

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA
Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval y Oceánica



**ESTUDIO DE LA DEFECTOLOGÍA EN
LA RADIOLOGÍA INDUSTRIAL**

Alumno/a:
Profesor:

Fulgencio E. Marín Vázquez
Isidoro Martínez Mateo

Cartagena Marzo de 2014



UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CARTAGENA
INGENIERÍA TÉCNICA NAVAL



ESTUDIO DE LA DEFECTOLOGÍA EN LA RADIOLOGÍA INDUSTRIAL
Fulgencio E. Marín Vázquez

AGRADECIMIENTOS:

Al Departamento de Ingeniería de Materiales y Fabricación por su colaboración y ayuda de este proyecto, en especial al profesor D. Isidoro Martínez Mateo por su paciencia y dedicación así como su interés para que esto salga bien.



PROLOGO

Para la realización de este proyecto había que enfrentarse a unos retos importantes, de los cuales el mayor era la dificultad que supondría resumir en este el amplio campo que se abre conforme profundizas en la radiología industrial.

En ningún momento pretendemos abarcar todo lo concerniente a la radiografía ya que se subdivide en muchos y muy diversos temas, por lo que nos hemos centrado en una de estas múltiples ramas: intentamos informatizar y digitalizar una muestra variada de radiografías sacadas de distintos campos (industrial, naval, aeronáutico ...).

Nuestro trabajo ha sido arduo y elaborado ya que hemos recopilado y resumido información para hacer una introducción a la Radiología.

El siguiente paso fue plasmar las radiografías que teníamos en soporte papel en soporte informático y que se apreciaran perfectamente, para ello confeccionamos una base de datos en la que se recogiera desde la información general (tipo de soldadura, tipo de material, ...) hasta la defectología (tipo de imperfección, ...)

Lo interesante de este proyecto sería el tener recogido, para su rápida observación o modificación, una infinidad de datos esquematizados con posibilidad de ampliar en cualquier momento.

Todo esto se ha orientado a las radiografías pero se ha tenido en cuenta la posibilidad de añadir a la base de datos gammagrafías.



INDICE GENERAL

PROLOGO	Pág. 2
ÍNDICE	Pág. 3
INTRODUCCIÓN A LA RADIOLOGÍA	Pág. 4
ESTUDIO DE LOS DEFECTOS EN LA SOLDADURA	Pág. 34
INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA: CALIFICACIÓN	Pág. 52
ANEXO A: NORMA EUROPEA	Pág. 96
ANEXO B: APLICACIONES DE LA RADIOGRAFÍA Y EVALUACIÓN DE LAS INDICACIONES DE LA IMAGEN RADIOGRÁFICA	Pág.119
ANEXO C: PROBLEMÁTICA AL DIGITALIZAR RADIOGRAFÍAS	Pág. 167
ANEXO D: RESUMEN DE LA LEGISLACIÓN REFERENTE A LA RADIOLOGIA INDUSTRIAL.	Pág.171
ANEXO E: INSTALACIÓN Y MANEJO DE BASE DE DATOS RADIOGRÁFICA (base de datos adjunta en el CD).	Pág. 193



INTRODUCCIÓN A LA RADIOLOGÍA

1. FUNDAMENTO DEL MÉTODO

1.1. Fuentes de rayos X

1.2. Fuentes de rayos γ

1.3. Comparación entre ambas fuentes de radiación

2. ABSORCIÓN DE RADIACIONES

3. PELICULAS RADIOGRÁFICAS

4. FACTORES GEOMÉTRICOS

5. CALIDAD RADIOGRÁFICA

6. CÁLCULO DE LA EXPOSICIÓN

6.1. Intensidad-tiempo

6.2. Intensidad-distancia

6.3. Distancia-tiempo

6.4. Intensidad-tiempo-distancia

7. TÉCNICA RADIOGRÁFICAS.

7.1. Soldaduras planas a tope

7.2. Soldaduras circulares a tope

7.3. Soldaduras en ángulo

8. INTERPRETACIÓN Y CALIFICACIÓN DE RADIOGRAFÍAS



INTRODUCCIÓN A LA RADIOLOGÍA

La radiografía de las soldaduras estudia la forma de obtener e interpretar la imagen fotográfica producida al incidir rayos X ó γ sobre una placa sensible, después de haber atravesado una unión soldada.

La finalidad de este ensayo es conseguir una imagen nítida y estable de los defectos que puedan existir en la soldadura.

Dentro de los ensayos no destructivos de uniones soldadas, la inspección radiográfica goza de gran aceptación al ser el único que proporciona un documento real de la inspección, la placa radiográfica que, aunque termina deteriorándose con el tiempo, puede ser examinada con garantía al cabo de algunos años si ha sido conservada adecuadamente.

1. FUNDAMENTO DEL MÉTODO

Los rayos X y γ son las radiaciones convencionales que se utilizan habitualmente en a radiografía industrial de soldaduras. Son radiaciones electromagnéticas al igual que la luz visible, pero de longitudes de onda inferiores y, por tanto, de mayor energía..

Los rayos X se producen cuando un haz de electrones animados de gran velocidad chocan contra un metal, mientras que los rayos γ son emitidos por el núcleo de átomos radiactivos. Ambas radiaciones se desplazan en línea recta, a la velocidad de la luz.

Se acepta que las longitudes de onda de los rayos X y γ , es inferior a 100 Å. La longitud de onda de la radiación electromagnética se expresa en m, cm, mm, micrómetros ($1 \mu\text{m} = 1/1000 \text{ mm}$), en nanómetros ($1 \text{ nm} = 1000 \mu\text{m}$) y en Angströms ($1 \text{ Å} = 1 / 10 \text{ nm}$).

En el espectro electromagnético representado en la figura 1 se observa la zona ocupada por los rayos X y γ .

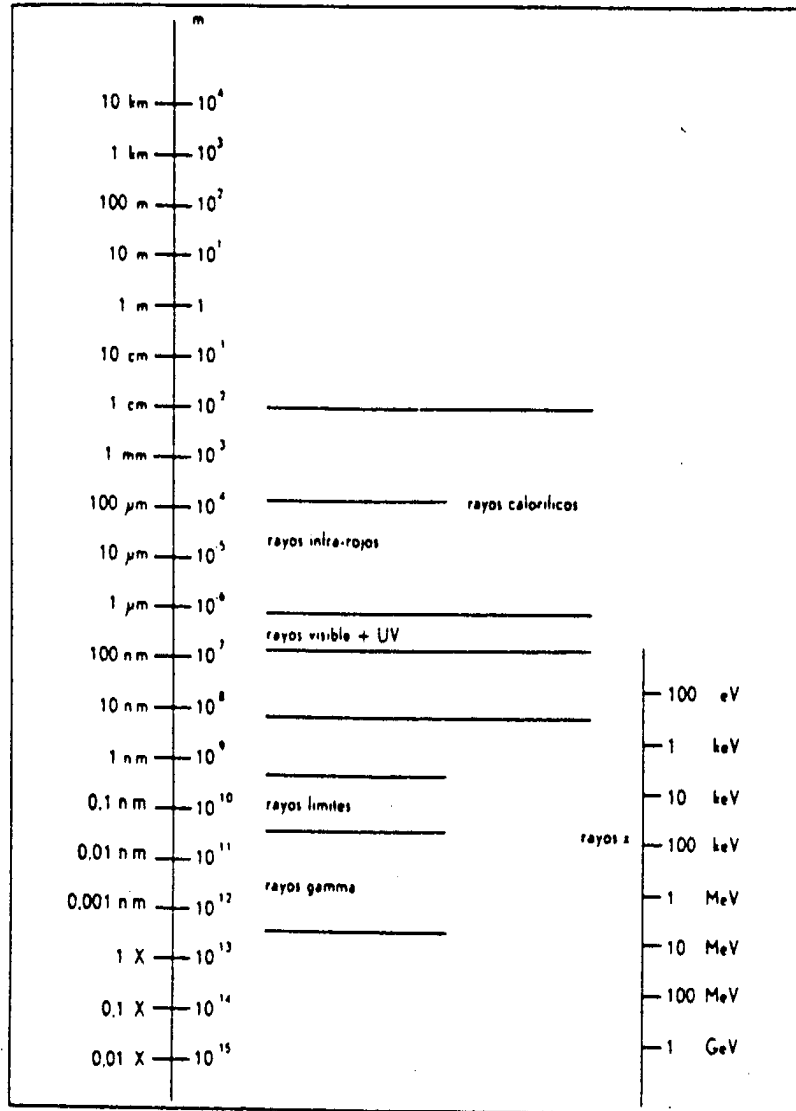


Figura 1.— Espectro electromagnético.



1.1. Fuentes de rayos X

Las fuentes de rayos X son tubos electrónicos cuyo funcionamiento exige cierto consumo de energía eléctrica suministrada a través de un circuito especialmente diseñado para esta finalidad.

Los tubos de rayos X, como muestra la figura 2, consisten esencialmente en una ampolla de vidrio en la que se ha practicado el vacío y en cuyo interior se encuentra un filamento emisor de electrones o cátodo y una placa de metal de choque o anticátodo.

En la ampolla de vidrio, además del cátodo y anticátodo, pueden existir otros elementos complementarios para mejorar su rendimiento, prolongar su vida, focalizar el haz de electrones, que es la función ejercida por el colimador, etc.

El cátodo consiste en un filamento de wolframio que, cuando se calienta por efecto de una corriente eléctrica auxiliar, emite electrones que son acelerados hasta precipitarse sobre el anticátodo al aplicar una diferencia de potencial entre ambos. Esta diferencia de potencial es del orden de varias decenas de miles de voltios.

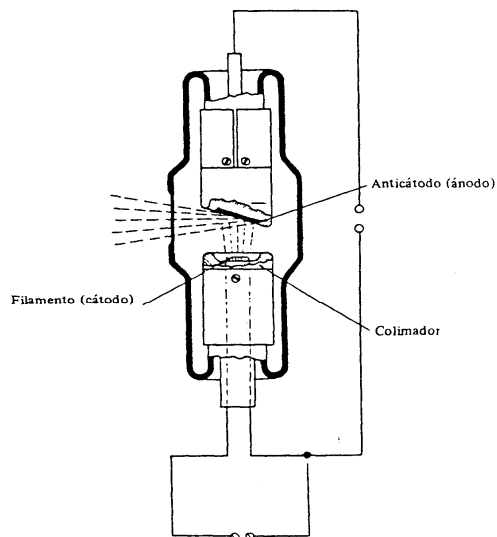


Figura 2.— Tubo de rayos X.

El anticátodo consiste en una placa metálica, normalmente de wolframio, inclinada de 20° a 30° con respecto a la dirección del haz de electrones procedente del cátodo.



A causa de las fuertes interacciones producidas en el choque de los electrones, la radiación X emitida por el anticátodo ofrece un espectro continuo, como muestra la figura 3, que es conocido con el nombre de “espectro blanco”. Ahora bien, al espectro continuo se le superponen picos de intensidad de radiaciones para longitudes de onda determinadas, típicas de cada anticátodo, que constituyen su “espectro característico”.

La figura 4 muestra el espectro característico de un anticátodo de wolframio. En la radiografía de soldaduras el espectro característico es irrelevante.

La unidad utilizada para medir la intensidad de la radiación es el miliamperio (mA) mientras que la tensión aplicada al tubo se mide en kilovoltios (KV).

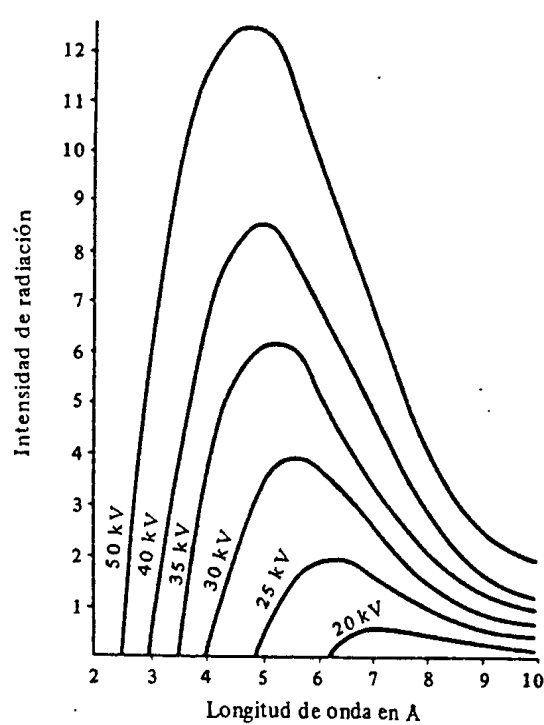


Figura 3.— Espectro blanco.

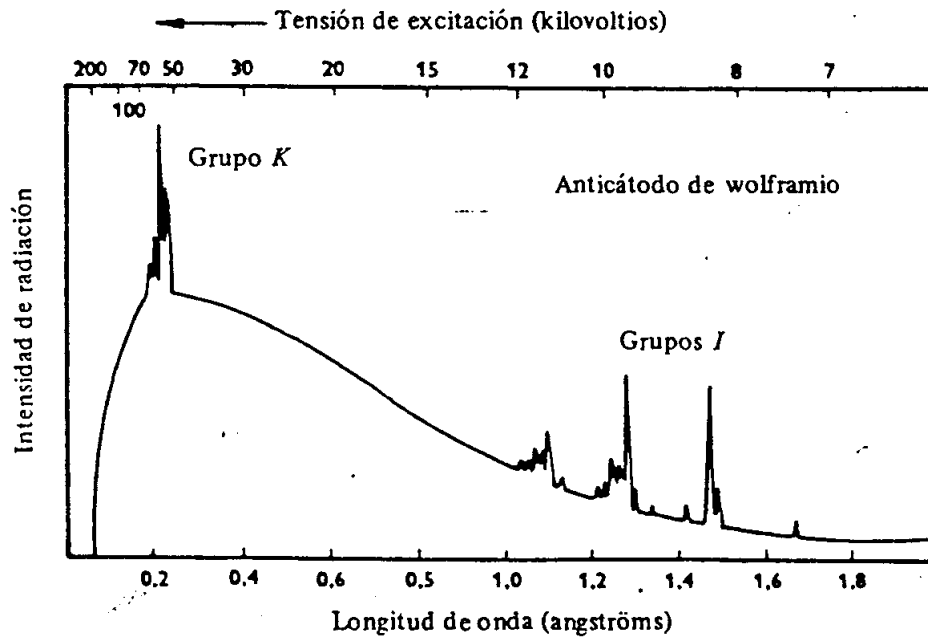


Figura 4. – Espectro característico del wolframio.

1.2. Fuentes de rayos γ

Las fuentes de rayos γ son pequeñas cantidades de materia que contienen una sustancia radioactiva capaz de emitir rayos α , β y γ . Por el pequeño poder de penetración que poseen los rayos α y β , en radiografía solo se aprovechan los rayos γ .

Se denomina actividad la cantidad o intensidad de radiación que una fuente de rayos γ puede proporcionar en un instante dado y representa la velocidad de desintegración de la misma en ese momento.

La unidad moderna de la actividad recibe el nombre de «Becquerel» (Bq) y corresponde a desintegración/seg. Sin embargo, a efectos prácticos, continua utilizándose el «Curie» (Ci), que resulta ser $3,7 \times 10^{10}$ veces mayor.

Las fuentes de rayos γ son de reducidas dimensiones:

1,2 mm x 1,2 mm para un máximo de 12 Ci

2 mm x 2 mm para un máximo de 40 Ci



3 mm x 2 mm para actividades de hasta 100 Ci

Se encuentran encerradas en cápsulas y se guardan en contenedores forrados de plomo, denominados gammágrafos para evitar que los operadores que las manipulan resulten irradiados. Se accionan con mando a distancia, extrayendo la cápsula radioactiva en el momento de realizar la radiografía.

La actividad de una fuente radiactiva disminuye con el tiempo, ya que de la desintegración de un átomo resulta una emisión de rayos y la transformación del átomo radioactivo o inestable en otro átomo estable.

Se denomina período de semidesintegración o «vida media» el tiempo que debe transcurrir para que la actividad de una fuente se reduzca a la mitad.

Estas fuentes ofrecen radiaciones con espectros característicos como las de rayos X pero no presentan un espectro continuo. La figura 5 muestra el espectro característico del Iridio 192.

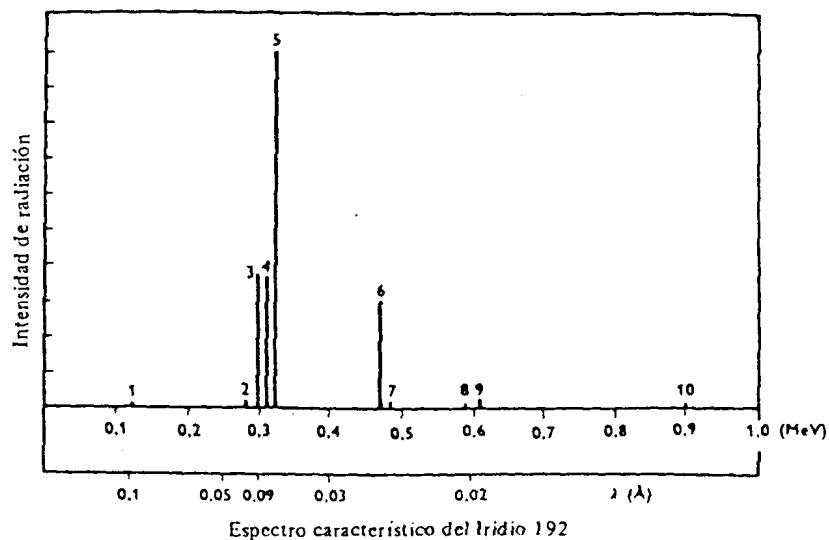


Figura 5.— Espectro característico del Iridio 192.



Las fuentes de rayos γ de uso más corriente en España son:

<i>Isótopo</i>	<i>Vida media</i>
Iridio 192 (^{192}Ir)	72 días
Cesio 137 (^{137}Cs)	26,6 años
Cobalto 60 (^{60}Co)	5,3 años

1.3. Comparación entre ambas fuentes de radiación

Imagen

La diferencia principal entre una fuente de rayos X y otra de rayos γ es el cromatismo de su radiación. Los rayos X ofrecen un espectro continuo de frecuencias y cuando encuentran un cambio localizado de absorción, como el que presenta una porosidad en la soldadura, son absorbidos selectivamente en función de su energía. Para los rayos γ esta absorción se convierte en una cuestión de «pasa o no pasa».

Por tanto, los rayos X ofrecen una imagen con mejor contraste que los rayos γ .

Manipulación

La fuente de rayos X requiere un suministro externo de energía eléctrica, por lo que su utilización es más frecuente en instalaciones fijas de taller.

La fuente de rayos γ , en este sentido, goza de una mayor autonomía siendo la idónea para su empleo en obra, por resultar más manejable y versátil.

Seguridad

El uso de isótopos radioactivos requiere en España un control por parte de la Junta de Energía Nuclear.

Economía

En este aspecto, la fuente de rayos γ resulta más favorable medida en términos de retorno de la inversión necesaria.



2. ABSORCIÓN DE RADIACIONES

Cuando la radiación atraviesa una soldadura, la absorción depende del espesor y naturaleza del material y del tipo y longitud de onda de la radiación.

La absorción, medida por la intensidad del flujo pasante, viene dada por la ley de Lambert:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu \rho e}$$

en donde:

I: intensidad del flujo pasante

I_0 : intensidad del flujo incidente

μ : coeficiente de absorción del material por unidad de masa

ρ : densidad del material

e: espesor del material.

El mecanismo de la absorción es bastante complicado. En ese se suele admitir que cuando una radiación atraviesa una soldadura, emerge en dos formas básicas: la radiación pasante o primaria y la secundaria.

La radiación primaria es la que ha seguido una trayectoria recta desde la fuente hasta la placa radiográfica sin haber sido absorbida ni desviada al atravesar la soldadura.

La radiación secundaria, que en caso de no ser absorbida al atravesar la soldadura, es difundida por los átomos de la misma en todas las direcciones, produciendo sobre la placa una especie de velo que reduce la definición de la imagen.

Sobre la placa radiográfica puede incidir también la llamada radiación difusa, figura 6, que nace del reflejo en otros cuerpos que existen en las proximidades de la unión soldada y sobre los que pueden incidir, tanto las radiaciones primarias como las secundarias.

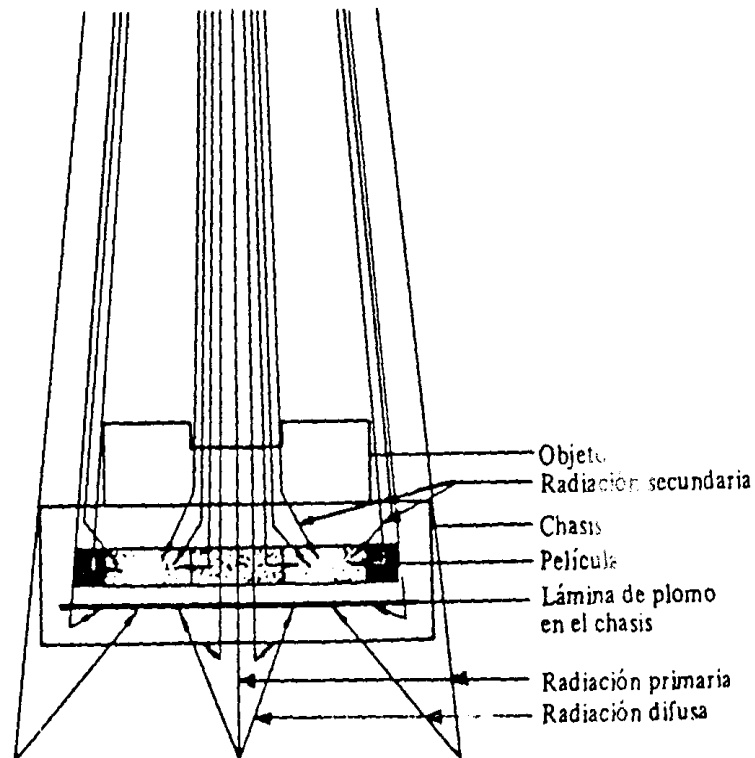


Figura 6.— Tipo de radiaciones.

Para eliminar o disminuir los efectos indeseables de la radiación secundaria y de la difusa se suelen emplear filtros y pantallas. En la figura 7 se indica su colocación.

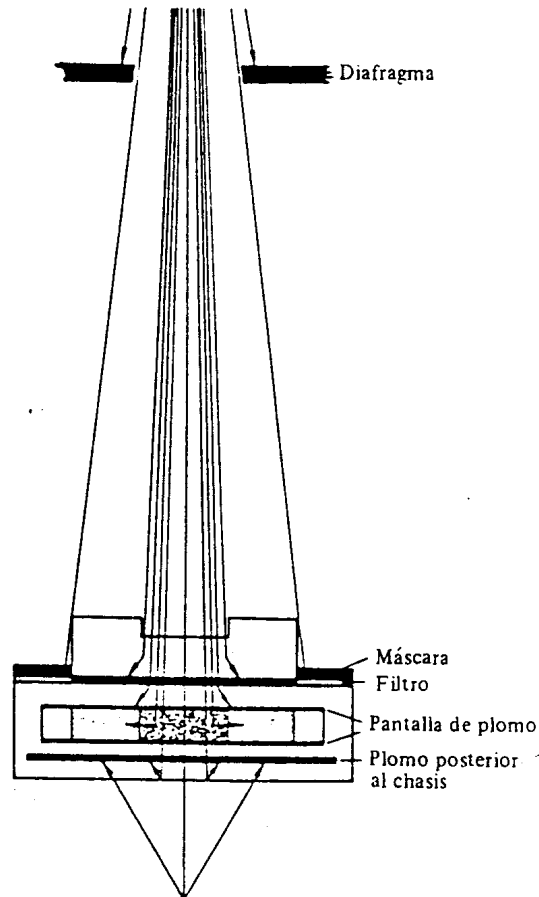


Figura 7.— Filtros y pantallas.

3. PELÍCULAS RADIOGRÁFICAS

Una vez que la radiación ha atravesado la unión soldada es capaz de impresionar una película radiográfica sensible a la intensidad de flujo pasante.

La película radiográfica, similar a la utilizada en fotografía, consiste en una emulsión de un haluro de plata en gelatina, extendida por las dos caras de una hoja transparente de acetato de celulosa.



El haluro de plata es el componente sensible que queda afectado cuando la radiación incide en él y que durante el revelado posterior se descompone en plata metálica, que se ennegrece, y en el halógeno, que pasa a la gelatina. Las partes de la emulsión que han recibido más intensidad de flujo pasante tendrán mayor proporción de granos de haluro sensibilizados por unidad de superficie, resultando más oscura esta zona después del revelado.

Una vez impresionada la película radiográfica se procede al revelado y fijado de la imagen, de forma similar a un proceso fotográfico.

4. FACTORES GEOMÉTRICOS

Las imágenes radiográficas se rigen por las leyes de la perspectiva cónica y, debido a ello, con frecuencia las imágenes aparecen deformadas.

Las fuentes emisoras cualquiera que sea su naturaleza, no son puntuales sino que tienen una dimensión física concreta, y ello lleva consigo la formación de una penumbra en los bordes de la imagen.

La dimensión de la penumbra, como puede apreciarse en la figura 8, es función de la dimensión de la fuente, de la distancia fuente-objeto y de la distancia objeto-película según la ecuación:

$$Pg(mm) = \frac{F \times e}{d}$$

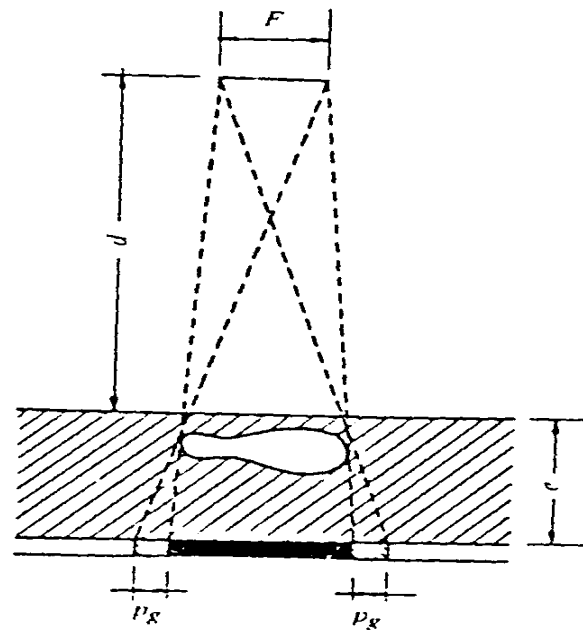


Figura 8.— *Penumbra geométrica.*

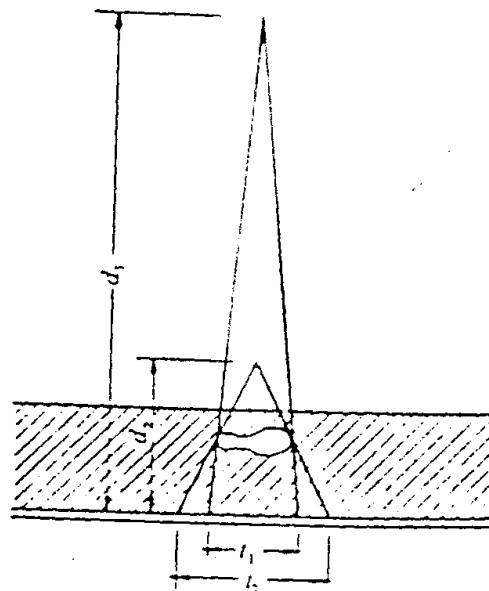


Figura 9.— *Ampliación de la imagen.*



Como la penumbra no se puede evitar, al menos debe tratarse de reducir a un mínimo procurando que:

- la fuente sea lo más pequeña posible;
- la distancia fuente-objeto sea la mayor posible;
- la distancia objeto-película sea la menor posible.

Otro efecto que se produce por geometría es la ampliación de la imagen, dependiendo de las distancias fuente-objeto y objeto-película (Fig. 9). Para minimizar el efecto de ampliación se procurará:

- Alejar la fuente lo más posible del objeto;
- Colocar la película lo más cerca posible del objeto.

Por último, existe un factor geométrico de gran importancia en relación con el cálculo de la exposición correcta y es el originado por la pérdida de intensidad del haz en función de la distancia.

Cuando la emisión de radiación es constante, la intensidad que llega a un objeto viene determinada por la distancia, ya que el flujo de la misma o intensidad total que pasa a través de toda la superficie cerrada que envuelve a la fuente emisora es constante. Por tanto, la intensidad de radiación que atraviesa un elemento de superficie es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre el objeto a radiografiar y la fuente.

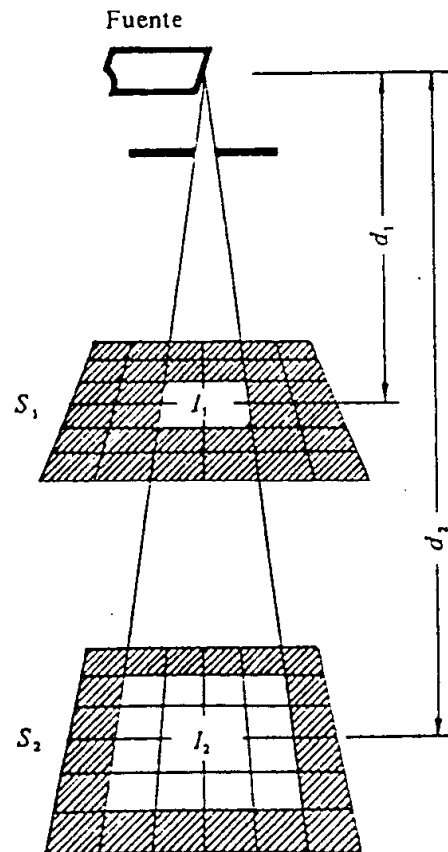


Figura 10.— Ley de la inversa del cuadrado de la distancia.

Este principio queda representado gráficamente en la figura 10 y se expresa por la siguiente ecuación:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2}$$

en donde:

I_1 : Intensidad total de radiación que atraviesa la superficie S_1

I_2 : Intensidad total de radiación que atraviesa la superficie S_2



d_1 : Distancia de la fuente a la superficie S_1

d_2 : Distancia de la fuente a la superficie S_2 .

5. CALIDAD RADIOGRÁFICA

Una vez revelada la película radiográfica es necesario que la imagen obtenida presente una calidad idónea para poderla interpretar.

Esta imagen, que se observa en un negatoscopio por transparencia, tendrá una densidad que permita al inspector observar nítidamente todos los detalles. La densidad idónea en radiografías de soldaduras es la comprendida entre los valores 2 y 4, si bien para el valor 4 el negatoscopio deberá tener la adecuada intensidad lumínica.

Ópticamente la densidad de una placa radiográfica se define como el logaritmo decimal de la relación existente entre la intensidad de iluminación I_i y la que atraviesa aplaca y llega al ojo del observador I_o , esto es:

$$D = \log \frac{I_i}{I_o}$$

La densidad es proporcional a la exposición excepto para valores elevados, llegándose incluso a obtener densidades decrecientes para exposiciones crecientes debido a un efecto de solarización de la película.

Las características de las películas varían según las marcas comerciales pero pueden clasificarse en:

- a) Películas de grano muy fino, alto contraste y baja velocidad. (Tipo 1, según ASTM.)



b) Películas de grano fino, alto contraste y velocidad media. (Tipo II, según ASTM.)

c) Películas de grano medio, contraste medio y alta velocidad. (Tipo III, según ASTM.)

Las películas de los apartados b) y c) se las conoce en España como D4 y D7 respectivamente, debido a que la primera marca que se introdujo en el mercado nacional las designaba, y continúa designando, de esta forma.

El grado de definición que presenten los bordes de las imágenes depende del tamaño de grano del haluro de plata, que será tanto mayor cuanto menor sea el grano.

El contraste se define como la diferencia de luminosidad que percibe un observador entre dos zonas de la misma imagen radiográfica. Esta posibilidad de percepción depende de:

- los medios para visualizar la imagen;
- la naturaleza y forma del objeto;
- la película utilizada y del revelado;
- la fuente empleada;
- la técnica operatoria.

