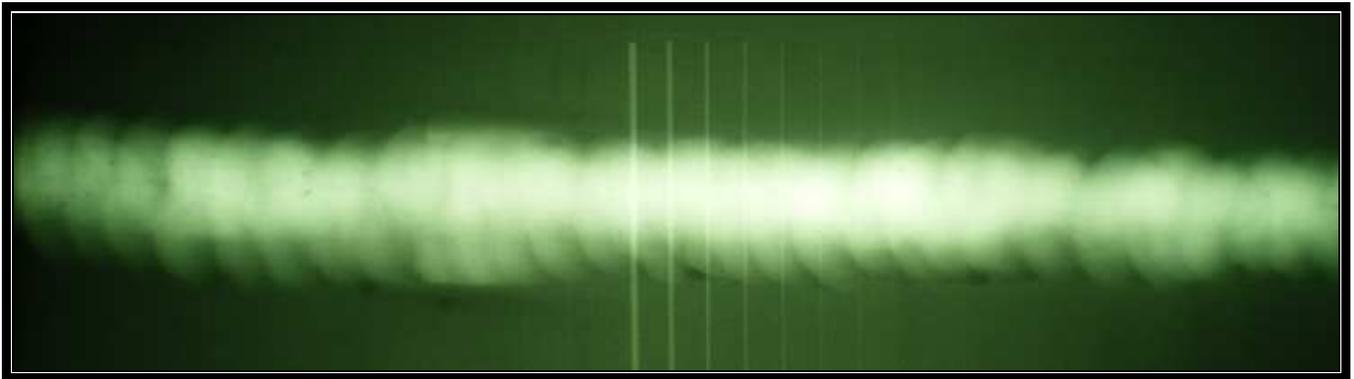
Las placas se evaluarán como se haría en un informe de inspección radiográfica realizado por un inspector de radiográfico de Nivel II.



