

133  
2ej.

# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



FACULTAD DE INGENIERIA

## INSPECCION RADIOGRAFICA DE UNIONES SOLDADAS.

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA  
PRESENTA:

Hugo Villalobos Cruz

DIR. DE TESIS: ING. UBALDO MARQUEZ AMADOR

México, D. F.

1992



TESIS CON  
FALLA LE ORIGEN



Universidad Nacional  
Autónoma de México



## **UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso**

### **DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## I N D I C E

### CAPITULO No.1.- PRINCIPIOS FISICOS DE LA RADIOGRAFIA.

	Página
1.1.- Generalidades.....	6
1.2.- La radiación electromagnetica.....	6
1.3.- Naturaleza de los rayos X.....	7
1.4.- El fenómeno Cuántico.....	8
1.5.- Partículas elementales y átomos .....	9
1.6.- Etapas básicas del proceso radiográfico.....	10

### CAPITULO No.2.- FUENTES EMISORAS DE RADIACION Y EQUIPOS.

	Página
2.1.- Generalidades.....	13
2.2.- El tubo de rayos X.....	14
2.3.- Regulación de la intensidad y calidad de los rayos X .....	16
2.4.- Tipos de tubos de rayos X.....	20
2.5.- Fuentes radiactivas.....	22
2.6.- Contenedores.....	24
2.7.- Fuentes emisoras de radiación gamma más utilizadas.....	27
2.8.- Unidades.....	29
2.9.- Diferencias entre los rayos X y los rayos gamma..	30

### CAPITULO No.3.- INTERACCION DE LA RADIACION CON LA MATERIA.

	Página
3.1.- Generalidades.....	36
3.2.- Ionización.....	36
3.3.- Absorción de la radiación.....	36

#### CAPITULO No. 4.- MODULACION DE LA RADIACION.

	Página
4.1.- Generalidades.....	43
4.2.- Densidad y contraste.....	43
4.3.- Indicadores de calidad.....	46
4.4.- Tipos de ICI.....	49
4.5.- Radiación difusa.....	74
4.6.- Ley del inverso de los cuadrados de la distancia.....	75

#### CAPITULO No. 5.- TECNICAS RADIOGRAFICAS.

	Página
5.1.- Generalidades.....	78
5.2.- Penumbra geométrica.....	78
5.3.- Factores geométricos de exposición.....	82
5.4.- Técnica en tuberías.....	90
5.5.- Técnica en placas.....	96
5.6.- Técnica en filetes.....	96

#### CAPITULO No. 6.- PELICULA RADIOGRAFICA.

	Página
6.1.- Generalidades.....	102
6.2.- Estructura de la película radiográfica.....	102
6.3.- Clasificación de las películas radiográficas.....	104
6.4.- Curvas características de las películas radiográficas.....	104
6.5.- Pantallas reforzadoras.....	108
6.6.- Pantallas reforzadoras salinas o fluorescentes.....	109
6.7.- Pantallas reforzadoras de plomo.....	111
6.8.- Cálculo del tiempo de exposición.....	111

## CAPITULO No. 7.- PROCESADO RADIOGRAFICO.

	Página
7.1.- Generalidades.....	120
7.2.- Cuarto Oscuro.....	120
7.3.- Luz de seguridad.....	121
7.4.- Tanques de procesado.....	124
7.5.- Tratamiento de las películas radiográficas.....	125
7.6.- Revelado.....	126
7.7.- Efecto del revelado sobre el contraste y la rapidez.....	130
7.8.- Baño de parada o de aclarado.....	133
7.9.- Fijado.....	134
7.10.- Lavado y secado.....	136

## CAPITULO No. 8.- EQUIPOS DETECTORES DE RADIACION.

	Página
8.1.- Generalidades.....	139
8.2.- Cámaras de ionización.....	140
8.3.- Dósimetro de bolsillo.....	141
8.4.- Contador Geiger Müller.....	141
8.5.- Dosimetría termoluminiscente (TLD).....	143
8.6.- Dosimetría de película.....	144
8.7.- Dosímetro de alarma.....	147

## CAPITULO No. 9.- SEGURIDAD RADIOLOGICA.

	Página
9.1.- Generalidades.....	149
9.2.- Unidades de medición.....	149
9.3.- Efectos biológicos de la radiación.....	151
9.4.- Principios básicos de protección radiológica contra la radiación nuclear.....	153

**CAPITULO No. 10.- INTERPRETACION RADIOGRAFICA.**

	Página
10.1.- Generalidades. ....	160
10.2.- Calidad de las soldaduras. ....	160
10.3.- Naturaleza de la interpretación. ....	163
10.4.- Condiciones básicas para la interpretación.....	164
10.5.- Defectos de la soldadura. ....	165

**CAPITULO No. 11.- NORMAS DE INTERPRETACION RADIOGRAFICA.**

	Página
11.1.- Generalidades.....	185
11.2.- Norma API-1104. ....	185
11.3.- Norma API-650. ....	185
11.4.- Norma API-620. ....	186
11.5.- Norma ASME I. ....	186
11.6.- Norma ASME V. ....	187
11.7.- Norma ASME VIII. ....	187
11.8.- Norma ASME IX. ....	187
11.9.- Norma AWS.....	187
11.10.-Norma ANSI B31.1. ....	188
11.11.-Norma ANSI B31.2. ....	188

**CAPITULO No. 12.-EXPERIENCIA PROFESIONAL.....208**  
**CONSTRUCCION DE LINEAS DE CONDUCCION.**

## INTRODUCCION.

Las pruebas no destructivas han sido una herramienta indispensable en la industria moderna. Han sido el resultado de los avances tecnológicos, los cuales provienen de largas investigaciones y desarrollos científicos. La administración en la industria moderna ha utilizado las ventajas que ofrecen las pruebas no destructivas; la radiografía industrial reduce los costos de producción y asegura la calidad del producto en un mercado competitivo.

Ingenieros mecánicos, metalurgistas, inspectores de calidad y supervisores de producción deberán de conocer y aplicar las técnicas de la prueba con rayos X e isótopos radiactivos para asegurar la confiabilidad del producto; prevenir accidentes; reducir los tiempos de producción; eliminar el desperdicio de los materiales; reducir los tiempos de mantenimiento y costos; y mantener una alta productividad industrial.

La radiografía industrial es una técnica de análisis y/o inspección no destructiva, con un registro perdurable, destinada a controlar y verificar la calidad interna de los materiales, instalaciones, estructuras o piezas en general.

Un factor vital en el desarrollo y aplicación de esta prueba no destructiva, es el personal técnico involucrado. Estos deberán estar entrenados para entender las capacidades comparativas, limitaciones, y características de los rayos X e isótopos radiactivos, para poder hacer segura y eficientemente una aplicación específica de estas fuentes de energía para todos los tipos de trabajos industriales.

Este trabajo tiene la finalidad de analizar y mostrar las aplicaciones de las técnicas y alcances de la radiografía industrial, en la inspección de soldaduras, así como la de interpretar los resultados obtenidos y evaluarlos.

## CAPITULO 1.- PRINCIPIOS FISICOS DE LA RADIOGRAFIA.

### 1.1.- Generalidades.

Sin duda alguna, la Radiología tiene una personalidad propia y abarca una serie de conocimientos bien definidos; sin embargo no constituye una rama autónoma de la Física. En un amplio sentido y de acuerdo con sus raíces etimológicas, la Radiología es -- una ciencia que estudia el comportamiento de las radiaciones. -- Por lo que su conocimiento esta repartido en diferentes capítulos de la Física tradicional. Así por ejemplo, las radiaciones que - excitan nuestro sentido de la vista los estudia la Óptica, las - infrarrojas en Termología y las hertzianas en Electricidad y Co- municaciones.

En un sentido estricto, se considera que la Radiología sólo hace referencia a aquellos conocimientos relacionados con las radiaciones electromagnéticas cuyos fotones son más energéticos -- que los ultravioleta. Este límite artificial, es arbitrario, no existiendo ninguna razón física que permita establecer, donde termina el ultravioleta lejano y dónde empiezan los rayos X más blandos.

Siguiendo algunos criterios autorizados, consideraremos que son objeto de la Radiología, aquellas radiaciones electromagnéticas cuya longitud de onda es inferior a  $100 \text{ \AA}$ . En los párrafos siguientes se expondrán solamente los fundamentos imprescindibles de la conexión de la Radiología con la Física.

### 1.2.- La radiación electromagnética.

Para la física, hoy día, la palabra "luz" es una manera cómoda de llamar a la radiación electromagnética. Cuando la energía se libera de la materia, se crea una perturbación en la "continuidad" caracterizada por la aparición de dos formas diferentes en el -- espacio: los campos eléctricos y magnéticos, cuyas direcciones - son perpendiculares entre sí.

El número de perturbaciones consecutivas, partiendo de un mismo origen y que pasan ante un observador en la unidad de tiempo recibe el nombre de frecuencia (f) de la radiación, y la relación entre c y f: el de longitud de onda ( $\lambda$ ).

$$\text{Así: } \lambda = \frac{c}{f}$$

Estos parámetros se relacionan con la energía mediante la ecuación de Planck:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

en la cual, h es la constante universal, cuyo valor es de  $6.63 \times 10^{-34}$  Julios x seg. Cuando un observador se desplaza respecto a la dirección de propagación de la radiación electromagnética, la velocidad de esta sigue permaneciendo constante, pero podrá "contar" más o menos las perturbaciones por segundo según se "mueva" en contra o a favor de la luz. En otras palabras, aumentará o disminuirá, respectivamente, su frecuencia. Los físicos conocen este fenómeno con el nombre de efecto Doppler-Fizeau. De acuerdo con la ecuación de Planck, la energía de la radiación disminuye para el observador en el segundo caso y aumenta en el primero.

Como ejemplo de esta continuidad y relativización del espectro electromagnético, podemos citar una fuente de rayos X que se desplaza alejándose del observador con velocidad creciente, aparecerá emitir cada vez con menor energía y mayor longitud de onda hasta hacerse su radiación "luz visible", primero violeta, luego verde y finalmente roja. Después la radiación se detectará como microondas, luego como radiación hertziana, hasta que, al aproximarse la fuente a la velocidad de la luz, la energía recibida por el observador tenderá a cero y la longitud de onda al infinito, en todo momento la velocidad de la radiación recibida seguirá siendo la misma, es decir 300,000 km/seg.

### 1.3.- Naturaleza de los rayos X.

La tabla 1.1 muestra las características más importantes del espectro electromagnético conocido. En ella se puede obser--

var, que la luz propiamente dicha, ocupa una banda muy estrecha entre el infrarrojo y el ultravioleta. Los rayos X se sitúan aun más allá de éste, a partir, según ciertos criterios convencionales, generalmente admitidos, de los 100 Å. A esta zona de radiación X de muy baja energía se le conoce con el nombre de radiación "Grenz" o rayos límite. La radiación gamma, desde el punto de vista espectral, debe considerarse como un caso especial de los rayos X. Hasta la fecha no se ha establecido un límite para el espectro X de altas energías, ya que la radiación cósmica -- electromagnética presenta, esencialmente las mismas características que los rayos X o gamma, aunque su energía puede llegar a ser de muchos GeV (miles de millones de electrón-volts).

#### 1.4.- El fenómeno cuántico.

Ciertos fenómenos, tales como la liberación de electrones por la acción de la radiación, así como algunas anomalías observadas en la radiación de los "cuerpos negros", llevaron a Max -- Planck a admitir que toda energía radiante era emitida o absorbida según múltiplos enteros de una cantidad directamente proporcional a la frecuencia de la radiación. Es decir, que si bien la radiación se comporta como una vibración, también hay que admitir que su naturaleza está enmarcada en la idea del "atomismo" o "corpuscularidad", aparentemente en contradicción con la teoría ondulatoria. Como lo muestra la ecuación de Planck, el espectro corpuscular se incrementa cuanto mayor es la frecuencia; así, en los "corpúsculos" de radiación (fotones), de gran longitud de onda, tales como pueden ser los correspondientes a las frecuencias de radio, el aspecto corpuscular se encuentra casi totalmente diluido en el aspecto ondulatorio. Por el contrario, en el caso de los rayos X el aspecto corpuscular es dominante, llegando entre los de alta energía (rayos cósmicos) a existir fotones con una "masa" energética que equivale, nada menos, que a la de un átomo de helio. En Radiología, el aspecto corpuscular tiene mucha importancia, como veremos más adelante, para explicar la granularidad de las imágenes radiográficas, el ruido de fondo de las áreas grises y la detectabilidad intrínseca de los defectos como relación

entre la señal de indicación y el ruido de fondo de la imagen.

### 1.5.- Partículas elementales y átomos.

El universo formado por los hipotéticos corpúsculos materiales se pueden clasificar debido a sus propiedades en dos grupos: aquellos que presentan una masa que, por definición, se supone unitaria y que posee una característica que se define como carga eléctrica positiva, y los que tienen una masa mil veces menor y carga eléctrica negativa. Los primeros reciben el nombre de protones y los segundos el de electrones. Al parecer, son las únicas partículas eternas del universo. Sin embargo, en determinadas -- circunstancias pueden integrarse en una tercera partícula semiestable: el neutrón.

Hay que subrayar que el neutrón no es un protón mas un electrón, sino una entidad diferente, en la que el protón y el electrón se encuentran diluidos en forma potencial.