Las películas que necesitan mucho tiempo para ser impresionadas se dice que son películas lentas o de baja velocidad, mientras que las que necesitan un tiempo breve se dice que son películas rápidas o de alta velocidad.

En las tablas 1 y 2 indican la velocidad de impresión de las películas radiográficas industriales más utilizadas.

Para evaluar la calidad de una radiografía se recurre a los llamados indicadores de calidad de imagen o penetrámetros.



El indicador de calidad de imagen más sencillo sería una placa de espesor controlado. Si e_{\min} es el espesor mínimo que se puede distinguir al radiografiar una soldadura de espesor e , la sensibilidad de detección S sería:

$$S \% = \frac{e_{\min}}{e} \times 100$$

Este valor de S nos da idea de la calidad de la imagen que estamos observando. Un valor bajo nos indicará que en la imagen radiografiada se pueden apreciar defectos que supongan un incremento o decremento de espesor, relativamente pequeño.

La utilización de los indicadores de calidad de imagen está muy extendida a pesar de no existir unificación de criterios. Debido a esto existe una gran variedad, siendo los utilizados con más frecuencia los siguientes:

- de escalones
- de agujeros
- de hilos.

TABLA I
Clasificación de las películas radiográficas según su rapidez

Rapidez	Kodak americana	Kodak inglesa	Kodak francesa	Gevaert
↑ - - - - - ↓		Kodirex	Kodirex	D10
	AA	Industrex-D Crystallex	Definix	D7
	T	Microtex	T	D5
	M		M	D4
	R	R	R	D2
-	R (simple)			D2 (simple)



ESTUDIO DE LA DEFECTOLOGÍA EN LA RADIOLOGÍA INDUSTRIAL
Fulgencio E. Marín Vázquez

TABLA 2
Relación entre las velocidades de algunos de los tipos más comunes de película radiográfica industrial existentes en el mercado (coeficiente de corrección)

	D 10	D 7	S		D 10	D 7	S	
GEVAERT (Bélgica)	D 10	1	0,3	DUPONT (EE.UU.)	Cronex 75 - 504	4	1	
	D 7	4	1		Cronex 65 - 506	6	1,5	
	D 4	15	3,8		Cronex 55	15	—	
	D 2	60	15		510	28	7	
	S	—	—		1	0,3	—	
ILFORD (Gran Bretaña)	G	0,6	—	ANSCO (EE.UU.)	A	3	0,8	
	B	1,8	0,5		HD	48	12	
	CX	4	1		FERRANIA (Italia)	ID	0,8	0,2
	C	6	1,5	IC2		2,4	0,6	
	F	12,5	3,1	1 Gamma	6	1,5		
KODAK (Gran Bretaña)	A	—	—	0,8	IS	—	—	
	Kodurex	0,8	0,2	—	Industrial C	4	1	
	Indurex «D»	1,8	0,5	—	MAFE (España)	—	3	
	Cristalex	4	1	—	100	6	1,5	
	Microtex	16	4	—	200	10	2,5	
KODAK-EASTMAN (EKC) (EE.UU.)	Indurex «S»	—	—	2	SAKURA (Japón)	N	3	
	KK	1	0,3	—		PR	5	1,3
	AA	4	1	—	R	48	12	
	M	16	4	—	ADOX (Dinamarca)	Microtest 2	6	1,5
	R	—	—	16	—	—	—	—
KODAK-PATHE (Francia)	F	—	—	1	—	—	—	
	Kodirex	1,2	0,3	—	TERIX (Yugoslavia)	—	—	
	Analyx	2	0,6	—	—	—	—	
	Definyx	4,6	1,2	—	FOMA (U.R.S.S.)	IndusBC	1,6	0,4
	M	18	5	—	ORWO (Alemania Este)	RF 63	1,3	0,3
AGFA (Alemania)	Regulyx	—	—	0,8	RF 5	2,6	0,7	
	Texo SII	1,8	0,5	—	DEFEKTOFILM (Polonia)	Fotón	9	2,3
	S	4	1	—	GUILLEMINOT (Francia)	Direct x	4	1
	R	—	—	1	—	—	—	—
	SIDERIX (Francia) (LUMIERE)	R	1,2	0,3	—	—	—	—
N		3,4	0,9	—	—	—	—	
F		14	3,5	—	—	—	—	

Los indicadores de escalones consisten en una placa de espesores crecientes, los de agujeros en una serie de placas de espesor uniforme con tres taladros de diámetro función de dicho espesor y los de hilos, en una serie de alambres de diámetros crecientes. De estos indicadores, su utilización según los distintos códigos es la siguiente:

- DIN, IIV y ISO, de hilos;
- BWRA, AFNOR y API, de escalones;
- ASTM y ASME, de agujeros.

TABLA 3
Tipos de indicadores DIN y diámetros de los hilos presentes en cada uno de ellos.

<i>IQI de hilos DIN 54 109</i>								
<i>Fe 1/7</i>			<i>Fe 6/12</i>			<i>Fe 10/16</i>		
<i>Núm.</i>	<i>Ø mm</i>	<i>Ø pulg</i>	<i>Núm.</i>	<i>Ø mm</i>	<i>Ø pulg</i>	<i>Núm.</i>	<i>Ø mm</i>	<i>Ø pulg</i>
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

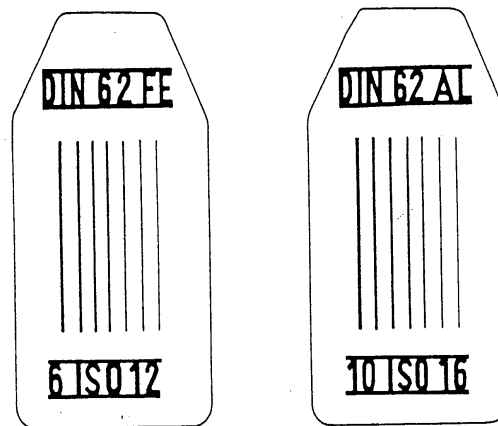


Figura 11.— Indicador de hilos DIN e ISO.

En la figura 11 se puede ver el indicador de hilos y en la tabla 3 se indica el diámetro de los distintos alambres.

El material del alambre tiene que ser similar al material que se va a radiografiar: Fe para materiales féreos, Al para aleaciones de aluminio y Cu para aleaciones de cobre.



6. CÁLCULO DE LA EXPOSICIÓN

Las variables que intervienen en el cálculo de la exposición necesaria para obtener una imagen radiográfica nítida son:

- materiales a radiografiar;
- película radiográfica;
- calidad de la radiación;
- intensidad de la radiación;
- distancias
- tiempo de exposición.

En realidad las tres primeras dejan de ser variables en el momento de proceder al radiografiado.

Una vez conocido el material a radiografiar, y por tanto su coeficiente de absorción la película a utilizar y la fuente de radiación se podría llegar a encontrar mediante las leyes que rigen la absorción un valor de la exposición que nos permita obtener una imagen correcta. En la práctica, este camino resulta bastante laborioso y por ello se recurre a utilizar diagramas de exposición para rayos X y reglas de cálculo especiales para rayos γ como la mostrada en la figura 12, aunque para estos últimos también se pueden utilizar los diagramas.

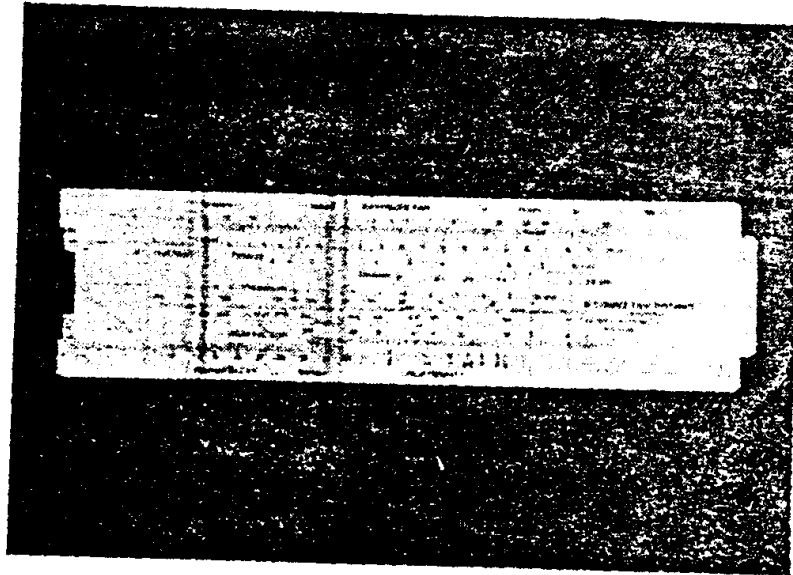


Figura 12

Estos diagramas son específicos de cada fuente de radiación. Para su realización se selecciona un tipo de película y se fija la densidad radiográfica, la distancia fuente-película, el tipo de pantallas y las condiciones de revelado.

Las figuras 13 y 14 muestran los diagramas de exposición de un equipo de rayos X y de una fuente de Cobalto.

En caso de que la fuente de radiación fuese de rayos γ también dejaría de ser variable la intensidad de la radiación.



ESTUDIO DE LA DEFECTOLOGÍA EN LA RADIOLOGÍA INDUSTRIAL
Fulgencio E. Marín Vázquez

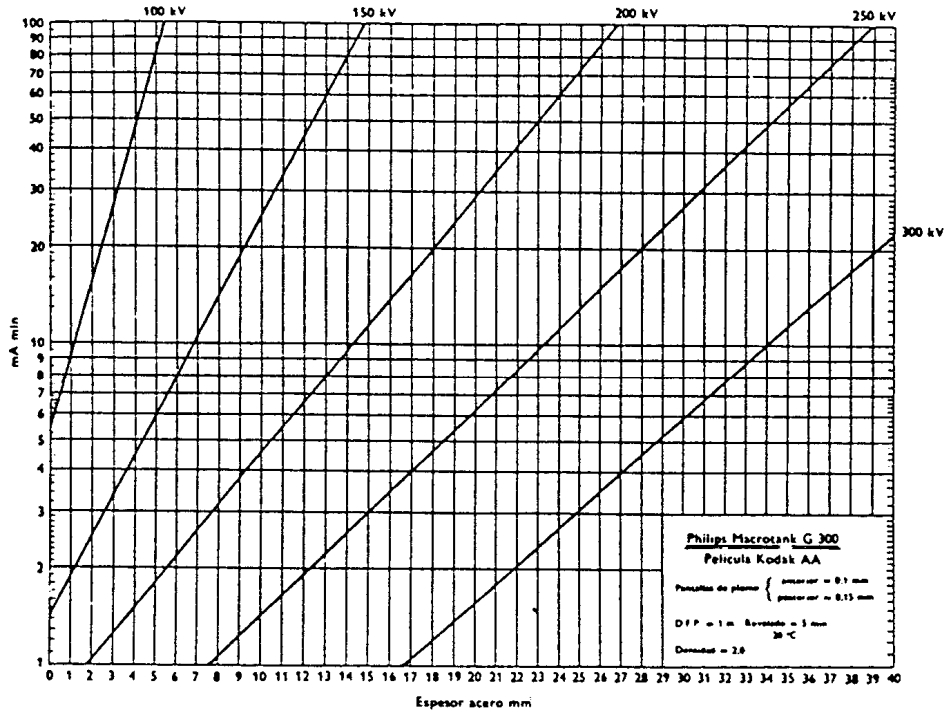


Figura 13

Fuente: cobalto 60; Material: acero; Película: Kodak «Crystablex»; pantallas de plomo: anterior = 0,1 mm posterior = 0,15 mm
D.F.P.: 900 mm; revelado: 5 min a 20 °C

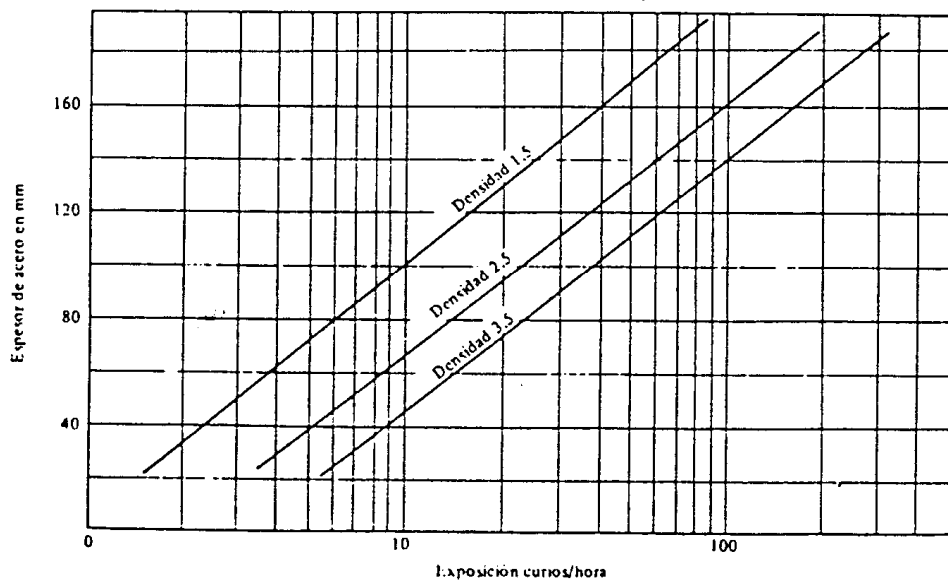


Figura 14



A continuación se expresan las relaciones matemáticas que rigen los tiempos de exposición, las intensidades de radiación y las distancias.

6.1. Intensidad-tiempo

Se designa como dosis o exposición al producto, que resulta constante, de la intensidad de radiación I expresada en mA o Ci según la fuente, por el tiempo de exposición T expresado en seg.

$$I \times T = cte$$

6.2. Intensidad-distancia

Como se vio en el apartado 4 anterior y en la figura 10, la ley de la inversa de los cuadrados de la distancia nos dice:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2}$$

6.3. Distancia-tiempo

Como el tiempo es inversamente proporcional a la intensidad, para conseguir un mínimo efecto y por la ley de la inversa de los cuadrados de la distancia anterior, tendremos:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2}$$

Que indica que el tiempo de exposición es directamente proporcional al cuadrado de la distancia fuente-película.



6.4. Intensidad-tiempo-distancia

Si combinamos las anteriores expresiones, llegamos a:

$$E = \frac{I \times T}{d^2}$$

en donde E, recibe el nombre de exposición.

De aquí deducimos que para dos exposiciones iguales, la combinación de los parámetros I, T y d de ambas, tendrán que ser iguales:

$$\frac{I_1 \times T_1}{d_1^2} = \frac{I_2 \times T_2}{d_2^2}$$

7. TÉCNICAS RADIOGRÁFICAS

La técnica para realizar la radiografía de una soldadura depende fundamentalmente de su geometría.

Desde el punto de vista radiográfico, las soldaduras se pueden clasificar como:

- planas, a tope
- circulares, a tope
- en ángulo.

7.1. Soldaduras planas a tope

Si se trata de soldaduras de bisel con preparación en V, la película se colocará en la zona de la raíz y la fuente de acuerdo con todas las consideraciones anteriormente citadas

para que se cumplan las condiciones óptimas relativas a definición y penumbra. Véanse las figuras 15 y 16.

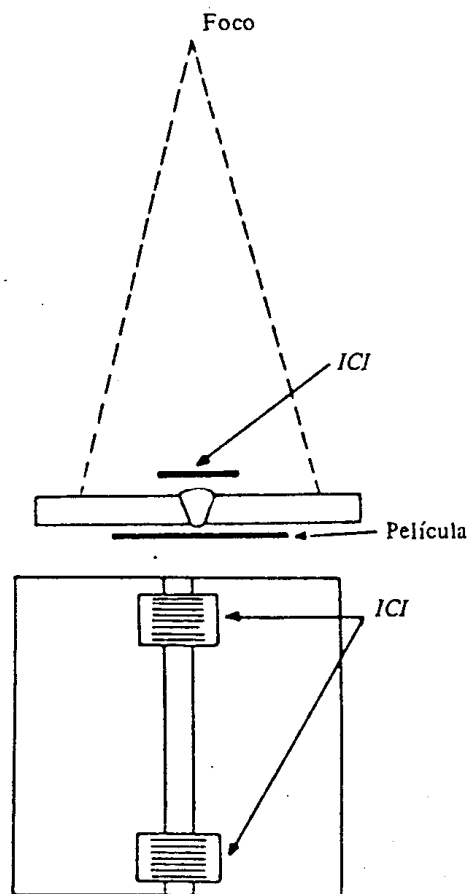


Figura 15.— Radiografiado de soldaduras planas a tope.

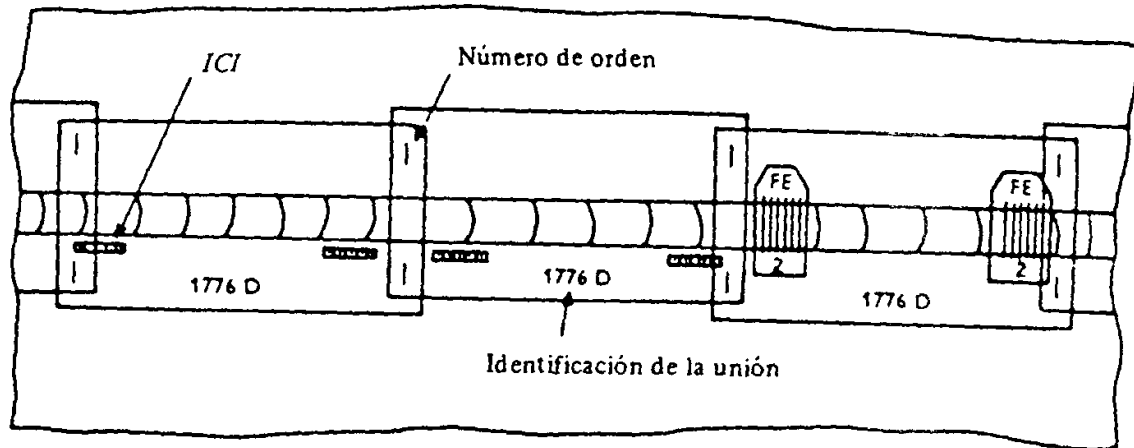


Figura 16.— Radiografiado de soldaduras planas a tope.

Los indicadores de calidad de imagen se colocarán, siempre que sea posible, del lado de la fuente, los escalones y agujeros paralelos al cordón y los hilos perpendiculares.

Las placas se colocarán solapadas para conseguir una cobertura total del cordón de soldadura, siempre que se radiografíe al 100%.

7.2. Soldaduras circulares a tope

Para realizar las radiografías de estas soldaduras existen tres alternativas:

- Fuente interior y película exterior (Fig. 17 A y B).
- Fuente exterior y película interior (Fig. 17 C).
- Fuente exterior y película exterior (Fig. 17 D, E y F).

Las alternativas a) y b) se agrupan en el método de pared sencilla, mientras que la c) es de doble pared porque la radiación atraviesa dos veces la pared del material que se radiografía.

En la figura 17 se representa gráficamente la colocación de la fuente y de la película en cada alternativa.

7.3. Soldaduras en ángulo

En general estas soldaduras son difícilmente radiografiables, siendo necesario estudiar cada caso particular.

En la figura 18 se indican algunas disposiciones para radiografiar los tipos de soldadura que se indican.

En todos estos casos deberá procurarse que la película quede lo más próxima posible a la soldadura.

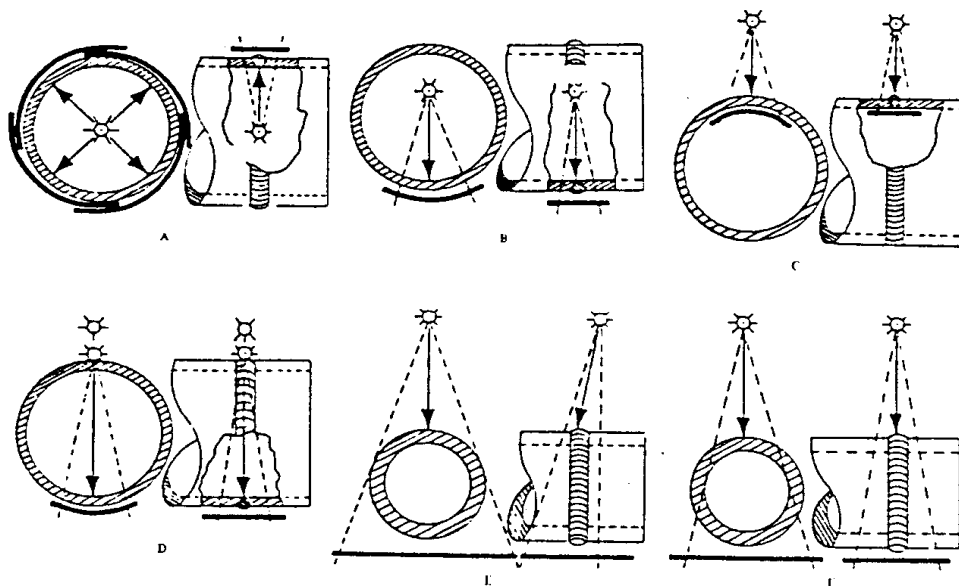


Figura 17.— Radiografiado de soldaduras circulares a tope.

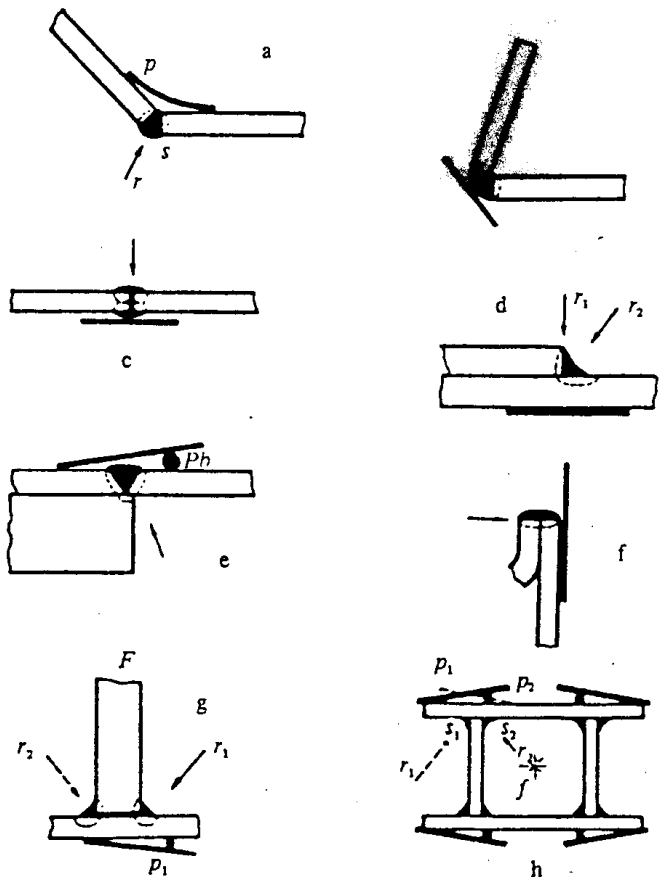


Figura 18.— Radiografiado de soldaduras en ángulo.

8. INTERPRETACIÓN Y CALIFICACIÓN DE RADIOGRAFÍAS

Se llama interpretar una radiografía a identificar la naturaleza de los defectos cuyas indicaciones aparecen en la imagen radiográfica.

Para facilitar esta identificación, existen unas radiografías patrones con las imágenes de defectos ordenadas en orden creciente de severidad y con las cuales pueden compararse las radiografías que deseamos interpretar.

Estas radiografías patrones están publicadas por el Instituto Internacional de la Soldadura que califica las soldaduras bajo cinco grados de severidad, que son:



Grado 1 (negro):	Soldadura, perfecta.
Grado 2 (azul):	Soldadura buena.
Grado 3 (verde):	Soldadura regular.
Grado 4 (marrón):	Soldadura mala.
Grado 5 (rojo):	Soldadura pésima.



ESTUDIO DE LOS DEFECTOS EN LA SOLDADURA

En este apartado lo que pretendemos es hacer en estudio de los problemas y defectos en la soldadura.

Cuando se descubren defectos en las juntas de las soldaduras al realizarse el control de una construcción soldada, por ejemplo mediante un control radiográfico, la primer pregunta es: "¿Quién o qué a causado el defecto?. ¿Ha habido alguna falla en el electrodo?. ¿Pudo el material básico haber sido malo?". Si, la causa de los defectos pudo haber sido uno o varios de los enumerados.

Los defectos más comunes que se presentan en una soldadura son, porosidades, inclusiones de escoria, socavaduras, defectos de raíz, defectos de unión y grietas. En la soldadura por arco considero que en primer lugar son las porosidades, las inclusiones de escoria, las socavaduras y los defectos en la raíz que pueden atribuirse a la falta de habilidad o de esmero del operario soldador.

Los defectos de unión, es decir una unión de fusión deficiente entre la soldadura y el material base (pegadura blanda), pueden lógicamente achacarse al operario, pero por suerte se trata de un defecto sumamente raro al realizarse trabajos de soldadura con electrodos de recubrimiento grueso. (Actualmente no se emplea prácticamente otros electrodos que los de recubrimiento grueso). Si una soldadura realizada con electrodo grueso presenta defectos de unión, el soldador tiene que haber procedido de una manera sumamente torpe, y por ejemplo, solamente dirigido el arco contra una de las superficies de unión (junta) y dejado que el metal de soldadura fundido fluyera hacia la otra superficie de unión, la que ha estado fría. Podemos también imaginarnos que el soldador ha empleado una corriente demasiado baja, por ejemplo eligiendo un electrodo demasiado débil para un material grueso, de manera que el calor transmitido no sea suficiente para fundir el metal básico. Ambos casos precitados pueden empero considerarse como extremos y son una señal evidente de que el soldador, o mejo dicho "el fundidor de electrodos", ya que este nombre



lo califica más adecuadamente, no posee los conocimientos fundamentales para la soldadura por arco.

Considerando que las grietas significan defectos muy serios, las trataremos en forma más detallada más adelante.

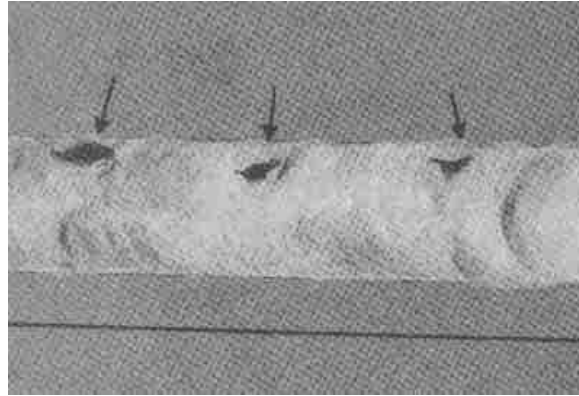
Cuando se trata de descubrir y localizar defectos de soldadura, que en la mayoría de los casos se hallan ocultos a mayor o menor profundidad bajo la soldadura, el método de control más empleado, confiable y que no destruye el objeto examinado, es actualmente la prueba radiográfica.

En base a los datos obtenidos vamos a realizar una clasificación con ejemplos de los defectos más comunes en la soldadura.

1. Porosidades diversas
2. Porosidad agrupada
3. Poro túnel
4. Línea de escoria
5. Inclusión de escoria
6. Rechupe
7. Falta de penetración
8. Soldadura desalineada
9. Socavado
10. Socavaduras externas
11. Socavado interno
12. Socavado en la raíz
13. Penetración excesiva
14. Corona baja
15. Quemada en la raíz



1. Porosidades diversas.



Causas del defecto

Metal base inadecuado con contaminantes en el maquinado o con alto contenido de azufre.

Porosidades diversas en sistemas con gases protectores como argón, bióxido de carbono.

Los gases están contaminados o no funcionan en la proporción correcta por falta de flujo.

Corrección

Verificar el metal base y su preparación. Cuidar que los electrodos liguen y efectuar la acción de limpieza. Verifique los gases, los sistemas, mangueras, flujómetros y mezclas de gases.

Esta es una porosidad dentro de los límites de aceptabilidad.



2. Porosidad agrupada.



Causas del defecto

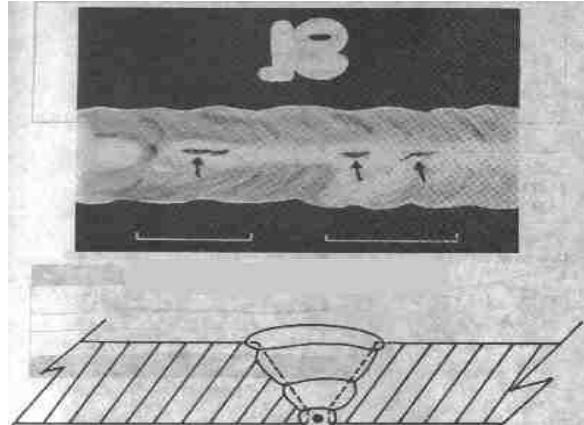
Porosidades en el sistema de arco sumergido causadas por un fundente húmedo, superficie contaminada, alambre del electrodo, sucio y oxidado o bien el uso de un fundente de textura muy fina.

Corrección

Utilice fundente seco y limpio; verifique la limpieza y buena preparación del metal base; el alambre del electrodo debe ser nuevo, estar limpio y tener la altura y velocidad apropiada; verifique que el fundente tenga la granulación correcta y corresponda al tipo de metales; verifique la distancia de las boquillas y que estén limpias.



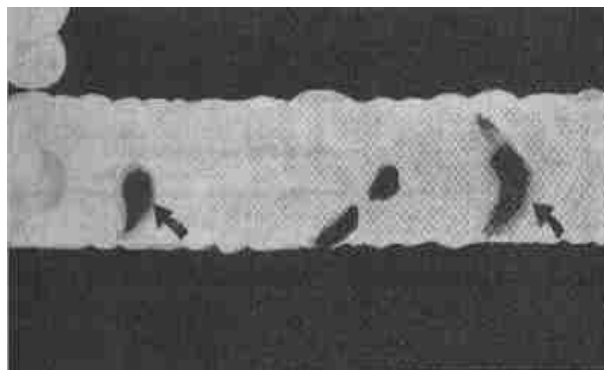
3. Poro túnel.



Esta porosidad ocurre en el cordón de raíz y se considera por lo general como un caso especial de penetración incompleta. Se define como una condición en la que tres o más cavidades de un diámetro de 1/16 de pulgada, se disminuyen paralelamente al eje de la soldadura y la distancia promedio entre ellas no es mayor de 3/4 ni menor de 1/16 de pulgada.

Los poros túnel son porosidades lineales alargadas que ocurren en el depósito de la raíz. La máxima longitud de la discontinuidad no debe exceder de 1/2 de pulgada.

4. Línea de escoria.





Causas del defecto

Falta de cuidado en las técnicas de manipulación.

Falta de limpieza de la escoria entre pasos.

Superficie irregular en los biseles con pedazo de metal sobrante al hacer estos.

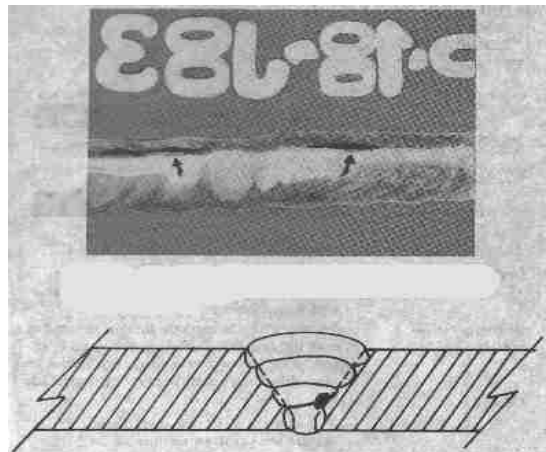
Corrección

Mantenga un buen ritmo y cuide la forma del cordón.

Limpie con mucho cuidado al termino de cada peso.

Verifique el acabado y limpieza en la preparación de los biseles. En caso necesario, use una lima para limpiarlos.