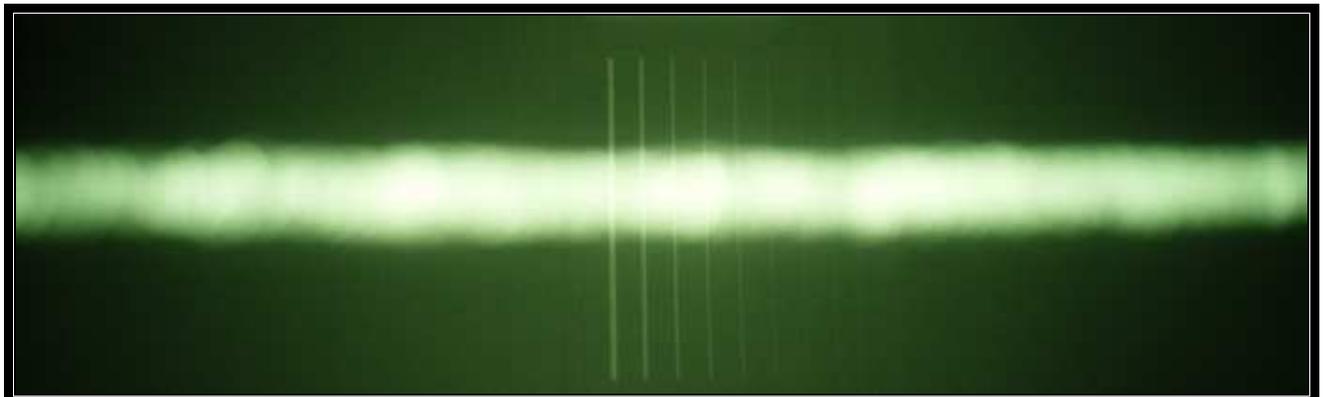
PH10 – JR – PEPF



PH13 – JR – PEPF

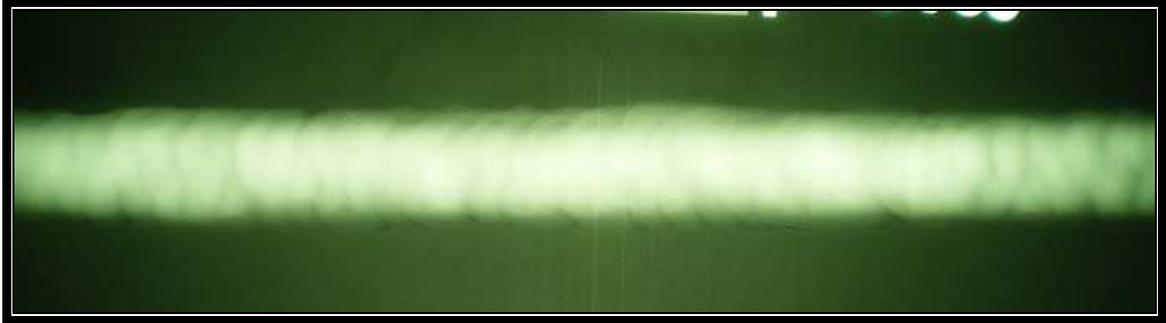


PH14 – RP – PEPF

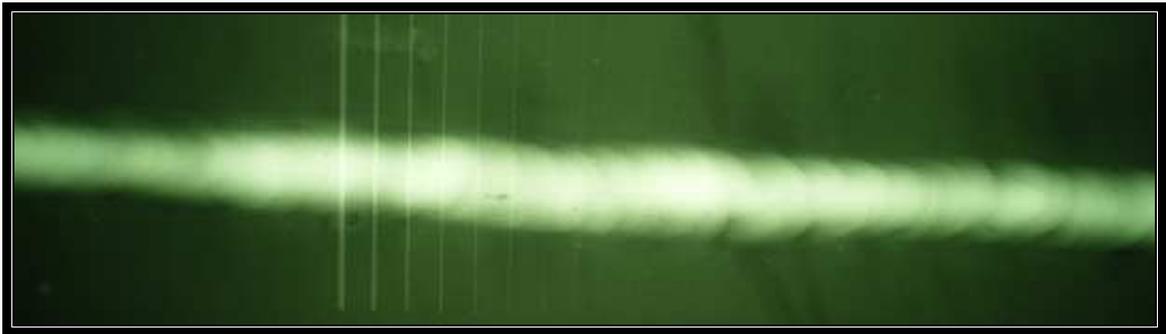




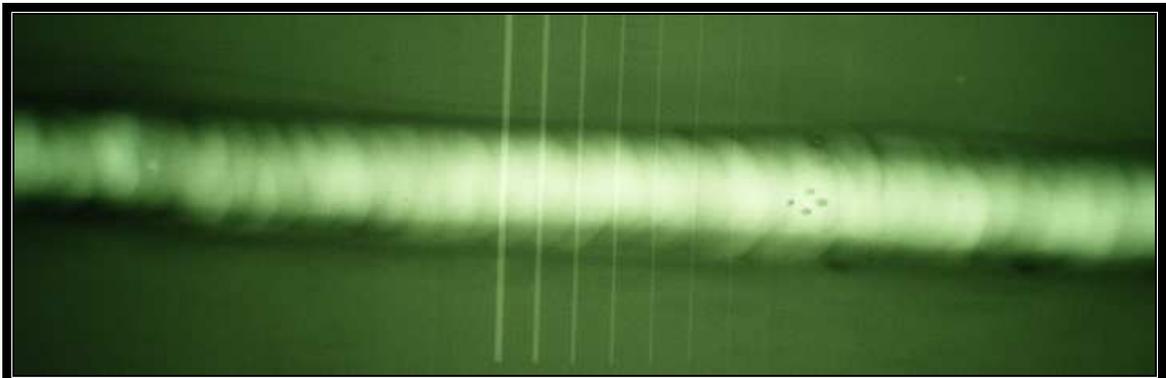
PH15 – VI – PEPF



PH16 – FF – PEPF



PH17 – JCM – PEPF





**PROYECTO FIN DE CARRERA:**  
**BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS**  
**EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION**  
**RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES**  
**METALICOS.**

Hoja 206 de 221

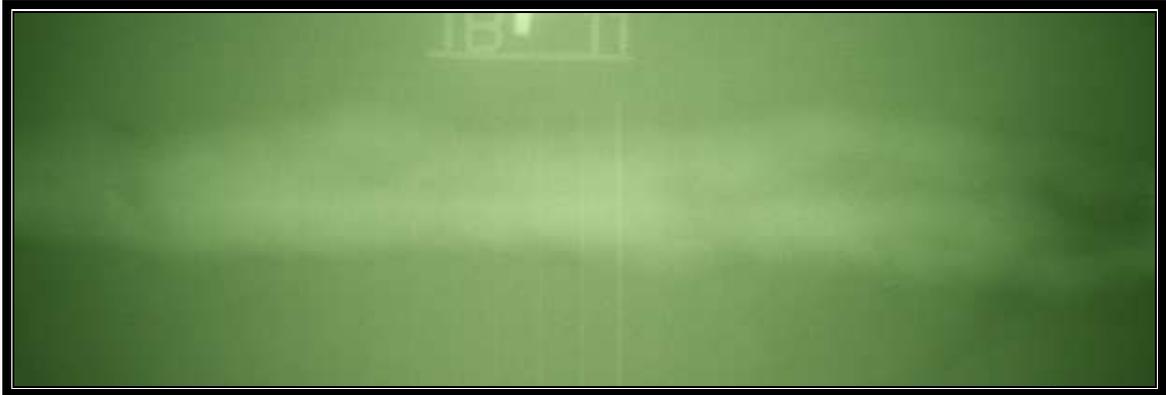
Identificación Nº de soldadura		TIPO DE DEFECTO												Interpretación y Calificación:  A = Aceptable R = Rechazable	
		Poros	Poros Vermicular	Escoria Irregular	Escorias Alineadas	Falta de Fusión	Falta de penetración	Grieta Longitudi	Grieta transversal	Mordedura	Inclusión Flux Tunast	Cráter	Otros defectos		
Sector	Soldadura	Aa	Ab	Ba	Bb	C	D	Ea	Eb	F	gh	K	O	Calific.	Obse
0-1	PH10-JRM-	X												A	
0-1	PH13-JR-	X		X										R	
0-1	PH14-RP-	X												A	
0-1	PH15-VI-			X								X		A	
0-1	PH16-FF-	X		X								X		A	
0-1	PH17-JCM-	X										X		A	



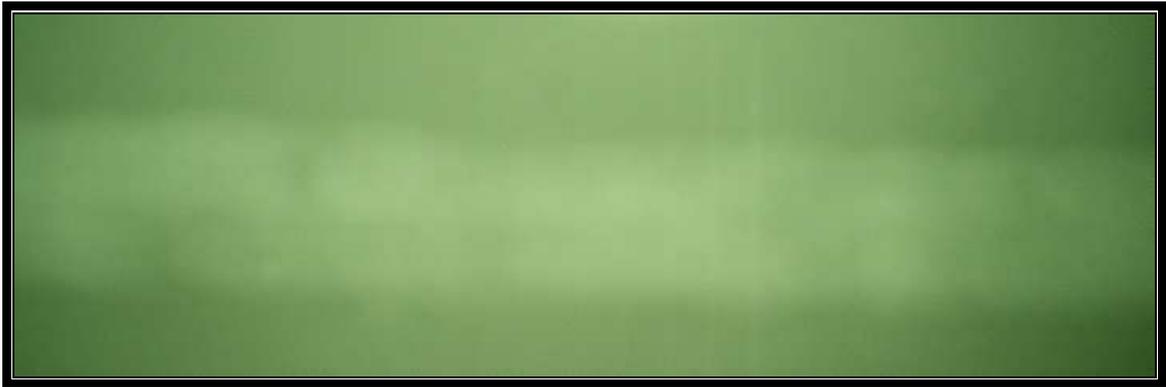
**PROYECTO FIN DE CARRERA:  
BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS  
EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION  
RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES  
METALICOS.**