Los protones no podrían agruparse para formar unidades superiores, si no estuviesen presentes los neutrones que hacen el papel de moderadores de las fuerzas repulsivas de los primeros. De esta simbiosis se beneficia el neutrón, en el sentido de conseguir una estabilidad de la que carece cuando se encuentra solo (el -- neutrón se desintegra espontáneamente en unos 15 minutos). Por otra parte, la unión de los protones y neutrones queda asegurada por la existencia de ciertos entes conocidos como mesones, que vienen a ser los "cuantos" del campo nuclear.

Una agrupación de neutrones y protones (nucleones) forman lo que se conoce como núclido. Los núclidos pueden ser estables o inestables, en función de ciertas relaciones que existen entre el número de protones y neutrones que poseen. Los núclidos inestables alcanzan su estabilidad emitiendo aquellas partes que le sobran, ya sea en forma de partículas subatómicas, o en forma de radiación de energía equivalente a la pérdida de masa. Las partículas emitidas pueden ser electrones o grupos de dos neutrones y

dos protones. A las primeras se les designa como partículas  $\beta$ , -positivas o negativas-, según se trate de electrones negativos o positivos (positrones), y a las segundas como partículas  $\alpha$ .

La radiación representa siempre transiciones energéticas entre niveles cuantizados, lo que se traduce en un acentuado "cromatismo". Esto quiere decir que la radiación gamma presenta un espectro de emisión de pocas líneas (a veces una sola), cuyas energías corresponden a los "saltos" energéticos ocasionados por el reajuste de los niveles del núcleo durante el proceso de emisión.

Los núcleos son capaces de retener, en sus proximidades, un número de electrones igual al de protones que poseen. Estos electrones sólo pueden ocupar aquellas zonas del espacio que permiten a su naturaleza vibratoria permanecer en situación estacionaria. Como el electrón viene determinado por unos ciertos valores cuánticos y el espacio que puede ocupar también, solo podrán existir, en cada zona, aquellos electrones que difieran entre sí, al menos en un número cuántico. Esta nueva versión, se conoce como el --- "principio de exclusión" de Pauli.

De las fórmulas de la mecánica cuántica y del principio de Pauli, se deduce la arquitectura de los electrones que rodean a los núcleos. El conjunto es lo que conocemos como átomo.

#### 1.6.- Etapas básicas del proceso radiográfico.

El proceso radiográfico consta de cinco etapas fundamentales que son:

a).- Emisión.- Disposición de una fuente de radiación con un poder de penetración apropiado para el tipo de material y espesor a radiografiar. Pueden utilizarse máquinas de rayos X o -- fuentes radiactivas.

b).- Interacción.- Penetración de la radiación en el material atenuándose, dependiendo del espesor atravesado, de tal manera - que cuando exista una discontinuidad o una disminución en el es-

pesor, esta pasa con mayor intensidad en esos puntos. Después de atravesar la soldadura el haz de radiación no es uniforme, sino que está estructurado según la condición interna de la soldadura inspeccionada.

c).- Detección.- La radiación que atraviesa la soldadura, contiene la información y se detecta en una película sensible a la radiación. Entre más radiación reciba una área, más oscura resultará en la imagen radiográfica final.

d).- Representación.- Cuando la película radiográfica recibe una cierta cantidad de radiación, esta no cambia su apariencia física a simple vista. Es necesario someterla a un procesado con soluciones químicas, para transformarla en una imagen visible y permanente.

e).- Interpretación.- Observación de la radiografía con ayuda de un negatoscopio para detectar, clasificar y evaluar cada una de las indicaciones mostradas en la imagen. Como consecuencia de la interpretación, y con ayuda de los límites de aceptabilidad establecidos por las normas adecuadas, la soldadura se juzgará como DENTRO o FUERA de norma.

La figura 1.2 muestra la secuencia de estas etapas básicas. En los siguientes capítulos se expondrá más ampliamente cada una de las etapas mencionadas.

Este primer capítulo tiene, precisamente como objeto mostrar los principios físicos que hoy se usan para resolver los más diversos problemas industriales relativos al control de calidad de las soldaduras. Todos estos conceptos deben de quedar bien entendidos, para así explicarse el mecanismo que da origen a la obtención de una radiografía industrial de una unión soldada.

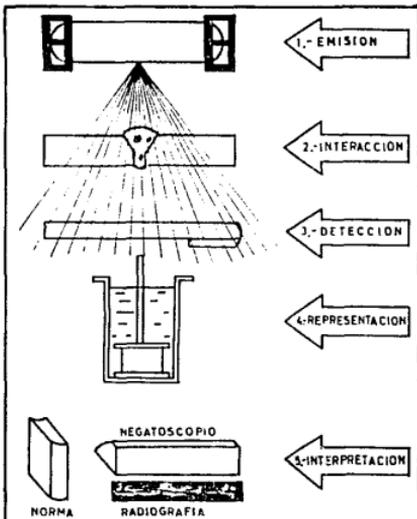


FIGURA 12.- ETAPAS DEL PROCESO RADIOGRAFICO.

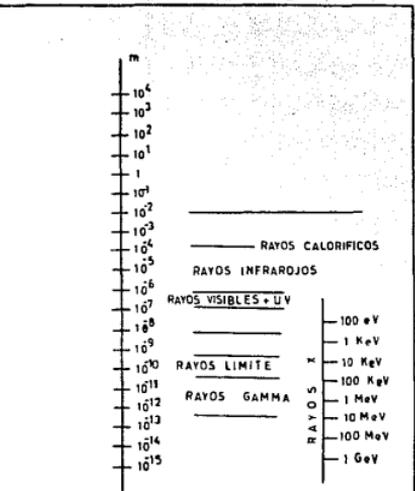


TABLA 1.1.- ESPECTRO ELECTROMAGNETICO.

## CAPITULO 2.- FUENTES EMISORAS DE RADIACION Y EQUIPOS.

### 2.1.- Generalidades.

Fué en 1895, cuando Wilhem Conrad Röntgen quien, trabajando sobre la extensión del espectro radiante emitido por un tubo de rayos catódicos, observó cierto día (8 de Noviembre de 1895) la fluorescencia inducida, durante el experimento, en una pantalla de platinocianuro de bario, a pesar de estar el tubo de rayos catódicos recubierto por papel negro, a este tipo de radiación - él le llamo rayos X.

También el descubrimiento de la radiactividad fue consecuencia de otra casualidad realizada por J. Henry Becquerel. Aunque él si andaba más orientado, ya que investigaba la posible relación existente entre los fenómenos de la fosforescencia y, precisamente los recién descubiertos rayos X.

La primera radiografía de la historia, la realizó Röntgen doce días después de su hallazgo. Se trataba de la imagen de una mano de su esposa. Las primeras radiografías de caracter industrial también fueron realizadas por el propio Röntgen y fueron, los cañones de una escopeta de caza.

Las primeras fuentes electrónicas de radiación, fueron del tipo "gas residual", las cuales eran de difícil manejo y su uso industrial estuvo, durante mucho tiempo, limitado a un campo semiexperimental. Fue necesario llegar a la invención del tubo --- Coolidge de cátodo caliente, en 1913, para constatar un avance - realmente importante. Escencialmente, estos tubos siguen utilizándose para tensiones de hasta medio millón de voltios y, con el paso del tiempo, han ido perfeccionándose cada vez más, permitiendo, actualmente, el trabajo continuo con cargas inimaginables en sus primeros días.

Otra fuente emisora lo constituyen los isótopos radiactivos.

El empleo de fuentes de radio, con fines industriales, se inició en los Estados Unidos en los años veinte, en los arsenales de la Marina.

El desarrollo de la tecnología nuclear, ha permitido fabricar de manera fácil y barata fuentes isotópicas para uso industrial. En México las más utilizadas son: el Co-60 y el Ir-192.

## 2.2.- El tubo de rayos X.

El tubo de rayos X se compone de una ampolla de vidrio sometida al vacío en la cual se hallan un electrodo positivo o "ánodo" y un electrodo negativo o "cátodo" (figura 2.1). El cátodo consiste en un filamento que, al ser llevado hasta la incandescencia por medio de una corriente de algunos amperes, emite electrones. Debido a la tensión eléctrica establecida entre el ánodo y el cátodo, los electrones son atraídos por el ánodo. Esta corriente de electrones se concentra en un haz por medio de un "cilindro" o una "cúpula" de concentración.

En el sitio donde el haz de electrones da contra el ánodo, se encuentra el anticátodo, constituido por una pastilla de un metal de elevado punto de fusión insertada en el ánodo. Al golpear contra el anticátodo, los electrones que viajan a una gran velocidad son frenados bruscamente, engendrando los rayos X. La energía y el poder de penetración de los rayos X son tanto mayores cuanto más elevados son el número atómico del elemento golpeado por los electrones y la velocidad de estos últimos. El anticátodo es generalmente de tungsteno, por su elevado número atómico y por su elevado punto de fusión (3400 °C)

Es necesario el empleo de un metal de elevado punto de fusión ya que la generación de calor al producirse los rayos X es bastante considerable, y se incrementa más si el bombardeo de los electrones se concentra en una superficie muy pequeña. Solamente una parte (0.1% a 30 Kv, 1% a 200 Kv y 40% a 30-40 Mev) de la energía cinética de los electrones se convierte en radiación X;

todo el resto de esta energía se transforma en calor.

El calor que se genera, es considerable, por lo cual es necesario refrigerar el ánodo. Esta refrigeración puede realizarse de diversas maneras:

- a).- Refrigeración por irradiación. El ánodo se llega a calentar hasta el blanco, por lo cual la refrigeración deberá hacerse por irradiación, cuidando el tiempo necesario para lograrlo.
- b).- Refrigeración por convección. El calor se evacua a través de una prolongación del ánodo de cobre macizo. El extremo de esta prolongación se halla sumergido en un aceite o gas aislante, los cuales la refrigeran por convección natural o bien acelerada por un medio circulante.
- c).- Refrigeración por circulación forzada de líquidos. En este caso, la evacuación del calor se realiza por medio de un líquido que pasa alrededor del ánodo. En la refrigeración de tubos bipolares se emplea preferentemente aceite, dado el gran poder aislante de este líquido. En cambio, para los tubos unipolares, cuyo ánodo se halla a tierra, se utiliza el agua, debido a que su calor específico es muy superior al del aceite. Generalmente se asegura la circulación del líquido por medio de la utilización de una bomba.

La superficie del anticátodo que interacciona con el flujo de electrones recibe el nombre de "foco térmico" (figura 2.2). Es muy importante que esta superficie sea suficientemente grande para evitar un sobrecalentamiento local que podría deteriorar el anticátodo, y para permitir una rápida evacuación del calor. Se entiende por "carga focal" a la carga en watts por  $\text{mm}^2$  del área focal. A las áreas focales pequeñas se les puede aplicar una carga focal relativamente más elevada que a las grandes; esta diferencia es debida a que la evacuación del calor a partir del centro no se realiza de la misma manera.

La proyección del foco térmico sobre un plano perpendicular al eje del haz de rayos X se denomina "foco óptico" o simplemente

te "foco". Para obtener imágenes radiográficas de una nitidez -- máxima, las dimensiones de este foco deben de ser lo más pequeñas posibles. Las dimensiones del foco óptico vienen determinadas por:

a).- El tamaño del foco térmico.

b).- El valor del ángulo (figura 2.2)  
Es importante señalar que cuando en radiografía se mencionan las "dimensiones del foco" sin otra especificación, se trata generalmente de las dimensiones del foco "óptico".

### 2.3.- Regulación de la intensidad y calidad de los rayos X.

La intensidad de la corriente en el tubo se expresa en mA - (miliamperes). La intensidad de la radiación es aproximadamente proporcional a la corriente.

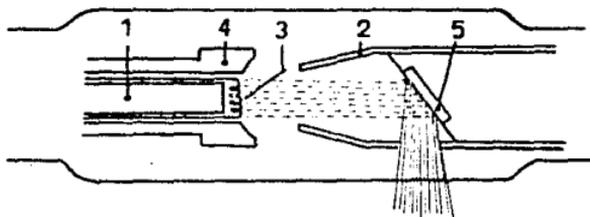
La tensión en el tubo, se expresa en Kv (kilovolts), y se - considera como una medida aproximada del poder de penetración de la radiación X producida. En efecto, la velocidad de los electrones (energía cinética de los electrones) que se desplazan desde el cátodo hasta el ánodo, aumenta con la tensión del tubo. La - dureza o el poder de penetración de los rayos X aumenta precisamente con la energía cinética de estos electrones.

En el tubo de rayos X, la energía cinética de un electrón, que parte de la superficie del cátodo con una velocidad cero, -- alcanza en el momento de chocar contra el anticátodo, un valor - que viene dado por la expresión:

$$\frac{1}{2}mv^2 = eV$$

donde m es la masa del electrón, e su carga y v la velocidad alcanzada por la tensión de excitación (V).

Cuando un electrón con esta energía cinética choca contra - el anticátodo, tiene lugar una transformación de energía. Si el choque del electrón se produce directamente sobre el núcleo de - uno de los átomos del anticátodo, la energía del electrón se -- transforma en un cuanto de radiación, de aquí los rayos X cuya -



1.- CATODO    2.-ANODO    3-FILAMENTO    4-CUPULA  
5.-ANTICATODO

FIGURA 2.1.-TUBO DE RAYOS X.