5. Inclusión de escoria.



Causas del defecto

Poco cuidado en la limpieza de escoria, entre pasos, de los cordones de soldadura.

Inclusión de escoria a la orilla del cordón en forma intermitente y escalonada.



El corte y la superficie de los biseles quedan irregulares

Técnica incorrecta al manipular la soldadura.

El voltaje y el amperaje son inadecuados al tamaño del metal base.

Corrección

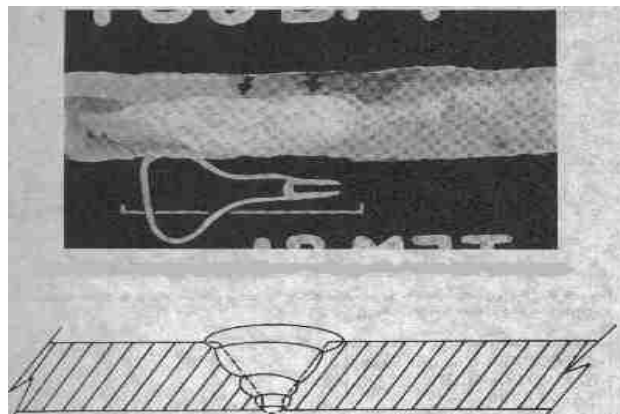
Cepille y cincele la escoria al finalizar cada uno de los pasos del cordón.

Remueva la escoria de la orilla usando una técnica adecuada y evite realizar la corona y el dibujo de contorno, para no atrapar la escoria entre pases.

Alise las superficies de los biseles para que queden limpios y uniformes.

Corrija los valores eléctricos en la maquina de soldar.

6. Rechupe.

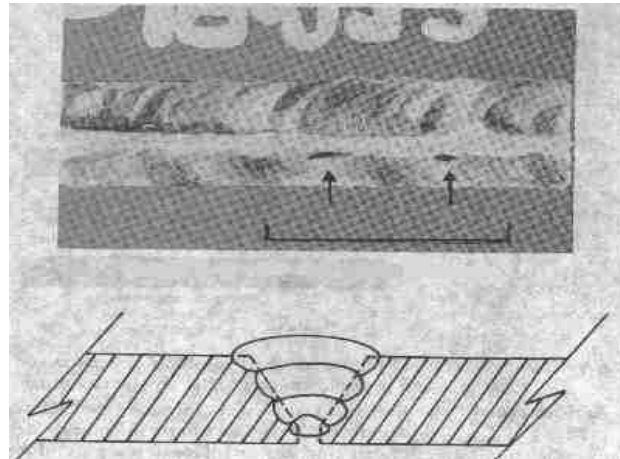


Lugar donde el metal de la soldadura se contrae formando canaladuras espaciadas que parecen grietas en el centro del cordón de raíz y a un lado de dicho cordón junto al metal base.

Manchas en forma de islotes, regularmente espaciadas que se presentan en el centro del cordón de raíz.



7. Falta de penetración.



Causas del defecto

Bisel demasiado cerrado en el hombro del cordón de raíz.

Electrodo de diámetro excesivo.

Corriente de amperaje escaso.

Corrección

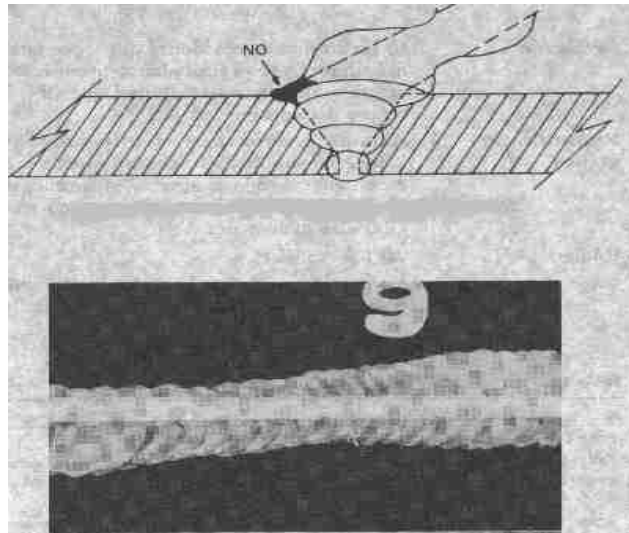
Vuelva a preparar correctamente dando la separación adecuada.

Utilice electrodo del diámetro correspondiente.

Gradúe el amperaje adecuado al diámetro del electrodo y espesor de paredes del metal base.



8. Soldadura desalineada.



Causas del defecto

Falta de cuidado al soldar.

Falta de experiencia o técnica pobre y descuidada.

Soldar en posición incómoda.

Corrección

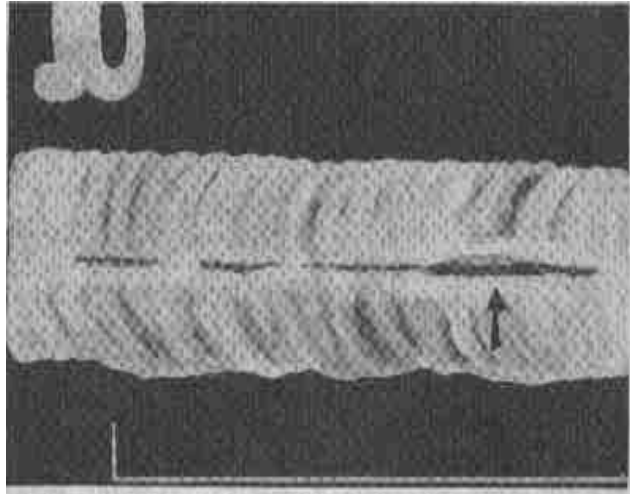
Ser más cuidadoso al soldar.

Capacitarse y auxiliarse con el señalamiento de los límites correctos del cordón.

Colocar su trabajo en forma cómoda y práctica.



9. Socavado.



Causas del defecto

Exceso de calor.

Electrodo inadecuado.

Manipulación incorrecta.

Arco muy intenso.

Velocidad inadecuada, saliéndose de los límites del cordón con técnica pobre.

Corrección

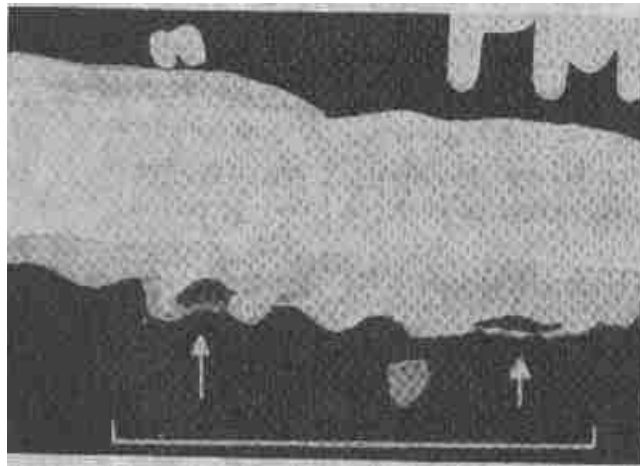
Corrija el amperaje de su máquina y cambie el electrodo.

Mejore el movimiento manual y la velocidad, y corrija el movimiento del electrodo.

Corrija el arco.

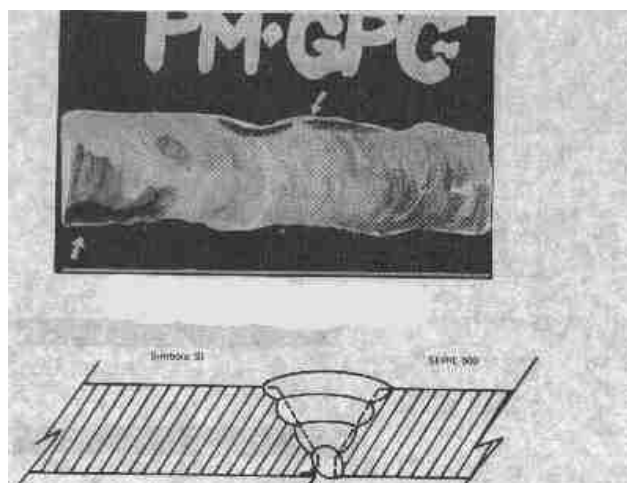


10. Socavaduras externas.



La profundidad del socavado puede ser determinada por métodos visuales, mecánicos y no destructivos. Cuando se use la radiografía, la profundidad del socavado es juzgada por comparación de la densidad de su imagen de la ranura de profundidad del penetrómetro.

11. Socavadura interna.





Causas del defecto

Preparación incorrecta del bisel.

Separación del hombro muy abierta.

Penetración excesiva del cordón de raíz.

Exceso de corriente y amperaje.

Exceso de refuerzo.

Arco muy alto.

Electrodo incorrecto.

Corrección

Preparación correcta.

Corrija la distancia y la velocidad.

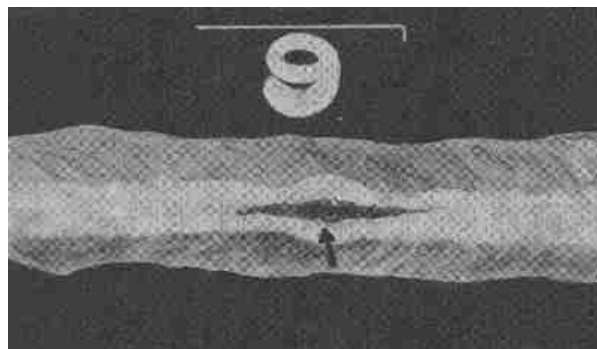
Use amperaje adecuado al tamaño del electrodo.

Aumente la velocidad si esta soldando muy despacio.

Reduzca el arco.

Utilice un electrodo adecuado.

12. Socavado en la raíz.

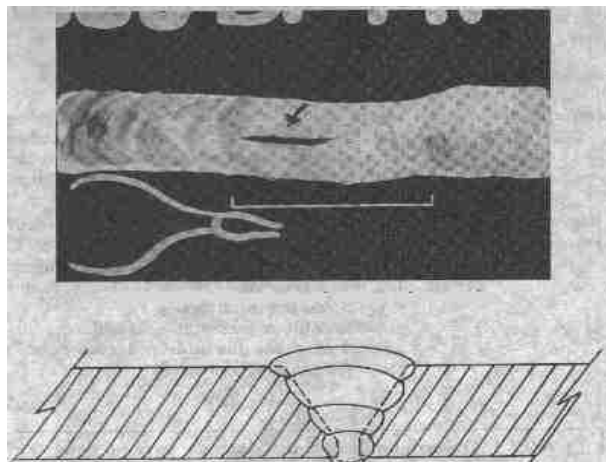




Se trata de un canal en la parte inferior o interna de la soldadura, junto a la orilla del cordón de raíz que debilita la resistencia de la soldadura.

Es fácil confundir este defecto con línea de escoria, por lo que debe observarse desde varios ángulos.

13. Penetración excesiva.



Causas del defecto

Hombro del bisel muy abierto.

Corriente de la soldadura muy alta.

Velocidad muy lenta y ángulo inadecuado del electrodo.

Electrodo de diámetro muy grueso.



Corrección

Corrija la abertura del bisel.

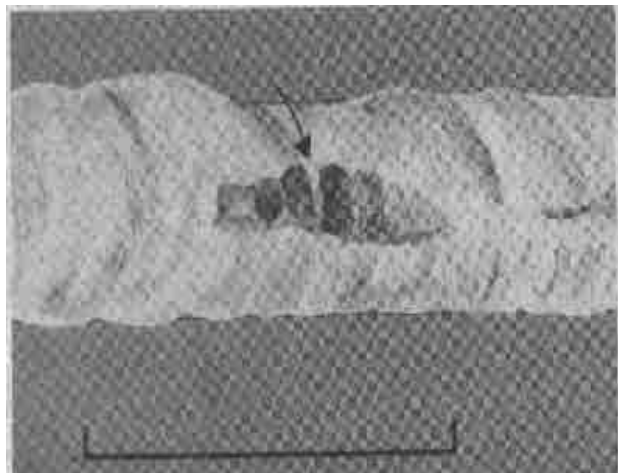
Reduzca y equilibre la corriente para soldar.

Aumente la velocidad e incline el ángulo del electrodo.

Utilice el electrodo de la medida y tipos correctos.

14. Corona baja.

a)



Causas del defecto

Mala manipulación del electrodo pobreza técnica.

Soldar con exceso de corriente.

Velocidad y altura del arco muy alta.

Electrodo en mal estado.



Corrección

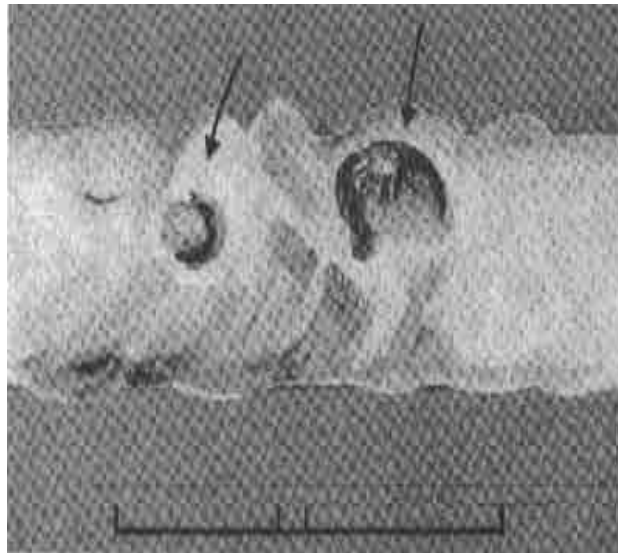
Practicar, capacitarse, cambiar de soldador.

Corrija la corriente.

Corrija la velocidad y el arco.

Use electrodo en buen estado.

b)



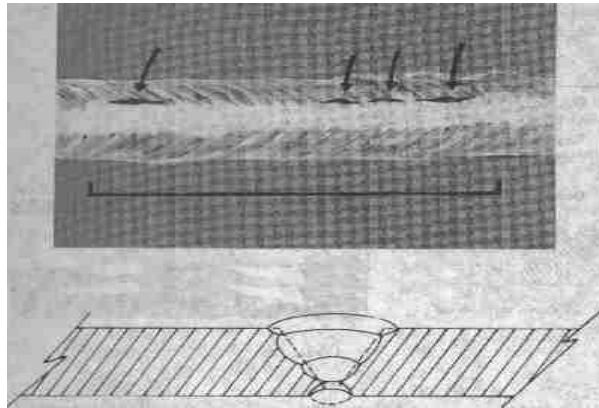
Es un cordón de soldadura con perfil incorrecto que presenta depresiones continuas o aisladas.

Al centro se presentan manchas oscuras muy bien definidas y con formas irregulares.



15. Quemada en la raíz.

a)



Causas del defecto

Amperaje muy alto.

Arco muy intenso.

Electrodo muy grueso.

Soldar con poca velocidad.

Corrección

Reduzca su corriente.

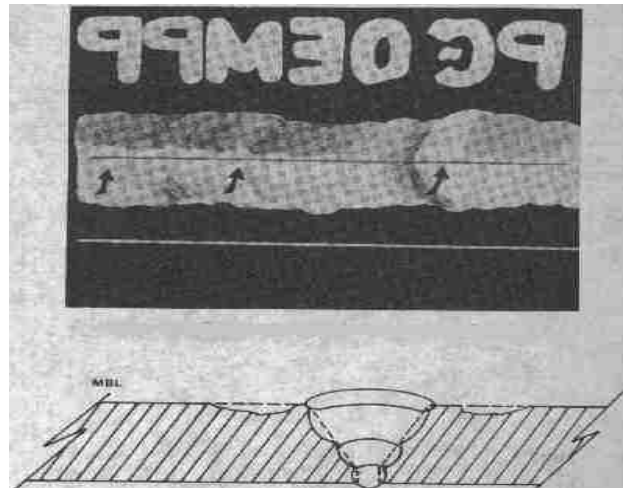
Corrija su inclinación.

Use un electrodo de menor diámetro.

Mejore su técnica.



b)



Causas del defecto

Lugar donde estuvo soldado un puente para el armado.

Soldador descuidado; Inicio del arco sobre la placa.

Corrección

Arme con punteado muy ligero. Nunca encienda el arco sobre al metal base.



INSPECCION RADIOGRAFICA: CALIFICACIÓN

1. FRACTURAS

- 1.1 Fractura longitudinal
- 1.2 Grietas transversales
- 1.3 Grupo de grietas transversales
- 1.4 Grietas de cráter transversal

2. POROSIDADES Y CAVITACIONES

- 2.1 Cavidad de gas
 - 2.1.1 Cavidad esférica
 - 2.1.2 Porosidad uniformemente distribuida
 - 2.1.3 Grupo de cavidades de gas
 - 2.1.4 Porosidad lineal
 - 2.1.5 Cavidades alargadas
 - 2.1.6 Cavidades tubulares
- 2.2 Rechupe por contracción

3. INCLUSIÓN DE SÓLIDOS

- 3.1 Inclusión de escoria
 - 3.1.1 Línea o líneas de escoria
 - 3.1.2 Escoria aislada
- 3.2 Inclusión lineal de flux
- 3.3 Inclusión metálica de tungsteno

4. FUSIÓN INCOMPLETA Y FALTA DE PENETRACIÓN



4.1 Falta de fusión

4.1.1 Entre el metal de soldadura y el metal base

4.1.2 En la raíz del cordón de soldadura

4.2 Falta de penetración

5. DEFECTOS DE CONTORNO, TRASLAPE, CONCAVIDADES, CORDONES IRREGULARES, SOCAVADO Y RECHUPES

5.1 Surcos, mordeduras, socavado

5.1.1 Surcos o mordeduras continuas

5.1.2 Mordedura intermitente

5.1.3 Surcos o mordeduras en la raíz

5.2 Exceso de penetración

5.2.1 Exceso local de penetración

5.3 Tubo desalineado

5.4 Falta de espesor o corona baja

5.5 Caras irregulares o soldadura desalineada

5.6 Contracción o rechupe de raíz

6. DEFECTOS VARIADOS

6.1 Salpicaduras, proyecciones o perlas



INSPECCION RADIOGRAFICA: CALIFICACIÓN

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 las 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 sean, 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 mostrado 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 código 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 más 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 fusión y la falta de penetración 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 (INTERNATIONAL 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 está destinada a servir de guía para la interpretación de las radiografías, para la unificación de criterio 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 base de datos, según la importancia relativa de los defectos en ellas presentes, se pueden dividir en cinco clases. Son los siguientes:

1) Soldadura sana o que solamente contiene algunas pequeñas inclusiones dispersas. Según la norma UNE 14011 se califica como perfecta.

2) Defectos muy pequeños en forma de una o varias de las siguientes imperfecciones: inclusiones gaseosas, inclusiones de escoria, mordeduras... Según la norma UNE 14011 se califica como buena.



3) 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 14011 se clasifica como soldadura regular.

4) 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 14011 se clasifica como soldadura mala.

5) 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 14011 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:

1. Fracturas
2. Porosidades y cavilaciones
3. Inclusión de sólidos
4. Fusión incompleta y falta de penetración
5. Defectos de contorno, rechupes, socavados, traslapo, concavidades y cordones irregulares
6. Defectos diversos o misceláneas

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.



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.

1. FRACTURAS.

Esta serie incluye fracturas (grietas) de todo tipo, ya sean longitudinales, transversales, radiales, de cráter, etc.

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 homogeneización 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.

Comparando entre distintos códigos, vemos que ninguno 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 se considerarán defectos perjudiciales a menos que su longitud se exceda de 5132" (3.96 mm), Así ninguna soldadura que contenga roturas, sin importar su tamaño o localización, debe ser aceptada.



1.1 FRACTURAS LONGITUDINALES.

Fractura longitudinal en el metal de soldadura. Aunque no disponemos de ejemplos digitalizados en la base de datos, enunciaremos distintos casos que se pueden presentar:

* Se puede encontrar una fractura a lo largo del eje de soldadura. Aunque aparenta no tener gran importancia debido a que es muy estrecha, este aspecto es 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.

* Podemos ver una grieta longitudinal de gran longitud y profundidad. Esta soldadura se desechará 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.

* Se puede presentar otra grieta que mida 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 deseche, por tanto, la soldadura y que se la califique como MALA.

* 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.



1.2 GRIETAS TRANSVERSALES.

En el metal de soldadura. Vemos unos ejemplos:

* 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).



1.3 GRUPO DE GRIETAS TRANSVERSALES.

En el metal de soldadura. Vemos un ejemplo:

* 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.





1.4 GRIETAS DE CRATER TRANSVERSALES.

* Se observa una grieta de cráter, transversal, aprox. por el centro de la radiografía. Se trata de un defecto notable y desechará la soldadura.



2. 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.

2.1 CAVIDAD DE GAS.

2.1.1 Cavidad esférica.

Vemos un ejemplo:

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



2.1.2 Porosidad uniformemente distribuida.

Vemos unos ejemplos:

* 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.



* 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 desechará 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 casos anteriores. Según UNE se trata de una soldadura considerada como regular (defectos pequeños).



* 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 un área excesivamente grande (15 mm). Todos estos factores unidos, pueden provocar la rotura de la soldadura, calificándola como mala.



* 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 14011 la califica como muy mala.



2.1.3 Grupo de cavidades de gas.

* 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.



* 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.



* 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 en algunos casos los 5 mm y el área que ocupan supera los 15 mm. Se trata pues de una soldadura mala y por tanto desechable.



2.1.4 Porosidad lineal.

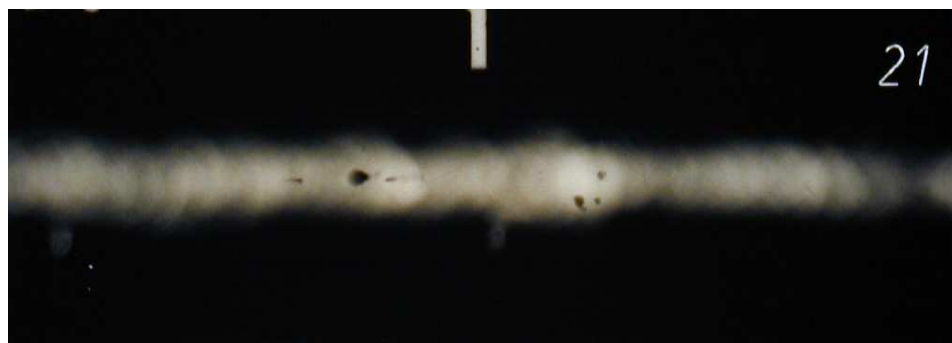
* Poros distribuidos linealmente a lo largo del cordón de soldadura. Aunque su tamaño es más o menos grande entra dentro de las normas de aceptación y se considera aceptable. (Soldadura buena).



* 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.



* Poros de gran tamaño, el mayor alcanza los 5 mm de diámetro. (Mala).



2.1.5 Cavidades alargadas.

* 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 mala y por tanto se desecha sea cual sea su posterior uso. (Lo que la hace desechable es el grupo de cavidades)



* Cavidades alargadas que no revisten importancia (Buena).



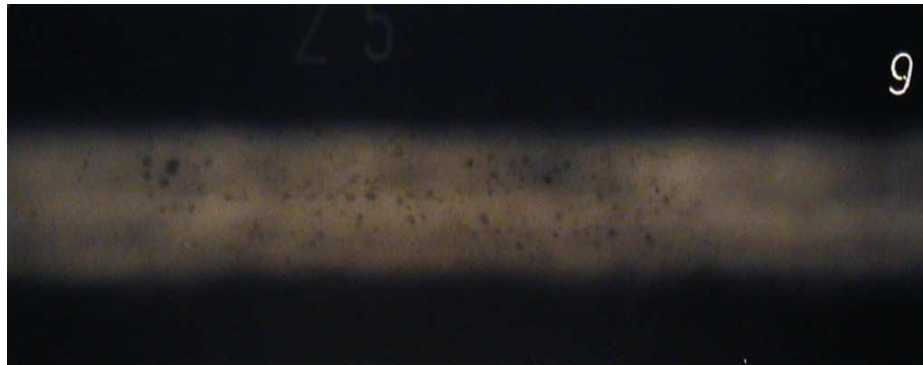
* Porosidades alargadas y cercanas que hacen que se considere como una soldadura regular que se aceptará o no según la aplicación.





2.1.6 Cavidades tubulares.

* 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 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.

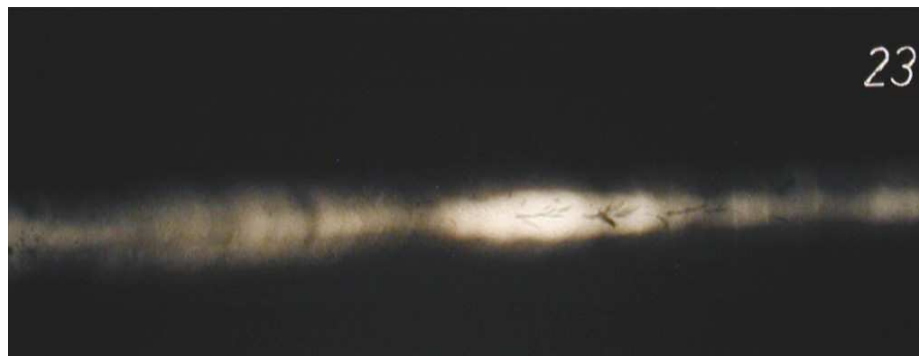


* Tenemos una porosidad de túnel o de aguja (porosidad tubular), que puede no considerarse como un defecto condenable ya que no es continua. Según British Standard es aceptable y la califica como buena, sin embargo, mi criterio personal sería calificarla como regular, aceptándola o no según el uso que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





* 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 soportara posteriormente: si ha de soportar grandes tensiones lo desecharemos, y lo aceptaremos en caso de no ser así.



* Cavidades tubulares distribuidas en la mayor parte de la soldadura y que ocupan toda su anchura. En su defecto condenable y esta soldadura se desechará nada mas verla, calificándose como muy mala.





2.2 RECHUPE POR CONTRACCIÓN.

No poseemos imágenes de este tipo pero comentaremos como aparece.

Se produce una cavidad durante la solidificación de la soldadura, pudiendo darse tanto en la raíz como en el interior del cordón.

3. 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 atrapamiento 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.



3.1 INCLUSION DE ESCORIA.

3.1.1 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.

* Pequeñas inclusiones sólidas alineadas a lo largo del cordón de soldadura. No constituyen un defecto condenable que haya 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.



* En este caso sí 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. (Mala).



* 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 por esos lugares. (Mala).



* 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). Muy mala.



3.1.2 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.

*Aparecen pequeñas inclusiones aisladas que no revisten importancia, pudiendo calificar esta soldadura como buena.

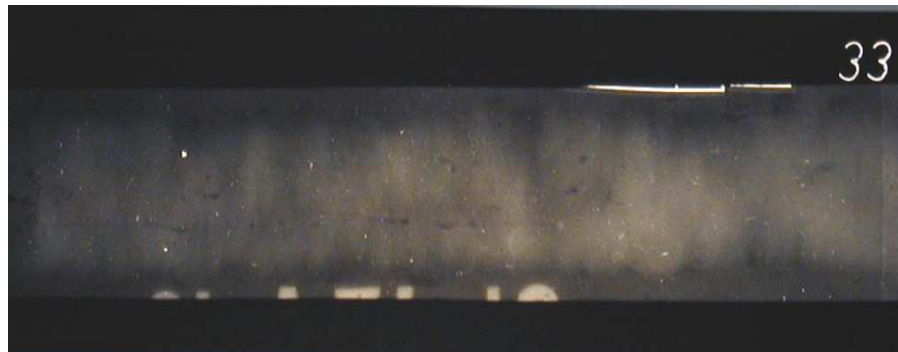




3.2 INCLUSION LINEAL DE FLUX.

Vemos un ejemplo:

* 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.



3.3 INCLUSION METALICA DE TUNGSTENO.

En estos 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.



4. 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 el 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:

API: Permite 1" de longitud en un tramo de 12"

Permite 2" de longitud en un tramo de 24"

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.



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 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)
- * Separación o unión del bisel excesiva.
- * Angulo inadecuado del bisel.

4.1 FALTA DE FUSION.

4.1.1 Entre el metal de soldadura y el metal base.

* 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.

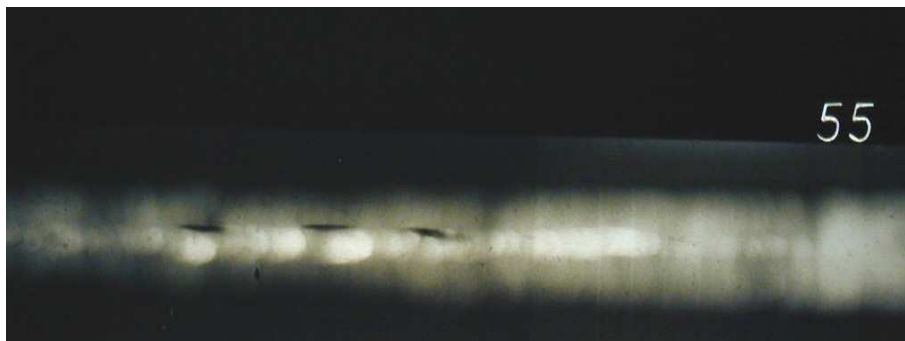


* Al igual que en el caso anterior, por tratarse de una falta de fusión es un defecto grave, además en este caso, se ve mas agravado aún. Por tanto también se desechará, clasificándose como muy grave.



4.1.2 En la raíz del cordón de soldadura.

* 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. Mala.



4.2 FALTA DE PENETRACIÓN.

* Este es un caso en 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

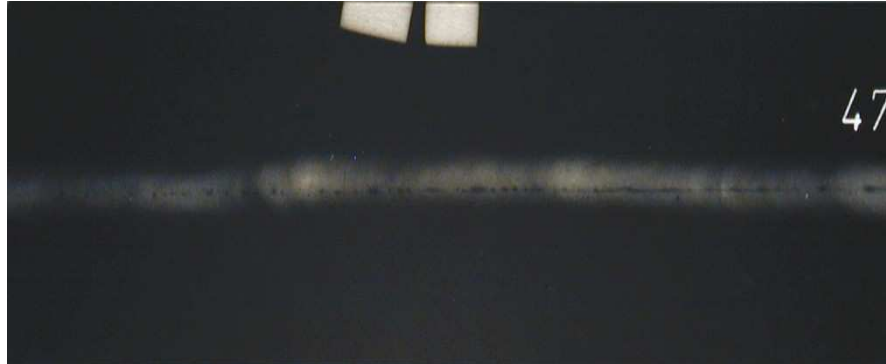


* En este caso sí es algo más importante la falta de penetración que presenta esta soldadura, hay más líneas y más oscuras.

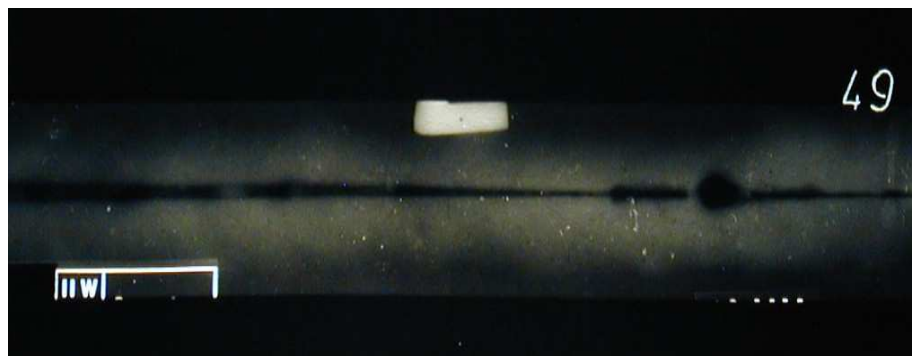


British Standard califica a esta soldadura como regular, lo que significa, que según ellos, se aceptará o rechazará, dependiendo de si se trata o no de una soldadura que vaya a estar sometida a tensiones. Sin embargo, según API, esta soldadura sería rechazada con toda seguridad.

* 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, calificaremos esta soldadura como mala.