Hoja 207 de 221

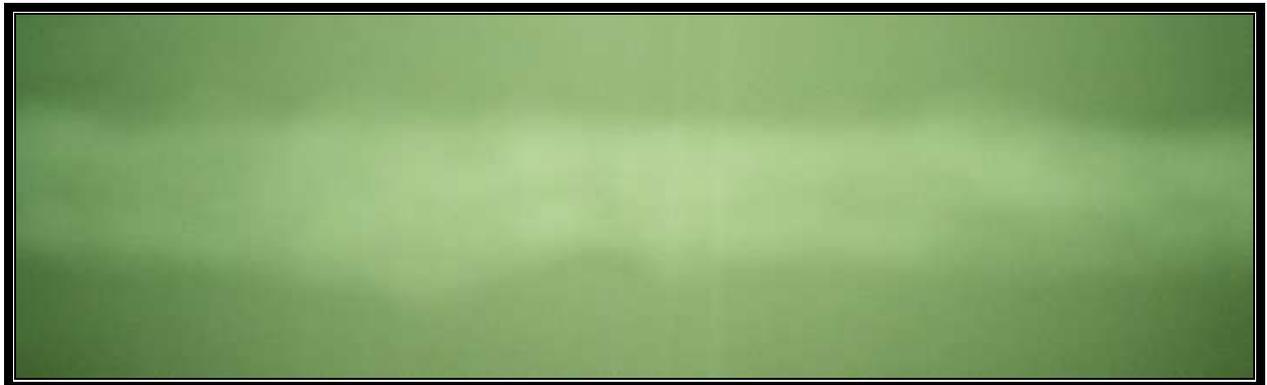
**HS – PH3**



**HS – PH4**

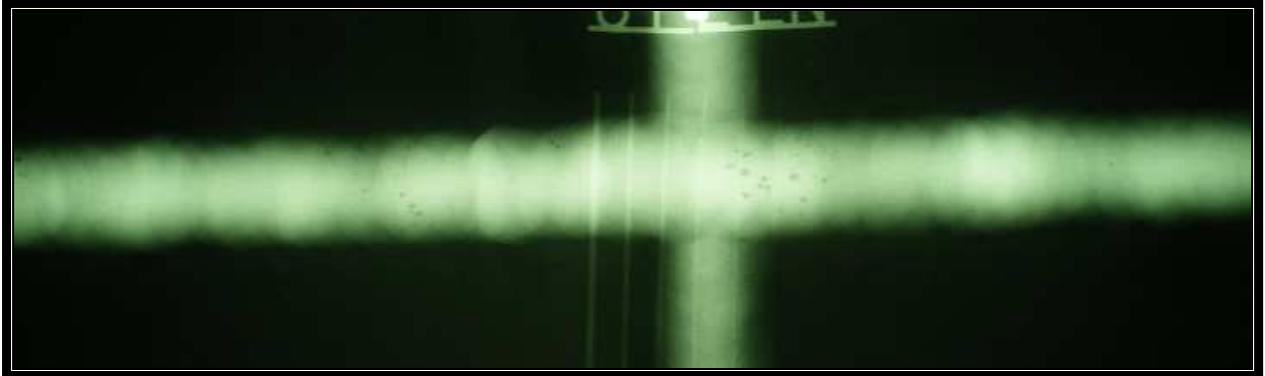


**HS – PH5**

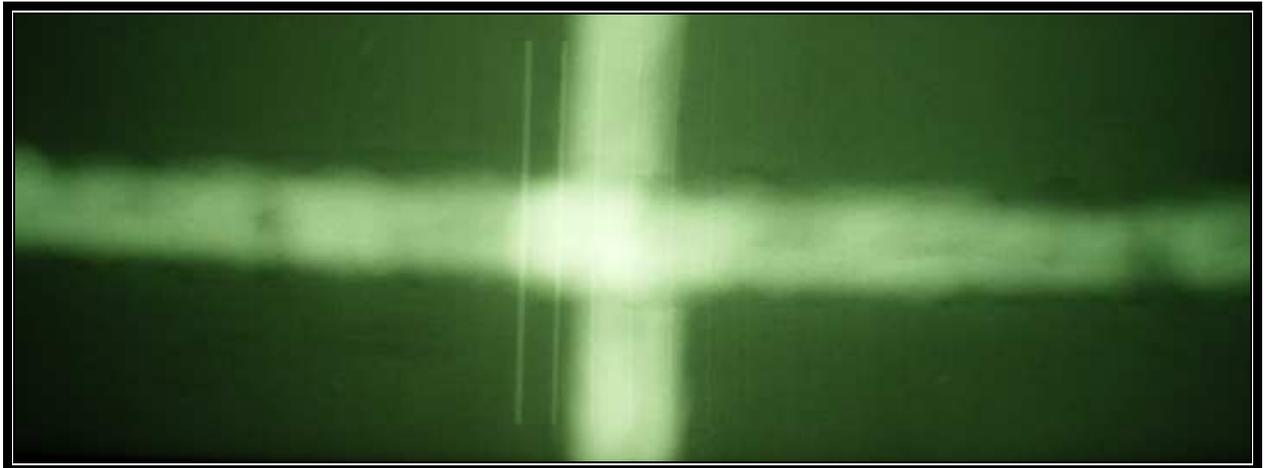




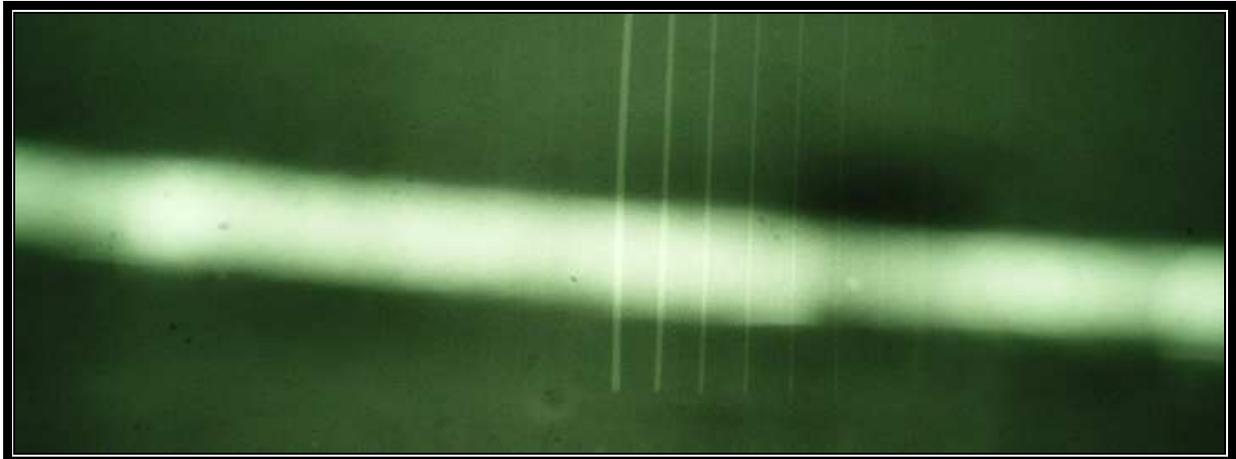
PH7 – FA – PF



PH8 – MP – PF



PH7 – PE - PF





**PROYECTO FIN DE CARRERA:**  
**BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS**  
**EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION**  
**RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES**  
**METALICOS.**

Hoja 209 de 221

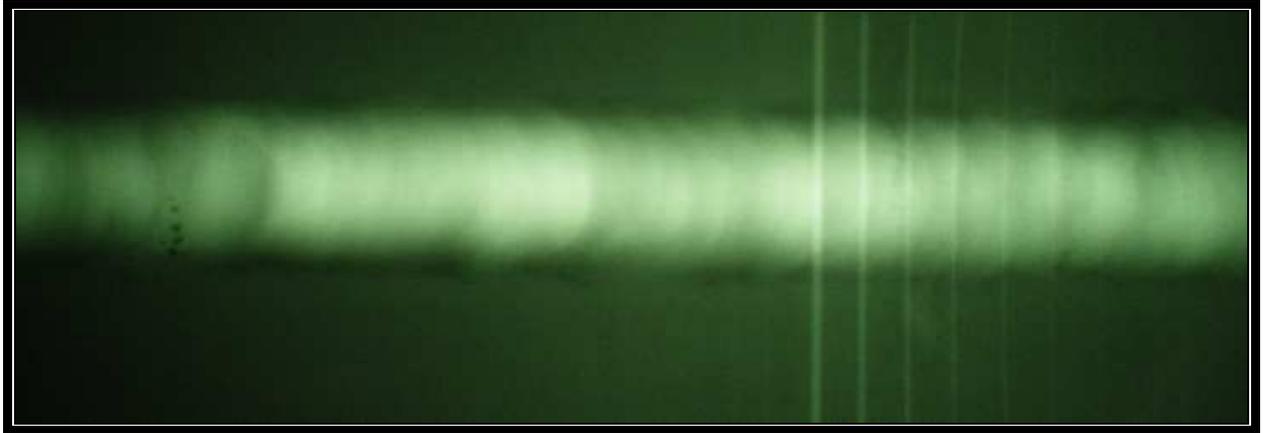
Identificación Nº de soldadura		TIPO DE DEFECTO												Interpretación y Calificación:  A = Aceptable R = Rechazable	