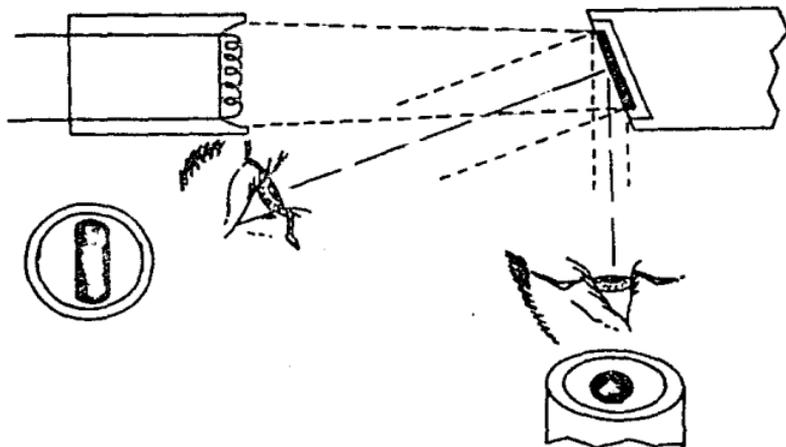


FIGURA 2.2.- FOCO TERMICO.

longitud de onda mínima es:  $h = eV = \frac{hc}{\lambda}$

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{eV}$$

en donde:

$\lambda_{\min}$  = longitud de onda mínima de la radiación.

$h$  = constante de Planck =

$c$  = velocidad de la luz

$e$  = carga del electrón

$V$  = tensión de excitación.

Si expresamos la longitud de onda en unidades angströms y la tensión en volts, teniendo en cuenta que un volt es igual a 1/300 - u.e.e., resulta al sustituir valores que:

$$\lambda_{\min} = \frac{12,395}{V}$$

Esta radiación se denomina con frecuencia "radiación de frenado" o Bremsstrahlung.

Sin embargo, la mayor parte de los electrones que parten -- del cátodo sufren, al llegar al anticátodo, interacciones con los electrones de los átomos de éste, perdiendo así parte de su energía que servirá para arrancar algún electrón del átomo y ser frenado después al chocar contra el núcleo. El fotón de rayos X producido tiene una energía menor que la energía cinética original del electrón; es decir, una longitud de onda mayor que  $\lambda_{\min}$ .

Por lo tanto, en general los rayos X emitidos presentan una gran variedad de longitudes de onda; el espectro de esta radiación es un espectro continuo. Por analogía con la luz visible, un espectro de rayos X como éste, se designa con frecuencia como "radiación X blanca".

Las curvas de la figura 2.3 nos muestran la distribución de la intensidad de la radiación en función con la longitud de onda para una serie de tensiones de excitación en el tubo de rayos X.

Como puede observarse, a medida que la tensión crece la intensidad de la radiación aumenta para todas las longitudes de onda que comprenden; la longitud de onda a la cual corresponde una intensidad máxima va disminuyendo, y las longitudes de onda mínima que se presentan tienden a ser menores.

El área limitada por estas curvas aumenta proporcionalmente al cuadrado de la tensión aplicada al tubo. Esto es:

$$I_{\text{continuo}} = KV^2$$

Posteriormente, y de una forma experimental, se ha podido comprobar que esta intensidad del fondo continuo es proporcional al número atómico  $Z$  del metal que forma el anticátodo y, en consecuencia, la expresión anterior debe generalizarse, ya que:

$$I_{\text{continuo}} = KV^2Z$$

En el espectro continuo se superponen discontinuidades de la intensidad de radiación para longitudes de onda determinadas. Estas longitudes de onda caracterizan la naturaleza del anticátodo presentando para cada elemento un valor fijo; se trata, además, no de longitudes de onda sencillas sino de grupos de diversas longitudes de onda muy próximas unas de otras. El mecanismo de la producción de este "espectro característico" es el siguiente:

Hemos indicado anteriormente que los electrones que llegan al anticátodo sufren interacciones con los electrones de los átomos que lo forman y que la energía que pierde el electrón incidente puede arrancar algún electrón del átomo. Cuando esto ocurre, el átomo que pierde un electrón pasa a un estado de excitación, ya que la órbita en la que ha quedado esta vacante tiende a completarse con un electrón que ha de provenir de otra órbita electrónica; la diferencia de energía entre los dos electrones orbitales es emitida en forma de un cuanto de rayos X. La longitud de onda de esta radiación por tanto, es característica para

cada átomo. Esta radiación es emitida al mismo tiempo que la que forma el espectro continuo, dando lugar así a una curva como la de la figura 2.4.

Dado que las distintas órbitas electrónicas son designadas con las letras K, L, M,...., estas radiaciones características son llamadas radiaciones K, L, o M, dependiendo de la órbita electrónica en la que haya tenido lugar el proceso de excitación.

#### 2.4.- Tipos de tubos de rayos X.

Los tubos de rayos X empleados en radiografía industrial -- son de dos tipos:

- a).- Tubos bipolares (figura 2.5)
- b).- Tubos unipolares (figura 2.5)

a).- Tubos bipolares. El tubo bipolar presenta la ventaja -- que la tensión con respecto a la tierra, tanto en el ánodo como en el cátodo, es igual a la mitad de la tensión en el tubo, lo -- cual es ventajoso desde el punto de vista del aislamiento. La -- ventana de salida está situada en el centro del tubo. Son gene-- ralmente refrigerados por aire o por aceite y están concebidos -- para tensiones de 100 a 400 Kv (en algunos casos hasta 600 Kv), -- pudiendo alcanzar la intensidad de la corriente eléctrica en el tubo de 10 mA. Según la forma de realización, estos tubos pueden producir:

- i).- Un haz de radiación unidireccional
- ii).- Un haz de radiación panorámico oblicuo
- iii).- Un haz de radiación panorámico ortogonal.

Algunos tubos poseen una ventana de salida de berilio, que deja pasar una radiación más blanda. Estos tubos tienen un interés -- particular en aplicaciones entre 5 y 20 Kv.

b).- Tubos unipolares. Estos tubos son de empleo menos frecuente. Sólo el cátodo presenta una diferencia de potencial con respecto a tierra, estando el ánodo en la tierra. Existen tubos

INTENSIDAD

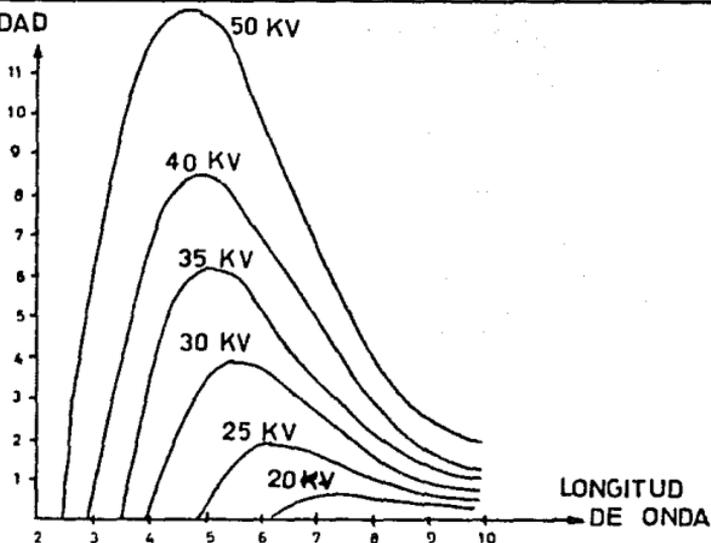


FIGURA 2.3- DISTRIBUCION DE LA INTENSIDAD DE LA RADIACION EN FUNCION DE LA LONGITUD DE ONDA.

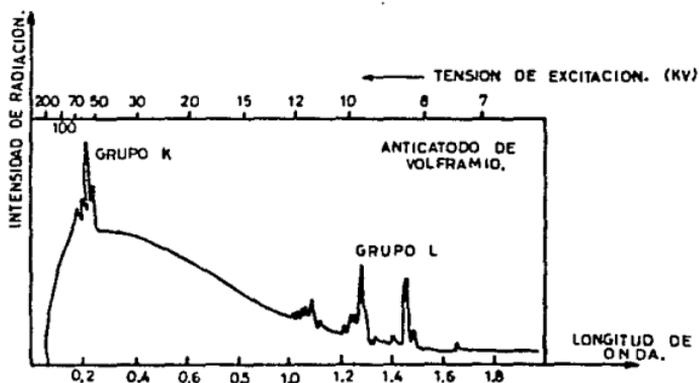


FIGURA 2.4- ESPECTRO CARACTERISTICO DE LA RADIACION X

unipolares de dos tipos: con ánodo corto y con ánodo largo y hueco. La refrigeración se efectúa con aire o con agua. Los de ánodo largo y hueco poseen generalmente un dispositivo suplementario para guiar a los electrones. Estos tubos permiten colocar el foco de radiación X en el interior de objetos cuya abertura o hueco sea pequeño para introducir convenientemente la película radiográfica. Este último se coloca entonces en el exterior del objeto a examinar y la irradiación se hace desde el interior hacia el exterior. El haz es generalmente radial.

### 2.5.- Fuentes radiactivas.

La desintegración del núcleo de una sustancia radiactiva -- natural va acompañada de la emisión de una o más formas de radiación que se denominan rayos alfa ( $\alpha$ ), beta ( $\beta$ ) y gamma ( $\gamma$ ). La radiación gamma es una radiación electromagnética de la misma naturaleza física que los rayos X, presentando, en general, menores longitudes de onda que éstos. Los rayos alfa son núcleos de helio, en los cuales, aunque poseen una gran energía cinética, su poder de penetración es pequeño. Los rayos beta son electrones y al igual que la radiación alfa su poder de penetración es bajo.

La transformación de una sustancia radiactiva es un fenómeno absolutamente independiente de toda acción externa, no puede ser acelerado o detenido por ningún agente físico (temperatura, campos magnéticos o eléctricos, presión, etc.). Su radiactividad no es constante, disminuye de acuerdo a una ley exponencial cuyas características son:

Sea  $N_0$  el número de fomas de un elemento radiactivo inicialmente existentes y  $N$  el número de átomos de dicho elemento al -- cabo de un tiempo  $T$  contado a partir del momento inicial.

$$\frac{dN}{dT} = - AN$$

en la cual  $A$  es la constante radiactiva o constante de decaimiento y mide la probabilidad de que se transforme un átomo en la unidad

de tiempo; segundo, minuto, día o año, según el valor de dicha probabilidad para el elemento radiactivo considerado.

La expresión anterior puede ser integrada entre el valor -- del tiempo cero, cuando el número de núclidos (átomos radiactivos) es  $N_0$  y el tiempo T en el que el número de núclidos que permanecen es N, lo que nos da:

$$N = N_0 e^{-AT}$$

en la cual e es la base de los logaritmos neperianos y el signo menos significa la disminución en el número de núclidos.

Se designa con el nombre de "vida media" al valor de un tiempo ficticio que es el que duraría cada átomo de un núcleo inestable, si por unidad de tiempo se desintegrasen el mismo número de ellos. La vida media es el valor recíproco de la constante de desintegración, o sea  $T_m = 1/A$ .

La forma más común de expresar la velocidad de desintegración radiactiva es considerar un "período mediador", entendiéndose como tal el tiempo requerido para que cualquier número de núclidos, inicialmente presentes, se reduzca a la mitad, o sea, para que su actividad llegue a ser la mitad de su valor inicial. Este tiempo, dada la naturaleza exponencial de la desintegración, es independiente de la cantidad del radioisótopo presente. Por lo cual:

$$\frac{N}{N_0} = \frac{1}{2}$$

$$\frac{1}{2} = e^{-AT}$$

$$\ln \frac{1}{2} = -AT$$

$$T = \frac{0.6931}{A}$$

Así por ejemplo, para el radio  $A = 1.38 \times 10^{-11}$  por segundo o sea,  $4.35 \times 10^{-4} = 1/2300$  por año. Esto significa que, por cada 2300 átomos de radio, la probabilidad es que se desintegre uno por año. En cambio, el período medio será:

$$T_m = 0.6931 \times 2300 = 1,590 \text{ años.}$$

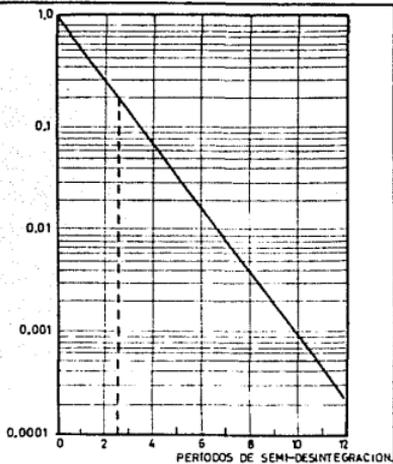
lo cual indica que al cabo de este tiempo se habrán desintegrado la mitad de los átomos existentes al principio de este intervalo.

La actividad de las fuentes usadas en gammagrafía (radiografía con rayos gamma) debe ser compatible con un adecuado balance hecho entre el tiempo de exposición, el costo unitario operativo de cada gammagrafía y la seguridad radiológica durante la irradiación. Este período de desintegración debe ser tal que permita amortizar el costo de la fuente. La curva de la figura 2.6 permite calcular la actividad remanente al cabo de un cierto tiempo - transcurrido para cualquier fuente radiactiva. Además de que cada fabricante de estas proporciona una curva particular para cada fuente.

El material radiactivo se proporciona en forma de obleas o pastillas contenidas en una cápsula de acero inoxidable sellada herméticamente. El tamaño de esta depende de la cantidad de obleas contenidas. Soldada a esta se encuentra un cable de acero inoxidable en cuyo extremo cuenta con una preparación adecuada para su manipulación a control remoto. El tamaño y configuración de la cápsula y la longitud del cable dependen del material radiactivo contenido y del tipo de contenedor disponible (figura 2.7).