* Esta soldadura presenta un gravísimo defecto de falta de penetración. Nunca se aceptará esta soldadura, siendo desechada y calificada como mala.



* Se observa la falta de penetración en el centro del cordón. (Va combinada con surcos en la raíz) Esta soldadura es desechable y calificada como mala.





* 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, y ya sabemos que las fracturas constituyen el defecto más importante en soldadura.



5. DEFECTOS DE CONTORNO, TRASLAPE, CONCAVIDADES, CORDONES IRREGULARES, SOCAVADO Y RECHUPES.

El socavado es uno de los defectos más serios en 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.

5.1 SURCOS, MORDEDURAS, SOCAVADO.

5.1.1 Surcos o mordeduras continuas.

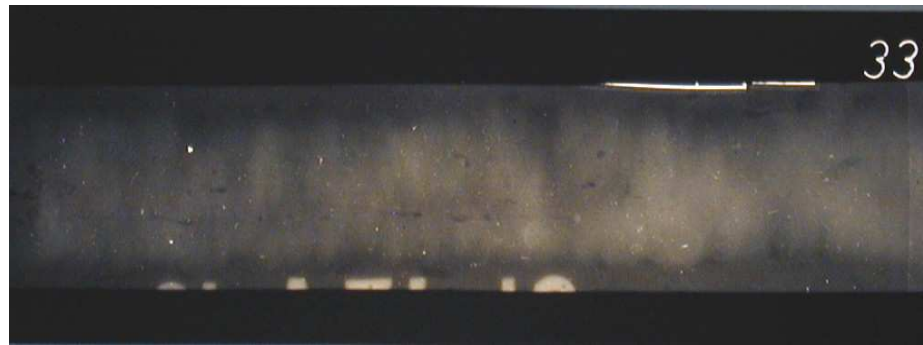
Vemos unos ejemplos:

* 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.





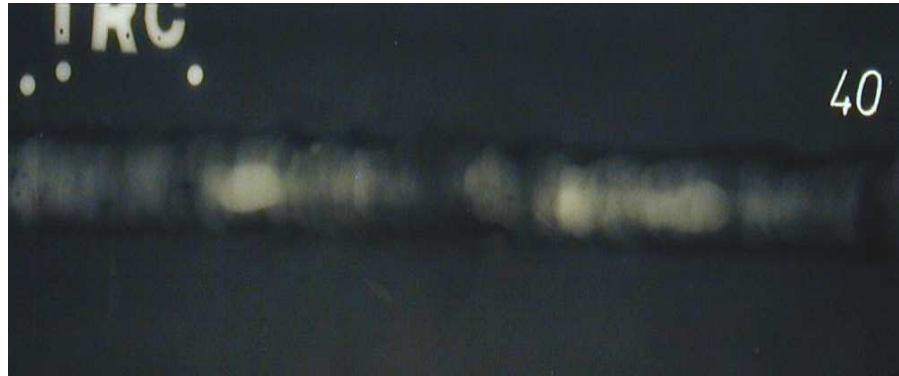
* Este es un caso muy similar al anterior, que presenta mordeduras continuas. También se pueden observar en este ejemplo algunas inclusiones de flux. (Regular).



* 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 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.



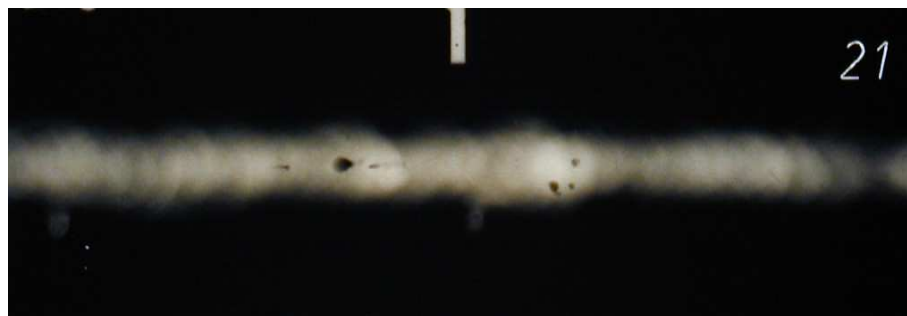
* Este es el caso de una soldadura con un defecto de mordedura, que se extiende a lo largo de todo el cordón de la soldadura, y que presenta aún más gravedad que el caso anterior. Es un defecto muy grave y se califica la soldadura como muy mala.



5.1.2 Mordedura intermitente.

Vemos unos ejemplos:

* Soldadura con mordeduras intermitentes de tamaño considerable, que pueden provocar una 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.



* 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.



5.1.3 Surcos o mordeduras en la raíz.

Vemos un ejemplo:

* 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.



5.2 EXCESO DE PENETRACION.

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 $(3/32")$.

5.2.1 Exceso local de penetración.

Vemos un ejemplo:

* 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.

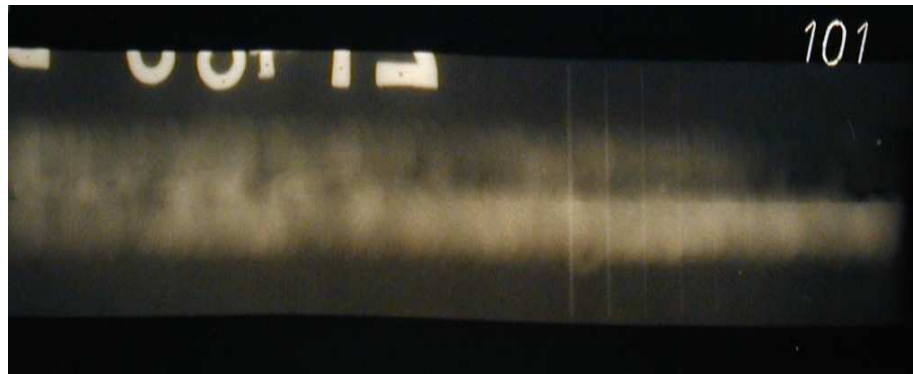


5.3 TUBO DESALINEADO.

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.

* Se observa el desalineamiento, pues se ve un lado de cordón más oscuro que el otro.



5.4 FALTA DE ESPESOR O CORONA BAJA.

Es un cordón de soldadura con 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.

* Este defecto no es tolerable si ocupa demasiada superficie, solamente, cuándo esta es mínima. En este caso, la superficie que ocupa es considerable y por tanto, se desechará la soldadura, calificándose como soldadura mala.





5.5 CARAS IRREGULARES O SOLDADURA DESALINEADA.

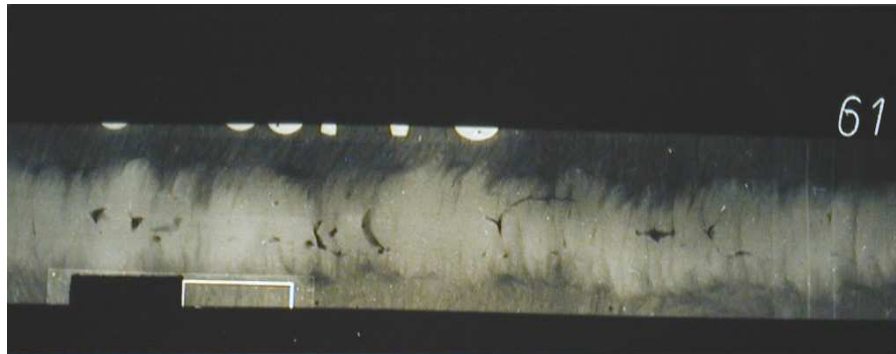
Es un cordón de soldadura que sigue una línea sinuosa y se va trasladando pronunciadamente a ambos lados del bisel que sirve del centro del cordón.

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.

Vemos un ejemplo:

* Se ve claramente la soldadura desalineada, y además presenta algunas grietas, que son las que hacen que esta soldadura se califique como mala.



5.6 CONTRACCION O RECHUPE EN LA RAIZ.

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.

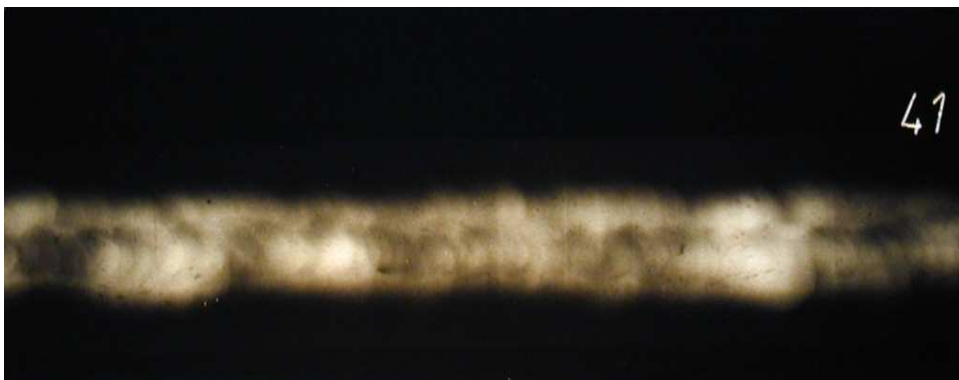
Registro radiográfico: Manchas oscuras en forma de islotes regularmente espaciadas, que se encuentran en el centro del cordón de raíz.



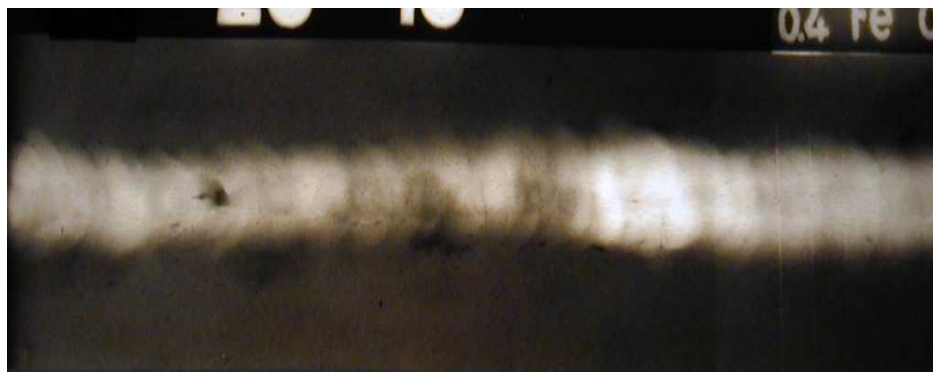
API y ASME establecen que el defecto es aceptable aunque señalan pobreza de técnica y posible punto de débil soldadura.

Vemos unos ejemplos:

* Se produce el rechupe a lo largo de toda la raíz del cordón de soldadura. Esta soldadura es aceptable y calificada como buena.



* 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.





6. DEFECTOS VARIADOS.

6.1 SALPICADURAS, PROYECCIONES O PERLAS.

Vemos un ejemplo:

* 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.





ANEXO A: NORMA EUROPEA

1. Objeto y campo de aplicación.
2. Definiciones.
3. Clasificación y explicación de las imperfecciones.
4. Tipos de grietas.
5. Designación.

Tabla 1: Clasificación de las imperfecciones.

Anexo: Fenómenos del agrietamiento.



ANEXO A: NORMA EUROPEA

TITULO: Soldeo y procesos afines.

Clasificación de las imperfecciones geométricas en las soldaduras de materiales metálicos

Parte 1: Soldeo por fusión.

(150 6520-1:1998)

CORRESPONDENCIA: Esta norma es la versión oficial, en español, de la Norma Europea EN ISO 6520-1 de octubre 1998, que a su vez adopta íntegramente la Norma Internacional ISO 6520-1:1998

OBSERVACIONES: Esta norma anula y sustituye a la Norma UNE-EN 6520 de diciembre 1992.

ANTECEDENTE: Esta norma ha sido elaborada por el comité técnico AEN/CTN 14 “Soldadura y Técnicas Conexas” cuya Secretaría desempeña SERCOMETAL.

El texto de la Norma Internacional ISO 6520-1:1998 del Comité Técnico ISO/TC 44 “Soldadura y técnicas conexas”, de la Organización Internacional de Normalización (ISO), ha sido adoptado como norma europea por el Comité Técnico CEN/TC 121 “Soldadura”, cuya Secretaría desempeña DS.

Esta norma anula a la Norma EN 26520:1991.

Esta norma europea deberá recibir el rango de norma nacional mediante la publicación de un texto idéntico a la misma o mediante ratificación antes de finales de abril de 1999, y todas las normas nacionales técnicamente divergentes deberán anularse antes de finales de 1999.



Esta norma europea ha sido elaborada bajo un Mandato dirigido a CEN por la Comisión Europea y por la Asociación Europea de Libre Cambio, y sirve de apoyo a los requisitos esenciales de Directiva(s) europea(s).

De acuerdo con el Reglamento Interior de CEN/CENELEC, los organismos de normalización de los siguientes países están obligados a adoptar esta norma europea: Alemania. Austria, Bélgica. Dinamarca. España, Finlandia. Francia. Grecia, Irlanda, Islandia, Italia. Luxemburgo. Noruega. Países Bajos, Portugal, Reino Unido. República Checa, Suecia y Suiza.

NOTA DE CEN/CS: Los antecedentes son susceptibles de modificación cuando se reciba la versión alemana. Los antecedentes confirmados o modificados, y si procede, el anexo ZA normativo para las referencias a publicaciones internacionales con sus publicaciones europeas correspondientes se harán circular con la versión alemana.

DECLARACIÓN

El texto de la Norma Internacional ISO 6520-1:1998 ha sido aprobado por CEN como norma europea sin ninguna modificación.

ÍNDICE

- 1 Objeto y campo de aplicación.
 - 2 Definiciones.
 - 3 Clasificación y explicación de las imperfecciones.
 - 4 Tipos de grietas.
 - 5 Designación.
- Tabla 1: Clasificación de las imperfecciones.
- Anexo (informativo): Fenómenos del agrietamiento.



1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN.

Esta parte de la Norma ISO 6520 sirve de base para una clasificación descripción precisa de las imperfecciones de soldadura.

Con objeto de evitar confusiones, los tipos de imperfecciones se definen con explicaciones e ilustraciones en caso necesario.

Las imperfecciones metalúrgicas no se toman en consideración.

NOTA: En complemento a los términos utilizados en dos de los tres idiomas oficiales de ISO (inglés y francés), esta parte de la Norma ISO 6520 da los términos y definiciones equivalentes en alemán; estos términos y definiciones se publican bajo la responsabilidad del organismo miembro de Alemania (DIN). No obstante, solamente los términos y definiciones dadas en las lenguas oficiales pueden considerarse como términos y definiciones de ISO.

2 DEFINICIONES.

Para los fines de esta parte de la Norma ISO 6520, se aplican las siguientes definiciones:

2.1 imperfección: Cualquier desviación respecto a la soldadura ideal.

2.2 defecto: Cualquier imperfección considerada como no aceptable.

3 CLASIFICACION Y EXPLICACION DE LAS IMPERFECCIONES.

El principio del sistema de numeración en la tabla 1, se basa en la clasificación de las imperfecciones en seis grupos:



- 1- Grietas.
- 2- Cavidades.
- 3- Inclusiones sólidas.
- 4- Falta de fusión y penetración.
- 5- Imperfecciones de forma y dimensión.
- 6- Otras imperfecciones.

En lo relativo a la tabla 1, se debería tener en cuenta que:

- a) en la columna 1 se da un número de referencia de tres dígitos para cada imperfección principal y uno de cuatro dígitos para las subclasificaciones;
- b) en la columna 2 se da la designación de cada imperfección y la explicación en castellano;
- c) en la columna 3 se incluyen ilustraciones para los casos en que es necesario completar la explicación.

4 TIPOS DE GRIETAS.

Los tipos de agrietamiento que se producen durante o después del soldeo se relacionan en el anexo A. Se designan mediante letras.

Quando es necesaria una descripción completa de las grietas, se recomienda utilizar una combinación del sistema numérico de clasificación de acuerdo con la tabla 1, con las letras utilizadas en el anexo A.

NOTA - El símbolo “*” indica las nuevas imperfecciones añadidas.

5 DESIGNACIÓN.

Quando se requiera una designación para una imperfección debe tener la siguiente estructura:

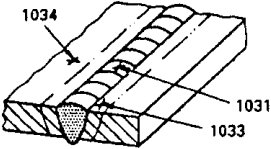
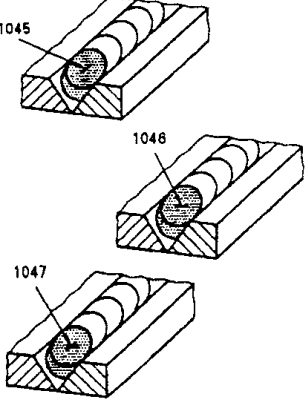
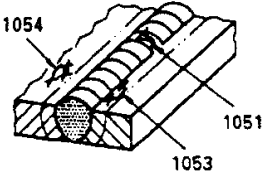
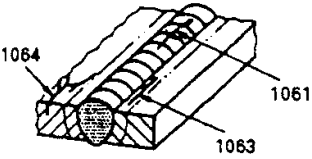


EJEMPLO

Una grieta (100) debe designarse como: Imperfección ISO 6520-1-100

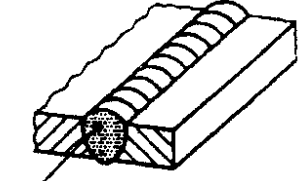
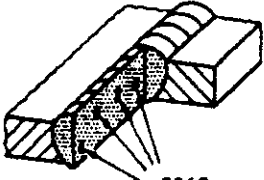
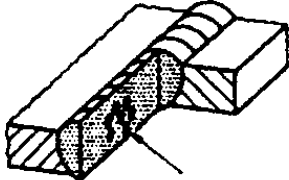
Tabla 1: Clasificación de las imperfecciones.

Grupo nº1 GRIETAS		
Numero referencia	Designación y explicación	Ilustraciones
100	Grieta Discontinuidad producida por una rotura local en el estado sólido, que puede ser producida por efecto del enfriamiento o por tensiones.	
1001	Microgrieta Grieta visible solamente al microscopio.	
101 1011 1012 1013 1014	Grieta longitudinal Grieta sensiblemente paralela al eje de la soldadura. Puede situarse: - en el metal de soldadura - en la línea de fusión - en la zona afectada térmicamente - en el metal base.	<p>1) Zona afectada térmicamente</p>
102 1021 1023 1024	Grieta transversal Grieta sensiblemente transversal al eje de la soldadura. Puede situarse: - en el metal de soldadura - en la zona afectada térmicamente - en el metal base.	

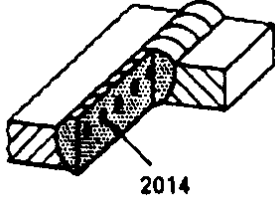
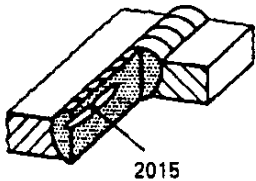
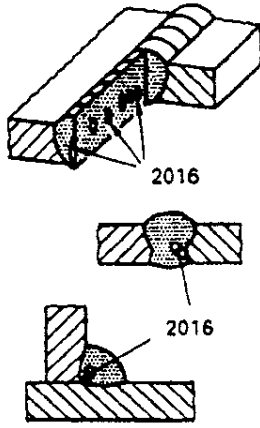
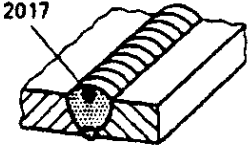
<p>103</p> <p>1031</p> <p>1033</p> <p>1034</p>	<p>Grietas radiales</p> <p>Grieta radial cuyo origen es un punto común.</p> <p>Puede situarse:</p> <ul style="list-style-type: none"> - en el metal de soldadura - en la zona afectada térmicamente - en el metal base. <p>NOTA: A las grietas de este tipo de pequeño tamaño se las conoce como grietas de estrella.</p>	
<p>104</p> <p>1045</p> <p>1046</p> <p>1047</p>	<p>Grieta de cráter</p> <p>Grieta en el cráter al final de una soldadura y que puede ser:</p> <ul style="list-style-type: none"> - longitudinal - transversal - grieta en estrella 	
<p>105</p> <p>1051</p> <p>1053</p> <p>1054</p>	<p>Grupo de grietas discontinuas</p> <p>Grupo de grietas discontinuas en cualquier dirección, que puede estar situadas:</p> <ul style="list-style-type: none"> - en el metal de soldadura - en la zona afectada térmicamente - en el metal base. 	
<p>106</p>	<p>Grietas ramificadas</p> <p>Grupo de grietas continuas con origen en una grieta común y que se distingue de un grupo de grietas discontinuas (105) y de las grietas radiales (103). Pueden situarse:</p>	



1061	- en el metal de soldadura	
1063	- en la zona afectada térmicamente	
1064	- en el metal base.	

Grupo nº2 CAVIDADES		
Numero referencia	Designación y explicación	Ilustraciones
200	Cavidad	
201	Sopladura Cavidad formada por gas atrapado.	
2011	Puro Sopladura de forma sensiblemente esférica.	 <p>2011</p>
2012	Sopladuras uniformemente distribuidas Sopladuras esferoidales distribuidas regularmente en toda la extensión del metal de soldadura: se diferencia de las sopladuras alineadas (2014) y de las sopladuras agrupadas (2013).	 <p>2012</p>
2013	Sopladuras agrupadas Grupo de sopladuras distribuidas de cualquier manera.	 <p>2013</p>



2014	Sopladuras alineadas Sopladuras distribuidas paralelamente al eje de la soldadura.	
2015	Sopladura alargada Sopladura grande no esférica, cuya dimensión principal es paralela al eje de la soldadura.	
2016	Sopladura vermicular Sopladura tubular producida por escape de gas. La forma y posición de las sopladuras vermiculares está determinada por el modo de solidificación y origen del gas. Generalmente se encuentran agrupadas y distribuidas en forma de espina de pescado. Algunas sopladuras vermiculares pueden emerger a la superficie de la soldadura.	
2017	Picadura Sopladura de pequeña dimensión que emerge a la superficie de la soldadura.	
202	Rechupe Cavidad debida a la contracción del metal durante la solidificación.	



2021	<p>Rechupe interdendrítico</p> <p>Cavidad de forma alargada que se produce entre dendritas durante el enfriamiento y que puede contener gas atrapado. Esta imperfección es, generalmente, perpendicular a las caras de las soldaduras.</p>	
2024	<p>Rechupe de cráter</p> <p>Cavidad en el final de un cordón de soldadura, y no eliminada antes o durante la ejecución de la pasada siguiente.</p>	
2025	<p>Rechupe de cráter abierto</p> <p>Rechupe de cráter abierto que reduce la sección transversal de la soldadura.</p>	
203	<p>Microrrechupes</p> <p>Rechupes solamente visibles al microscopio.</p>	
2031	<p>Rechupe interdendrítico</p> <p>Cavidad de forma alargada que se produce entre dendritas durante el enfriamiento siguiendo las uniones de los granos.</p>	
2032	<p>Rechupe transgranular</p> <p>Cavidad de forma alargada que se forma a través de los granos durante la solidificación.</p>	

Grupo nº3 INCLUSIONES SÓLIDAS

Numero de referencia	Designación y explicación	Ilustraciones
300	<p>Inclusiones sólidas</p> <p>Cuerpo sólido extraño atrapado en el metal de soldadura.</p>	







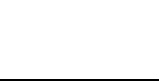


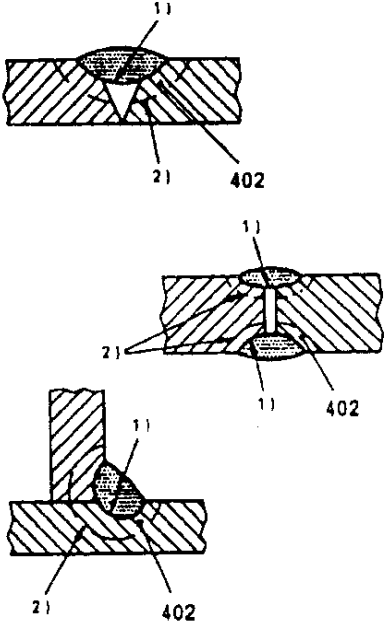
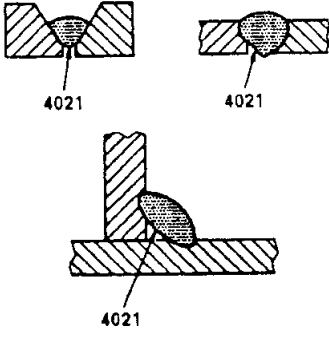
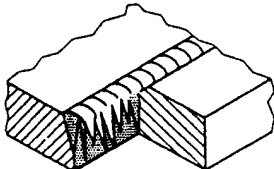
<p>301</p> <p>3011</p> <p>3012</p> <p>3014</p>	<p>Inclusión de escoria</p> <p>Escoria atrapada en el metal de soldadura. Dependiendo de las circunstancias de su formación, pueden ser:</p> <ul style="list-style-type: none"> - alineadas - aisladas - agrupadas 	
<p>302</p> <p>3021</p> <p>3022</p> <p>3024</p>	<p>Inclusión de fundente</p> <p>Fundente atrapado en el metal de soldadura. Dependiendo de las condiciones de formación, pueden ser:</p> <ul style="list-style-type: none"> -alineadas -aisladas -agrupadas 	<p>Véase 3011 - 3014</p>
<p>303</p> <p>3031</p> <p>3032</p> <p>3033</p>	<p>Inclusión de óxido</p> <p>Oxido metálico atrapado en el metal de soldadura durante la solidificación. Dichas inclusiones pueden ser:</p> <ul style="list-style-type: none"> - alineadas - aisladas - agrupadas 	<p>Véase 3011 - 3014</p>
<p>3034</p>	<p>Disgregación por películas de óxido</p> <p>Capa rugosa de óxidos metálicos formados en algunos casos, especialmente en las aleaciones de aluminio, que puede ocurrir por falta de protección y atrapados en forma estratificada debido a la turbulencia del baño de fusión.</p>	<p>Véase 3011 - 3014</p>
<p>304</p>	<p>Inclusión metálica</p>	<p>Véase 3011 - 3014</p>



3041	Partícula de metal extraño atrapada en el metal de soldadura. Puede ser de:	
3042	- wolframio	
3043	- cobre	
	- otro metal	


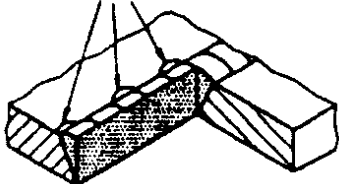
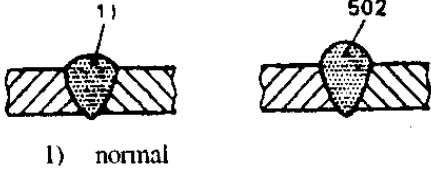
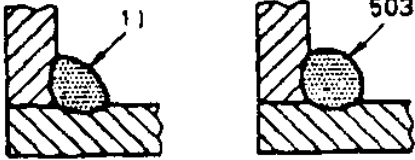

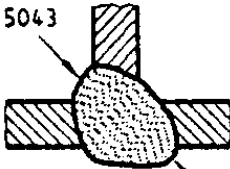
Grupo nº4 FALTA DE FUSIÓN Y DE PENETRACIÓN

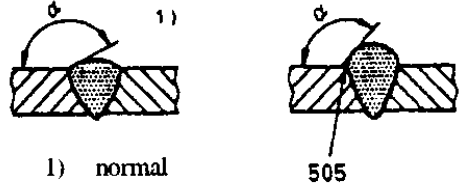
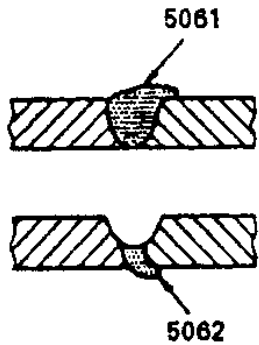
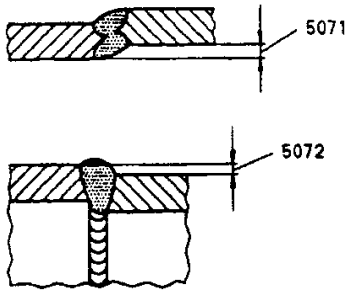
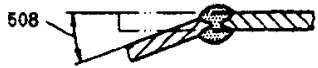
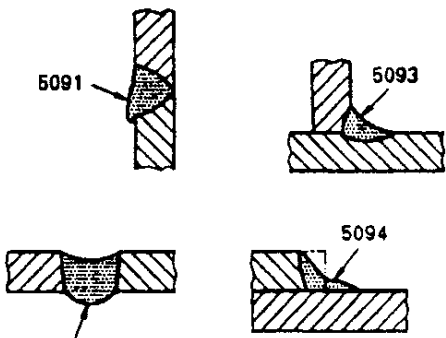
Numero referencia	Designación y explicación	Ilustraciones
400	Falta de fusión y de penetración	
401	Falta de fusión Falta de unión entre el metal de soldadura y el metal base o entre las capas contiguas del metal de soldadura. Se pueden distinguir entre una de las siguientes:	
4011	- falta de fusión afectando a los bordes a unir.	
4012	- falta de fusión entre pasadas	
4013	- falta de fusión en la raíz	
		
		
		
		

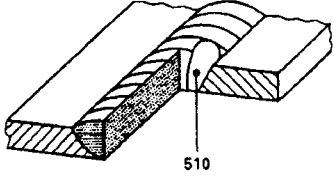
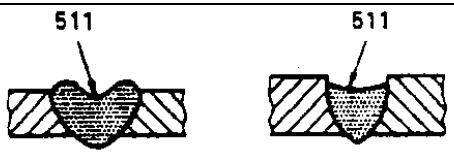
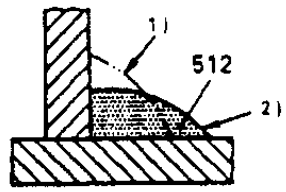
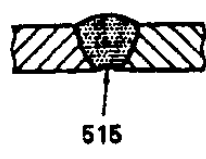
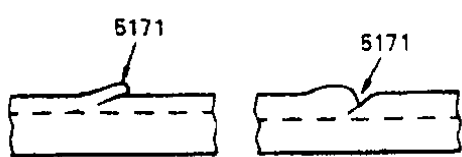
<p>402</p>	<p>Falta de penetración (penetración incompleta) Diferencia entre la penetración real y la penetración nominal.</p>	 <p>1) penetración real 2) penetración nominal</p>
<p>4021</p>	<p>Falta de penetración en la raíz Una o ambas caras de fusión de la raíz no fundidas.</p>	
<p>403</p>	<p>Imperfección en sierra Penetración extremadamente irregular que ocurre en el soldeo por haz de electrones y en el soldeo por láser dando al cordón un aspecto de dientes de sierra. Puede incluir cavidades, grietas, rechupes, etc.</p>	



Grupo nº5 IMPERFECCIONES DE FORMA Y DIMENSIÓN		
Numero referencia	Designación y explicación	Ilustraciones
500	Forma imperfecta Forma imperfecta de las superficies externas de la soldadura o geometría de unión imperfecta.	
501	Mordedura Surco irregular en el nivel de la línea de acuerdo de la soldadura, situado en el metal base o en el metal fundido depositado previamente.	
5011	Mordedura continua Mordedura de una longitud significativa, sin interrupción.	
5012	Mordedura discontinua Mordedura de corta longitud, intermitente a lo largo de la soldadura.	
5013	Contracción en la raíz Mordeduras que aparecen a cada lado de la pasada de raíz.	