		Poros	Poros Vermicular	Escoria Irregular	Escorias Alineadas	Falta de Fusión	Falta de penetración	Grieta Longitudi	Grieta transversal	Mordedura	Inclusión Flux Tunast	Cráter	Otros defectos		
Sector	Soldadura	Aa	Ab	Ba	Bb	C	D	Ea	Eb	F	gh	K	O	Calific.	Obse
0-1	HS - PH3	X												A	
0-1	HS - PH4													A	
0-1	HS - PH5			X										A	
0-1	PH7-FAPF	X												R	
0-1	PH8-MPPF									X				A	
0-1	PH9-VPPF	X												R	
0-1	PH7-PEPF	X												R	



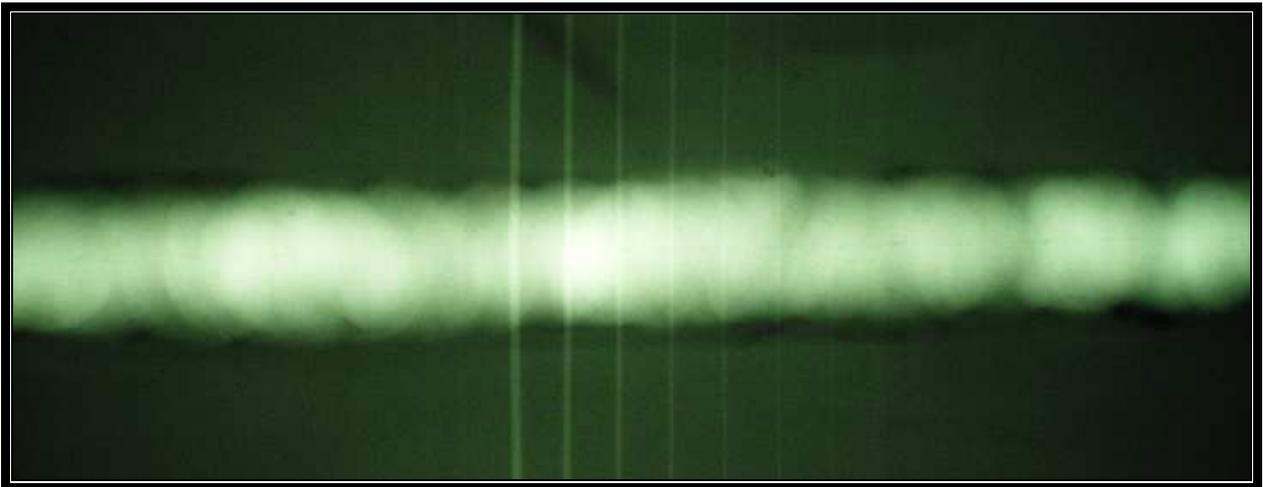
**PROYECTO FIN DE CARRERA:  
BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS  
EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION  
RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES  
METALICOS.**