#### 2.6.- Contenedores.

Como es obvio, las fuentes radiactivas no necesitan de ningún equipo auxiliar para la producción de la radiación durante su desintegración, por lo cual es preciso "encerrarla" en un contenedor apropiado que impida la irradiación accidental cuando no se utiliza. Esto implica la construcción de un estuche de plomo o, mejor aún, de uranio, el cual deberá ser a prueba de fugas, de impactos y temperaturas considerables, y por último, habrá de disponer de un sistema, lo más sencillo y seguro posible, para, desde una distancia segura poder sacar la fuente, exponer y volver a introducirla nuevamente sin ningún riesgo para el operador.



EJEMPLO CALCULAR LA ACTIVIDAD REMANENTE DEL  
 $Tm$  170 AL CABO DE 300 DIAS.  
 ACTIVIDAD INICIAL = 5 Ci.

SOLUCION  $\frac{300}{120} = 2,37$  PERIODOS

PARA 24 PERIODOS LA GRAFICA MARCA 20%  
 $\therefore 5 \text{ Ci} \times 0,20 = 1 \text{ Ci}$

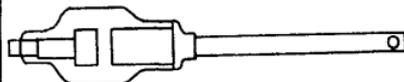
FIGURA 26- CURVA DE DECAIMIENTO.



TUBO BIPOLAR



TUBO UNIPOLAR



TUBO UNIPOLAR DE ANODO LARGO

FIGURA 25- TUBOS DE RAYOS X

En cuanto al sistema de manipulación de la fuente, se ha impuesto el uso de un funicular que consiste en un cable de acero roscado, firmemente unido a la fuente (enganchado) que se maneja mediante un sistema de engranes situados en el funicular; también se le conoce como telemando. La fuente, empujada por el cable, se desliza por el interior de una manguera flexible hasta llegar a un tapón de aluminio o de acero en el otro extremo. Este sistema de manipulación, a pesar de su simplicidad mecánica, se ha impuesto universalmente, desterrando otros sistemas aparentemente más eficaces pero más propensos a averías (figura 2.8).

A este esquema básico, ciertos equipos han incorporado dispositivos eléctricos de relojería, que permiten programar las exposiciones sin necesidad de que el operador tenga que aproximarse para poner la fuente en posición de trabajo. Sin embargo, todos ellos tienen la posibilidad de ser accionados manualmente, en caso de que su sistema automático falle y quede la fuente fuera del contenedor.

Actualmente se construyen contenedores portátiles con uranio empobrecido, cuyo peso, para una fuente de Iridio 192 de 100 Ci, es alrededor de 20 Kg.

Estos contenedores responden a dos ideas básicas, que presentan ventajas e inconvenientes complementarios:

a).- Una es la denominada de "laberinto", que consiste de una masa de uranio con un conducto sinuoso (figura 2.9 A). Por una parte, se conecta a la manguera de salida de la fuente y, por la otra, a la manguera portacable del telemando. La geometría de este conducto impide la salida de la radiación, ya que como es sabido esta se propaga en línea recta.

b).- El otro tipo de contenedor, al que se denomina "lineal" consiste de una esfera de uranio empobrecido atravesada diametralmente por un orificio recto, en cuyo centro queda alojada la ---

fuente al ser recogida (figura 2.9 B). En este caso, las dos salidas del bloque de uranio deben de quedar perfectamente obturadas para evitar fugas. La salida anterior se cierra mediante un tapón de uranio o volframio que se introduce en el orificio, impidiendo el movimiento de la fuente. La salida posterior se obtura con un rosario de bolas o de pequeños cilindros, enhebrados en un alambre o aprisionados entre las vueltas de un muelle, a cuyo extremo va soldado el gancho de unión con el cable del telemando. Este arreglo es necesario para facilitar el paso de la fuente a través de las mangueras generalmente curvadas por las necesidades del ensayo.

c).- También hay algunos equipos "mixtos", que en su parte anterior son del tipo lineal y en la posterior de laberinto. El principal inconveniente de los equipos de laberinto es su precio ya que, como el bloque de uranio con su conducto debe ser sintetizado de una sola vez, su fabricación resulta más cara. En cuanto a los equipos lineales, estos suelen tener problemas con los cierres, con el consiguiente riesgo de fuga.

d).- En el caso de contenedores de carga de elevada actividad, mil Curies o más, se utilizan dispositivos mecánicos de posicionado movidos con motor a control remoto. Los blindajes, en estos casos, suelen ser de plomo y volframio. En la figura 2.9 C puede verse uno de estos contenedores para 1,000 Curies de Co-60 en el que se aprecian las complicaciones a que da lugar el problema de contener eficazmente la radiación cuando la fuente no se utiliza. Esta fuente va montada en un disco giratorio de W-Cu cuyo eje permite su posicionado en la situación de exposición o fuera de servicio.

## 2.7.- Fuentes emisoras de radiación gamma más utilizadas.

En la naturaleza existen algunos elementos radiactivos, pero los radioisótopos generalmente utilizados en la radiografía industrial son de origen artificial. Su producción es por irradiación en una pila atómica, o por la extracción de determinados elementos producidos en la fisión del combustible de la pila o -

en determinados reactores nucleares.

a).- Tulio-170.

Es producido en los reactores nucleares bombardeando un blanco de Tulio-169 con neutrones térmicos; su período de desintegración es de 129 días. Es muy indicado para inspeccionar bajos espesores de Fe (4-5 mm) y aleaciones livianas.

b).- Iridio-192.

Es también producido en reactores nucleares, con neutrones térmicos, a partir de sus isótopos naturales: Ir-191 (38.5%) e Ir-193 (61.5%). El espectro del Iridio 192 tiene numerosos picos de energías comprendidas entre 0.13 y 1 MeV, y es conjuntamente con el Tm-170 el único radioisótopo disponible comercialmente -- para radiografías de bajos espesores. Con este isótopo es posible satisfacer los requisitos de las normas internacionales más restrictivas, hasta un umbral inferior de espesores del orden de 12 mm de Fe, con películas de mediana velocidad. Con películas lentas, de gran contraste, hasta un umbral inferior de 8 a 9 mm de Fe aproximadamente.

c).- Cesio-137.

Es uno de los productos de la fisión del Uranio-235, obtenido por separación química. El largo período de desintegración, de 28 años, permite obtener radiografías con un costo reducido, en virtud del amplio lapso de amortización de esta fuente. Sin embargo, la calidad de las placas radiográficas, o la sensibilidad de detección que se puede alcanzar con el, es muy baja. En la tabla 2.10 se dan otros detalles de ella.

d).- Cesio-134.

Es producido en reactores nucleares con neutrones térmicos a partir del isótopo natural Cesio-135. Posee numerosos picos de bajas y medianas energías que lo hacen particularmente apto para cubrir el mismo rango de espesores del Cesio-137 aunque es posible detectar defectos más pequeños debido a los picos de bajas -

energías que contribuyen a mejorar la sensibilidad de detección. Por esta razón, se ha tenido la tendencia a reemplazar el Cs-137 por el Cs-134. Su período de desintegración es de 2 años.

e).- Cobalto-60.

Es irremplazable para inspeccionar cordones soldados o piezas de fundición de gran espesor (25 a 200 mm de Fe aproximadamente) columnas, vigas, etc. de hormigón armado y otras estructuras. La sensibilidad alcanzada es aceptable, y el costo reducido, ya que su período de desintegración es de 5.3 años; razones que han contribuido a una amplia difusión de esta fuente.

2.8).- Unidades.

La longitud de onda de las radiaciones ionizantes puede ser expresada en centímetros, sin embargo es más frecuente emplear la unidad angstrom (Å), siendo  $1 \text{ Å} = 10^{-8} \text{ cm}$ .

La energía de los rayos X se expresa en función de la energía de los electrones que producen la radiación y se mide en electrón-volts (eV), entendiéndose como tal la energía adquirida por un electrón cuando se mueve en un campo bajo una diferencia de potencial de un voltio. Su valor es  $1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-12} \text{ ergs}$ . Esta unidad corresponde a la "calidad de la radiación". Análogamente, la energía de la radiación gamma se expresa en kiloelectrón volts o Megaelectrón volts, aunque el electrón no haya intervenido en su producción. En radiografía industrial para caracterizar una radiación, se suele hacer en términos de su energía y no de su longitud de onda.

El Curie (Ci) es una unidad de radiactividad definida por acuerdo internacional como la cantidad de un núclido cualquiera que se desintegra a razón de  $3.7 \times 10^{10}$  átomos por segundo. La fuerza o potencia de un isótopo radiactivo se expresa corrientemente en Curies; sin embargo en los trabajos radiográficos es frecuente utilizar otra unidad que mide la potencia de emisión -

en Roentgens por hora a un metro de distancia (Rhm) y que se conoce como emisión específica, correspondiendo a cada isótopo una emisión característica.

#### 2.9.- Diferencias entre los rayos X y los rayos gamma.

En primer lugar, hay que tener presente que, prescindiendo de cualquier otra consideración, la radiación producida por el tubo de rayos X es formalmente diferente de la procedente de una fuente isotópica, y esto tiene una gran importancia radiológica.

En el caso de la radiación blanca producida por un tubo de rayos X, la presencia de un sobreespesor en el objeto radiografiado, implica la detención de una cierta fracción de los fotones menos energéticos. Finalmente, la casi totalidad de los menos energéticos que llegan a atravesar las partes menos gruesas del objeto, son totalmente detenidos por el sobreespesor.

En cambio, si la radiación empleada es gamma, la ausencia del espectro continuo, convierte la absorción en una cuestión de "pasa" o "no pasa". Así, en las partes delgadas del objeto, sólo pasan fotones monoenergéticos, por no existir una "cola" de radiación blanda capaz de atravesarlas, pero no de hacerlo por las partes más gruesas.

El resultado radiográfico es que, intrínsecamente, la imagen obtenida con rayos X está mejor contrastada que la producida con rayos gamma. Por lo que, desde el punto de vista imagen radiográfica, las radiografías obtenidas con rayos X son mejores que las que se consiguen usando fuentes radiactivas. Sin embargo, existen otros factores prácticos que pueden hacer preferibles las radiografías realizadas con fuentes radiactivas. Analizaremos, brevemente, las ventajas y limitaciones de ambas fuentes.

#### a).- Factores económicos.

El equipo de rayos X es considerablemente más caro que el de rayos gamma, aunque bien tratado puede rendir servicio durante -

mucho tiempo. El de gammagrafía requiere en cambio, la renovación periódica de la fuente, cuyo valor representa una fracción considerable respecto al total del equipo. Para un trabajo abundante y continuo, puede ser preferible el uso de fuentes, en tanto que, para trabajos aleatorios o intermitentes, resulta claramente preferible el equipo de rayos X.

b).- Factores técnicos.

Es aquí donde la gammagrafía presenta sus mayores ventajas. En efecto, el equipo de rayos gamma funciona sin necesidad de algún suministro de energía, es más ligero y mucho más manejable que el de rayos X, permitiendo la colocación de la fuente en sitios inaccesibles para éste. Además, para materiales gruesos o pesados, su poder de penetración es considerablemente superior. Por otro lado, las fuentes isotópicas son más grandes que el foco de los equipos de rayos X, lo que afecta en sentido desfavorable a la definición de la imagen. Además en la radiografía de materiales ligeros o de poco espesor, las fuentes isotópicas, corrientemente disponibles, no dan resultados comparables a los proporcionados por un equipo adecuado de radiografía.

c).- Factores funcionales.

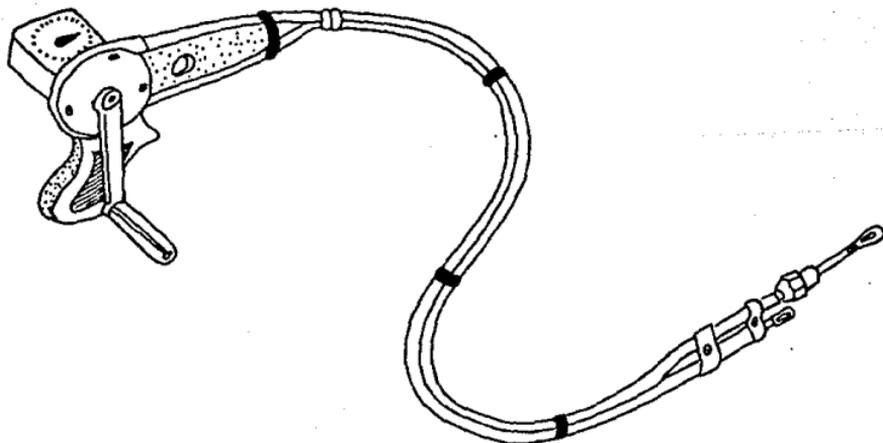
Los equipos de gammagrafía son de manejo muy sencillo y menos propensos a averías costosas que los de los de rayos X. Además son poco delicados, soportando un trato a pie de obra y en sitios inhóspitos.

d).- Factores de seguridad.

En cuestión de seguridad radiológica, las ventajas están sin duda, a favor de los rayos X. En efecto, estos equipos sólo irradian cuando se trabaja, siendo totalmente seguros e inofensivos en cuanto se desconectan de la red eléctrica. Por el contrario, a pesar de la elevada fiabilidad de los equipos de gammagrafía, existe, aunque sea remoto, el riesgo de una "fuga" en el equipo o de un bloqueo que impida el retorno de la fuente al contenedor.