<p>5014</p>	<p>Mordeduras entre pasadas Mordedura que aparece en la dirección longitudinal de la soldadura, entre pasadas.</p>	<p>5014</p> 
<p>5015</p>	<p>Mordedura local intermitente Mordedura de pequeña longitud, espaciadas irregularmente, situadas en el lado o en la superficie de las pasadas de soldadura.</p>	<p>5015</p> 
<p>502</p>	<p>Exceso de sobreespesor Exceso de metal de soldadura en la superficie de una soldadura a tope.</p>	<p>1) 502</p>  <p>1) normal</p>
<p>503</p>	<p>Exceso de convexidad Exceso de metal de soldadura en la superficie de una soldadura en ángulo.</p>	<p>1) 503</p>  <p>1) normal</p>
<p>504 5041 5042 5043</p>	<p>Exceso de penetración Exceso de metal de soldadura en la raíz de una soldadura. Pueden ser: Exceso de penetración local Exceso de penetración continuo Penetración completa</p>	<p>504</p>  <p>504</p> <p>5043</p>  <p>5043</p>

<p>505</p>	<p>Angulo de acuerdo incorrecto Valor demasiado pequeño del ángulo (α) comprendido entre el plano de la superficie del metal base y el plano tangente a la superficie del cordón y que pasa por la línea del acuerdo de la soldadura.</p>	 <p>1) normal 505</p>
<p>506 5061 5062</p>	<p>Solapamiento Exceso de metal de soldadura que rebosa sobre la superficie del metal base, sin fundirse con él. Pueden ser: Solapamiento en el acuerdo Rebosamiento de la pasada de acabado. Solapamiento en la raíz Rebosamiento de la pasada de raíz.</p>	 <p>5061 5062</p>
<p>507 5071 5072</p>	<p>Falta de alineación Falta de alineación entre dos piezas soldadas, que se traduce en una desnivelación, aunque sus superficies están en planos paralelos. Pueden ser: Falta de alineación entre chapas Las piezas son chapas. Falta de alineación entre tubos Las piezas son tubos</p>	 <p>5071 5072</p>
<p>508</p>	<p>Deformación angular Falta de alineación de dos piezas soldadas, tal que sus superficies no son paralelas o no están en el Angulo previsto.</p>	 <p>508</p>
<p>509 5091 5092 5093 5094</p>	<p>Desfondamiento Hundimiento del metal de soldadura debido a la gravedad. Dependiendo de los casos puede ser: - desfondamiento en cornisa - desfondamiento en posición plana o en techo - desfondamiento en ángulo - desfondamiento en solape</p>	 <p>5091 5093 5092 5094</p>

510	Perforación Hundimiento del baño de fusión que da lugar a un agujero en la soldadura.	
511	Falta de espesor Canal longitudinal continuo o discontinuo en la superficie de la soldadura debido a una insuficiente deposición de metal de metal de aporte.	
512	Exceso de asimetría de la soldadura en ángulo No es necesaria explicación.	 1) forma nominal 2) forma real
513	Anchura irregular Excesiva variación en el ancho de la soldadura.	
514	Superficie irregular Excesiva rugosidad superficial.	
515	Rechupe de raíz Falta de espesor en la raíz de una soldadura a tope, debido a una contracción del metal fundido (véase también 5013).	
516	Porosidad en la raíz Formación esponjosa en la raíz de una soldadura debido a la ebullición de metal fundido en el momento de la solidificación.	
517 5171 5172	Empalme defectuoso Irregularidad local de la superficie en la zona de empalme de la soldadura. Puede ser: - en la pasada de sellado - en la pasada de raíz	
520	Deformación excesiva Desviación dimensional debido al rechupe y a la deformación de la soldadura.	
521	Medidas incorrectas de la soldadura Desviación con relación a las medidas de la soldadura prescritas.	



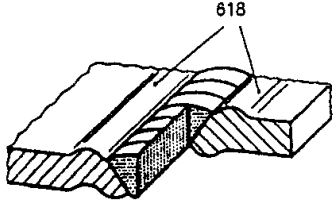
5211	Espesor excesivo de la soldadura Espesor de la soldadura demasiado grande.	<p>1) espesor nominal 2) espesor real</p>
5212	Anchura excesiva de la soldadura Anchura de la soldadura demasiado grande.	
5213	Espesor de garganta insuficiente El espesor de garganta real de la soldadura es demasiado pequeño.	<p>1) espesor nominal 2) espesor real</p>
5214	Espesor de garganta excesivo El espesor de garganta real de la soldadura es demasiado grande.	<p>1) espesor nominal 2) espesor real</p>

Grupo nº6 OTRAS IMPERFECCIONES		
Numero referencia	Designación y explicación	Ilustraciones
600	Otras imperfecciones Imperfecciones que no pueden incluirse en los grupos 1 a 5.	
601	Cebado del arco Alteración local de la superficie del metal base a consecuencia del cebado del arco sobre el metal de soldadura ya solidificado.	
602	Proyecciones (o salpicaduras) Gotas de metal fundido proyectadas durante el soldeo y que se adhieren sobre el metal base o sobre el metal de soldadura ya solidificado.	
6021	Salpicadura de wolframio Partículas de wolframio proyectadas desde el	



	electrodo al metal base o sobre el metal fundido ya solidificado.	
603	Superficie de desgarre Superficie deteriorada al eliminar los elementos auxiliares de montaje.	
604	Marca de amolado Deterioro local debido al amolado.	
605	Marca de burilado Deterioro local debido al uso de un buril u otra herramienta.	
606	Amolado excesivo Reducción del espesor debido a un amolado excesivo.	
607	Imperfección de soldadura de punteo Imperfección debido a un punteo incorrecto, por ejemplo:	
6071	- el cordón se ha roto o no ha penetrado	
6072	- se ha soldado encima de una soldadura de punteo defectuosa	
608	Cordones opuestos desalineados Distancia entre las líneas centrales de dos cordones de una unión, realizados por lados opuestos.	<p style="text-align: center;">608</p>
610	Color de revenido Ligera oxidación de la superficie en la zona fundida, por ejemplo en los aceros inoxidables.	
613	Superficie cascarillaza Fuerte oxidación de la superficie en la zona fundida.	
614	Residuo de fundente Insuficiente eliminación de los residuos de fundente de la superficie.	
615	Residuo de escoria Eliminación insuficiente de la escoria adherida a la superficie de la soldadura.	
617	Abertura en la raíz incorrecta en las soldaduras de ángulo Abertura excesiva o insuficiente entre las piezas a unir.	<p style="text-align: center;">617</p>



618	Hinchamiento Imperfección debida a la quemadura de las uniones soldadas en aleaciones ligeras y que resulta de un mantenimiento prolongado en el intervalo de solidificación	 <p>618</p>
-----	--	--



FENÓMENOS DEL AGRIETAMIENTO

Referencia Reference Référéce Referenz	Designación y explicación Castellano
E	Grietas debidas al soldeo Grietas que se producen durante o después del soldeo
Ea	- grieta en caliente
Eb	- grieta de solidificación
Ec	- grieta por licuación
Ed	- grieta inducida por precipitación
Ee	- grieta por endurecimiento por maduración
Ef	- grieta en frío
Eg	- grieta por falta de ductilidad (grieta frágil)
Eh	- rechupe
Ei	- grieta inducida por hidrógeno
Ej	- desgarramiento laminar
Ek	- grieta en el acuerdo
El	- grieta inducida por envejecimiento(grieta por difusión de nitrógeno)



ANEXO B: APLICACIONES DE LA RADIOGRAFÍA Y EVALUACIÓN DE LAS INDICACIONES DE LA IMAGEN RADIOGRÁFICA.

La radiografía es, seguramente, el método de Ensayo no Destructivo más versátil después de la inspección visual. Entendemos como "versátil" la capacidad de aplicación a campos y problemas diversos. Así la radiografía se usa, (aparte las aplicaciones médicas de todos conocidas) tanto para averiguar la calidad de una soldadura, como para evaluar el estado de ataque por insectos de la madera, conocer el contenido de un equipaje sin abrirlo, verificar la correcta distribución de "ojos" en un queso o dilucidar si los peces han sido capturados mediante ciertas mañas ilegales.

Obviamente escapa al propósito y posibilidades de este texto pormenorizar éstas y otras muchas aplicaciones, señalar las técnicas que en cada caso se usan y explicar los criterios de evaluación de las imágenes que a cada circunstancia se aplican. En lo que sigue se expondrá con cierto detenimiento el empleo de la radiografía en el control de la calidad metalúrgica (soldaduras y piezas moldeadas) y se dará alguna información de otras aplicaciones afines. En cuanto a la evaluación, conviene recordar ciertos principios generales aplicables a cualquier caso.

Estos son:

- a) Las partes claras de la imagen corresponden a material más grueso o más absorbente.
- b) Las partes oscuras se deben a material más fino o, a igualdad de espesor, menos absorbente.
- c) La mayor parte de las discontinuidades que afectan a los materiales inspeccionados son menos absorbentes que el medio en que se encuentran y suelen, por tanto, manifestarse como indicaciones oscuras.



d) En cualquier objeto radiografiado, la imagen es una proyección cónica del mismo, cuyo punto de proyección es la fuente de radiación y su plano de proyección, la película.

e) Toda forma plana paralela al plano de la película se proyecta sin distorsión y ampliada según su distancia a aquélla.

f) Las partes más ampliadas y/o borrosas de una imagen corresponden a las zonas del objeto más alejadas de la película.

1 EXAMEN RADIOGRÁFICO DE SOLDADURAS.

En general puede definirse una "soldadura" como la unión de dos o más partes metálicas mediante un material de aporte de naturaleza similar (soldadura "autógena") o diferente (soldadura "heterogénea") al de aquéllas. Como el proceso, que puede llevarse a cabo según numerosas técnicas, pudiera dar lugar a discontinuidades que afectarían desfavorablemente al comportamiento en servicio de la soldadura, es necesaria su detección y valoración tecnológica. Con este propósito y según la naturaleza de las discontinuidades que se pretenden detectar, se aplican unos u otros métodos de Ensayos no Destructivos, siendo el radiográfico el que proporciona la mayor cantidad de información significativa y segura, en la mayoría de los casos.

En los párrafos que siguen se comentan las técnicas radiográficas comunes en la inspección de soldaduras corrientes debiendo tomar nota el lector de que se le dan por supuestos unos conocimientos generales acerca de las diferentes técnicas y modos de soldar, de la geometría de las uniones y sus denominaciones y de las discontinuidades más comunes que afectan a las soldaduras y su etiología. Estos conocimientos, que son imprescindibles al radiólogo, son lo bastante extensos y prolijos como para hacer inviable su inclusión en este texto, aunque fuese resumida.

Como la técnica radiográfica está muy relacionada con la geométrica de la unión, conviene clasificar ésta según aquélla y conforme al criterio recogido en el siguiente



cuadro, basado en la normativa vigente al respecto. La figura 1 muestra los tipos normales de unión en planchas y sus equivalentes en tubos.

TABLA XVI					
TIPO DE UNIÓN	GEOMETRÍA DE LA UNIÓN				
	Uniones A tope	Uniones en esquina	Uniones a solape	Uniones en "T"	Juntas angulares
Con abertura en ángulo		X	X	X	
Con abertura en bisel	X	X	X	X	X
Con abertura en escuadra	X	X	X	X	X
Con abertura en escuadra en "V"	X	X			X
Con abertura en "J"	X	X	X	X	X
Con abertura en bordes rectos	X	X			X
Con abertura en "U"	X	X			X
Con abertura en "V"	X	X			X
Con bordes levantados	X	X			X
Soldaduras "fuertes"	X	X	X	X	
Soldaduras "blandas"	X	X	X	X	
De tapón		X	X	X	
De ojal		X	X	X	
Por puntos		X	X	X	
Por costuras		X	X	X	
Por proyección		X	X	X	

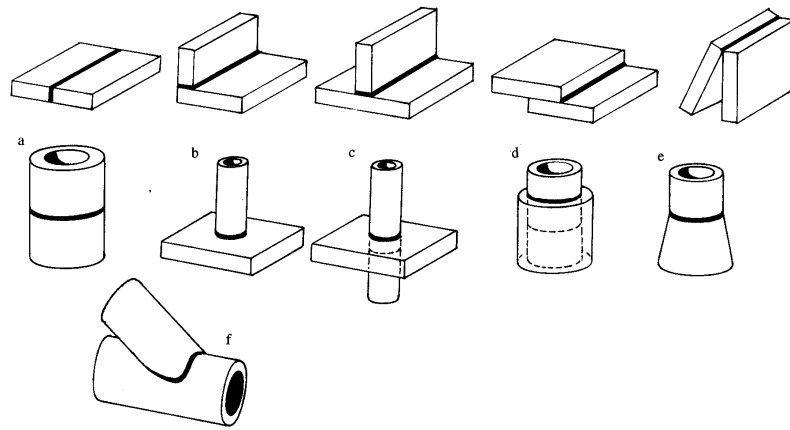


Fig. 1 Tipos básicos de soldadura en planchas y tubos.

- a) A tope.
- b) En esquina.
- c) En "T".
- d) A solape.
- e) En ángulo.
- f) Injertos.

En el importante caso de las formas tubulares, la mayor parte de las uniones se realizan a tope (entre tuberías de igual diámetro), en ángulo muy abierto (reducciones), en "T" (plancha y tubo) o a solape (entre tubos de distinto diámetro encajados) aunque esto último sea raro. También tiene gran importancia la soldadura angular entre tubos de igual o diferente diámetro que recibe el nombre genérico de "injerto".

- RADIOGRAFÍA DE UNIONES A TOPE.

a) Planchas. Se trata del caso más sencillo y debe suponerse que ambas caras de la unión son accesibles.



Si la preparación de la unión es en “V” o en “J” la película debe situarse en la parte más próxima a la raíz, para optimizar las condiciones de definición y penumbra. En las soldaduras en “X” simétrica esto es irrelevante. Por su parte, tanto los indicadores de calidad de imagen como los signos de identificación deben situarse sobre las planchas y del lado de la fuente. Los indicadores, tal como la respectiva norma indique y los signos, al lado del cordón y paralelamente a éste. La cómoda práctica de pegar las letras a la funda que contiene la película puede admitirse siempre que la presión de la película contra la muestra no sea tan grande como para que las letras dejen huella o dificulten el buen acoplamiento. La figura 2 muestra la correcta disposición de estos elementos.

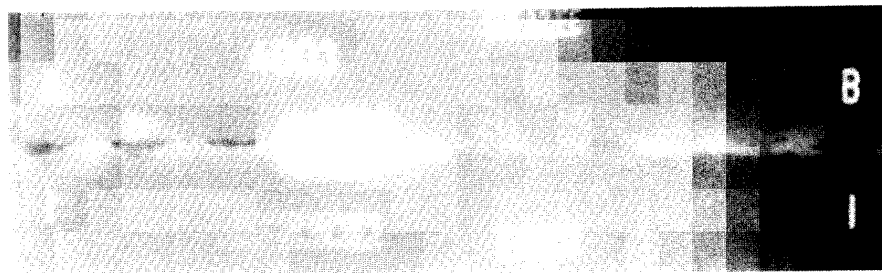


Fig. 2 Disposición de signos e indicadores de calidad de imagen en la radiografía de soldaduras.

Asimismo, del lado de la fuente se situarán las flechas de plomo que indican los límites útiles de la imagen y que deberán aparecer repetidas en radiografías contiguas.

Un problema que suele presentarse, sobre todo si las zonas radiografiadas son de cierta longitud o las distancias fuente-película no son grandes, es garantizar una calidad de imagen suficiente en los extremos de la radiografía. En la práctica, la solución consiste en emplear, además del penetrámetro central, otros dos en ambos extremos y medir las densidades en estos lugares para verificar si se encuentran dentro de lo especificado. El cálculo de la densidad a cierta distancia del centro de la imagen, en función de la que hay en éste, puede hacerse como sigue de acuerdo con la simbología ya conocida:



$$I = I_0 e^{-\mu x p}$$

$$I' = I_0 e^{-\mu x p / \cos \vartheta}$$

Por otra parte:

$$\frac{I_0}{I'_0} = \frac{\overline{FP}^2}{\cos \vartheta}$$

$$\overline{FP'} = \frac{\overline{FP}}{\cos \vartheta}$$

Se tiene:

$$\frac{I}{I'} = \frac{I_0}{I'_0} e^{\mu x p (1/\cos \vartheta - 1)} = \frac{1}{\cos^2 \vartheta} e^{\mu x p (1/\cos \vartheta - 1)}$$

y como las densidades fotográficas son proporcionales a las exposiciones y éstas a las intensidades, teniendo en cuenta la ley de la incidencia:

$$\frac{I}{I'} \sin \vartheta = \frac{D}{D'} = \frac{E}{E'} = \frac{\sin \vartheta}{\cos \vartheta} e^{\mu x p (1/\cos \vartheta - 1)} \quad [a]$$

Así, por ejemplo, empleando ^{60}Co , Si el espesor de la plancha fuese de $x = 5$ cm y la oblicuidad de la radiación en los extremos de la película de $\theta = 30^\circ$ y como μp vale (por término medio de la correspondiente a los dos componentes de la radiación) $0,455$ cm $^{-1}$, para una densidad central de 2, se tendrá en el extremo una densidad de 0,5 demasiado baja. Estos cálculos tienen, no obstante, un valor limitado pues no tienen en cuenta el



efecto de la radiación difusa en cada punto y utilizan valores de coeficientes de atenuación muy imprecisos para los casos de radiación policromática, que son los frecuentes. De hecho, la densidad "aparente" en el extremo, que midiéramos con un densitómetro, podría ser del orden de 0,9 a 1.

En cuanto al contraste absoluto, si D_1 y D'_1 son las densidades de áreas de diferente grado de ennegrecimiento que D y D' pero contiguas, respectivamente, a éstas, se tiene:

$$D - D_1 + D'_1 - D' = D - D_1 \left[1 - \cos^2 \vartheta e^{\mu p x (1 - 1/\cos \vartheta)} \right]$$

$$\Delta D - \Delta D' = \Delta D \left[1 - \cos^2 \vartheta e^{\mu p x (1 - 1/\cos \vartheta)} \right]_{[b]}$$

fórmula que muestra la variación del contraste en función de la distancia al centro de la imagen.

Cuando la plancha soldada es de un espesor muy grande en relación con la capacidad práctica de penetración del equipo disponible, se plantea el siguiente problema: si acercamos la fuente (o foco) a una distancia lo bastante corta para alcanzar un tiempo de exposición razonable, no nos salen las cuentas de la penumbra geométrica, tal como hemos aprendido a aplicarlas. En estos casos, "todavía" puede haber un recurso si la distancia para obtener una buena definición es igual (o algo mayor) a la que correspondería a la mitad del espesor total. Si tal circunstancia se da, pueden hacerse dos radiografías a dicha distancia desde ambas caras de la soldadura, con lo que se tendrán dos imágenes correctas correspondientes a cada uno de los semiespesores del lado de la película en cada caso. Obviamente las imágenes correspondientes al semiespesor distante tendrán definición inadmisibles y se hará caso omiso de ellas, pero las otras dos tendrán en conjunto la información que se busca. Como es lógico el penetrómetro en este caso se pondrá del lado de la película ateniéndose a lo que especifique al respecto la correspondiente norma. Otra solución puede ser realizar la radiografía correcta a todo espesor y conformarse con una densidad inaceptablemente baja: por ejemplo 1,3 pero tomando simultáneamente dos



imágenes (esto se consigue metiendo dos juegos de película y pantallas en el mismo chasis impresionándolos a la vez) que luego de reveladas se examinarán superpuestas. Es fácil calcular la densidad total sumando las densidades de cada una de las imágenes.

En efecto, si B_0 es el brillo del negatoscopio, B_1 y B_2 los de las imágenes superpuestas y D_1 y D_2 las respectivas densidades, se tiene:

$$\text{Densidad total} = D = \log \frac{B_0}{B_2} = \log B_0 - \log B_2$$

$$\log \frac{B_0}{B_1} = D_1$$

$$\log \frac{B_1}{B_2} = D_2$$

$$\log B_1 = \log B_0 - D_1$$

$$\log B_2 = \log B_1 - D_2$$

$$D = \log B_0 - \log B_1 + D_2 = \log B_0 - \log B_0 + D_1 + D_2$$

$$D = D_1 + D_2 [c]$$

En nuestro ejemplo $D_1 = D_2 = 1,3$ luego $D = 2,6$.

Esta técnica de doble imagen superpuesta proporciona muy buen resultado cuando las discontinuidades son mal definidas y destacan más por su contraste que por su forma. En cambio las discontinuidades cuya detección requiere gran definición suelen verse peor. Así se apreciará mejor, por ejemplo, una escoria que una grieta o una falta de fusión.

b) Tubos. Se considerarán "tubos" desde el punto de vista radiográfico las formas cilíndricas de curvatura lo bastante importante para no ser aplicable lo dicho a propósito de las planchas.

Como regla general, para estas formas se tenderá a colocar la fuente del lado cóncavo del arco de unión a radiografiar.



Variante 1: "panorámica ": Si el tubo es de diámetro bastante para permitir la colocación de la fuente en el centro de su interior, la variante panorámica tiene la ventaja de poder obtener en una sola exposición la totalidad de la radiografía del cordón. La distancia fuente película es el radio exterior del tubo y el espesor a atravesar el de la pared de éste, que es constante. También se evitan las molestas distorsiones por perspectiva. El principal inconveniente es la dificultad de colocar la fuente en el centro del círculo limitado por el cordón de soldadura. No obstante existen diversos sistemas relativamente sencillos para lograrlo. En el caso de tuberías de gran longitud, tales como las conducciones de combustibles líquidos o gaseosos, la necesidad de colocar la fuente con precisión, en el centro de la unión, a distancias de centenares de metros, ha promovido el desarrollo de dispositivos mecánicos conocidos como "hurones" o "reptiles" ("crawler") que se introducen por la boca del tubo, viajando por su interior propulsados por motores eléctricos hasta situarse en el lugar correcto donde eyectan la fuente y se realiza la exposición. El problema de la precisa colocación de la fuente se ha solucionado por artes diversas. La más usual es disponer, en un punto concreto del hurón, una pequeña fuente de ^{137}Cs y, en el exterior de la tubería y a la distancia del cordón equivalente a la que hay entre la fuente de cesio y la de iridio en exposición, un detector que integra la radiación del cesio a medida que el hurón se acerca, hasta que alcanza su valor máximo, en cuyo momento hace detenerse el aparato.

También se han diseñado equipos fusiformes panorámicos de rayos X, que pueden penetrar por tuberías largas y no demasiado angostas, acoplados a cunas rodantes, pero su uso no está muy extendido. En cambio, en calderería no son raros los tubos de ánodo largo que permiten tomas panorámicas de soldaduras de virolas a fondos, introduciéndolo por el orificio central del fondo, en el supuesto de que lo haya.

En la variante panorámica lo más apropiado es usar película continua que lleva funda a prueba de luz y, si procede, hoja de plomo incorporada. En general, tanto las letras como los penetrámetros se sitúan del lado de la película con las precauciones que la norma establezca al efecto. Para la ulterior localización de discontinuidades o puntos singulares es



muy conveniente colocar al lado del cordón y la película una cinta paralela ("rosario") graduada de 10 en 10 cm con cifras de plomo. La sujeción de estos elementos a la tubería puede hacerse con cinta adhesiva ("esparadrapo") especial, con imanes (si el material radiográfico es ferromagnético) o con "pulpos" elásticos, siempre que éstos opriman lo justo para sujetar, sin dañar, la película.

Variante 2: (fuente interior y película exterior): Como puede apreciarse en la Fig.3, la fuente no ocupa ya el centro de la tubería sino un punto marginal. En estas condiciones es imposible obtener toda la imagen de cordón de una sola vez, por lo que habrán de realizarse tres o más exposiciones decaladas entre sí el ángulo que corresponda y cuidando siempre que la fuente esté correctamente enfrentada con el centro de la película. Esta variante, poco usada, se justifica cuando el radio de la tubería no es bastante para poder realizar una toma panorámica por razones de penumbra geométrica, cuando el espesor es relativamente grande, o de tiempo de exposición, si es pequeño. Si el volumen de trabajo lo justifica, es preferible utilizar fuentes de ^{169}Yb de alta actividad específica y tamaño muy pequeño con la técnica panorámica descrita en el párrafo anterior.

En la colocación de signos e indicadores de imagen "mutatis mutandis" nos atenderemos a lo dicho.

Para calcular la densidad en un extremo de la imagen conocida la central, evaluaremos primero el arco que subtiende desde la fuente la longitud de la película y, luego de calculado el espesor total atravesado mediante fórmulas trigonométricas elementales, se calcula la intensidad de la radiación (I_2) en el extremo en función de la que corresponde al centro de la imagen (I_1), introduciendo las correcciones precisas por variación de distancia.



Así se obtiene:

$$I_2' = \frac{I_1 (R + r)^2}{r \cos \alpha + \sqrt{R^2 - r^2 \sin^2 \alpha}} \cdot e^{-\mu p (\sqrt{R^2 - r^2 \sin^2 \alpha} - r \cos \alpha)} \quad [d]$$

A partir de la que, teniendo en cuenta que las densidades, las exposiciones y las intensidades guardan proporción directa se llega a una fórmula similar a la [b] correspondiente a plancha plana, aunque más complicada.

Variante 3: (película exterior y fuente exterior, en contacto con la tubería). Esta variante (Fig. 3), conocida como de "doble pared e imagen sencilla", es de aplicación común en el caso general de imposibilidad práctica de introducir la fuente en el interior del tubo. Tiene el inconveniente de duplicar el espesor de material atravesado en cada caso, lo que se manifiesta inevitablemente como una cierta disminución de la calidad de imagen. Esto es importante pues son frecuentes las especificaciones que exigen la calidad correspondiente a espesor sencillo, habiendo la radiación de atravesarlo doble. La consecuencia de tal requisito puede ser la imposibilidad de conseguir la calidad exigida, especialmente trabajando con gammagrafía. En estos casos debe acudirse a lo establecido por la norma de penetrámetro en que se base la especificación y, en el supuesto de que exista un vacío de requisitos al respecto en el documento, acordar previamente entre las partes los índices de calidad exigibles, basándose en la "buena práctica" radiográfica. En cuanto a la localización de signos y penetrámetros es obvio que han de colocarse entre la película y el tubo, según los criterios habituales. Finalmente, debe señalarse la conveniencia de evitar colocar la fuente directamente sobre el cordón de soldadura opuesto al sector radiografiado. En el caso de equipos de rayos X, ha de contarse con que el foco estará, siempre a cierta distancia del tubo radiografiado, lo que merma algo el arco de cordón inspeccionado, sobre todo en tubos de diámetro más bien pequeño.

La fórmula que relaciona la exposición en un extremo de la imagen con la central se deduce como la [d] y tiene la forma:

$$I'_2 = \frac{2I_1 R^2}{(R \cos \alpha + \sqrt{r^2 - R^2 \cos^2 \alpha})^2} \cdot e^{-2\mu p (R \cos \alpha - \sqrt{r^2 - R^2 \cos^2 \alpha})} \quad [e]$$

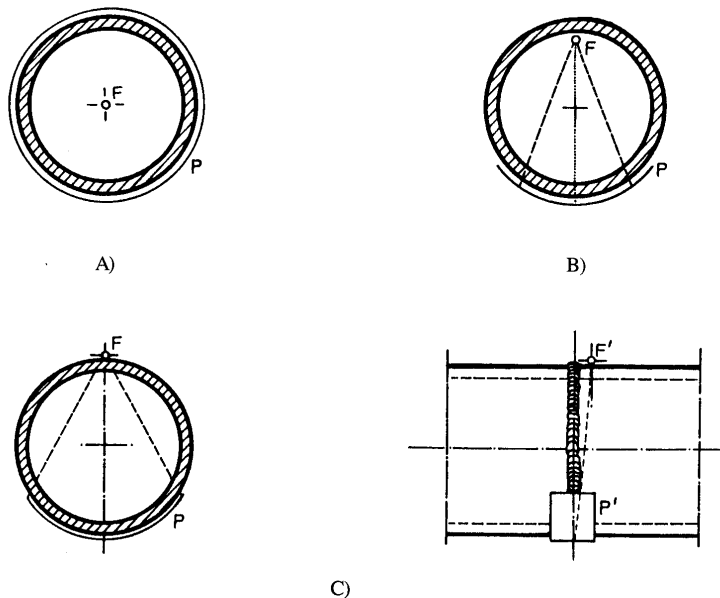


Fig. 3 Técnicas usuales para la radiografía de soldaduras circulares en tubos.

F: posición de la fuente.

P: posición de la película.

Variante 4: (perspectiva o "en elipse"). Si la tubería es de diámetro exterior inferior a unos 10 cm la variante anterior no es en general aplicable. Conviene en tal caso considerar la totalidad del cordón como un solo objeto cilíndrico y realizar la exposición consecuentemente a este criterio. Así la película se colocará plana bajo el cordón, esto es, sin adaptarla a la curvatura del tubo y será de tamaño tal que pueda contener la proyección



cónica de la unión desde la fuente. Esta se situará a tal fin a la distancia requerida para que la penumbra geométrica del punto del cordón diametralmente opuesto al de contacto con la película sea, al menos, la exigida por la calidad de imagen adoptada y desviada del plano de la unión lo bastante para que el eje menor de la elipse sea entre 1/4 y 1/3 del eje mayor. La figura 2.89 muestra la disposición de esta variante y el método gráfico para determinar la situación de la fuente. Del examen de la figura se deduce fácilmente que el desvío de la fuente respecto al plano del cordón es:

$$OF' = \frac{D - 2R}{K}$$

Siendo "K" la relación del semieje mayor al menor de la elipse.

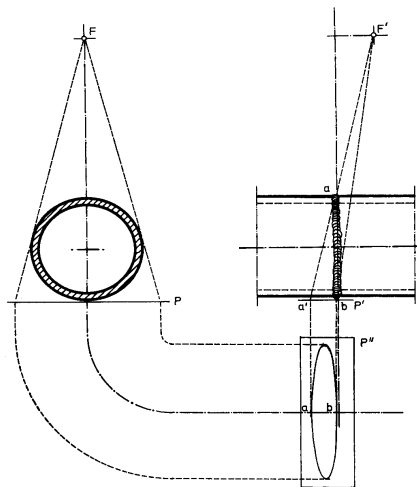


Fig. 4 Técnicas "en perspectiva" o "en elipse" para la radiografía de soldaduras circulares en tuberías de pequeño diámetro.

Esta fórmula no es sino aproximada pues implica el supuesto falso de que el eje mayor de la elipse es igual al diámetro de la tubería. Sin embargo, su sencillez la hace



recomendable y precisión es bastante siempre que la distancia fuente-película (D) sea del orden de 10 veces el diámetro (2R) o más.

Como la exigencia de definición obliga a distancias de este orden, la condición antedicha puede cumplirse en cualquier caso práctico.

Cuando se obtiene la imagen radiográfica según el modo dicho, se aprecia que los extremos de la elipse (que corresponden a los rayos comprendidos entre las tangencias respectivas a las superficies cilíndricas exterior e interior del tubo) aparecen fuertemente distorsionados y con densidad demasiado corta, lo que los hace inútiles para la interpretación. Ello obliga a tomar otra radiografía, girando 90° el tubo, para conseguir una imagen correcta de estas partes.

Aunque en la mayoría de los casos la cobertura de ambas radiografías es suficiente para tener imagen correcta de, al menos, el 100% del cordón, en tubos de pequeño diámetro y pared relativamente gruesa (Fig. 5) pueden quedar zonas sin cubrir por la inspección, siendo preciso entonces realizar tres radiografías a 120° .

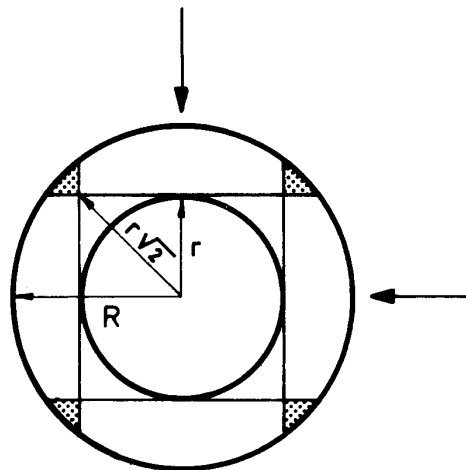


Fig. 5 Cobertura de campo en tubos de paredes muy gruesas en radiografía en perspectiva o “elipse”. Obsérvese que las zonas punteadas no se cubren.



En la variante que está considerando, el penetrámetro debe situarse sobre el tubo y no entre éste y la película, calculándose su espesor significativo por la suma de espesores de ambas secciones de pared atravesada. En cuanto a los signos de identificación de la soldadura, se colocarán sobre la funda de la película en un lugar donde no puedan aparecer superpuestos a la imagen útil.