Hoja 210 de 221

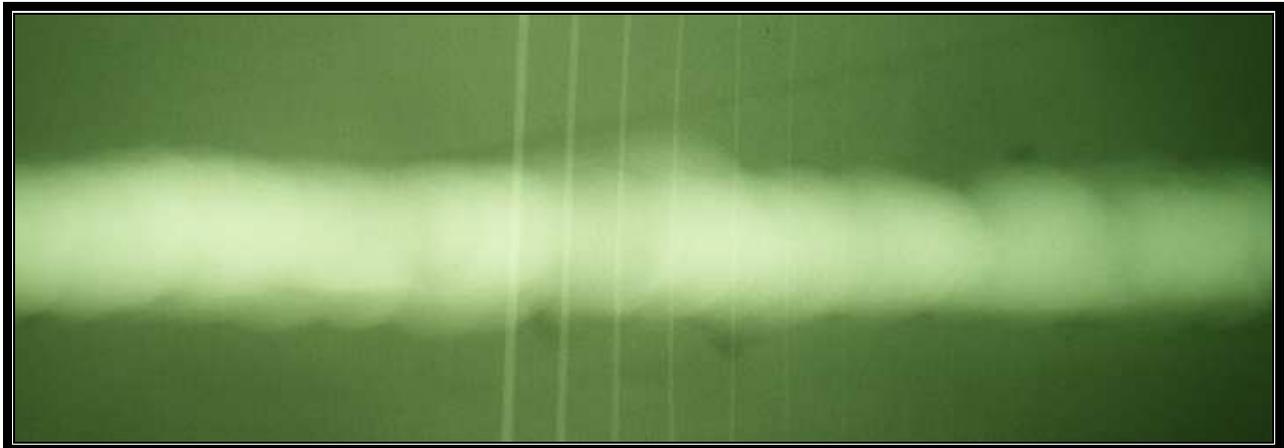
**PH7 LL PF**



**PH9 AO PF**



**PH9 PF AO**





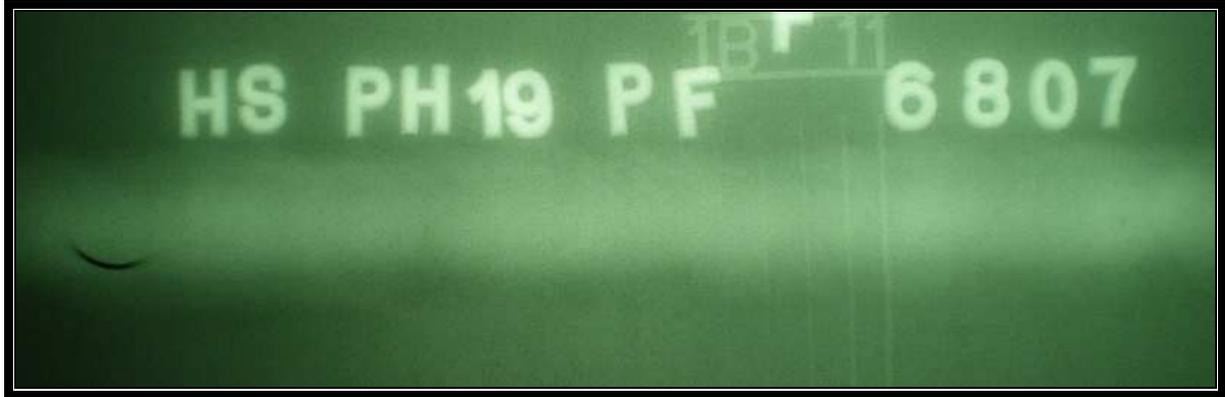
**PROYECTO FIN DE CARRERA:**  
**BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS**  
**EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION**  
**RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES**  
**METALICOS.**

Hoja 211 de 221

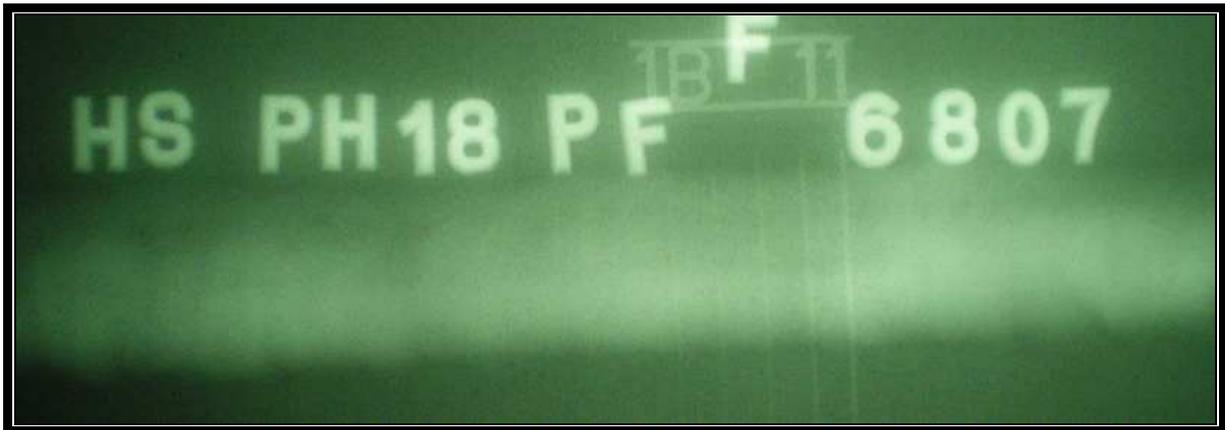
Identificación Nº de soldadura		TIPO DE DEFECTO											Interpretación y Calificación:  A = Aceptable R = Rechazable		
		Poros	Poros Vermicular	Escoria Irregular	Escorias Alineadas	Falta de Fusión	Falta de penetración	Grieta Longitudi	Grieta transversal	Mordedura	Inclusión Flux Trap	Cráter			Otros defectos
Sector	Soldadura	Aa	Ab	Ba	Bb	C	D	Ea	Eb	F	gh	K	O	Calific.	Obse
0-1	PH7-LL-PF	X												A	
0-1	PH9-AO-PF	X				X				X				R	
0-1	PH9-PF-AO			X						X				A	
0-1															
0-1															
0-1															
0-1															