Una avería de este tipo es siempre grave y exige mucha capacitación para su reparación, pero aún es peor si, por no disponer de medios adecuados, se ignora que ha ocurrido, irradiándose el personal sin saberlo.

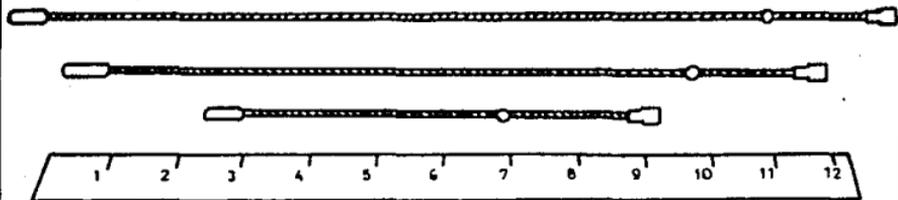
En México es muy utilizado en la inspección de soldaduras, los equipos de rayos X portátiles y las fuentes de Iridio 192 y Cobalto-60. La elección de cualquiera de estos equipos esta en función de la accesibilidad de la soldadura, de su espesor y del contraste que se requiera. Son muy utilizadas en las inspecciones de gasoductos, oleoductos, plantas industriales, plantas químicas y refinerías, etc. La mayor demanda es por parte de PEMEX, CFE e industrias privadas en ese orden.



RADIOISÓTOPO.	EXPOSICIÓN A 1 M. CONSTANTE E	RANGO DE ESPESORES PARA DISTINTOS MATERIALES (VALORES APROXIMADOS)					
		RANGO MAS INDICADO (**)			RANGO POSIBLE (***)		
		Fe	Al	CONCRETO	Fe	Al	CONCRETO
R/h-Ci	mm	mm	mm	mm	mm	mm	
Co-60	1.31	60-200	250-500	50-300	25-300	200-600	30-500
Cs-137	0.31	20-80	70-300	20-200	10-120	50-350	15-300
Ir-192	0.48	10-40	50-250	10-20	5-75	40-300	7-30
Tm-170	0.012(*) 0.003- 0.004	3-10	5-50		0.5-20	3-70	
Ra	0.83	40-150	100-400		30-170	50-400	
Ag-110	1.43	30-50	60-150		20-130	40-300	
Se-75	0.20	7-15	40-150		5-30	20-200	
Cs-134	0.81	SIMILAR AL Cs-137			SIMILAR AL Cs-137		
Ta-162	0.66	20-80	40-200		15-100	30-300	

TABLA 2.10.- FUENTES RADIOACTIVAS MAS EMPLEADAS EN GAMMAGRAFIA INDUSTRIAL.

- (\*) Discrepancia entre bibliografías  
 (\*\*) Con película de mediana sensibilidad  
 (\*\*\*) Con película de alta sensibilidad



TAMAÑOS TÍPICOS DE FUENTES DE IRIDIO 192.

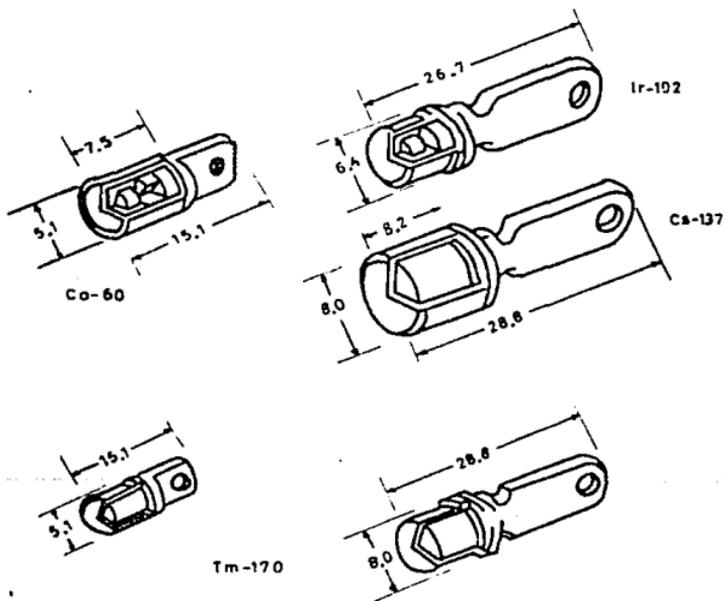
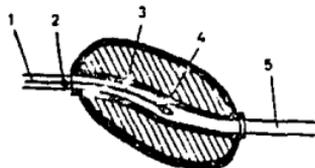


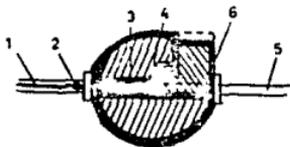
FIGURA 27.-FUENTES RADIATIVAS.



**CONTENEDOR "DE LABERINTO":**

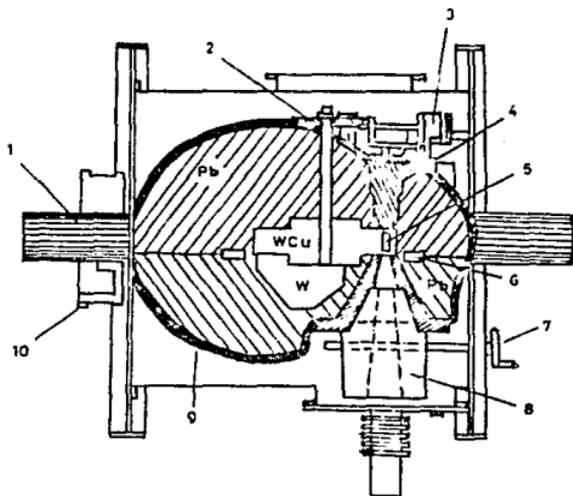
**CONTENEDOR "LINEAL".**

- 1.-CABLE TRACTOR.
- 2.-GANCHO.
- 3.-CABLE FLEXIBLE.
- 4.-FUENTE.
- 5.-DUCTO DE SALIDA.
- 6.-SISTEMA DE CIERRE ANTERIOR.



**CONTENEDOR PARA FUENTES DE  
Co 60 DE ALTA ACTIVIDAD.**

- 1.-EJE.
- 2.-DISPOSITIVO POSICIONADOR.
- 3.-DISPOSITIVO DE BLOQUEO.
- 4.-CIERRE DE CARGA.
- 5.-FUENTE.
- 6.-ANILLO DE PLOMO.
- 7.-MANIOBRA DEL DIAFRAGMA.
- 8.-COLIMADOR.
- 9.-CARCASA.
- 10.-PIÑON.



**FIGURA 29 - TIPOS DE CONTENEDORES PARA FUENTES  
RADIATIVAS.**

## CAPITULO 3.- INTERACCION DE LA RADIACION CON LA MATERIA.

### 3.1.- Generalidades.

El examen radiográfico está basado en las características - de los rayos X y Gamma que les permite penetrar la materia y que al ser absorbidos en menor o mayor grado en este proceso llevan y producen información sobre la estructura macroscópica interna de los materiales inspeccionados.

### 3.2.- Ionización.

Atomos, moléculas, y cualquier partícula subatómica que posea una carga eléctrica positiva o negativa recibe el nombre de ión. Cualquier electrón libre, no unido a ningún átomo, es llamado ión negativo, mismo nombre que puede recibir cualquier partícula con una carga eléctrica negativa. Las partículas alfa y - los núcleos de helio poseen cargas eléctricas positivas, por lo que reciben el nombre de iones positivos.

Cualquier acción que ocasione disturbios en el balance eléctrico de los átomos se conoce como ionización. La radiación, --- tiene la capacidad de ionizar (figura 3.1).

### 3.3.- Absorción de la radiación.

La disminución de la intensidad de la radiación que atraviesa un material viene determinada por tres tipos de interacción con el material.

- a).- Efecto Fotoeléctrico
- b).- Efecto Compton
- c).- Formación de Pares.

La probabilidad de que uno de estos tres efectos se manifieste depende de la energía de la radiación, y del número atómico del material absorbente (figura 3.2).

a).- Efecto Fotoeléctrico.

Cuando una radiación X o Gamma de energía débil ( $\leq 0.5$  Mev) atraviesa un material, y un fotón alcanza a un átomo de este material, la energía total de este fotón puede ser empleada para expulsar a un electrón de las capas electrónicas inferiores del átomo (figura 3.3). Este fenómeno se denomina efecto foto-eléctrico. Por otra parte, es este el fenómeno el que permite la radiografía. La imagen se forma tanto en el objeto examinado como en la película radiográfica.

b).- Efecto Compton.

En una interacción de fotones y de electrones libres o en una pequeña unión de las capas electrónicas externas, una parte de la energía es transferida a estos electrones, que son entonces expulsados (figura 3.4). Además, los fotones son desviados de su dirección incidente original y pierden su energía en esta colisión: de ello resulta una difusión y una disminución de energía de la radiación. Entre 100 KeV y 10 MeV, la absorción de la radiación se debe principalmente al efecto Compton.

c).- Formación de Pares.

La formación de pares ocurre únicamente con energías muy elevadas (a partir de 1.02 MeV). Los fotones de gran energía pueden provocar, en efecto, una interacción con el núcleo del átomo alcanzado. La energía del fotón es utilizada aquí para formar un electrón ( $e^-$ ) y un positrón ( $e^+$ ) y para dar a cada uno una energía cinética (figura 3.5). El positrón así producido tiene tan sólo una breve existencia y desaparece muy rápidamente a consecuencia de una colisión con un electrón. Ambos desaparecen y dan su energía para la formación de dos fotones de 0.51 MeV cada uno. Este proceso juega un papel muy importante sobre todo cuando fotones ricos en energía atraviesan materiales de elevado número atómico.

Cuando un fotón X o Gamma atraviesa un espesor  $dx$  de material existe una probabilidad por unidad de longitud (cm) o masa su-

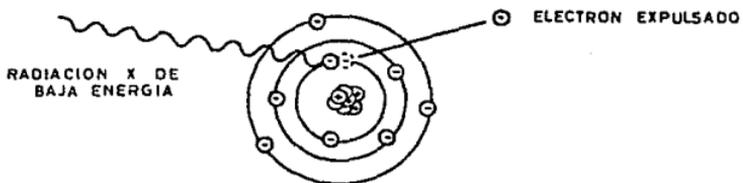


FIGURA 3.3- EFECTO FOTOELECTRICO.

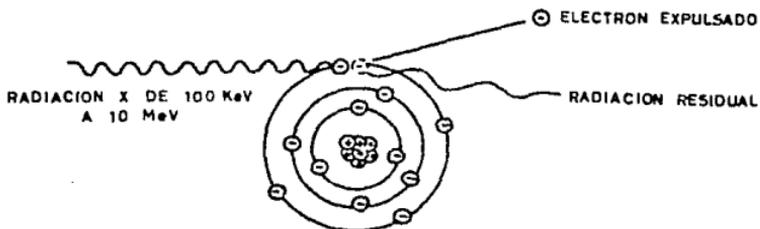


FIGURA 3.4.- EFECTO COMPTON.

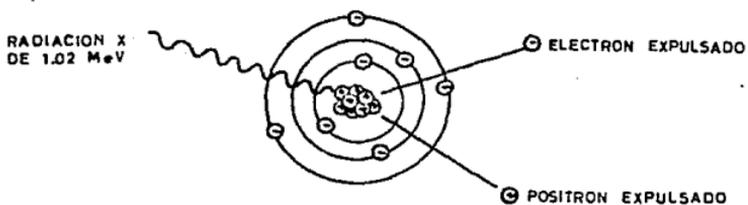


FIGURA 3.5.- EFECTO DE PARES.

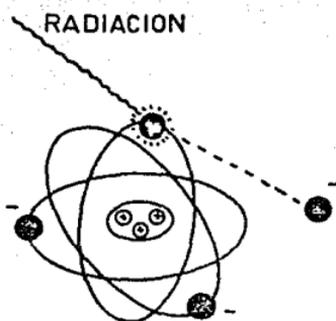


FIGURA 3.1- IONIZACION.

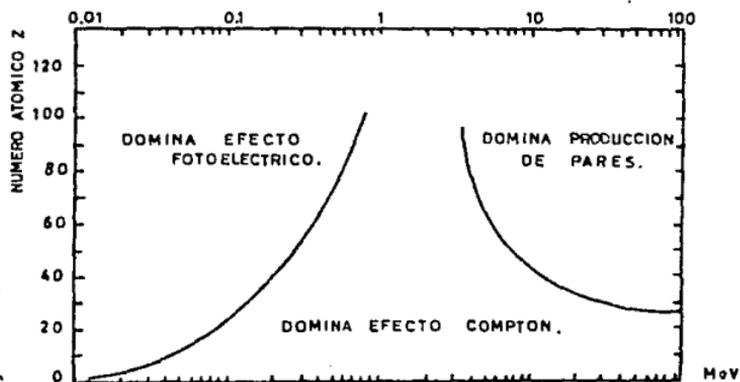


FIGURA 3.2.- PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DEL EFECTO FOTOELECTRICO COMPTON Y FORMACION DE PARES EN FUNCION DEL NUMERO ATOMICO DEL ABSORBENTE Y LA ENERGIA DEL FOTON PRIMARIO.

perforial ( $\text{gr}/\text{cm}^2$ ) de que el fotón sea absorbido o dispersado -- (figura 3.6). Esta probabilidad que se denomina coeficiente de atenuación lineal ( $\text{cm}^{-1}$ ) o coeficiente de atenuación másico --- ( $\text{cm}^2/\text{gr}$ ), está dada por la suma de los tres coeficientes de atenuación parciales o probabilidad de que uno de los efectos antes mencionados ocurra (figura 3.2).

$$\mu = \mu_f + \mu_c + \mu_{fp}$$

en donde:

- $\mu$  ( $\text{cm}^{-1}$ ) = coeficiente de atenuación lineal
- $\mu_f$  ( $\text{cm}^{-1}$ ) = coeficiente de atenuación fotoeléctrico lineal
- $\mu_c$  ( $\text{cm}^{-1}$ ) = coeficiente de atenuación Compton lineal
- $\mu_{fp}$  ( $\text{cm}^{-1}$ ) = coeficiente de atenuación de formación de pares lineal.