Variante 5: (fuente exterior, y película interior). Aunque el problema de situar la película en la parte interior del tubo hace esta variante poco recomendable en general, en ciertos casos puede ser el único procedimiento aplicable.

En este método, se coloca la película en la parte cóncava del cordón, protegida por una funda flexible o por un chasis metálico con la forma adecuada, procurando en todo caso que se adapte bien a la superficie del tubo. Es recomendable proteger la parte posterior del chasis con una hoja de plomo, en el caso de que la tubería o vasija sean de pequeño diámetro y haya riesgo de radiación difusa producida por la otra parte del tubo. En estos casos, el conjunto se puede fijar con comodidad acuñando un puntal diametral de madera o con un apriete o gato especial. Como puede verse, el problema de las variaciones de espesor del material y de distancia, a medida que los rayos son más oblicuos es semejante al estudiado para las planchas planas, aunque más complejo, por lo que la ecuación equivalente a la de las planchas toma un aspecto demasiado complicado para ser útil.

Mayor interés tiene la fórmula que relaciona la longitud útil (L) de la imagen con el radio del tubo (r) y la distancia foco-película (d), suponiendo el espesor de la pared no muy grueso. Si se expresa por (ar) la relación entre espesor (ag) de material atravesado por la radiación en un extremo de la imagen y la del valor nominal de la pared (af), esto es:

$$a_r = \frac{a_g}{a_f} > 1$$



En tal caso:

$$\frac{1}{a} \cong \text{sen}\alpha$$

Siendo α el ángulo abarcado por la película. Se tiene, entonces, con suficiente aproximación, que:

$$L = 0,034r \left[\alpha - \arcsen \left(\frac{r}{r+d} \text{sen}\alpha \right) \right] \quad [f]$$

De acuerdo con esta fórmula empírica y para valores de $ar = 1,06$ y $ar = 1,10$, respectivamente, se han construido ábacos y tablas. Dichos valores corresponden a incrementos de espesor, entre el borde y el centro de la imagen, del 6% y del 10%, respectivamente.

Como es natural, empleando la técnica que nos ocupa, si se desea radiografiar completo el cordón, son necesarias varias radiografías, de acuerdo con las longitudes deducidas de las fórmulas anteriores. Pero aún hay que tener otra cosa en cuenta: la convexidad de la tubería, especialmente si es gruesa, obliga a solapar una parte de los haces correspondientes a radiografías contiguas si se desea inspeccionar todo el espesor del cordón. La figura 6 aclara convenientemente el problema. En efecto, una vez obtenida la imagen correspondiente a la posición F1 de la fuente con una longitud útil de imagen "ab", si se dispone la fuente en F2 a fin de obtener una imagen que sea continuación de la anterior, habremos dejado pasar, sin radiografiar en buenas condiciones, el triángulo mixtilíneo punteado. Es, pues, preciso radiografiar desde F3 aunque ello implique repetir la imagen de la zona rayada. En estos casos, es una buena práctica, que nunca será bastante recomendada, hacer un dibujo a escala o, mejor aún, a tamaño natural del problema para fijar todas las condiciones geométricas del mismo. Esto no sólo no es tiempo perdido sino,

al contrario, una garantía de haber planteado el trabajo en la forma debida y de evitar posibles tropiezos desagradables más adelante.

Finalmente, la colocación de penetrámetros e identificaciones se hará igual que en el caso de planchas planas.

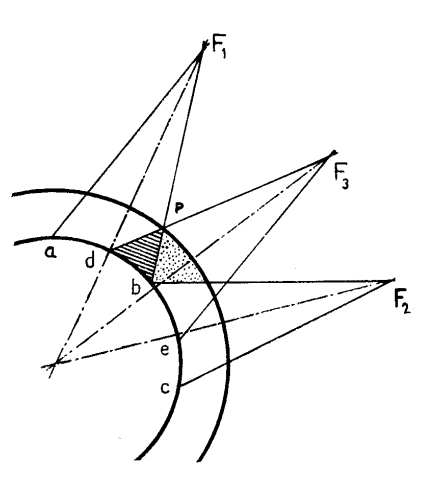


Fig. 6 Problemas de cobertura de campo.

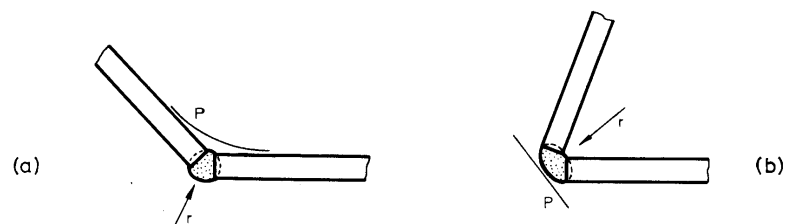


Fig. 7 Radiografía de uniones en ángulo.

P = película.

R = dirección de la radiografía.



RADIOGRAFÍA DE UNIONES EN ESQUINA.

a) Planchas. Prescindiendo de la preparación de bordes, que no afecta a la técnica de radiografiado (aunque sí a la interpretación de la imagen, como se verá más adelante), esta clase de uniones se radiografía tal como muestra la figura 2.92 en dirección de la bisectriz del ángulo que forman las planchas soldadas, disponiéndose la película normalmente al haz central de radiación.

En el caso de soldaduras con preparación en "V" y penetración completa, es preferible poner la película plana bajo la raíz del cordón y radiografiar con unos 60° de incidencia.

Acerca de la colocación de los penetrámetros, hay que recordar que se han pensado y diseñado para la verificación de la calidad de soldaduras a tope, por lo que su uso en el caso que nos ocupa tiene una finalidad más bien orientadora. Se eligen según el espesor total atravesado por la radiación y se colocan sobre el chasis que contiene la película, pues no suele ser posible ponerlos en otro sitio sin arriesgarse a que su imagen distorsionada sea más causa de confusión, que fuente de información útil.

De los signos de identificación, poco cabe decir, sino que se pongan sobre la película y de modo que no estorben la interpretación de la imagen.

b) Tubos. El equivalente de la unión en esquina en tubo es la soldadura de éste a un taladro hecho en una plancha, bien con el tubo encajado en el orificio, bien sobrepuesto cuando su diámetro interior coincide con el de éste. Prescindiendo otra vez de la posible preparación de bordes, que no influye en la técnica radiográfica, ésta no admite otra solución que la radiografía a 60° , con la película bajo la plancha, habiéndose de tomar tantas imágenes como sean precisas para cubrir por completo la zona a inspeccionar. Respecto a la colocación de penetrámetros e identificación nos atenemos a lo indicado en el párrafo anterior.

RADIOGRAFÍA DE UNIONES EN "T".

a) Planchas. Se toman poniendo la película bajo la plancha que sirve de base a la unión y radiografiando a unos 60° . Si hay dos cordones, se tomarán dos imágenes sucesivas desde ambos lados (figura 8).

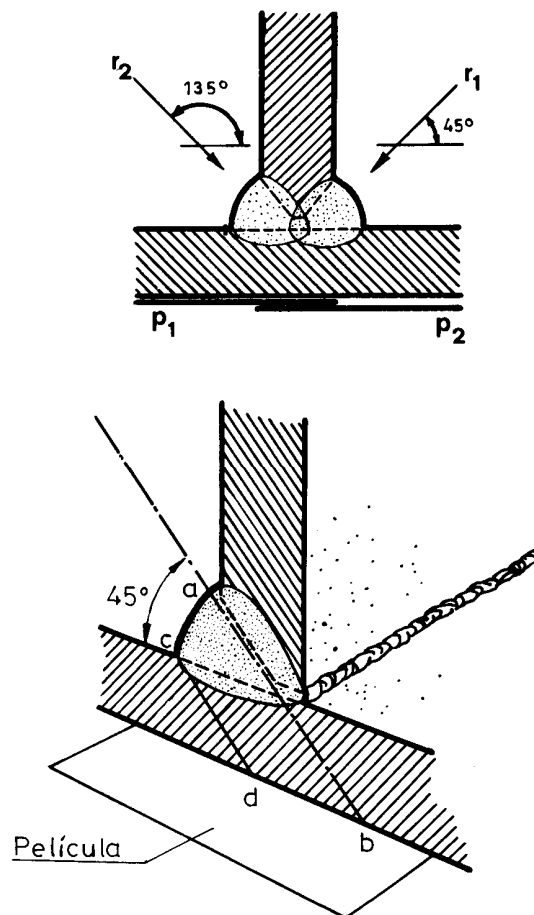


Fig. 8 Radiografía de una unión en ángulo o "de rincón".



Las radiografías de estas uniones (salvo el caso de chapas delgadas) suelen ser de aspecto poco satisfactorio y no es raro que su amplia latitud de densidades sea inabarcable por los negatoscopios. En procura de remedio para este inconveniente se han dado varias opciones: empleo de "cuñas" correctoras de espesor, filtros diferenciales, e incluso pastas opacas. La experiencia nos ha mostrado que estas soluciones son ineficaces o tan engorrosas que no se usan. Lo más sencillo, si es posible, es hacer gammagrafías en vez de usar rayos X y, si se emplean éstos, filtrar enérgicamente la radiación para perder contraste a cambio de ganar volumen que pueda inspeccionarse.

Acerca de la colocación y selección de penetrámetros, así como de la situación de las identificaciones, nos remitimos a lo dicho para las uniones en esquina.

b) Tubos. Consideraremos equivalente a uniones en "T", las de tubos a planchas ciegas. Con las lógicas modificaciones, les es aplicable todo lo dicho en el párrafo anterior, con la adición de haber de realizarse tantas radiografías como sea preciso en derredor del tubo para conseguir la cobertura completa de la unión.

RADIOGRAFÍA DE UNIONES A SOLAPE.

a) Planchas. Desde el punto de vista radiográfico estas uniones tienen características parecidas a las de esquina. Se radiografían, pues, colocando la película bajo la unión y dirigiendo el haz a 60°.

b) Tubos. Es un tipo de unión poco frecuente que sólo se emplea en trabajos de muy baja responsabilidad y que rara vez se radiografían. En caso de hacerlo, la regla general es atenerse a la técnica perspectiva con dos exposiciones a 90° a doble pared.



RADIOGRAFÍA DE UNIONES EN ÁNGULO.

a) Planchas. Para ángulos muy abiertos, se procede como en soldaduras a tope adaptando la película suavemente a la parte donde se encuentre la raíz y radiografiando desde el otro lado. Para ángulos agudos la opción preferible es radiografiar según la bisectriz del diedro y disponer la película perpendicularmente a la dirección de radiación. En estos casos, la información correspondiente a la raíz es correcta, pero los bordes del cordón suelen quedar enmascarados por el espesor proyectado de las chapas. Prácticamente sólo pueden emplearse penetrámetros de hilos y la señalización puede ser dificultosa.

b) Tubos. El equivalente de la unión en ángulo se da, en el caso de tubos, en las reducciones de sección. Es aplicable lo dicho acerca de uniones circulares a tope.

INJERTOS.

Son uniones de tubos de igual o diferente diámetro, según un cierto ángulo, pudiendo cortarse o cruzarse los ejes. En los injertos entre tubos de gran diámetro cuya unión ha de radiografiarse a la fuerza por trozos, si es posible, debe colocarse la fuente en el interior y la película por fuera a fin de que la radiación incida en esta "a favor de la curvatura". Incluso en algún caso excepcionalmente favorable podrá emplearse la técnica panorámica. Otras veces lo aconsejable será poner la película dentro y la fuente fuera. Tal es el caso de los injertos en tuberías de gran diámetro y espesor, como ocurre con las uniones en circuitos primarios de centrales nucleares. Cuando los tubos son de diámetro tal que haya de seguirse la técnica de doble pared, no habrá en general problemas para intersecciones próximas a 90°; sin embargo, los injertos muy oblicuos plantearán problemas sobre todo en el "rincón" agudo de la unión, cuya inspección será, al menos, tan difícil como la correcta ejecución de la soldadura en ese punto. La razón está en la práctica imposibilidad de obtener una imagen buena de la raíz.



Por último, para injertos en tubos de pequeño diámetro (menos de 10 cm) es necesario acudir a la técnica perspectiva cuidando evitar la superposición de las imágenes superior e inferior del cordón.

Esto es difícil a ojo, por lo que es recomendable un estudio perspectivo previo, estableciendo sobre el papel la posición correcta de la fuente en función del resultado deseado. Hoy es mejor, si se dispone del programa adecuado, tratar informáticamente el problema. En este caso, aunque lo ideal es trabajar con proyecciones cónicas, pueden utilizarse proyecciones axonométricas sin demasiado error ya que sólo se pretende una orientación aproximada de la situación, de la fuente respecto a la unión y la película.

OTROS TIPOS DE SOLDADURA.

En los párrafos anteriores se ha expuesto el modo recomendable de radiografiar las uniones soldadas más corrientes. No obstante hay muchos otros tipos de soldaduras: por cantos, en tapón, en ojal, por puntos, por fricción, etc. No nos extenderemos en pormenorizar como se radiografían en cada caso pues con lo dicho a propósito de las uniones más comunes y el conocimiento de los principios generales de la radiografía, será fácil decidir el modo de operar en una circunstancia concreta.

2. EVALUACIÓN DE RADIOGRAFÍAS DE SOLDADURAS.

La aplicación de la teoría de la radiografía a la geometría de la unión orienta eficazmente sobre el aspecto radiográfico general que esta pueda presentar. Iniciaremos este importante tema describiendo como es este aspecto en soldaduras sanas para luego entrar en su patología.



a) Soldaduras a tope.

Salvo las radiografías de tubos tomadas según la variante perspectiva, todas las uniones a tope, sean planas o circulares, presentan un aspecto parecido, por lo que este se describirá conjuntamente.

- SOLDADURAS SIN CORDÓN POSTERIOR.

Son típicas de tubos de cualquier diámetro, siempre que el interior sea inaccesible al soldador, así como de chapas de pequeño o moderado espesor. Del examen de su sección (Fig. 9) es fácil inferir su aspecto radiográfico: el sobreespesor del cordón aparece como una banda de densidad entre 1,8 y 3,5 sobre un campo mucho mas oscuro. En dicha banda se aprecia claramente en forma de "ondas" o "aguas" la secuencia del depósito del metal fundido cuyo aspecto depende del método de soldeo empleado (manual, arco sumergido, etc.) y dentro de este, la técnica de aplicación (cornisa, paso de peregrino, balanceo, etc.) que el inspector debe conocer.

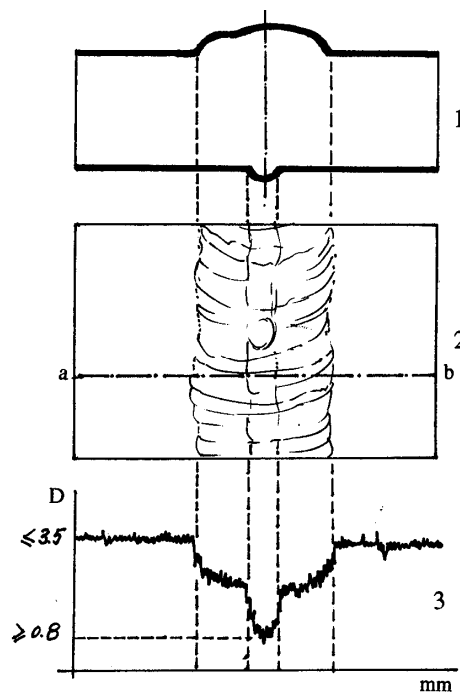




Fig. 9 Interpretación radiográfica básica de la imagen de un cordón de soldadura en "V" simétrica.

- 1- Sección
- 2- Esquema de la imagen radiográfica
- 3- Perfil microdensitométrico de la sección a-b.

En el centro de la imagen del cordón, debe ser perceptible en forma de banda estrecha y algo mas clara (densidad $>1,8$) la "penetración" en la raíz; esto es, el ligero sobreepesor formado por el metal que rebosa por la parte posterior del cordón entre los bordes de la preparación, una vez fundidos estos.

- SOLDADURAS CON CORDÓN POSTERIOR.

En chapas de cierto espesor es corriente, cuando es posible, cubrir la raíz con un estrecho cordón de soldadura que elimine eventuales faltas de fusión o penetración. En la imagen radiográfica se aprecia este cordón axialmente donde aparecería la "penetración" en el supuesto de no haber cordón posterior. La imagen de este se diferencia de la de aquella por la presencia de "aguas" frecuentemente dirigidas en dirección contraria a la del cordón principal.

- SOLDADURAS EN "X".

Cuando son asimétricas presentan un aspecto similar al acabado de describir sí bien el cordón posterior es mas ancho. Si son simétricas, las imágenes de ambos cordones se confunden, aunque generalmente pueden llegar a distinguirse por su dirección de ejecución. A veces la unión se radiografía, por inadvertencia o necesidad, con alguna oblicuidad. En tal caso aparecen claramente distintos los dos cordones a pesar de que en la mayor parte de su anchura se superponen (Fig. 10).

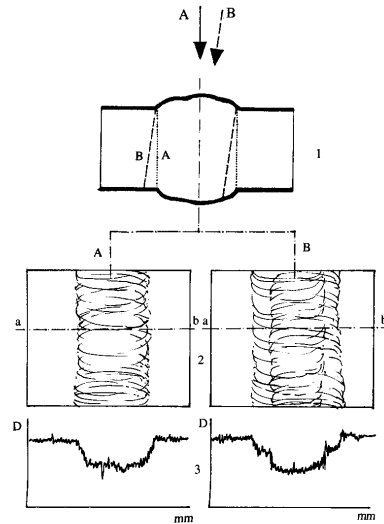


Fig. 10 Efecto de superposición oblicua de las imágenes de los cordones de una soldadura en "X" simétrica.

1- Sección

2- Esquema de la imagen radiográfica

3- Perfil microdensitométrico de la sección a-b. Se consideran los casos de incidencia normal (A) y ligeramente oblicua (B).

- SOLDADURAS CON RESPALDO.

Con el fin de garantizar la correcta penetración en cordones en "V" que se aportan desde un solo lado, suele disponerse previamente en la raíz un "respaldo" consistente generalmente en una chapa o pletina estrecha cuya misión es soportar o retener el baño fundido y ocasionalmente soldarse a la raíz.

Radiográficamente la presencia del respaldo representa un cierto inconveniente a la hora de interpretar la imagen pues se superpone mas o menos a la del cordón. Por otra parte el metal que rebosa la raíz da lugar a unas características siluetas irregulares de aspecto piano en el eje de la unión. En algunas ocasiones el respaldo esta formado por dos chapas que dejan entre sí un canal justamente bajo la raíz, destinado a contener el material



que rebose por esta. Las imágenes de estas soldaduras son aun más confusas que las proporcionadas por las que poseen respaldo único, pues resulta difícil valorar si las irregularidades en esta penetración suplementaria afectan a la sección del verdadero cordón.

- SOLDADURAS MECANIZADAS.

Cuando su función lo requiere, las soldaduras se mecanizan. En tal caso desaparecen las irregularidades naturales del cordón y la raíz y, si la soldadura es perfecta y el material de aporte tiene la misma naturaleza que las piezas que une, la imagen radiográfica se desvanece, siendo imposible saber donde se encuentra si no se ha tornado la precaución de señalar sus límites con perdigones o flechas de plomo. En ciertos materiales la presencia de la unión aparece indicada por manchas de difracción producidas por la interacción de rayos X blandos con la estructura cristalina del material.

b) Otras formas de soldadura.

Las soldaduras en "T", en esquina o en solape, se caracterizan, como se dijo, por el agudo gradiente de densidades. Aparte debe conocerse si el diseño prevee penetración completa, o no, pues de ello dependerá que puedan considerarse correctas o defectuosas. En cuanto a las soldaduras por puntos, por chisporroteo o por resistencia, presentan aspectos particulares en los que son frecuentes las proyecciones de metal alrededor de la zona soldada, que debe aparecer limpia y libre de discontinuidades. En las soldaduras por presión o por fricción rotatoria no repasada, es característica la presencia de "labios" que, en el caso de formas tubulares, son también internos y permanentes, apareciendo su imagen en las radiografías.

DEFECTOLOGÍA DE SOLDADURAS.

Ateniéndonos a la clasificación vigente establecida por la Norma Europea EN 26520/91, las discontinuidades que pueden afectar a las uniones soldadas se clasifican como se muestra en el anexo sobre NORMAS.



3. EXAMEN RADIOGRÁFICO DE PIEZAS MOLDEADAS.

Consideramos "moldeadas", aquellas piezas cuyo procedimiento de fabricación consiste en rellenar una cavidad, que representa en hueco la forma del objeto, con un material en estado líquido. El material líquido puede llegar al estado sólido una vez rellenado el molde, por enfriamiento (piezas metálicas, vidrios y ciertos plásticos) o por procesos químicos especiales (materias plásticas y cerámicas). Una vez solidificado el material, se abre o destruye (según los casos) el molde y se extrae el objeto, el cual, generalmente, debe ser sometido a operaciones de retoque y acabado.

De las piezas moldeadas, son las metálicas las que presentan mayores dificultades para la inspección radiográfica, por lo que limitaremos a ellas nuestro estudio.

Estas piezas, a las que se llama también "piezas fundidas" o "piezas coladas", presentan dificultades que son función de la naturaleza del material de que están hechas y de la complejidad de su diseño. Como es fácil comprender, la combinación de estos parámetros da lugar a tal cantidad de casos, que resulta imposible una reseña, siquiera de los más importantes. Así, pues, nos limitaremos a establecer unos criterios generales, cuya aplicación se hará, en cada ocasión, en función de la naturaleza particular del problema

Para nuestro propósito, dividiremos las piezas metálicas moldeadas en tres grupos:

- Piezas pequeñas de aleación ligera.
- Piezas pequeñas de aleaciones pesadas.
- Piezas de tamaño grande o mediano.

Piezas pequeñas de aleación ligera.

Son el caso más sencillo. La técnica típica a seguir consiste en situar la pieza sobre el chasis portapelícula, obteniéndose de una vez toda la imagen del objeto. Si la pieza presenta considerables diferencias de espesor, es aconsejable emplear un filtro fino de



cobre o de acero (<1 milímetro) en la boca del tubo de rayos X o bien recurrir a la técnica de doble película.

Como es lógico, el empleo de fuentes de iridio o cobalto debe proscribirse en estos casos, siendo en cambio muy recomendables los tubos de rayos X con ventana de berilio. El empleo de hojas reforzadoras de plomo debe hacerse con gran cautela, empleando las más finas del mercado (0,01 mm) o evitando su use en la radiografía de piezas muy pequeñas. En general estas pantallas no deben usarse por debajo de 100 kV. La película a utilizar debe ser de grano fino, ya que, en este caso, la velocidad de la misma no tiene gran importancia, siendo en cambio crítica la sensibilidad de detección, pues resulta obvio que las heterogeneidades de piezas pequeñas son generalmente menudas. Trabajando en buenas condiciones, no es raro alcanzar sensibilidades del 0,5% en contraste. Si se dispone de equipos con foco suficientemente fino, pueden ensayarse técnicas de microrradiografía por proyección e, incluso, si se emplean películas monocapa de grano ultrafino, cabe la posibilidad del examen microscópico de las radiografías hasta unos 100 aumentos.

Si han de radiografiarse varias piezas, pueden hacerse todas a la vez, disponiéndolas ordenadamente sobre la película, procurando que todas estén en igual posición e identificándolas convenientemente.

Piezas pequeñas de aleaciones pesadas.

Como en el caso anterior, la pieza se radiografía entera, pero la técnica para conseguir una buena imagen presenta complicaciones.

En primer lugar, hay que tener en cuenta que, a consecuencia del kilovoltaje elevado que requiere la radiografía de estas piezas, el problema de la difusión es muy importante, especialmente si se utilizan rayos X. Si la pieza es de forma relativamente sencilla, lo mejor es recortar en plomo una silueta o plantilla de la misma que sirva de máscara. Esta solución, que es la mejor, solo es viable para piezas sencillas o para grandes series de piezas complicadas, ya que, de lo contrario, la pérdida de tiempo que requiere la construcción de una máscara perfecta no viene compensada, generalmente, por el valor de



la pieza. También puede recurrirse a una filtración energética en la fuente, pero esto trae consigo una pérdida inevitable de sensibilidad.

Una buena técnica debe combinar el enmascaramiento, con una discreta filtración en la fuente a través de unos milímetros de cobre (de 1 a 5 generalmente) y una segunda filtración a través de una hoja de unos 0,2 mm de plomo o 0,5 de cobre, colocada entre el objeto y la película.

En el caso de utilizarse fuentes isotópicas, los problemas de difusión son mucho menores, pudiéndose suprimir el filtro de la fuente, e incluso, el enmascaramiento. En todos los casos, se emplearan hojas reforzadoras de plomo y la parte posterior del chasis portapelícula deberá estar protegido por un espesor, asimismo de plomo suficiente (2-3 mm) para evitar los efectos de la retrodifusión procedente del suelo, paredes u objetos próximos.

Otros problemas que presentan estas piezas, se refieren al que plantean las diferencias de espesor existentes entre unas partes del objeto y otras. Mediante una sola exposición, realizada según la técnica recién descrita, solamente se obtiene una imagen aceptable de ciertos espesores del objeto, quedando el resto demasiado claro o demasiado oscuro. La solución más simple consiste en realizar varias exposiciones, de modo que en cada una de ellas aparezca correctamente radiografiado un cierto intervalo de espesores. Esto plantea, sin embargo, problemas relativos al tiempo necesario para llevar adelante la inspección y a la incomodidad resultante de tener que realizar la interpretación por zonas, en varias películas. Pueden apuntarse dos soluciones: una, mediante una energética filtración que reduzca el contraste hasta unos límites razonables; otra, empleando superpuestas películas diversas y hojas filtro de plomo intercaladas convenientemente, con el fin de impresionar, en las películas más rápidas, las imágenes correspondientes a las partes gruesas del objeto y, en las más lentas, las más finas.

Esta solución, de indudable interés, debe ser aplicada solo después de un detenido estudio de los filtros empleados y de las curvas características de las películas, ya que, en muchos casos, esta técnica de tan atractiva apariencia no es viable. Veamos un ejemplo:

Supongamos que se desea radiografiar en una sola exposición la muestra cuneiforme de la figura 2.96, empleando dos películas, A y B, de velocidades diferentes. Para averiguar si es posible, es necesario disponer de:

- ábaco de exposición del equipo de radiografía para la película A, construido para dos densidades: la máxima observable en el negatoscopio utilizado (que se toma igual a 1,5) y representada por la recta 1, continua (Fig. 11 A),
- otro ábaco semejante para la película B (Fig. 11 A),
- curva de sensibilidad de la película A (Fig. 11 B),
- curva de sensibilidad de la película B (Fig. 11 B).

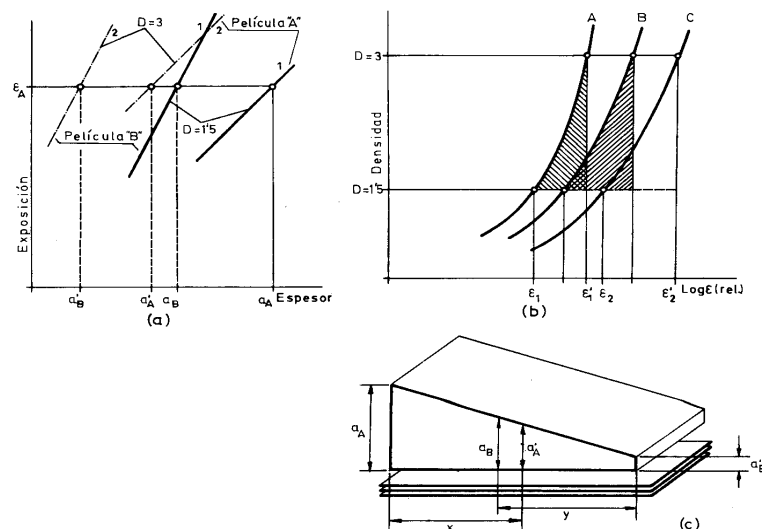


Fig. 11 Empleo racional de la técnica de doble película en objetos con diferencias de espesor.

Para simplificar, se han representado sobre un mismo grafico solamente las rectas correspondientes a la tensión de trabajo utilizada en el caso de cada película. El procedimiento de calculo se desarrolla como sigue:

1º) Se determinan, en el grafico a, la exposición y tensión de trabajo adecuadas para obtener una imagen de la parte mas gruesa de- la muestra (a, max.), con una densidad de



1,5 en la película A, más rápida. Si a_A es dicho espesor, para una tensión de trabajo T y dicha densidad, se encuentra en el ábaco de exposiciones un valor ϵ_A mA x min. Así pues, las condiciones de trabajo deberán ser:

T , keV

ϵ , mA min.

2º) Se realiza la misma operación, pero a la inversa, con el fin de determinar cual es el espesor de la muestra que proporciona una imagen de densidad 3 en la película A. Así, la exposición μ_A llevada a la recta 2 de la película A, proporciona un valor a' que corresponde a dicho espesor. Con la película A se abarca, pues, el intervalo x (Fig. 11 C).

3º) Se determinan, partiendo de la exposición ϵ_A y de la tensión elegida, los espesores que se abarcan con la película B, del mismo modo que antes (Fig. 11 a). Sean dichos espesores a_B y a'_B y su intervalo y (Fig. 11 c).

Según esto, se podrán utilizar las películas A y B para radiografiar la totalidad de la pieza solamente si:

- los intervalos x e y se solapan,
- el espesor a'_B es igual o menor que el mínimo de la muestra (a , min.).

A partir de las curvas de sensibilidad de las películas empleadas en la figura, es fácil ver que la primera condición equivale a la superposición de las áreas rayadas correspondientes a las películas A y B. Así pues, en nuestro ejemplo, las películas A y B se pueden emplearse, en tanto que la A y otra, tal como la C, no serían utilizables.

Piezas de tamaño grande o mediano.

Es característico de la inspección radiográfica de estas piezas, la imposibilidad de radiografiarlas enteras de una sola vez. Por lo demás, es aplicable todo cuando acabamos de exponer. Hay que hacer notar las dificultades que se presentan, en algunas ocasiones, a la hora de colocar la película en el sitio adecuado, siendo el ingenio y experiencia del operador los que únicamente pueden indicar la solución idónea. Por otra parte, es importante concretar, con el proyectista de la pieza, las zonas de mayor interés a



inspeccionar, bien por razones de diseño (cambios de sección, ángulos, etc.), bien por ser proclives a la aparición de ciertas heterogeneidades (rechupes, grietas de contracción, etc.).

En algunos casos, la inspección debe realizarse en la totalidad del objeto, siendo entonces necesario señalar sobre el mismo las zonas que va a abarcar cada radiografía, dar números a cada una, determinar las condiciones operatorias de cada caso y reflejar todo ello en un plano o croquis del objeto.

4. EVALUACIÓN DE RADIOGRAFÍA DE PIEZAS MOLDEADAS.

Son muy numerosas las discontinuidades que pueden presentar una pieza metálica moldeada y su posible presencia depende estrechamente de la técnica de moldeo seguida. Sin embargo la gran mayoría de ellas afectan a la forma de la pieza o a aspectos superficiales de la misma por lo que su detección debe hacerse por examen visual, a cuyo capítulo no remitimos. En este epígrafe, atenderemos exclusivamente a discontinuidades estrictamente internas o a aquéllas que aún pudiendo ser superficiales se pongan de manifiesto con mayor seguridad, mediante radiografía.

Siguiendo los criterios del Comité Internacional de las Asociaciones Técnicas de Fundición, las discontinuidades investigables por radiografía se clasifican como sigue:

Cavidades gaseosas.

- B 110 (Genérico)
- B 111 Sopladuras y efervescencias
- B 112 Sopladuras en insertos
- B 113 Sopladuras de escoria
- B 121 Sopladuras superficiales

Cavidades de contracción.