PH 19 – PF



PH 18 – PF



PH 20 – JM – PF





**PROYECTO FIN DE CARRERA:**  
**BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS**  
**EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION**  
**RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES**  
**METALICOS.**

Hoja 213 de 221

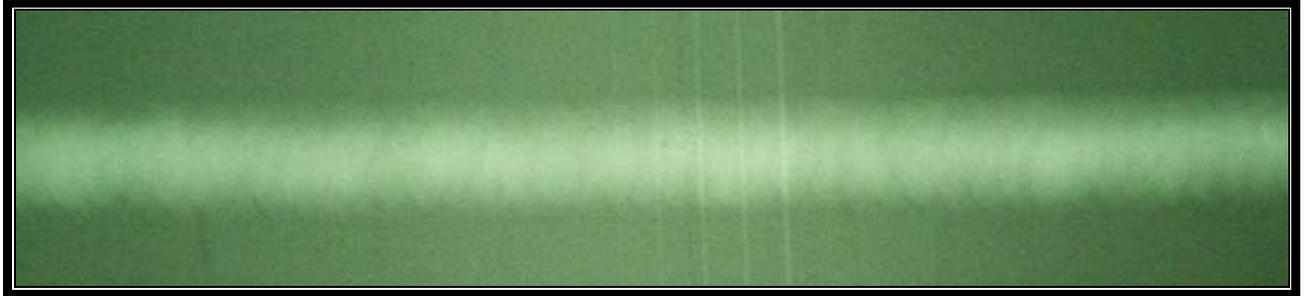
Identificación Nº de soldadura		TIPO DE DEFECTO											Interpretación y Calificación:  A = Aceptable R = Rechazable		
		Poros	Poros Vermicular	Escoria Irregular	Escorias Alineadas	Falta de Fusión	Falta de penetración	Grieta Longitudi	Grieta transversal	Mordedura	Inclusión Flux.Tinnst	Cráter			Otros defectos
Sector	Soldadura	Aa	Ab	Ba	Bb	C	D	Ea	Eb	F	gh	K	O	Calific.	Obse
0-1	PH 19 PF													A	
0-1	PH 18 PF													A	
0-1	PH 20 PF			X										A	
0-1															
0-1															
0-1															
0-1															



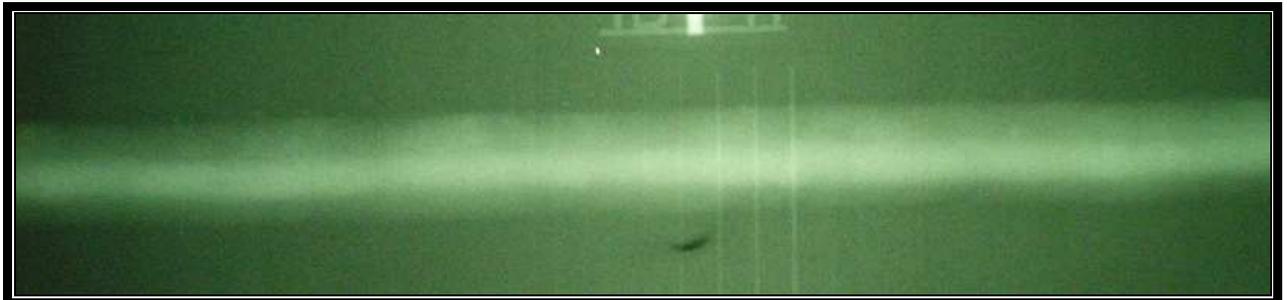
**PROYECTO FIN DE CARRERA:  
BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS  
EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION  
RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES  
METALICOS.**

Hoja 214 de 221

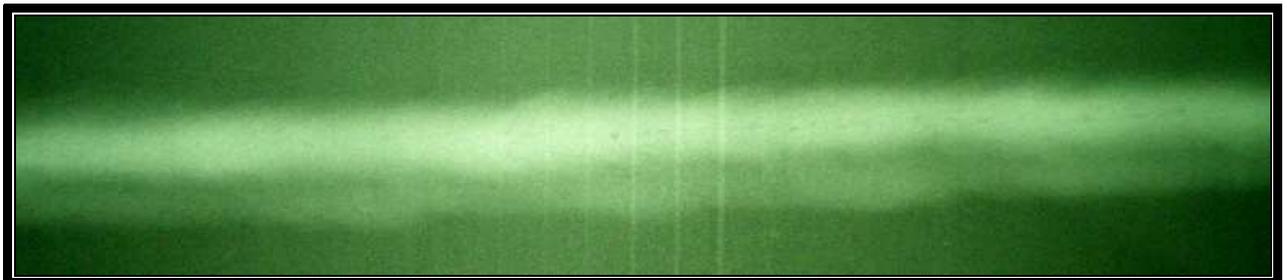
**CO HS – JLR – 3G**



**CO HS – JLR – 2G**



**CO HS – FDF – 2G**





**PROYECTO FIN DE CARRERA:**  
**BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS**  
**EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION**  
**RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES**  
**METALICOS.**