Si observamos la figura 3.6 podemos observar que:

$$dN' = -\mu N' dx \qquad \frac{dN'}{N'} = -\mu dx$$

Integrando esta última expresión tenemos:

$$\int_{N_0}^{N_x} \frac{dN'}{N'} = -\mu \int_0^x dx$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\mu x$$

$$N_1 = N_0 e^{-\mu x} \text{ fotones/seg.}$$

Esta expresión exponencial vale para todo el haz que emerge del material absorbente con excepción del área situada debajo del -- defecto. Con el mismo razonamiento llegaremos a que la radiación que llega al área de la película, situada detrás del defecto es:

$$N_2 = N_0 e^{-\mu(x-\Delta x)} + \mu_1 \Delta x \text{ fotones/seg.}$$

En donde:

- $N_0$  = fotones por unidad de tiempo incidentes sobre el material (fot/s)
- $N_1$  = fotones por unidad de tiempo que emergen del material (fot/s)
- $N_2$  = fotones por unidad de tiempo que emergen detrás del defecto (f/s)

$\mu$  = coeficiente de atenuación lineal del material ( $\text{cm}^{-1}$ )

$\mu_1$  = coeficiente de atenuación lineal del defecto ( $\text{cm}^{-1}$ )

X = espesor del material (cm)

$\Delta X$  = espesor del defecto (cm)

Se denomina intensidad de radiación X o Gamma a la energía por unidad de superficie y tiempo que llega a un punto; las relaciones anteriores pueden ser referidas a la intensidad de radiación que llega a estas zonas:

$$I_1 = I_0 e^{-\mu x} \text{ ergs/cm}^2 \text{ x s}$$

$$I_2 = I_0 e^{-\mu(x - \Delta x) + \mu_1 \Delta x} \text{ ergs/cm}^2 \text{ x s}$$

En donde:

$I_0$  = intensidad de radiación incidente sobre el material ( $\text{ergs/cm}^2 \text{ x s}$ )

$I_1$  = intensidad de radiación que emerge del material ( $\text{ergs/cm}^2 \text{ x s}$ )

$I_2$  = intensidad de radiación que emerge del material, detrás del defecto ( $\text{ergs/cm}^2 \text{ x s}$ ).

El área de la placa radiográfica, situada debajo del defecto recibe una intensidad de radiación  $I_2$  distinta a la intensidad de radiación  $I_1$  adyacente. En la placa virgen se formará la imagen latente del defecto que, una vez sometida al proceso de laboratorio, se transformará en una imagen visible. El negativo o placa radiográfica acusará un mayor grado de ennegrecimiento --- (mayor densidad óptica) en la zona donde recibió más radiación; si el defecto es una inclusión de mayor densidad que el material la imagen en la placa será más clara, pues la inclusión habrá -- atenuado más la radiación.

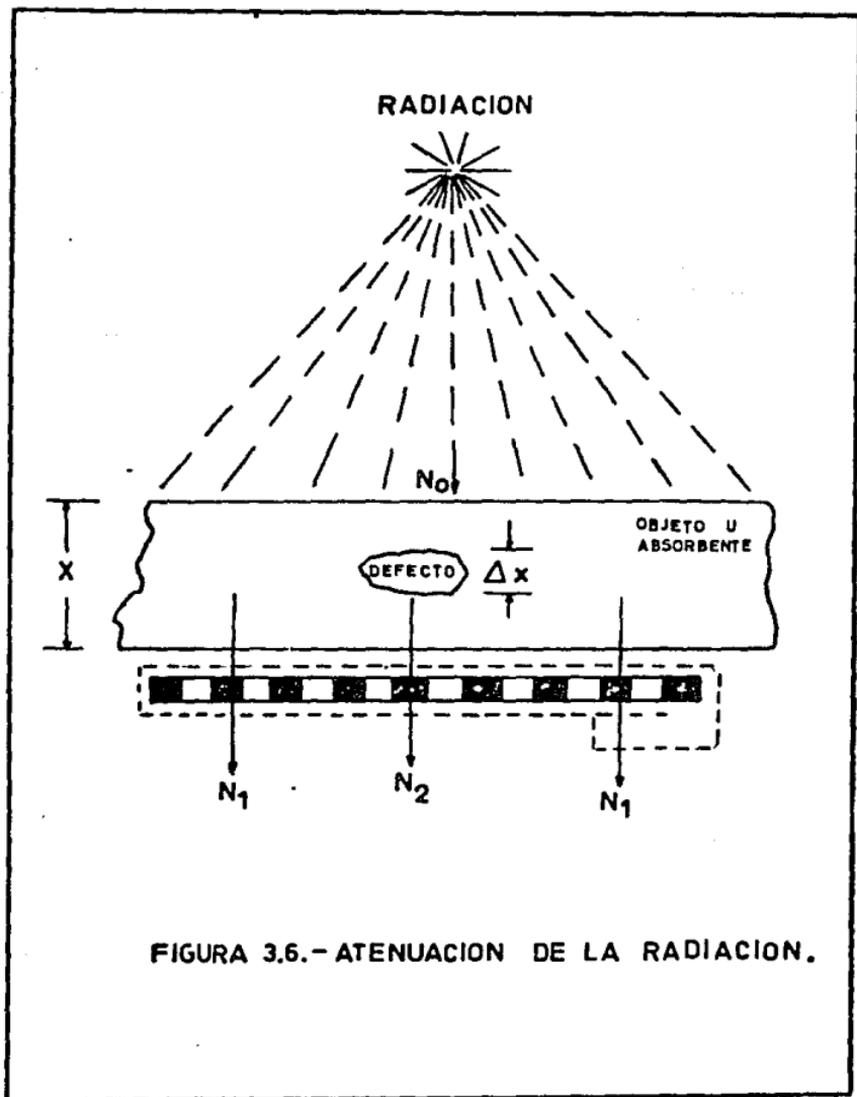


FIGURA 3.6.- ATENUACION DE LA RADIACION.

## CAPITULO 4.- MODULACION DE LA RADIACION.

### 4.1.- Generalidades.

La intensidad de un haz de rayos X o Gamma se debilita localmente al atravesar un objeto heterogéneo. Esta debilitación se debe a la absorción y a la difusión de la radiación del objeto a examinar. De ello resulta que el haz emergente forma la superficie de la película zonas de intensidad diferente (densidades) cuyo conjunto constituyen la imagen radiante (imagen pantalla, - más la imagen radiante propiamente dicha). Es decir, en la película se van formando a través de los diferentes cambios de densidad, todos aquellos defectos e indicaciones que pudiera tener una soldadura.

### 4.2.- Densidad y contraste.

Se denomina densidad óptica, al logaritmo decimal de la relación entre la intensidad de la luz incidente ( $I_0$ ) y la luz transmitida ( $I_1$ ) en una área determinada de la imagen radiográfica (figura 4.1).

$$D = \log \frac{I_0}{I}$$

$$O = \frac{I_0}{I}$$

$$T = \frac{I}{I_0}$$

$$D = \log \frac{I_0}{I} = \log O = \text{colog } T$$

donde:

D = Densidad óptica

O = Opacidad

T = Factor de transferencia

$I_0$  = Intensidad de luz incidente en la placa

I = Intensidad de luz transmitida por la placa.

El uso de una función de este tipo para definir la densidad óptica está justificado ya que el ojo humano es capaz de recibir sensaciones que varían con el logaritmo de la excitación.

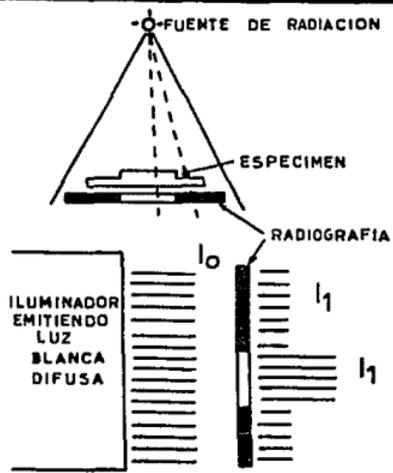


FIGURA 4.1.-DENSIDAD RADIOGRAFICA.

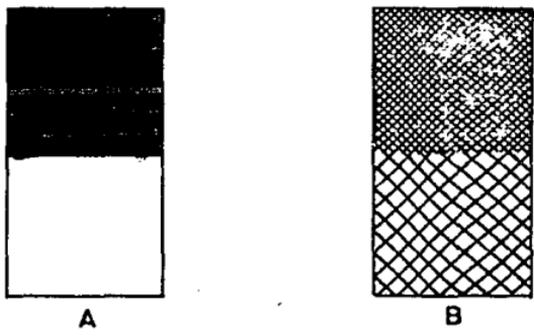


FIGURA 4.2.-DENSIDADES RADIOGRAFICAS.

En otras palabras, podemos definirlo como el grado de ennegrecimiento que exhiben las áreas de una radiografía.

Por ejemplo: una persona mira una superficie iluminada por una lámpara eléctrica de 100 U.A., al cambiarse la lámpara por otra de 110 U.A., esa misma persona puede percibir el cambio mínimo ( $\Delta = 10$  U.A.) en la superficie iluminada.

En radiografía, la densidad que generalmente se busca es en torno a 2 ( $D=2$ ); esta densidad suele incrementarse cuando se trabaja con películas rápidas y de poco contraste, y se cuenta con negatoscopios aptos para observar altas densidades.

En toda película industrial aparece después de los procesamientos de revelado una densidad base o "velo de fondo" a pesar de no haber sido expuesta a la radiación. Esta densidad base es del orden de 0.2 para las películas de doble emulsión.

Es decir, la densidad óptica obtenida al cabo de un tiempo  $t$  de irradiación está dada por:

$$D = D_0 + D_1$$

en donde:

$D$  = Densidad óptica total

$D_0$  = Densidad óptica de la base o "velo de fondo"

$D_1$  = Densidad óptica debida a la radiación.

El contraste radiográfico es una combinación del contraste del objeto inspeccionado y el contraste de la película empleada, que en la radiografía da por resultado diferencias de densidad entre zonas adyacentes (figura 4.2). La figura 4.2 A muestra un contraste radiográfico extremadamente alto; es decir, la diferencia de densidades entre las dos zonas adyacentes es grande. En cambio en la figura 4.2 B se observa la representación de un contraste radiográfico relativamente bajo; es decir, la diferencia de densidades entre las dos zonas adyacentes es poca.

Además del contraste radiográfico como criterio subjetivo - para determinar la calidad radiográfica, existe otro criterio: - el detalle. Básicamente el detalle radiográfico es la brusquedad del cambio de una densidad a otra (figura 4.3 A). En la figura 4.3 B se muestran dos escalones de una cuña entre los cuales la transición, representada por la línea BC, es muy pronunciada. -- Puede decirse entonces, que el detalle representado en la radiografía y en la gráfica de densidad equivale al cambio físico que se manifiesta en la cuña; por lo tanto, el sistema de formación de la imagen logró en términos visuales una fiel reproducción: - proporcionó en la radiografía básicamente toda la información -- presente en la cuña. En la figura 4.3 C se muestran los mismos dos escalones de la cuña y que también se trazó una gráfica de - densidad. No obstante, en este caso se aprecia que por alguna - razón el sistema de formación de la imagen no logró hacer una -- fiel reproducción visual. La línea BC de la cuña no aparece verticalmente en la gráfica de densidad, y esto se pone de manifiesto en la radiografía por la gradual transición entre las zonas de alta y de baja densidad; no hay definición, o detalle, debido a ciertos factores atribuibles al sistema de formación de la -- imagen.

En resumen, es completamente factible obtener radiografías que presenten las características siguientes:

- Bajo contraste y poco detalle o definición
- Alto contraste y poco detalle o definición
- Bajo contraste y buen detalle o definición
- Alto contraste y buen detalle o definición.

#### 4.3.- Indicadores de calidad.

Resulta esencial, para quien realiza una radiografía industrial poder demostrar que su trabajo es satisfactorio y, para -- quien la interpreta, conocer la precisión con que puede percibir en los detalles de la imagen, los accidentes, discontinuidades, - etc., del objeto.

BUEN  
DETALLE.



POCO  
DETALLE.