- B 122 Sopladuras de ángulo (efecto Leonard)



B 124 "Vírgulas" (rechupes dispersos)

B 211 Rechupes abiertos

B 212 Rechupe de ángulo

B 213 Rechupe de macho

B 221 Rechupe interno

B 222 Rechupe longitudinal

B 311 Esponjosidad y microrrechupes

Grietas

C 200 (Genérico)

C 201 Grieta en frío

C 221 Grieta en caliente o de contracción

Uniones frías

C 300 (Genérico) C 311 Unión fría

C 321 Colada interrumpida

C 331 Machos e insertos mal soldados

Inclusiones

G 100 (Genérico)

G 111 Metálicas

G 112 Gota fría

G 113 Exudados internos

G 121 Escorias

G 131 Arena



5. EXAMEN RADIOGRÁFICO DE SISTEMAS Y COMPONENTES EN FASE DE MONTAJE O EN SERVICIO.

De acuerdo con la tabla siguiente, consideramos brevemente y por reparado: (A) inspección de fabricación y (B) Revisiones de mantenimiento.

Heterogeneidades y anomalías detectables radiográficamente en sistemas y en componente en fase de montaje o en servicio.

A) Inspección de fabricación	A.1 Defectos introducidos en las fases últimas de la fabricación.	<ul style="list-style-type: none">- Moldeo o llenado de materiales no metálicos en el sistema o en el componente.- Ensamblajes y remachado- Uniones adhesivas.- Uniones soldadas.
	A.2 Montajes defectuosos.	<ul style="list-style-type: none">- Olvidos de montaje.- Errores de montaje.- Dañados de montaje.
	A.3 Comprobación de dimensiones.	<ul style="list-style-type: none">- Espesores en general.- Holguras.- Excentricidad o coaxialidad.
	A.4 Calidad de la mano de obra.	<ul style="list-style-type: none">- Montajes defectuosos citados en A.2.- Objetos extraños: herramientas, útiles, efectos personales olvidados, etc.
B) Revisiones de mantenimiento	B.1 Grietas y otras discontinuidades.	<ul style="list-style-type: none">- Grietas de fatiga, térmicas, radiales en taladros, etc.- Despegues en uniones adhesivas.
	B.2 Corrosión.	<ul style="list-style-type: none">- Picaduras de corrosión con merma de espesor.- Agrietamiento y exfoliaciones por corrosión bajo tensiones, corrosión-fatiga, corrosión intergranular.
	B.3 Desgastes y holguras.	<ul style="list-style-type: none">- Por rozamiento y ludimiento.- Por erosión.- Por deformación.- Por cavitación.
	B.4 Daños de partes y elementos.	<ul style="list-style-type: none">- Deformaciones.- Roturas.- Pérdidas de trozos de partes y de elementos.
	B.5 Residuos, incrustaciones y depósitos de materias extrañas.	<ul style="list-style-type: none">- Humedad.- Lodos.- Productos de combustión y otras reacciones químicas.



A. inspección de fabricación:

Comprende la comprobación de defectos introducidos en las fases ultimas de la fabricación de los sistemas y componentes, la comprobación de montajes defectuosos, la comprobación de dimensiones y la comprobación indirecta de la calidad de la mano de obra.

A1. Defectos introducidos en las fases ultimas de la fabricación:

- Pueden ser los producidos durante el moldeo o llenado de materiales no metálicos en sistemas o componentes; por ejemplo: cavidades, impurezas o inclusiones y faltas de unión con el componente metálico en los combustibles sólidos de motores cohete, en los explosivos de proyectiles, en ciertos plásticos de relleno de componentes electrónicos, etc.
- Defectos producidos en operaciones de ensamblaje y de remachado.
- Defectos en uniones adhesivas.
- Defectos en uniones soldadas realizadas en la fase ultima de la fabricación del sistema o del componente, lamina.

Las indicaciones, correspondientes a estas discontinuidades e impurezas en la imagen radiográfica, presentan aspectos muy similares a los ya definidos para las uniones soldadas y piezas moldeadas, en los dos apartados anteriores.

A2. Montajes defectuosos.

Pueden ser debidos a olvidos de montaje; por ejemplo: falta de remaches, pernos, conductos, componentes electrónicos, etc.

- También, a errores de montaje; por ejemplo: elementos electrónicos, circuitos hidráulicos y conexiones eléctricas cambiados.
- Por ultimo, a danos de montaje: tales como perfiles y mamparos deformados, conductos rotos, roturas y despegues de los núcleos de estructuras en panal de abeja, partes de pilas eléctricas deformadas, etc.



Las indicaciones en la imagen radiográfica, correspondientes a estos montajes defectuosos, son fáciles de identificar, de manera que el observador se familiariza sin dificultad y con rapidez en la interpretación de las radiografías, una vez lograda la proyección óptima de la radiación con relación al sistema o componente a radiografiar.

A3. Comprobaciones dimensionales:

Comprenden medidas de espesores en general, comprobación final de holguras en engranajes, en ejes estriados, en articulaciones, etc. También, posibles excentricidades o falta de coaxialidad, tales como la de cables en sus terminales o la de resistencias eléctricas en sus vainas o fundas.

En el caso de que se requieran medidas cuantitativas, se hace preciso lograr una calidad de la imagen radiográfica elevada, no solo en lo que respecta a su contraste, sino, muy particularmente, a la definición de los bordes de las partes a medir y tener en cuenta, además, para realizar una interpretación correcta, aquellos factores geométricos que afectan no solo a la definición, sino a la forma y tamaño de la imagen radiográfica (cambio de escala de medida).

A4. Comprobación indirecta de la calidad de la mano de obra.

La comprobación de montajes defectuosos, tales como los recelados en A.2 son, al fin y al cabo, una comprobación indirecta de la calidad de la mano de obra empleada -en el montaje de los sistemas y de los componentes. Añadiremos aquí la aparición frecuente, en la imagen radiográfica, de indicaciones correspondientes a objetos extraños, tales como herramientas, útiles, efectos personales, etc., olvidados en el interior del sistema o del componente y que pueden comprometer o perjudicar su función. Generalmente, sus indicaciones son fácilmente identificables, si bien con el consiguiente asombro y perplejidad del observador. Pero, en ocasiones, estas indicaciones son de interpretación muy difícil, lo que obliga a desmontar el sistema o el componente.



B. Revisiones de mantenimiento:

Además de la comprobación de defectos introducidos en la reparación de sistemas y componentes, de montajes defectuosos, consecuencia de la revisión de mantenimiento y de la comprobación indirecta de la calidad de la mano de obra empleada en la revisión, que dan lugar a indicaciones similares a las ya descritas en el epígrafe anterior (A), añadiremos la comprobación de heterogeneidades y anomalías producidas en servicio, tales como grietas y otros tipos de discontinuidades, corrosión, desgastes y holguras, dañados de partes y elementos y, finalmente, residuos, incrustaciones y depósitos de materias extrañas.

B1. Grietas y otras discontinuidades:

Se originan por fatiga, por fluencia térmica, por despegues en uniones adhesivas, etc., y su probabilidad de detección depende, primordialmente, de su orientación con relación al haz de la radiación. Sus indicaciones se manifiestan en líneas oscuras y su aspecto depende de la morfología de la discontinuidad.

A pesar de que su detección es problemática mediante técnicas radiográficas, no obstante, este método puede llegar a ser la única solución viable cuando estas grietas y discontinuidades se encuentran en zonas ocultas o inaccesibles a otros métodos de Ensayos no Destructivos.

B2. corrosión:

Cabe distinguir las picaduras de corrosión, que pueden llegar a suponer una merma considerable del espesor del material, del agrietamiento o de las exfoliaciones por corrosión bajo tensiones, por corrosión-fatiga, corrosión intergranular, etc., que suponen, en cualquier caso, una entalla agresiva.

Las indicaciones correspondientes a mermas de espesor por corrosión son claramente identificables en las imágenes radiográficas de componentes estructurales, tales como estructuras tubulares, contenedores, vasijas de presión, etc., manifestándose tales indicaciones como manchas oscuras de contornos irregulares. Para la determinación de la profundidad de la corrosión, es decir, del espesor del ma-



terial afectado por la misma, se recurre a la medida, mediante un densitometro, del ennegrecimiento de las indicaciones de la imagen radiográfica, previamente establecida la correlación entre las densidades radiográficas y el espesor de material en una muestra patrón escalonada. Los errores de medida son del orden del 5%, admisible en la mayor parte de los problemas industriales.

Las grietas de corrosión bajo tensiones, de corrosión-fatiga, etc., dan lugar, en la imagen radiográfica, a indicaciones similares a las ya comentadas en B1, si bien su aspecto corresponde mas bien al de una morfología ramificada. Su probabilidad de detección es algo mayor que el caso de las grietas y discontinuidades mencionadas en B1. Y aun más el de las exfoliaciones motivadas por corrosión intercrystalina.

B3. Desgastes y holguras:

A lo expuesto en A.3, añadiremos que el examen radiográfico sé esta imponiendo en la comprobación de desgastes y holguras en las revisiones de mantenimiento y aun aprovechando paradas programadas del sistema que no permitan desmontajes parciales de conjuntos y subconjuntos. De este modo se detectan, además de holguras en mecanismos de fricción, remaches y pernos flojos en componentes estructurales ensamblados.

En la interpretación de las indicaciones, deberán tenerse en cuenta las observaciones apuntadas en A3.

B4. Dañados de partes y elementos:

En la imagen radiográfica, se pueden identificar deformaciones, tales como las de alabes de turbina y de compresor, de perfiles y mamparos de componentes estructurales, cámaras de combustión, etc.; roturas, tales como las de conductor, conductores, remaches y pernos cizallados, etc.; perdidas de trozos de las partes y elementos citados anteriormente. La interpretación de las indicaciones de la imagen



radiográfica no es complicada, una vez estudiada la proyección óptima de la radiación en relación con el sistema o componente a radiografiar.

B5. Residuos, incrustaciones y depósitos de materias extrañas.

La interpretación en estos casos, depende del contraste que la materia extraña proporcione en la imagen radiográfica. En general, estas indicaciones se manifiestan como zonas claras.

Así, por ejemplo, en el caso de agua condensada en las celdillas de las estructuras en panel de abeja, debido a condiciones ambientales húmedas, se identifican claramente las celdillas que contienen agua, de las restantes, ya que aparecen en la imagen radiográfica como hexágonos claros y bien contrastados frente a los otros. En cambio, las indicaciones de los residuos e incrustaciones de coque en los codos de serpentines de hornos de destilación de crudos de petróleo, aparecen muy desvanecidas y son de identificación difícil, requiriendo técnicas operatorias muy cuidadosas para la obtención de una indicación propia.

Otro ejemplo de resultados positivos, es el del examen radiográfico aplicado en las operaciones de mantenimiento de radiadores de aceite que han sido limpiados pero radiografiados antes de su nuevo montaje para asegurarse de la ausencia de materias extrañas. En este caso, se obtiene un buen contraste entre las indicaciones de las partículas o materias extrañas de densidad mayor que el material de aluminio del radiador.

6. LA RADIOGRAFÍA DE MATERIALES COMPUESTOS.

El término "materiales compuestos" es vago. Se trata, en efecto de materiales "construidos" por asociación de otros diversos, con propiedades tecnológicas diferentes y aun contradictorias, pero que una vez asociados dan lugar a un producto



nuevo de características imposibles de alcanzar con un material homogéneo tradicional. En tan amplio concepto caben desde el ancestral adobe, al moderno "panal de abeja" ("honeycomb"), pasando por el hormigón armado, los neumáticos de nuestro automóvil o los tableros contrachapados o aglomerados. En lo que sigue nos referimos solo a materiales compuestos avanzados que a efectos del presente texto se clasifican en dos grupos:

a) materiales masivos formados por una "matriz" compacta en cuyo seno se distribuye, aleatoria u ordenadamente, otro constituyente que recibe el nombre genérico de "refuerzo",

b) materiales formados por asociación de elementos hechos de material tradicional, dispuestos de modo que forman una unidad estructural.

Entre los primeros (que son los materiales compuestos "ortodoxos") los hay numerosísimos según la matriz sea polimérica, metálica, cerámica, etc., y el refuerzo asimismo metálico, orgánico o cerámico; continuo o discontinuo; dispuesto por yuxtaposición, tejido, o distribuido aleatoriamente. No obstante tal variedad, la mayor parte de los materiales compuestos de use industrial son hasta ahora de matriz polimérica conteniendo fibras tejidas y dispuestas en capas ordenadas de materiales resistentes (carbono, "kevlar", nylon, etc.).

En cuanto a los segundos, podemos poner el ejemplo citado de las estructuras de "panal de abeja" ("honeycomb"), de las estructuras laminares, o de los cauchos reforzados con cordelería o cable y sin que se excluyan otras muchas posibilidades.

En general la inspección radiográfica (eventualmente radioscópica) de estos materiales no presenta dificultad. Los mas corrientes son poco absorbentes y requerirán energías mas bien bajas para su inspección. Es mas, si su espesor es pequeño, el problema puede llegar a ser el de su excesiva transparencia que forzara a disponer de tubos de rayos X de muy baja filtración inherente y aun a prescindir de la funda de la película, lo que obligara a trabajar bajo luz de seguridad. Sin embargo, a pesar de no plantear problemas radiográficos serios, la defectología de los materiales



compuestos (todavía no bien establecida) suele ser poco propicia para la inspección radiográfica, por tratarse de discontinuidades de tipo laminar (deslaminaciones) dispuestas paralelamente a la imagen y cuya detectabilidad radiográfica es extremadamente pobre. Otra cuestión son las eventuales grietas o poros que pudieran estar presentes, los cuales no presentan mayores problemas para ser evidenciados; sin embargo este tipo de discontinuidades es mucho menos frecuente que las mencionadas deslaminaciones.

En ocasiones es posible utilizar, previamente a su radiografiado, un líquido penetrante absorbente como medio de contraste. En tal caso, si la discontinuidad aflora a una superficie se obtienen espectaculares imágenes de su distribución interior y para cuya consecución se utilizó la impregnación en tetrabromoetano. Esta sustancia tiene la ventaja de poder ser prácticamente eliminada por vacío. No obstante, para materiales que vayan a cumplir servicio es preciso asegurarse de que el penetrante de contraste utilizado, aparte de poder ser eliminado, sea compatible, tanto con la matriz, como con el refuerzo.

De los materiales del grupo (b) tienen especial interés las estructuras de "panal de abeja" cuya inspección radiográfica en mantenimiento es corriente. El objeto de estas inspecciones es la detección de anomalías o daños en el núcleo del material (la estructura de "panal de abeja" propiamente dicha) deterioros por corrosión en los que son metálicos y condensación de agua en las celdillas.

También en fabricación es habitual la inspección de estos materiales por radiografía. Sin embargo, en estos casos, la proyección de las celdillas que se produce inevitablemente con la técnica radiográfica convencional estorba gravemente a la inspección, salvo para áreas pequeñas y eso aun empleando distancias foco-película anormalmente grandes (2 m, o más). En el caso de haber de inspeccionar grandes paneles de esta clase de material es necesario acudir a la técnica de "barrido" a través de un fino orificio, lo que permite obtener una imagen a distancia pseudo infinita en la



UNIVERSIDAD POLITECNICA DE CARTAGENA
INGENIERÍA TÉCNICA NAVAL



ESTUDIO DE LA DEFECTOLOGÍA EN LA RADIOLOGÍA INDUSTRIAL
Fulgencio E. Marín Vázquez

que se elimina la distorsión por proyección a expensas de una ligera pérdida de definición que depende del diseño geométrico del ensayo.



ANEXO C: PROBLEMÁTICA AL DIGITALIZAR RADIOGRAFÍAS.

Hemos creído conveniente incluir este texto procedente del código ASME para que se tengan en cuenta todas las circunstancias que traen el digitalizar unas imágenes procedentes de radiografías. Este documento hace referencia a la problemática que surge al pasar unas imágenes radiográficas a un sistema informático,

Dichos problemas son diversos y pueden desvirtuar la realidad de la radiografía, llegando incluso a la mala apreciación de la misma, teniendo consigo un mal dato para el operario que la esta utilizando.

Para ello el código ASME realizó este anexo por el cual se puede apreciar o descartar una digitalización radiográfica.



APPENDIX IV — INTERPRETATION, EVALUATION, AND DISPOSITION OF RADIOGRAPHIC AND RADIOSCOPIC EXAMINATION TEST RESULTS PRODUCED BY THE DIGITAL IMAGE ACQUISITION AND DISPLAY PROCESS

IV-210 SCOPE

The digital image examination test results produced in accordance with Article 2, Mandatory Appendix II, and Article 2, Mandatory Appendix III, may be interpreted and evaluated for final disposition in accordance with the additional provisions to Article 2 as indicated herein.

The digital information is obtained in series with radiography and in parallel with radioscopy. This data collection process also provides for interpretation, evaluation, and disposition of the examination test results.

IV-220 GENERAL REQUIREMENTS

The digital image shall be interpreted while displayed on a cathode ray tube (soft display). The interpretation may include density and contrast adjustment, quantification, and pixel measurement, including digital or optical density values and linear or area measurement.

The interpretation of a digitized image is dependent upon the same subjective evaluation by a trained interpreter as the interpretation of a radiographic or radioscopy image. Some of the significant parameters considered during interpretation include: area of interest, image quality, IQI image, magnification, density, contrast, discontinuity shape (rounded, linear, irregular), and artifact identification.

The digital image interpretation of the radiographic and radioscopy examination test results shall be performed in accordance with the modified provisions to Article 2 as indicated herein.

After the interpretation has been completed, the interpretation data and the digital image, which shall include the unprocessed original full image and the digitally processed image, shall be recorded and stored on video tape, magnetic tape, or optical disk.

IV-221 Procedure Requirements

A written procedure is required and shall contain, as a minimum, the following system performance parameters:

(a) image digitizing parameters — modulation transfer function (MTF), line pair resolution, contrast sensitivity, dynamic range, and pixel size;

(b) image display parameters — monitor size including display pixel size, luminosity, format, contrast, and magnification;

(c) signal processing parameters — including density shift, contrast stretch, log transform, and any other techniques that do not mathematically alter the original digital data, e.g., linear and area measurement, pixel sizing, and value determination;

(d) storage — identification, data compression, and media (including precautions to be taken to avoid data loss). The non-erasable optical media should be used for archival applications. This is frequently called the WORM (Write Once Read Many) technology. When storage is accomplished on magnetic or erasable optical media, then procedures must be included that show trackable safeguards to prevent data tampering and guarantee data integrity.

IV-222 Original Image Artifacts

Any artifacts that are identified shall be noted or annotated on the digital image.



IV-230 EQUIPMENT AND MATERIALS

IV-231 Digital Image Examination Record

The digital image examination data shall be recorded and stored on video tape, magnetic disk, or optical disk.

IV-234 Viewing Considerations

The digital image shall be evaluated using appropriate monitor luminosity, display techniques, and room lighting to insure proper visualization of detail.

IV-236 Calibrated Optical Line Pair Test Pattern and Optical Density Step Wedge

An optical line pair test pattern operating between 0.1 and 4.0 optical density shall be used to evaluate the modulation transfer function (MTF) of the system. High spatial resolution with 14 line-pairs per millimeter (lp/mm) translates to a pixel size of 0.035 mm (0.0014 in.). Lesser spatial resolution with 2 lp/mm can be accomplished with a pixel size of 0.3 mm (0.012 in.). The optical density step wedge shall be used to evaluate system contrast sensitivity.

IV-250 IMAGE ACQUISITION, STORAGE, AND INTERPRETATION

IV-255 Area of Interest

The evaluation of the digital image shall include all areas of the image defined as the area of interest by the referencing Code Section.

IV-258 System Configuration

The system shall, as a minimum, include:

- (a) digital image acquisition system
- (b) display system
- (c) image processing system
- (d) image storage system

IV-260 CALIBRATION

The system shall be calibrated for modulation transfer function (MTF), dynamic range, and contrast sensitivity. The electrical performance of the hardware and the quality of the digital image shall be measured and recorded.

IV-263 System Performance Measurement

System performance parameters (as noted in IV-221) shall be determined initially and monitored regularly with the system in operation to assure consistent results. The system performance shall be monitored at the beginning and end of each shift to minimize the probability of time-dependent performance variations.

IV-280 EVALUATION

IV-286 Factors Affecting System Performance

The quality of system performance is determined by the combined performance of the components specified in IV-258.

IV-287 System-Induced Artifacts

The digital images shall be free of system-induced artifacts in the area of interest that could mask or be confused with the image of any discontinuity.

IV-290 DOCUMENTATION

IV-291 Digital Imaging Technique Information

To aid in proper interpretation of the digital examination data, details of the technique used shall accompany the data. As a minimum, the information shall include items specified in T-291 and II-221 when applicable, III-221, III-222, IV-221, IV-222, and the following:

- (a) operator identification
- (b) system performance test data

IV-292 Evaluation by Manufacturer

Prior to being presented to the Inspector for acceptance, the digital examination data from a radiographic or radiosopic image shall have been interpreted by the Manufacturer as complying with the referencing Code Section.

The digitized examination data that has previously been accepted by the Inspector is not required to be submitted to the Inspector for acceptance.



ANEXO D: RESUMEN DE LA LEGISLACIÓN REFERENTE A LA RADIOLOGIA INDUSTRIAL.

La utilización de fuentes radiactivas dio lugar, ya desde su comienzo, a accidentes de consecuencias, con frecuencia, graves. Inicialmente, estos accidentes afectaron, sobre todo, a pacientes y médicos a causa del desconocimiento existente de los riesgos de la diagnosis radiológica. Tal estado de cosas llevó, en el 1 Congreso de Radiología de Londres de 1925, a establecer una primera normativa de seguridad: se reconocía oficialmente la peligrosidad de los rayos X, así como de las radiaciones producidas por las sustancias radiactivas naturales y se establecía una primera dosis de peligrosidad en 0,2 R/día. Asimismo, se decidió formar la Comisión Internacional para la Protección Radiológica (ICRP), cuyo fin primordial era el de elaborar recomendaciones para todos los países en relación con los efectos nocivos de las radiaciones.

El desarrollo de la tecnología nuclear en su vertiente pacífica, cuya primera visión panorámica fue puesta de manifiesto en la "Primera Conferencia Internacional para el Uso Pacífico de la Energía Atómica" (conocida como "Átomos para la Paz"), celebrada en 1955 en Ginebra, puso de manifiesto la complejidad de los problemas relativos a la Seguridad. Consecuentemente, la normativa al respecto se ha diversificado, dando lugar a una urdimbre de recomendaciones sobre la que la mayor parte de los países han tejido su propia legislación.

El Organismo de la ONU especializado en estos problemas es, estatutariamente, el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), bajo cuyos auspicios se ha reunido el cuerpo doctrinal conocido como "Convención de Viena sobre la Responsabilidad Civil derivada de daños nucleares", que define, entre otras cosas, las responsabilidades concernientes al uso de fuentes radiactivas en Radiología Industrial.



La OIEA promulgó el Reglamento para el "Transporte sin riesgos de materiales radiactivos" (Viena, 1964), en el que se resumen y codifican ciertos aspectos del contenido del Acuerdo Europeo sobre "Transporte internacional de mercancías peligrosas por carretera" (A.D.R.), hecho en Ginebra el 30 de septiembre de 1957, cuyo "Instrumento de Adhesión" fue firmado por España en octubre de 1972. Dicho Reglamento es obligatorio en las propias operaciones del OIEA y constituye una Recomendación para los organismos internacionales de transportes.

Además, la OIEA publicó códigos, manuales y normas sobre:

- manipulación de radioisótopos (Viena, 1962),
- depósito de residuos radiactivos en el mar (Viena, 1961),
- depósitos de residuos radiactivos en las aguas (Viena, 1963),
- administración de residuos radiactivos producidos por usuarios de radioisótopos (Viena, 1965).

En relación específica con la Protección Radiológica, tiene publicada una "Provisión de Servicios de Protección Radiológica" (Viena, 1965), obligatorio para la OTEA y recomendado para los países miembros. Esta "Provisión" ha servido de base a las respectivas legislaciones de estos países, entre los que se incluye a España.

Por su parte, la Organización Mundial de la Salud tiene publicada una "Revista de la Legislación existente: Leyes nacionales y Reglamentos sobre protección frente a las radiaciones ionizantes" (Ginebra, 1962, trabajo WHO/RAD 13), así como un "resumen de normas de protección frente a las radiaciones ionizantes" (Ginebra, 1964).

Además, la Oficina Internacional del Trabajo (OIT) de Ginebra tiene publicada una colección de Normas de Seguridad, bajo la denominación de "Manual de protección contra las radiaciones en la Industria" (Ginebra, 1959).

Finalmente, deben citarse el texto definitivo del Convenio de París, de 29 de julio de 1960, sobre Responsabilidad Civil en materia de Energía Nuclear, así como el Convenio de Bruselas, de 31 de enero de 1963, complementario del anterior y las



modificaciones introducidas en ambos por los respectivos protocolos adicionales de 28 de enero de 1964.

Otros textos de interés son:

- Directiva del Consejo 76/579/ EURATOM, de 1 de junio de 1976, publicada en el D.O.C.E. de 12-07-76, que fija las Normas de Base, revisadas, sobre Protección Sanitaria de la Población y de los Trabajadores, contra los riesgos resultantes de las Radiaciones Ionizantes.
- Directiva del Consejo 79/343/ EURATOM de 27 de marzo de 1979, que modifica la Directiva 76/579/EURATOM, publicada en el D.O.C.E. de 03-04-79.
- Directiva del Consejo 80/836/ EURATOM, publicada en el D.O.C.E. de 17-09-80, que modifica las Directivas sobre Protección Sanitaria de la Población y de los Trabajadores contra las Radiaciones Ionizantes.
- Directiva del Consejo 80/466/ EURATOM, de 3 de septiembre de 1984, publicada en el D.O.C.E. de 05-10-84, sobre Medidas Fundamentales de Protección Radiológica de las Personas sometidas a Exámenes y Tratamientos Médicos.
- Directiva del Consejo 84/467/ EURATOM, de 3 de septiembre de 1984, publicada en el D.O.C.E. de 05-10-84, que modifica la Directiva 80/836/EURATOM.
- Directiva del Consejo 89/343/CEE, de 3 de mayo de 1989, publicada en el D.O.C.E. de 25-05-89, que amplía el campo de aplicación de las Directivas 65/65/CEE y 75/319/ CEE, y adopta disposiciones complementarias sobre Radiofármacos.
- Directiva del Consejo 89/618/ EURATOM, de 27 de noviembre de 1989, publicada en el D.O.C.E. de 07-12-89, relativa a la Información de la Población sobre las Medidas Aplicables y sobre el Comportamiento a seguir en caso de Emergencia Radiológica.
- Directiva del Consejo 90/641/ EURATOM, de fecha 4 de diciembre de 1990, publicada en el D.O.C.E. de 13-12-90, sobre Protección Operacional de los Traba-



jadores Exteriores con riesgo de Exposición ' a Radiaciones Ionizantes por intervención en zona Controlada.

- Directiva del Consejo 92/3/ EURATOM, de fecha 3 de febrero de 1992, relativa a la Vigilancia y al Control de los Traslados de Residuos Radiactivos entre Estados Miembros o procedentes o con destino al exterior de la Comunidad, publicada en el D.O.C.E. de 12-02-92.

- Reglamento (EURATOM) n° 1493/ 93 del Consejo de la Unión Europea de 8 de junio de 1993, relativo a los Traslados de sustancias Radiactivas entre los Estados Miembros, publicado en el D.O.C.E. de 19-06-93.

LEGISLACIÓN ESPAÑOLA.

Si bien, a efectos prácticos, la Legislación española sobre el tema comienza con el Decreto-ley de 29 de diciembre de 1948, relativa a normas de protección frente a las radiaciones ionizantes, el Derecho Común cubría, implícitamente con anterioridad a esta fecha, numerosos aspectos desarrollados posteriormente en la Legislación específica. Así, la "Doctrina de Responsabilidad Civil"

establece que cualquiera que posea instrumentos o mercancías peligrosas (por la razón que fuere), es responsable ante la Ley de mantener las máximas garantías de Seguridad, siendo, asimismo, responsable de todo perjuicio derivado de una eventual pérdida de control sobre los mismos.

Además, el Derecho Común establece que el patrono está obligado a indemnizar a sus empleados si éstos sufren lesiones a consecuencia de su trabajo, por negligencia de aquél. No obstante, la doctrina era demasiado genérica y no preveía la resolución de problemas concretos relativos al uso de fuentes radiactivas.



1 Ley sobre Energía Nuclear.

La pieza clave de la Legislación española es la Ley sobre Energía Nuclear, de 29 de abril de 1964 (B.O.E. número 107 del 4 de mayo de 1964), elaborada sobre la base de la Normativa Internacional enumerada y sobre la Legislación específica de Alemania (RF), Estados Unidos, Italia, Suecia y Suiza, así como sobre el, entonces, Proyecto de Ley holandés.

Consta de 15 capítulos, divididos en 97 artículos redactados, en una primera versión, por una Comisión nombrada en el seno de la antigua Junta de Energía Nuclear y modificados posteriormente por otra Comisión designada por el Ministerio de Industria. Este Proyecto fue, previa aprobación del Gobierno, remitido a las Cortes, las cuales en su Boletín 836 emitieron el pertinente Dictamen, siendo posteriormente aprobado en sesión plenaria. El capitulo de la Ley es como sigue:

Capítulo I Objeto y definiciones.

Capitulo II De las autoridades y organismos administrativos.

Capitulo III De la investigación y enseñanza nuclear.

Capitulo IV De la prospección, investigación y explotación de los minerales radiactivos y comercio de los mismos y de los concentrados.

Capitulo V De las autorizaciones para las instalaciones nucleares y radiactivas y de la tenencia y utilización de materiales radiactivos.

Capitulo VI De las medidas de seguridad y protección contra las radiaciones ionizantes.

Capitulo VII De la responsabilidad derivada de daños nucleares. VIII De la cobertura del riesgo nuclear.

Capitulo IX De la reclamación de indemnizaciones por daño nuclear.

Capitulo X De la intervención del Estado en la reparación de daños nucleares.

Capitulo XI De los buques y aeronaves nucleares.



Capitulo XII De las patentes, marcas e invenciones relacionadas con la energía nuclear.

Capitulo XIII De los delitos y las penas.

Capitulo XIV De las sanciones administrativas en materia nuclear.

Capitulo XV Disposiciones finales.

De los anteriores capítulos, son de especial interés para el explotador de instalaciones de Radiología Industrial, el I, el V, el VI, el VII, el IX, el XII y el XIII.

2. El Consejo de Seguridad Nuclear.

Inicialmente fue la Junta de Energía Nuclear quien, como se ha indicado, se ocupó de la regulación de las cuestiones relativas a la Seguridad Radiológica. Sin embargo, como dicha entidad era usuaria y explotadora de instalaciones nucleares y radiactivas, fue aconsejable crear un Organismo independiente dedicado exclusivamente a la seguridad en este campo.

Consecuentemente y por Ley 15/80 de 22 de abril (B.O.E. 25-04.80) se creó el Consejo de Seguridad Nuclear, (C.S.N.) organismo dependiente del Congreso de los Diputados que además de asumir las competencias de la antigua Junta era dotado de una mayor capacidad legal para la implantación y desarrollo de la normativa ateniende a la Seguridad Nuclear y Radiactiva. Posteriormente la Junta de Energía Nuclear diversificó sus objetivos y se convirtió en el actual Centro de Investigación de Energías Alternativas (C.I.E.M.A.T) ya sin relevancia en cuestiones reguladoras. La estructuración del C.S.N. se completó con su Estatuto, establecido por Real Decreto 1157/82 de 20 de abril (B.O.E. 07-6-86).



3. Otros textos legales conexos.

De la relativamente abundante normativa sobre cuestiones de Seguridad Radiológica y limitándonos a la que atañe más o menos directamente a la Radiología Industrial, citaremos lo siguiente:

a) Cobertura de riesgos nucleares.

- Decreto 2177/67 de 22 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre Cobertura de Riesgos Nucleares (B.O.E. 18-09-67), modificado por él.

- Decreto 742'/68 de 28 de marzo (B.O.E. 20-04-68), que modifica el Decreto 2177/67 de 22 de julio.