Hoja 215 de 221

Identificación Nº de soldadura		TIPO DE DEFECTO											Interpretación y Calificación:  A = Aceptable R = Rechazable		
		Poros	Poros Vermicular	Escoria Irregular	Escorias Alineadas	Falta de Fusión	Falta de penetración	Grieta Longitudi	Grieta transversal	Mordedura	Inclusión Flux.Tinost	Cráter			Otros defectos
Sector	Soldadura	Aa	Ab	Ba	Bb	C	D	Ea	Eb	F	gh	K	O	Calific.	Obse
0-1	HS JLR 3G													A	
0-1	HS JLR 2G													A	
0-1	HS FDF 2G	X												R	
0-1															
0-1															
0-1															
0-1															



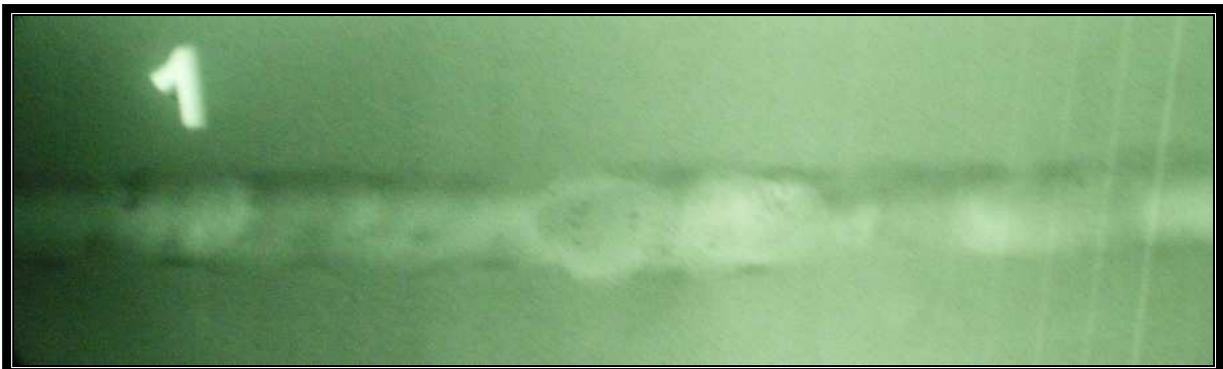
**PROYECTO FIN DE CARRERA:  
BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS  
EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION  
RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES  
METALICOS.**

Hoja 216 de 221

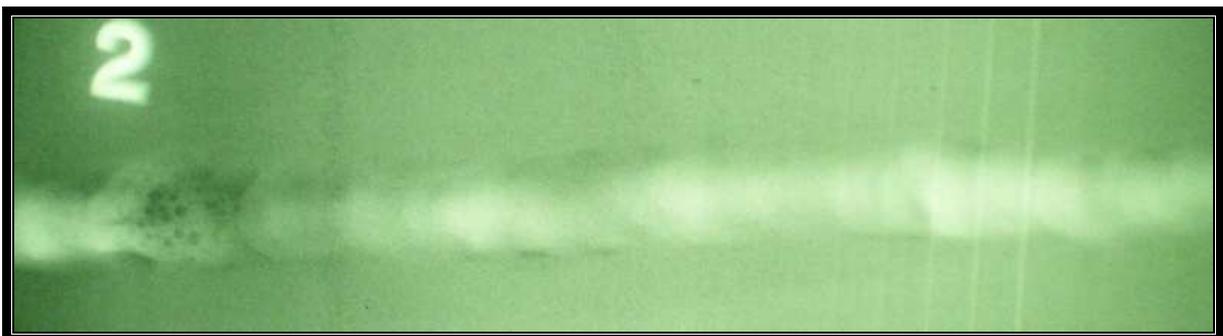
**CO – 6” – S3 6G Sección 0 – 1**



**CO – 6” – S3 6G Sección 1 – 2**



**CO – 6” – S3 6G Sección 2 – 0**





**PROYECTO FIN DE CARRERA:**  
**BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS**  
**EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION**  
**RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES**  
**METALICOS.**

Hoja 217 de 221

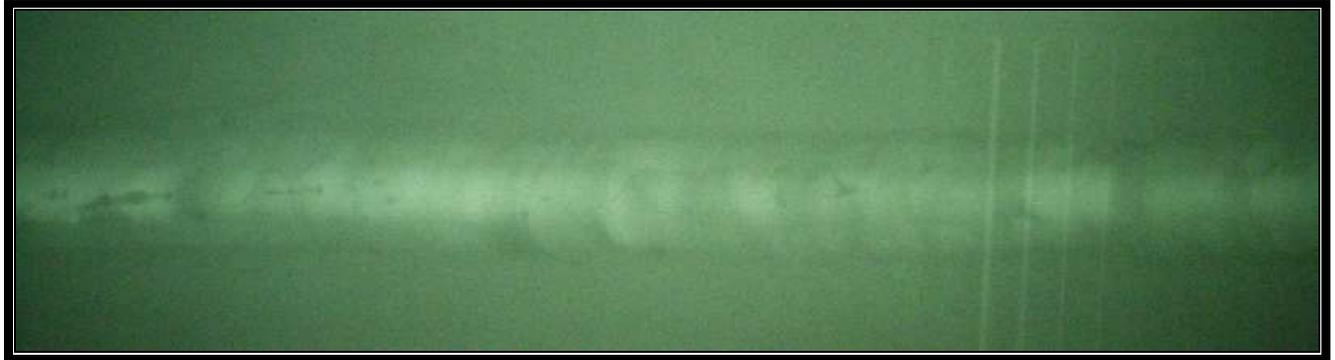
Identificación Nº de soldadura		TIPO DE DEFECTO											Interpretación y Calificación:  A = Aceptable R = Rechazable		
		Poros	Poros Vermicular	Escoria Irregular	Escorias Alineadas	Falta de Fusión	Falta de penetración	Grieta Longitudi	Grieta transversal	Mordedura	Inclusión Flux Tunost	Cráter			Otros defectos
Sector	Soldadura	Aa	Ab	Ba	Bb	C	D	Ea	Eb	F	gh	K	O	Calific.	Obse
0-1	Co6" S3 6G														
0-1	0 - 1	X								X				R	
0-1	1 - 2	X								X				R	
0-1	2 - 0	X								X				R	
0-1															
0-1															
0-1															