(A)

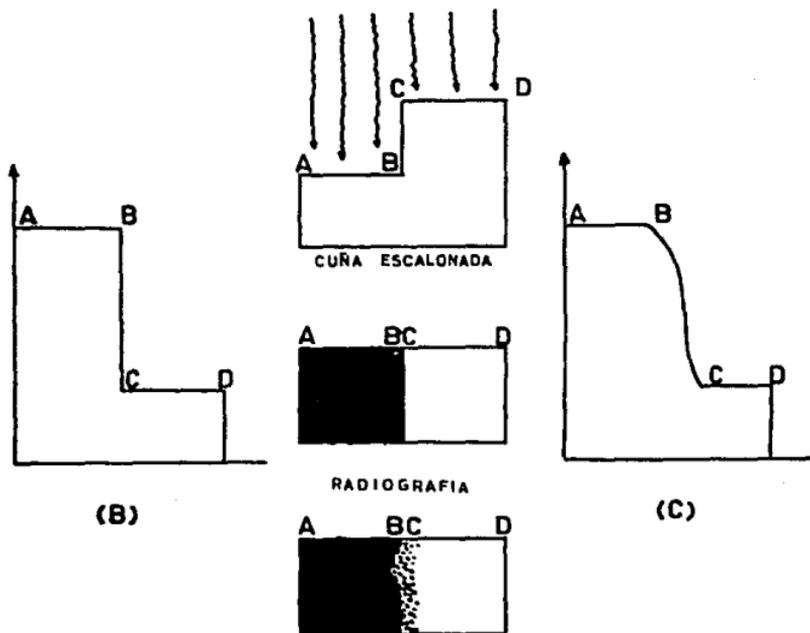


FIGURA 4.3.- DETALLE O DEFINICION RADIOGRAFICA.

Generalmente, los artificios destinados a esta evaluación - están concebidos según puntos de vista diferentes, lo que hace - que los resultados sean distintos de acuerdo con el criterio se- guido.

Las divergencias principales derivan de que se de preferen- cia a la evaluación de la definición o a la del contraste. Para disminuir este inconveniente, hoy se tiende a seguir criterios - que impliquen el empleo de artificios mixtos que permitan ambas evaluaciones simultáneamente.

A pesar de las divergencias mencionadas, todos los métodos se basan en un principio común. Este principio es el siguiente: Si se coloca sobre el objeto a radiografiar una piecicilla del - mismo material, esta se comportará como un incremento conocido del espesor del material. Si una vez obtenida la imagen radio-- gráfica e interpretada, puede percibirse la imagen de la piece-- cilla, es lógico suponer que otro incremento de espesor en la -- pieza (por ejemplo una rebaba) de magnitud igual o mayor, será - perceptible en la imagen. Esta piecicilla recibe los nombres de indicador de calidad de la imagen (ICI) y también el de penetró- metro.

Los ICI están contruidos con una aleación similar a las -- piezas a inspeccionar; tienen formas, dimensiones y otras carac- terísticas reglamentadas por las distintas normas vigentes: AFNOR ASTM, DIN, BWRA, ASME, API, etc.

Si bien, existen diversidad de criterios sobre el uso de los indicadores (y sobre las ventajas e inconvenientes de los mismos) es preciso recordar algunas reglas elementales que, aunque no es- ten contempladas en todas las normas, deben ser observadas para lograr un racional uso de estas técnicas de inspección y análisis no destructivo.

a).- En toda radiografía o gammagrafía industrial ha de observarse la imagen de por lo menos, un indicador.

b).- El indicador debe colocarse siempre en la cara de la pieza o material por el que penetran las radiaciones (del lado de la fuente), es decir, la cara más alejada de la placa. Solo en casos excepcionales puede colocarse el indicador en la cara adyacente a la película, debiendo en estos casos, dejarse expresa constancia de esta alteración y de las razones que lo motivaron o justifiquen.

c).- Es aconsejable y prudente colocar el indicador en la zona crítica de la placa o sector comprendido dentro de la zona útil, en el que es previsible la más baja sensibilidad de detección; generalmente en los extremos de la placa.

d).- Los indicadores de calidad de imagen deben estar aprobados por el organismo normalizador respectivo. En algunos casos pueden ser construidos por los interesados siguiendo los lineamientos de las normas vigentes.

e).- Cuando se efectúan trabajos de radiografía sin seguir una determinada norma, es habitual colocar indicadores de espesor igual al 2% de la pieza o soldadura en estudio.

El porcentaje mencionado es de uso frecuente. El porcentaje de sensibilidad de detección a alcanzar, en realidad, ha de ser compatible con el sobre diseño estructural de la pieza y/o grado de seguridad buscado. Los límites tolerados han de contemplar las dimensiones máximas de los defectos y la densidad superficial o lineal de los mismos.

#### 4.4.- Tipos de ICI.

Son muy diversos los tipos de indicadores de calidad que se encuentran en uso. Entre los más comunes podemos citar los siguientes:

a).- Indicadores de escalones con taladros.

La norma francesa AFNOR-NFA-04-304 de 1958, cuyo objetivo -

es definir las condiciones de empleo de un indicador de calidad de imagen para ser utilizado en la inspección radiográfica de -- piezas de acero o de fundición con espesores inferiores o iguales a 180 mm, propone la utilización de un indicador constituido por una pieza o un conjunto metálico que presenta una serie de escalones, cuyos espesores varían según la progresión geométrica --- propuesta por el Instituto Internacional de la Soldadura (tabla 4.4). Cada uno de estos escalones presenta uno o dos taladros -- cuyo diámetro es igual al espesor del escalón.

Se construyen varios modelos rectilíneos formados por cinco o seis placas rectangulares (figura 4.5), pudiendo tener en algunos casos hasta once placas. En la gama corriente existente en el mercado, válida solamente para el acero, cada uno de los indicadores está integrado por seis espesores: el indicador más -- grueso es rectilíneo, con escalones cuadrados de 15 x 15 mm, y -- los otros hexagonales con escalones en forma de triángulo equi-- látero de 14 mm de lado.

Los escalones cuyo espesor es superior a 0.63 mm presentan un taladro calibrado de diámetro igual al espesor, mientras que en los espesores inferiores hay dos taladros. Los indicadores -- hexagonales presentan un taladro central, que no debe ser considerado en los cálculos.

La tabla 4.6 nos muestra la nomenclatura y los diámetros de los taladros que, a su vez, corresponden con el espesor de los -- escalones. Se puede observar que los dos taladros superiores -- del indicador H3 son con los que la serie HA y, a su vez, los -- dos superiores de esta serie son con los que se inicia la HB.

Las tolerancias admitidas para los espesores de los escalones y los diámetros de los taladros son los que aparecen en la -- tabla 4.7. La técnica operatoria a seguir cuando se utilice este indicador de calidad de imagen es el siguiente:

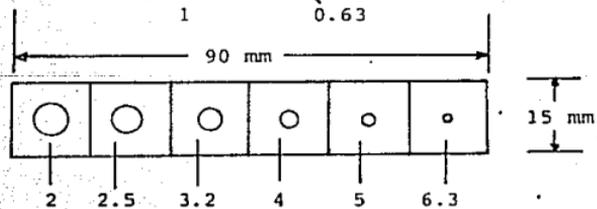
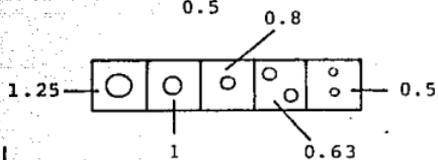
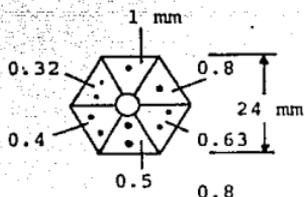
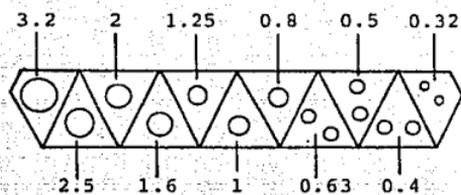


FIGURA 4.5.- INDICADORES A.F.N.O.R.

a).- Posición del indicador.- Su posición sobre la pieza -- debe ser tal, que las imágenes de los taladros sobre la película no cubran los posibles defectos que pueda presentar la parte --- examinada.

b).- Compensación de espesores.- Si el indicador se encuentra en una región de la pieza cuyo espesor es inferior al de la parte a examinar, debe colocarse el indicador sobre una galga -- compensadora cuyo grosor sea igual a la diferencia del espesor. El material con el que se construya esta galga deberá ser del -- mismo de que está formado el indicador. En el caso de las soldaduras cuyo sobreespesor no ha sido eliminado, el indicador se sitúa a lo largo del cordón de la soldadura sobre una galga de - espesor conveniente, igual al sobreespesor medio, con el fin de obtener un índice de visibilidad para la zona del cordón de soldadura y no solamente para el metal base.

c).- Determinación del número de taladros visibles. - En -- cada radiografía en la que aparecerá la imagen del indicador, se determinará por examen visual con ayuda de un negatoscopio apropiado, la densidad de la película y el número de taladros visibles. Para los escalones de pequeño espesor (0.32 a 0.63), en los que hay dos taladros, ambos deben ser visibles simultáneamente - para que la lectura correspondiente al escalón sea válida. Para calcular la sensibilidad del indicador en tanto por ciento, se cuenta el número de taladros visibles; conociendo la progresión de los diámetros se determina el más pequeño que es visible. El valor de la sensibilidad será la relación expresada en tanto por ciento, del diámetro del taladro del espesor radiografiado. Para calcular el índice de visibilidad, es preciso determinar el número de taladros que serían visibles si el límite de visibilidad fuese exactamente el 5% del espesor examinado. Esta valoración se hace tomando como primer taladro aquel cuyo diámetro es igual o inmediatamente superior al valor calculado. Este valor de la - de la sensibilidad de referencia igual a 5% representa aproximadamente, el valor medio de los resultados que se pueden obtener en las más variadas condiciones de trabajo que se presentan en - la práctica.

El índice de visibilidad  $N = a - b$  puede ser, en orden decreciente de calidad, positivo, nulo o negativo.

Ejemplo 1.- Espesor de acero 17 mm  
Indicador de cinco escalones: 0.5-0.63-0.8-1.0-1.25  
Número de taladros visibles:  $a = 4$   
Diámetro correspondiente a la sensibilidad: 5%

$$\frac{17 \times 5}{100} = 0.85 \text{ mm}$$

como este valor queda comprendido entre dos de la serie, se tomará como base el diámetro inmediato superior, o sea, 1.0 mm y, en consecuencia  $b = 2$ .  
El índice de visibilidad será:

$$N = 4 - 2 = 2$$

Ejemplo 2.- Espesor de acero 45.6 mm  
Indicador tipo HB  
Número de taladros visibles:  $a = 6$   
Se ve el taladro 0.8 mm  
Diámetro correspondiente a la sensibilidad 5%: 2.25 mm  
Tomemos como base el diámetro 2.5 mm y, entonces;  
 $b = 1$ , y:

$$N = 6 - 1 = 5$$

El índice de visibilidad permite tener una idea de la sensibilidad radiográfica relativa, gracias a la correspondencia -- aproximada que se da en la tabla 4.8 y 4.9.

La sensibilidad radiográfica relativa viene dada por la expresión:

$$\frac{\Delta t}{t} \times 100$$

en la cual  $t$  representa el espesor radiografiado y el  $\Delta t$  es, por definición, el espesor máximo de un defecto situado normalmente

a la radiación y que da lugar a una diferencia de densidad mínima, perceptible sobre la imagen radiográfica.

Para facilitar el trabajo, cuando se utilice este indicador de calidad de imagen, en la figura 4.10 se dan tabulados los valores de la sensibilidad en tanto por ciento y el índice de visibilidad N para una serie de espesores de acuerdo con el indicador utilizado.

PROGRESION GEOMETRICA I.I.S./I.I.W.

mm.	pulg.	mm.	pulg.
0.10	0.004	1.0	0.040
0.125	0.005	1.25	0.050
0.16	0.0065	1.6	0.065
0.2	0.0080	2.0	0.080
0.25	0.010	2.5	0.1
0.32	0.013	3.2	0.13
0.4	0.016	4.0	0.16
0.5	0.020	5.0	0.20
0.63	0.025	6.3	0.25
0.8	0.032		

Tabla 4.4.- Indicadores recomendados por el I.I.S./I.I.W. para el diámetro de los hilos o el espesor de los escalones en los indicadores de calidad de imagen.

H3		HA		HB		C	
mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg	mm	pulg
0.125	0.0050	0.32	0.013	0.80	0.032	2	0.08
0.16	0.0065	0.40	0.016	1.0	0.040	2.5	0.10
0.20	0.0080	0.50	0.020	1.25	0.050	3.2	0.13
0.25	0.010	0.63	0.025	1.6	0.065	4.0	0.16
0.32	0.013	0.80	0.032	2.0	0.08	5.0	0.20
0.40	0.016	1.0	0.040	2.5	0.10	6.3	0.25

FIGURA 4.6.- IQI DE TALADROS A.F.N.O.R.

Espesor de los escalones igual al $\phi$ taladros en mm.	0.32	0.63	1.25	3.2	6.3	12.5
	0.4	0.8	1.6	4.0	8.0	16
	0.5	1.0	2.0	5.0	10.0	
Tolerancia	+0.015	+0.020	+0.025	+0.030	+0.036	+0.043
	+0.0	+0.0	+0.0	+0.0	+0.0	+0.0

FIGURA 4.7.- TOLERANCIAS ADMITIDAS EN EL MECANISMO DE LOS ESCALONES.

INDICE DE VISIBILIDAD				N - SENSIBILIDAD %			
N	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5
IQI-Hilos	2.5%	2.0%	1.6%	1.25%	1.0%	0.8%	0.63%
IQI-Taladros	3.2%	2.5%	2.0%	1.6%	1.25%	1.0%	0.8%
	6.3%	5.0%	4.0%	3.2%	2.5%	2.0%	1.6%
	8.0%	6.3%	5.0%	4.0%	3.2%	2.5%	2.0%

FIGURA 4.8.- RELACION ENTRE EL INDICE DE VISIBILIDAD Y LA SENSIBILIDAD %.