- Decreto 2864/68 de 7 de noviembre, sobre Señalamiento de la Cobertura Exigible en materia de Responsabilidad Civil por Riesgos Nucleares, y que afecta al artículo 57 de la Ley sobre Energía Nuclear (B.O.E. 25-11-68).

b) Instalaciones.

- Decreto 2869/72 de 21 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas. (B.O.E. 24-10-72).

- Real Decreto 1891/1991, de 30 de diciembre, sobre Instalación y Utilización de Aparatos de Rayos X con fines de Diagnóstico Médico. (B.O.E. 03-01-92).

c) Transportes.

Carretera:

- Real Decreto 74792, de 31 de enero, por el que se aprueba el Reglamento Nacional de Transportes de Mercancías Peligrosas por Carretera (B.O.E. de 22-02-92), y que deroga las disposiciones anteriormente vigentes: Real Decreto 1999/79, de 29 de junio, Real Decreto 1468/81 de 22 de mayo, y Real Decreto 1723/84, de 20 de junio.

- Acuerdo Europeo Internacional de Mercancías Peligrosas (ADR) sobre Transporte por Carretera, de 30 de septiembre de 1957, cuya adhesión se realiza por



España mediante Instrumento publicado en Boletín Oficial del Estado nº 163, del 9 de julio de 1973. Puesto al día en numerosas ocasiones.

- Acuerdo Europeo sobre Transporte Internacional de Mercancías Peligrosas por carretera (ADR), formalizado en Ginebra el 30 de septiembre de 1957 (B.O.E. de 7 al 14-11-86). Acuerdos bilaterales de los que es parte España, y que derogan temporalmente ciertas disposiciones de los Anexos del Acuerdo.

Ferrocarril:

- Real Decreto 879/89, de 2 de junio, por el que se aprueba el Reglamento Nacional para el Transporte de Mercancías Peligrosas por Ferrocarril. (TPF) (B.O.E. 18-07-89).

Vía Marítima:

- Real Decreto 145/1989, de 29 de enero, por el que se aprueba el Reglamento Nacional de Admisión, Manipulación y Almacenamiento de Mercancías Peligrosas en los Puertos (B.O.E. 13-02-89). Este Reglamento remite al Código Internacional Marítimo sobre Mercancías Peligrosas.

Vía aérea:

- Real Decreto 1749/84, de 1 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento Nacional e Instrucciones Técnicas para el Transporte Aéreo sin riesgos de Mercancías Peligrosas (B.O.E. 31-12-84).

- Orden de 28 de diciembre de 1990, por la que se actualiza el Reglamento Nacional para el Transporte sin Riesgos de Mercancías Peligrosas por Vía Aérea (B.O.E. 23-01-91).

d) Protección radiológica.

- Real Decreto 1132/90, de 14 de septiembre, por el que se establecen medidas fundamentales de Protección Radiológica de las Personas sometidas a Exámenes y Tratamientos Médicos. (B.O.E. 18-09-90).

- Real Decreto 53/1.992, de 24 de enero, por el que se aprueba el Reglamento sobre Protección Sanitaria Contra las Radiaciones Ionizantes, y por el que se derogan



los Reales Decretos 2.519/82, de 12 de agosto, y 1.753/87, de 25 de noviembre, como disposiciones anteriormente vigentes sobre la materia. (B.O.E. 12-02-92). La corrección de erratas fue publicada en el B.O.E. de 15-04-92.

e) Otras disposiciones.

- Orden de 20 de marzo de 1975 por la que se aprueban las Normas de Homologación de Aparatos Radiactivos. (B.O.E. 01-04-75). *Orden de 5 de diciembre de 1979 sobre Asistencia Medicofarmacéutica a Lesionados y Contaminados por Elementos Radiactivos y Radiaciones Ionizantes. (B.O.E. 17-12-79).

- Resolución de 20 de diciembre de 1979 sobre Asistencia Medicofarmacéutica a Lesionados y Contaminados por Elementos Radiactivos y Radiaciones Ionizantes y que desarrolla la Orden de 5 de diciembre. (B.O.E. 29-12-79).

- Real Decreto 1428/86, de 13 de junio, sobre Pararrayos Radiactivos. (B.O.E. 11-07-86). Real Decreto 903/87, de 10 de julio. por el que se modifica el Real Decreto 1428/86, de 13 de junio, sobre Pararrayos Radiactivos. (B.O.E. 11-07-87). Orden de 29 de marzo de 1989, de publicación de Acuerdo de Consejo de Ministros, de 3 de marzo de 1989, que aprueba el Plan Básico de Emergencia Nuclear (B.O.E. 1404-89).

- Instrumento de Ratificación de la Convención sobre Protección Física de los Materiales Nucleares, hecho en Viena y Nueva York el 3 de marzo de 1980 (B.O.E. 25-10-91).

- Instrumento de Ratificación del Protocolo que modifica el Convenio de 31 de enero de 1963, complementario al Convenio de París de 29 de julio de 1960, acerca de la Responsabilidad Civil en materia de Energía Nuclear, enmendado por el Protocolo Adicional de 28 de enero de 1964, hecho en París el 16 de noviembre de 1982 (B.O.E. 01-11-88).

- Resolución de 5 de noviembre de 1.992, del Consejo de Seguridad Nuclear, por la que se establecen las Normas a que habrán de sujetarse la Homologación de



Cursos o Programas que habiliten para la Dirección y Operación de las Instalaciones de Rayos X con fines Diagnósticos, y la Acreditación Directa del Personal que ejerza dichas funciones (B.O.E. 14-11-92). Modificada por Resolución del CSN de 1 de octubre de 1993 (B.O.E. 20-10-93).

- Orden de 27 de mayo de 1993 de publicación del Acuerdo del Consejo de Ministros relativo a la Información al Público sobre las Medidas de Protección Sanitaria aplicables y sobre el Comportamiento a seguir en caso de Emergencia Radiológica (B.O.E. 04-06-93).

- Real Decreto 478/1993, de 2 de abril, por el que se regulan los Medicamentos Radio farmacéuticos de Uso Humano. (B.O.E. 07-05-93).

4. Resumen.

Resumiendo la Legislación española anterior y citando sólo los textos más importantes se tiene:

a) Textos de carácter general:

- Ley 25-1964, de 29 de abril, sobre Energía Nuclear.

- Decreto 2177-1967, de 22 de julio, sobre Cobertura de Riesgos Nucleares.

- Decreto 2864-1968, sobre Responsabilidad Civil.

- Decreto 2869-1972, sobre Instalaciones Nucleares y Radiactivas (Reglamento).

b) Sobre seguridad y protección:

- Real Decreto 1132/90 de 14 de septiembre sobre Protección contra las Radiaciones Ionizantes (Reglamento).

c) Sobre transporte:

- Reglamento de Transporte de Mercancías Peligrosas por carretera (Real Decreto 74/92).



- Reglamento de Transporte de Mercancías Peligrosas por Ferrocarril (Real Decreto 879/89).
- Reglamento de Transporte de Mercancías Peligrosas por barco (Real Decreto 145/89).
- Reglamento de Transporte de Mercancías Peligrosas por avión (Real Decreto 1749/84 y OM 28 de diciembre de 1990).

EL REGLAMENTO DE INSTALACIONES NUCLEARES Y RADIATIVAS.

Ya se ha indicado la gran importancia de este Reglamento que pretende establecer una normativa muy concreta en las materias de referencia.

El Reglamento se desarrolla a lo largo de 87 artículos distribuidos en VII títulos, más las disposiciones finales y transitorias y apéndice. El contenido referente a las Instalaciones de Radiología Industrial se encuentra sobre todo en el título III ("De las instalaciones Radiactivas") cuyo capitulado es como sigue:

- Capítulo 1: Definiciones, clasificación y autorizaciones.
- Capítulo II: autorización previa de las instalaciones de primera categoría. (Este capítulo no concierne a las Instalaciones de Radiología).
- Capítulo III: autorización de construcción de las Instalaciones de la y 2a categoría.
- Capítulo IV: Autorización de puesta en marcha.

Los títulos IV ("De la inspección de las Instalaciones nucleares y radiactivas"), V ("Del personal") y VI ("Del diario de Operaciones, archivos e informes"), también afectan, con extensión diversa, a las Instalaciones Industriales de Radiología.

Todo este contenido puede dividirse, en lo referente a dichas Instalaciones, en dos grupos:

- A) Disposiciones relativas a la Autorización de su funcionamiento.



B) Disposiciones relativas al funcionamiento propiamente dicho de las mismas.

Resumiendo el contenido relativo a cada uno de estos aspectos, se tiene que:

A) Autorización de funcionamiento de la Instalación:

1) Las Instalaciones Radiactivas dedicadas a la Radiología Industrial pueden ser de 2ª o 3ª categoría. Las primeras son aquellas que utilizan fuentes isotópicas o electrónicas de más de 200 kVp y las segundas las que emplean fuentes electrónicas de menos de 200 kVp.

2) Las instalaciones de 2ª categoría necesitan una aprobación del Proyecto para su construcción ("Autorización de Construcción") y, una vez finalizada ésta, otra "Autorización para su puesta en marcha". Las de 3ª categoría sólo precisan de esta última autorización.

3) La solicitud de "Autorización de Construcción" debe ir acompañada de (art. 44):

- Proyecto General de la Instalación, que incluirá: Memoria, cálculos, documentos, planos y presupuestos.

- Relación de los elementos y equipos que hayan de ser importados.

- Estudio preliminar de seguridad.

4) A la solicitud de "Autorización de Puesta en Marcha" se deberá adjuntar (Art.47):

- Memoria descriptiva de la Instalación, si no se presentó anteriormente.

- Estudio de seguridad.

- Verificación de la Instalación.

- Reglamento de funcionamiento de la misma.

- Plan de emergencia.

B) Funcionamiento de la Instalación:

Respecto al funcionamiento de la Instalación una vez autorizada, la normativa puede resumirse como sigue:



- 1) Al frente de la Instalación y como responsable de la misma existirá un "Supervisor Jefe" o "Jefe del Servicio de Protección".
- 2) Las fuentes radiactivas sólo podrán ser manipuladas por "Operadores" autorizados.
- 3) Si las fuentes han de ser trasladadas, deberá comunicarse por carta o telegrama al Consejo de Seguridad Nuclear (norma adicional).
- 4) Los desplazamientos de las fuentes, así como las incidencias habidas en la Instalación, se anotarán en uno o varios Diarios de Operación, sellados por el Consejo de Seguridad Nuclear.
- 5) Cada año y durante su primer trimestre, se enviará un Informe a dicho Organismo en el que se recogerán las incidencias ocurridas, horas de funcionamiento de las fuentes, dosis acumuladas por el personal, etc.
- 6) Las licencias de Supervisor y Operador deberán renovarse cada dos años.

Guía sobre la tramitación para la autorización de puesta en marcha de una instalación radiactiva de 2ª categoría.

A título de ejemplo, consideraremos el caso de una Instalación de 2a categoría que se pretende poner en funcionamiento. El trámite administrativo a seguir para la consecución de las autorizaciones pertinentes para el funcionamiento legal de la misma implica:

- 1 - Trámite de Autorización de Construcción, conforme al capítulo III del Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas (desde ahora RINR).
- 2 - Trámite de Autorización de Puesta en Marcha, conforme al capítulo IV del RINR.
- 3 - Trámite de contratación de Póliza de Cobertura de Riesgo Nuclear, conforme al artículo 51 del RINR y al capítulo III, sección 2a, del Reglamento sobre Cobertura de Riesgo de Daños Nucleares (desde ahora RCRDN).



4 - Trámite para la consecución de las licencias de Supervisores y Operadores de la Instalación, tal como se especifican en el articulado del capítulo V del RINR.

5 - Tramitación del Servicio de Dosimetría.

6 - Tramitación del Registro de los Diarios de Operación.

Trámite para la autorización de construcción.

Este trámite requiere la presentación de la siguiente documentación:

a) Instancia o solicitud dirigida al Director General de la Energía.

b) Proyecto General de la Instalación en que se incluirán: Memoria, Planos de la Instalación y de su localización, Cálculos y Presupuestos, así como una descripción de los equipos de la Instalación y un estudio preliminar de Seguridad.

Toda la anterior documentación, se presentará por triplicado a la Delegación Provincial de Industria u Organismo Autónomo equivalente, que retiene un ejemplar, enviando los dos restantes a la dirección de Energía y Combustibles del Ministerio de Industria y al Consejo de Seguridad Nuclear.

Trámite para la autorización de puesta en marcha.

Una vez obtenida la aprobación del Proyecto, esto es, la autorización de Construcción y próximas a finalizar las obras en aquél consignadas, se solicitará (conforme a lo previsto en el capítulo IV del RINR), de la Dirección General de la Energía del Ministerio de Industria, la Autorización de Puesta en Marcha o de funcionamiento de la Instalación. En dicha solicitud, se indicará la fecha en que se desea poner en marcha la Instalación. Con anterioridad a dicha fecha y previa notificación de su visita, se presentará un Inspector del CSN para la inspección de la Instalación.

El trámite que nos ocupa, implica la presentación de la documentación siguiente:



- a) Instancia o solicitud equivalente, dirigida al Director General de la Energía.
- b) Memoria descriptiva de la Instalación (que se sustituirá, en su caso, por una nota remitiendo a la Memoria del Proyecto, s/art. 47 A).
- C) Estudio de Seguridad.
- d) Verificación propuesta de la Instalación.
- e) Reglamento de funcionamiento de la misma.
- f) Plan de Emergencia.

Toda la documentación anterior, se presentará por triplicado ante la Delegación Provincial de Industria, u organismo autónomo equivalente, que procederá como en el trámite de autorización de Construcción.

Trámite de contratación de la póliza de cobertura de riesgo nuclear.

Este trámite no puede llevarse a término en tanto el CSN no fije la cuantía de la cobertura exigible. Dicha cuantía no suele fijarse hasta después de la Inspección previa a la Autorización de Puesta en Marcha.

Trámite para la consecución de las licencias de supervisores y operadores.

Las licencias de supervisores podrán ser solicitadas por titulados de grado superior o medio y las de operador por titulados o especialistas sin titulación académica (Art. 62) que puedan acreditar su preparación y experiencia en las misiones específicas que hayan de realizar en la Instalación (Art. 63).

La solicitud se dirigirá al Presidente del Consejo de Seguridad Nuclear y se acompañará de los documentos siguientes:

- a) Fotocopia de los Documentos Nacionales de Identidad de los solicitantes.
- b) Informe de la Dirección de la Empresa respecto a las funciones a desempeñar por los solicitantes.



- C) "Curriculum Vitae" de cada uno de éstos.
- d) Certificados médicos, conforme a RD 53/92.
- e) Titulación académica compulsada (para Licencia de Supervisor).

Toda la documentación correspondiente a estos trámites, se presentará, por duplicado, ante el Consejo de Seguridad Nuclear (Tribunal de Licencias).

Tramitación del servicio de dosimetría.

Antes de empezar a funcionar la instalación es preciso tener contratado con algún centro o empresa autorizados el servicio de dosimetría para el personal potencialmente afectado por la radiación.

Tramitación del registro de los diarios de operaciones.

En cumplimiento de lo establecido en el artículo 76 y siguientes del RINR, se adquirirán libros de registro (uno por fuente radiactiva) con hojas numeradas y cosidas, del tipo de los usados en contabilidad. En la primera hoja se rotulará:

"Diario de Operación correspondiente al equipo... (identificación del mismo), que pertenece a la Instalación Radiactiva IR..." (número asignado por el CSN al tramitarse la Autorización de Construcción).

En la parte inferior se consignará:

"Se inicia el presente Diario en (lugar y fecha)"; a continuación: "El Supervisor Jefe", firmado y sellado.

Los "Diarios de Operación" se depositarán en el Registro de la Secretaría General del CSN hasta que, una vez aprobada la Instalación, sean devueltos sellados en todas sus hojas por aquélla.



Una vez cumplidos todos estos trámites, la Dirección de la Energía del Ministerio de Industria comunicará oficialmente la Autorización de Puesta en Marcha de la Instalación.

EL REGLAMENTO SOBRE PROTECCIÓN SANITARIA CONTRA LAS RADIACIONES IONIZANTES.

Es otra pieza clave de la Legislación y ha venido a sustituir a una normativa previa abigarrada y confusa. Una primera versión (RD2519/82 de 12 de Agosto) se modificó por el RD 53/92 de 24 de Enero en el sentido de adaptarlo a la Directiva europea 80/836/EURATOM y 84/4677/EURATOM sobre protección sanitaria de trabajadores y población en general frente a las radiaciones ionizantes. Su desarrollo es el siguiente:

Título I- Disposiciones Generales.

Cap. I- Objeto y ámbito de aplicación.

Cap. II- Autoridades y organismos administrativos.

Título II- Normas básicas de protección.

Cap. I- Principios básicos.

Cap. II- Normas de protección para trabajadores profesionalmente expuestos.

Cap. III- Normas de protección de estudiantes.

Cap. IV- Normas de protección de miembros del público.

Cap. V- Normas de protección para la población en su conjunto.

Título III- Medidas fundamentales de vigilancia para la protección de trabajadores profesionalmente expuestos.

Cap. I- Normas generales.

Cap. II- Prevención de la exposición.

Cap. III- Determinación de la dosis.



Cap. IV- Registro de las dosis individuales.

Cap. V- Vigilancia médica.

Título IV- Medidas fundamentales de vigilancia para la protección del público.

Título V- De los residuos radiactivos. Título VI- Inspección. Título VII- Sanciones.

(Siguen disposiciones adicionales, transitorias y apéndices).

EL TRANSPORTE DE FUENTES RADIATIVAS POR CARRETERA.

Dada la frecuencia de esta clase de transporte y la responsabilidad autónoma del transportista, conviene señalar algunos puntos sin que ello exima de estudiar con atención el correspondiente Reglamento.

En primer lugar, todo conductor de un vehículo que transporte material radiactivo deberá poseer un carné de conducir especial para sustancias peligrosas de la clase VII expedido por la Dirección General de Tráfico.

La obtención de este carné requiere la superación de un curso en un centro autorizado. Si dicho conductor no está en posesión de licencia de operador o supervisor será considerado "público" a efecto de seguridad radiológica y no le será permitido manipular la carga en caso de accidente.

En segundo lugar, los movimientos de las fuentes radiactivas deberán ser comunicados por escrito al Consejo de Seguridad Nuclear consignándose los traslados en el Diario de Operación.

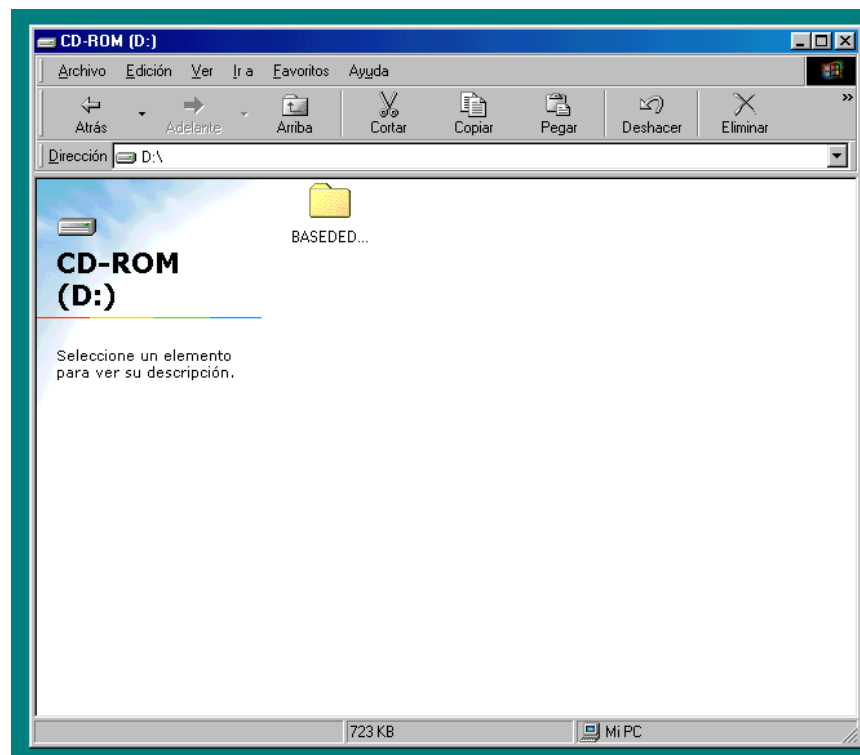
En tercer lugar, el vehículo deberá ir reglamentariamente señalizado, independientemente de su carácter industrial o no.

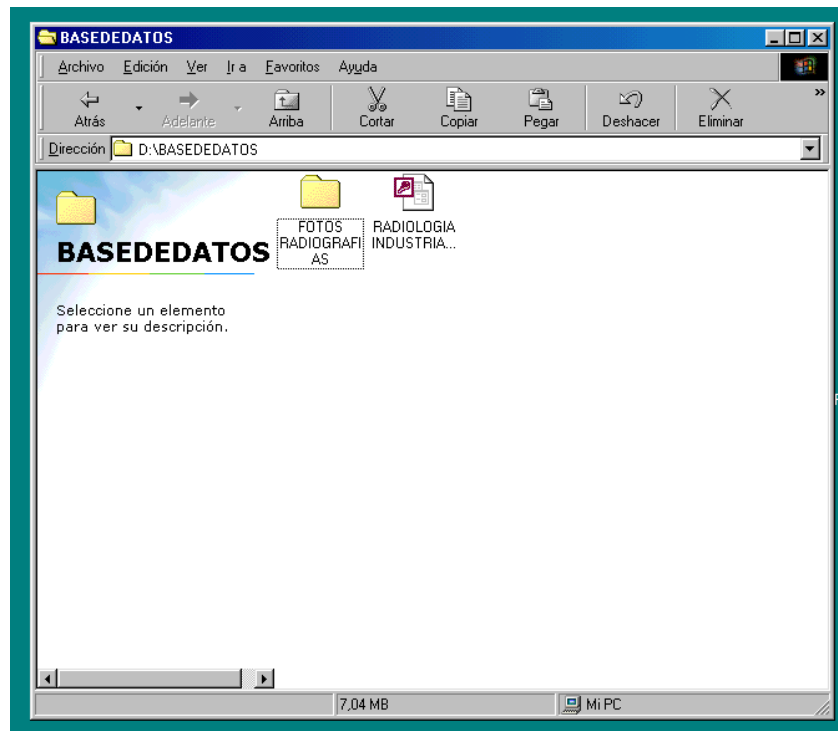
Queda, por último, recordar que cuando el transporte lo realice una empresa ajena a la propiedad de la fuente radiactiva, la responsabilidad del posible riesgo es del remitente salvo si la fuente procediese del extranjero, en cuyo caso será del consignatario a partir de su entrada en territorio nacional.



ANEXO E: MANEJO DE LA BASE DE DATOS RADIOGRÁFICA

* En el CD aparece la carpeta “BASEDEDATOS” (figura 1) y dentro una carpeta llamada “FOTOS RADIOGRAFIAS” y el archivo propio de la base de datos que se llama “RADIOLOGIA INDUSTRIAL.mdb” (figura 2)

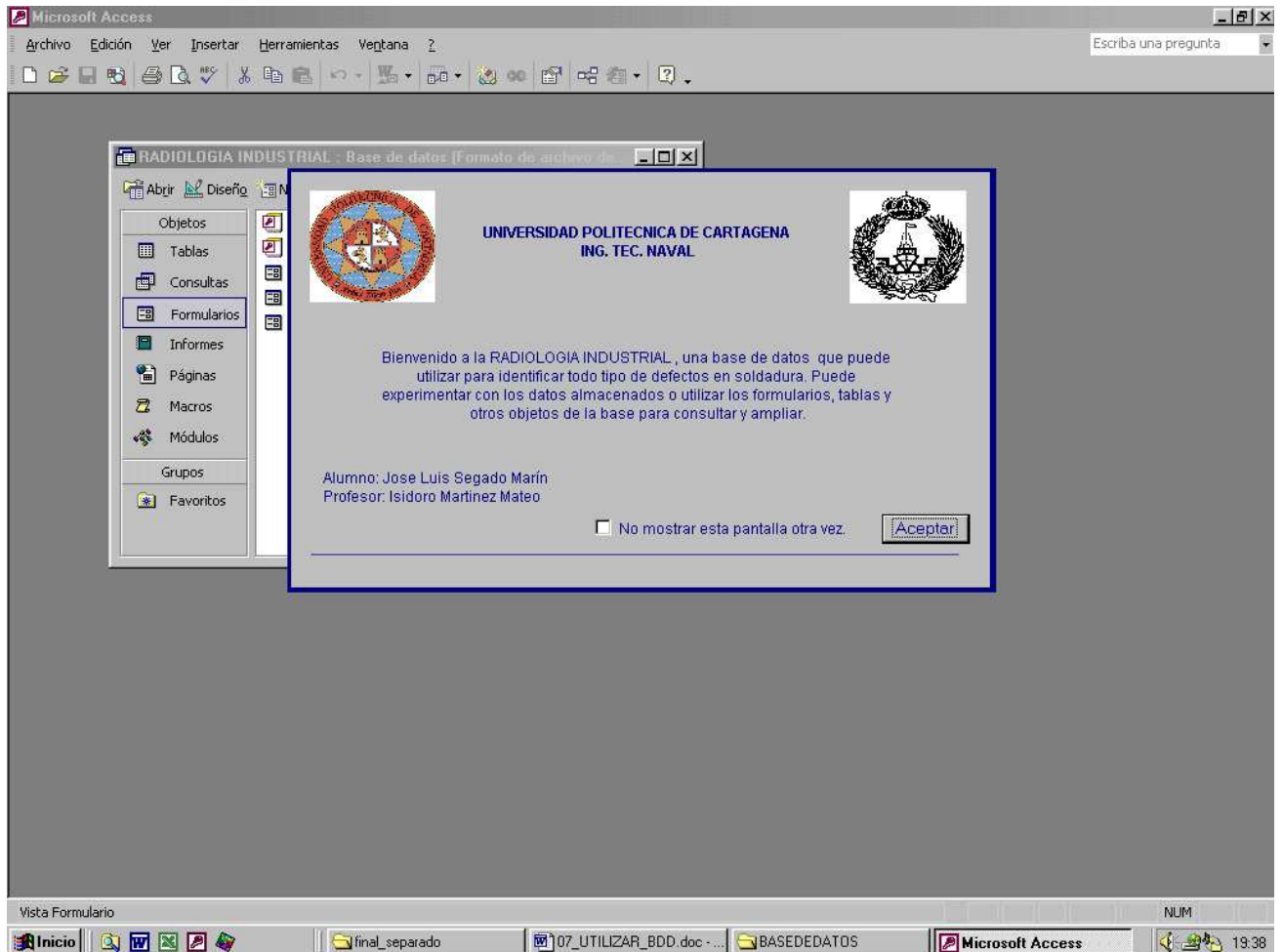




* Ejecutamos el archivo “RADIOLOGIA INDUSTRIAL.mdb”.

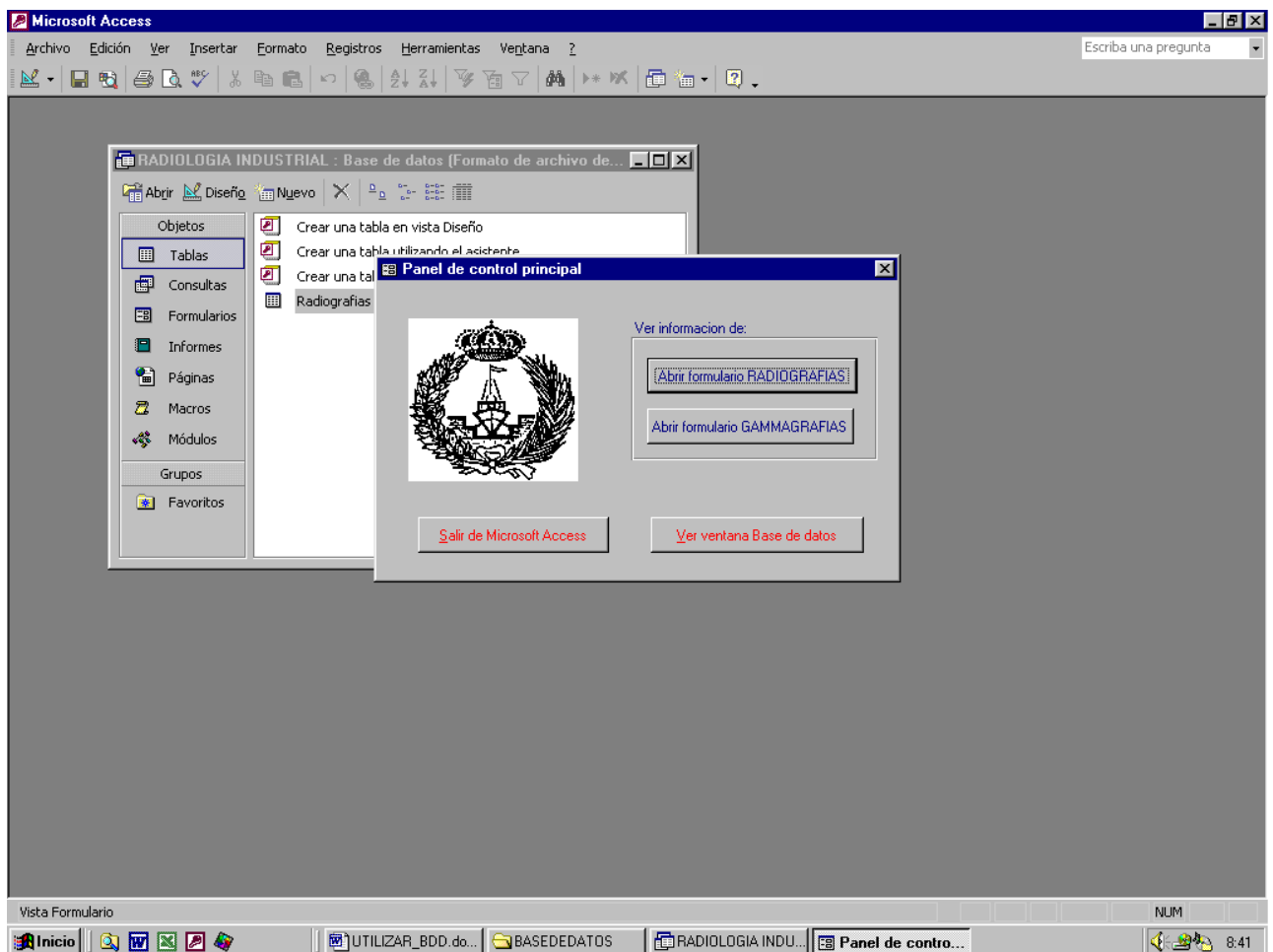


* Así sin tocar nada, al cabo de unos segundos aparece la pantalla siguiente:





* Lo que vemos es una pantalla de inicio para explicar un poco que es lo que hace esta base de datos. Se puede desactivar marcando el cuadrado en blanco que hay en la zona inferior-central. Si solo queremos pasar de ahí, le damos a aceptar. Tras esto aparece tras unos instantes otra pantalla, como vemos a continuación.





* En esta ya tenemos lo que es la base de datos. Como vemos hay cuatro botones de los cuales dos son utilidades (los rojos) y los otros dos son los accesos a los formularios. Solo funciona el de RADIOGRAFIAS porque es el que pretendíamos crear con este proyecto, pero esta el otro para que en futuras revisiones se amplíe también a GAMMAGRAFIAS. Así que pulsamos en “Abrir formulario RADIOGRAFIAS” y nos aparece lo siguiente:



* Este es el formulario a rellenar con cada radiografía que pretendamos meter en la base de datos. Como vemos tiene dos pestañas, la primera es la que se ve en la figura anterior que es la de información general por lo que se ve la foto de la radiografía, y la segunda se ve a continuación:



* En esta hay toda una diversidad de preguntas para tener totalmente identificada la Defectología de la soldadura.

Para ir cambiando o agregando información en las distintas radiografías existen unas barras de desplazamiento en la zona inferior junto al texto que pone “Registro”

Por ultimo para salirse de la base de datos solo hay que ir cerrando las distintas ventanas dándole a las “cruces” en la parte superior-derecha de cada ventana.