**PROYECTO FIN DE CARRERA:  
BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS  
EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION  
RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES  
METALICOS.**

Hoja 218 de 221

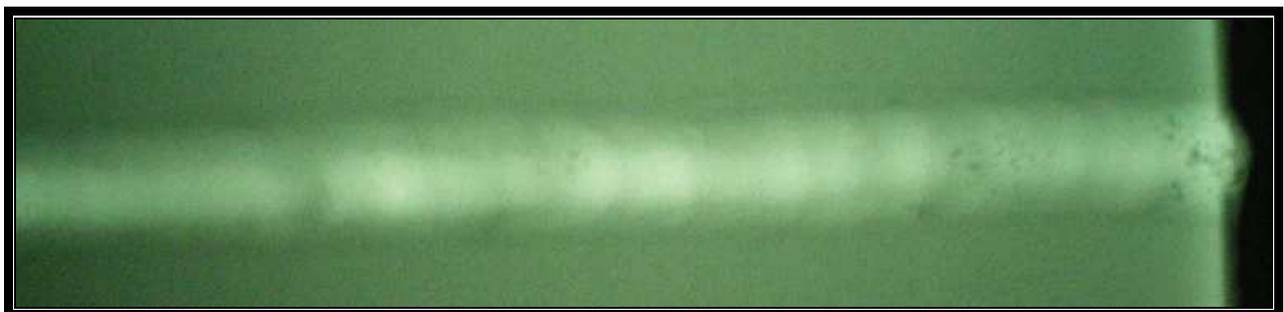
**HS – 3E**



**HS – 4E**



**HS – 6E**

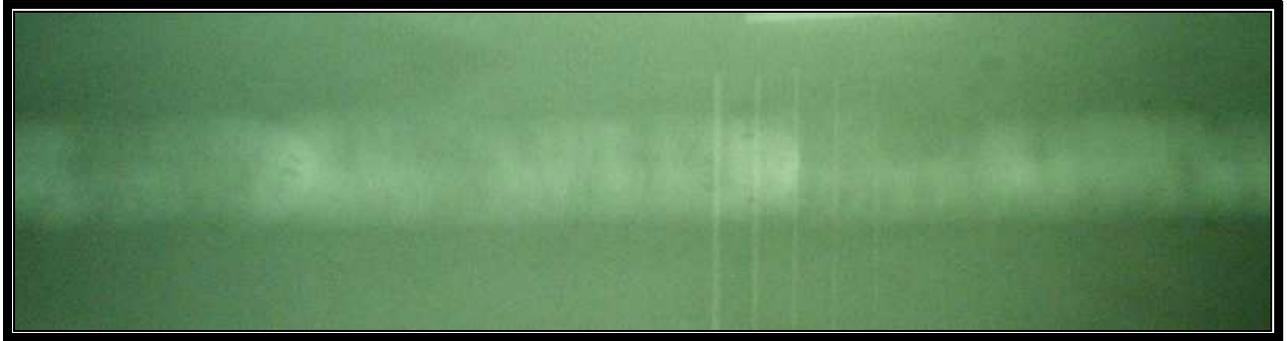




**PROYECTO FIN DE CARRERA:  
BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS  
EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION  
RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES  
METALICOS.**

Hoja 219 de 221

**HS – 7E**





**PROYECTO FIN DE CARRERA:**  
**BASE DEFECTOLOGICA DE SOLDADURAS**  
**EVALUACION, CARACTERIZACION E INTERPRETACION**  
**RADIOGRAFICA DE SOLDADURAS EN MATERIALES**  
**METALICOS.**

Hoja 220 de 221

Identificación Nº de soldadura		TIPO DE DEFECTO											Interpretación y Calificación:  A = Aceptable R = Rechazable		
		Poros	Poros Vermicular	Escoria Irregular	Escorias Alineadas	Falta de Fusión	Falta de penetración	Grieta Longitudi	Grieta transversal	Mordedura	Inclusión Flux Tunast	Cráter			Otros defectos
Sector	Soldadura	Aa	Ab	Ba	Bb	C	D	Ea	Eb	F	gh	K	O	Calific.	Obse
0-1	HS - 3E	X												R	
0-1	HS - 4E	X												R	
0-1	HS - 6E	X												A	
0-1	HS - 7E	X												A	
0-1															
0-1															
0-1															



## 8.- BIBLIOGRAFÍA

- Hernández Riesco, Germán. **Manual del Soldador** (18 edición), 2007, CESOL.
- Ruiz Rubio, Alfonso. **Inspección Radiográfica de las Uniones Soldadas**, 1981, URMO,S.A. de Ediciones: Bilbao.
- INEM, **Radiología Industrial. Guía del Alumno**, 1994.
- AGFA – Gevaert N.V. **Radiografía Industrial**, 1989.
- CESOL, **Curso de Formación de Inspectores de Construcción de Uniones Soldadas**, 2007.
- Asociación Española de Ensayos No Destructivos, **Radiología Industrial Nivel II**, 2002.