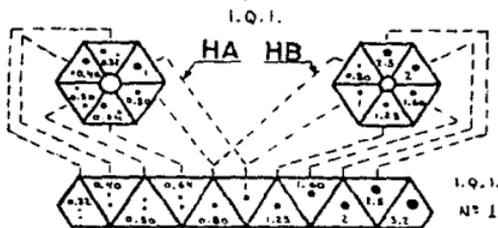
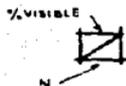
Valores algebraicos de la diferencia a - b	6	5	4	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6
Sensibilidad relativa expresada en % del espesor examinado	1.25	1.6	2	2.5	3.2	4	5	6.3	8	10	12.5	16	20

FIGURA 4.9.- RELACION ENTRE EL INDICE DE VISIBILIDAD Y SENSIBILIDAD AFNOR.

INDICE DE VISIBILIDAD:  $M=a-b$

a = Número de taladros visibles.

b = Número de taladros correspondientes al 5% del espesor rotografiado.



ESPOSOR	I.Q.1.											
	IQI HA	6	5	4	3	2	1	1	2,5	3	2	1
	IQI HB	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
ESPOSOR DEL OBJETO EN MILIMETROS.	10	3,2	4	5	6,4	8	10	12,5	16	20	25	32
	12,5	2,5	3,2	4	5	6,4	8	10	12,5	16	20	25
	16	2	2,5	3,2	4	5	6,4	8	10	12,5	16	20
	20	1,6	2	2,5	3,2	4	5	6,4	8	10	12,5	16
	25	1,2	1,6	2	2,5	3,2	4	5	6,4	8	10	12,5
	32	1	1,2	1,6	2	2,5	3,2	4	5	6,4	8	10
	40	0,8	1	1,2	1,6	2	2,5	3,2	4	5	6,4	8
	50	0,6	0,8	1	1,2	1,6	2	2,5	3,2	4	5	6,4
	60	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,6	2	2,5	3,2	4	5
	80	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,6	2	2,5	3,2	4
	90	0,35	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,6	2	2,5	3,2
	100	0,32	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,6	2	2,5	3,2
	110	0,28	0,36	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,6	2	2,5
	125	0,25	0,32	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,6	2	2,5
	130	0,24	0,3	0,38	0,47	0,57	0,7	0,85	1,05	1,25	1,5	1,8
	140	0,23	0,28	0,36	0,46	0,57	0,7	0,85	1,05	1,25	1,5	1,8
150	0,21	0,26	0,33	0,42	0,53	0,65	0,8	1,0	1,2	1,5	1,8	
160	0,20	0,25	0,32	0,4	0,5	0,6	0,8	1	1,2	1,5	1,8	

FIGURA 4.10.-VALORES DE LA SENSIBILIDAD Y DEL INDICE DE VISIBILIDAD PARA DISTINTOS ESPOSORES UTILIZANDO EL INDICADOR A.F.N.O.R.

b).- Indicador de hilos.

El indicador de hilos, constituido de acuerdo con la norma DIN 54-109-1962, consiste en una serie de hilos cuyos diámetros varían según la progresión geométrica adoptada por el IIW/IIS -- (tabla 4.4) teniéndose tres series de indicadores de siete hilos cada una. Estos hilos van embutidos en un material plástico transparente.

Cada uno de estos indicadores lleva una serie de marcas que aparecen en la radiografía (figura 4.11). Estas marcas son de dos clases:

marcas comunes: DIN-62

ISO

marcas variables; Fe Al Cu

1-7 6-12 10-16

Estas marcas variables se deben a que existen tres clases de indicadores; una para la radiografía de la fundición y los --- distintos tipos de acero (clase Fe), otra para el aluminio y sus aleaciones (clase Al) y una tercera para el cobre y sus aleaciones (clase Cu). Los grupos de cifras 1-7, 6-12 y 10-16, son los números de orden del primero y último de los hilos de cada indicador (tabla 4.12).

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

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

$$D.E. = \frac{\text{Ø del hilo más fino visible en la radiografía}}{\text{espesor del objeto}} \cdot 100$$

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

Una sensibilidad del 1.3% sobre 30 mm significa que es visible el hilo de 0.4 mm de diámetro (número de orden 10). Análogamente, si este mismo hilo es visible sobre 45 mm, la sensibilidad será;

$$D.E. = \frac{0.4 \times 100}{45} = 0.9\%$$

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

El "índice de calidad de imagen" B.Z. (Bildgütezahl) es, -- por el contrario, un valor absoluto independiente del espesor radiografiado. Este índice de calidad es el número de orden del hilo más fino que se ve en la radiografía.

La norma DIN 54-109 clasifica las radiografías, por cuanto a su sensibilidad se refiere, en dos clases o categorías:

categoría 1 = radiografías de alta sensibilidad

categoría 2 = radiografías de sensibilidad normal.

Esta clasificación en categorías se hace de acuerdo con los valores que se dan en la tabla 4.13.

En el ejemplo anterior el "índice de calidad de imagen" en 10, representa una radiografía de categoría 2 si el espesor es de 30 mm, y de categoría 1 para 45 mm de espesor.

Para establecer el "índice de visibilidad" se determina en cada radiografía el número a de hilos visibles y el número b de hilos, cuyo diámetro es igual a  $K\%$  del espesor radiografiado, siendo generalmente  $K=2$ . El índice de calidad viene dado por la expresión:

$$N = a - b.$$

en el cual el valor de N puede ser positivo, negativo o nulo. Este número será tanto mayor cuanto mejor sea la calidad de la imagen.

De acuerdo con esto, podemos calcular el valor del "índice de visibilidad" en los ejemplos anteriores:

Ejemplo NO.1.- Acero, 30mm de espesor, siendo visible el hilo de 0.4 mm del indicador Fe 6-12.

- son visibles 5 hilos (0.4 a 1 mm)  $a=5$
- el 2 % del espesor es 0.6 mm. Este valor se encuentra comprendido entre dos de la serie (0.5 y 0.63), veremos tres hilos (0.63 - 0.8 - 1 mm), entonces:  $b=3$  y, en consecuencia:

$$N = 5 - 3 = 2$$

Ejemplo NO.2.- Acero, 45 mm de espesor, siendo visible el hilo de 0.4 mm del indicador Fe 6-12.

- son visibles 5 hilos, como en el caso anterior,  $a=5$
- el 2 % del espesor es 0.9. Como este valor no corresponde a ninguno de los hilos que hay en el indicador, es preciso considerar el valor inmediato superior, o sea 1 mm. En este caso  $b=1$  y, por tanto

$$N = 5 - 1 = 4$$

Si el diámetro de referencia encontrado para  $b$  no fuera de la serie de hilos del indicador empleado, será preciso prolongar esta serie y contar los hilos que faltan entre el último visible y el diámetro de referencia. En este caso  $N$  puede ser negativo.

Entre el índice de visibilidad y la sensibilidad expresada en tanto por ciento, existe la relación que se da en la tabla 4.8. En esta tabla se puede apreciar que, para un determinado valor de índice de visibilidad, el valor de la sensibilidad en tanto por ciento es del orden de 2 a 3 veces menor que el de taladros.



FIGURA 4.11.- TIPOS DE INDICADORES DIN

IQI DE HILOS DIN 54 109								
Fe 1/7			Fe 6/12			Fe 10/16		
Núm	Ø mm	Ø pulg	Núm	Ø mm	Ø pulg	Núm	Ø mm	Ø pulg
1	3.2	0.13	6	1	0.040	10	0.40	0.016
2	2.5	0.10	7	0.80	0.032	11	0.32	0.012
3	2.0	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	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

TABLA 4.12.- Tipos de indicadores DIN y diámetros de los hilos presentes en cada uno de ellos.

1ª CATEGORIA			2ª CATEGORIA		
ESPOSOR DE LA PIEZA		BZ	ESPOSOR DE LA PIEZA		BZ
SUPERIOR A mm	IGUAL O INFERIOR A mm		SUPERIOR A mm	IGUAL O INFERIOR A mm	
0	6	16	0	6	14
6	8	15	6	8	13
8	10	14	8	10	12
10	16	13	10	16	11
16	25	12	16	25	10
25	32	11	25	32	9
32	40	10	32	40	8
40	50	9	40	60	7
50	80	8	60	80	6
80	200	7	80	150	5
			150	170	4
			170	180	3
			180	190	2
			190	200	1

TABLA 4.13.- Categorías según el índice de calidad de imagen.

c).- Indicadores de escalones B.W.R.A.

El indicador de calidad de imagen de la B.W.R.A. (British - Welding Research Association) está constituido por una placa de metal idéntico al que se va a radiografiar, en la cual se han -- tallado cuatro o cinco escalones de espesor creciente. Las dimensiones de cada escalón son de  $\frac{1}{2}$  x  $\frac{1}{2}$  pulgadas. Cada escalón lleva una cifra de referencia, formada por una serie de taladros (fig. 4.14). Tanto el diámetro de éstos taladros como el espesor de los escalones se indican en la tabla 4.15

Para determinar la sensibilidad con este indicador de la - B.W.R.A. hay que tomar en consideración el escalón más delgado - para el cual la imagen de la cifra de referencia formada por la serie de taladros es visible, aunque puede ocurrir que los taladros no sean perceptibles individualmente.

El valor de la sensibilidad en tanto por ciento se obtiene dividiendo el grueso del escalón por el espesor de la pieza y -- multiplicando el resultado por cien. Así, por ejemplo, si sobre un espesor de 1 pulgada de acero es visible la referencia 2, la sensibilidad será del 2 %.

Para un trabajo normal se exige una sensibilidad del 2%, - sin embargo, para determinados trabajos especiales se pueden exigir valores más pequeños. En ciertos casos, que deben ser claramente especificados, este indicador puede ser empleado como indicador de escalones, sin hacer caso alguno de las cifras de referencia y teniendo únicamente en cuenta el espesor del escalón más fino que sea visible. Esto conduce a una cifra de la sensibilidad más favorable.

Conviene hacer constar que el utilizar dos indicadores, uno de cada lado del objeto , es posible que la lectura no sea la misma, ya que la cifra de referencia es más visible si está formada por taladros de 0.05 pulgadas de diámetro que cuando éste es de 0.025 pulgadas. Esta particularidad conviene hacerla constar en el informe correspondiente.

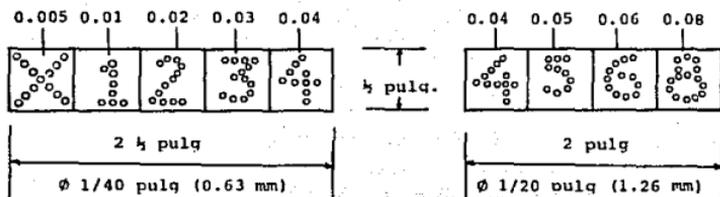


FIGURA 4.14.- INDICADOR DE ESCALONES B.W.R.A.

Tipos	Para acero 0 a 38 mm (0 a 1 pulgada)					Para acero 38 a 75 mm (1 1/2 a 3 pulg)			
	Escalones mm	0.13	0.25	0.51	0.76	1.01	1.01	1.27	1.52
Escalones pulg	0.005	0.01	0.02	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06	0.08
Cifra referencia	X	1	2	3	4	4	5	6	8
Ø de taladros	0.63 mm 0.025 pulgadas					1.26 mm 0.050 pulg			

Tabla 4.15.- Tipos de indicadores B.W.R.A. y dimensiones de sus escalones y taladros.

d).- Indicadores de espesor constante.

Es francamente difícil seleccionar un indicador de espesor constante, ya que existen diversas especificaciones de fabricación, concebidas para problemas diferentes y empleados o recomendados por diversos organismos.

Así, la American Society for Testing Materials (ASTM) recomienda ciertos ICI; las normas editadas por la American Society of Mechanical Engineers (ASME), aconseja otros; el American Petroleum Institute (API) sugiere los suyos, y así algunas otras organizaciones americanas. Además, como son frecuentes los cambios y modificaciones, es fácil para quien no maneje a diario las normas antes mencionadas, que pueda confundirse.

Concentrándonos, únicamente, en aquellos códigos que son más ampliamente usados en los Estados Unidos, podemos dar un resumen de los ICI más importantes.

Para simplificar, haremos dos grandes grupos:

a).- ICI de espesor constante con orificios

b).- ICI de escalerilla.

a).- ICI de espesor contante con orificios.

Consisten en "plaquitas" de espesor constante  $t$  ( $t$ =thickness= espesor). Estas plaquitas van perforadas por taladros cuyo diámetro es múltiplo de dicho  $t$  y se construyen del mismo material al del objeto que se radiografía. En Europa, los ICI existentes son de tres tipos (acero, cobre y aluminio) a los que debe adaptarse cada caso. En Estados Unidos en cambio, se tiende a que el material sea idéntico al del objeto. Así se construyen los ICI de latón, circonio, inconel, titanio, y así de casi todas las aleaciones de uso más o menos común.

Una adición al ASME (Winter 1963 UW 51, técnica para la --- examinación de uniones soldadas), trató de simplificar algo esta multiplicidad de materiales, proponiendo al acero inoxidable, --- tipo 18-8, como idóneo para la construcción de los ICI utilizables

para cualquier aleación férrea.

El espesor de las placas (t) debe ser casi siempre del 2% del espesor del objeto. Así, es preciso disponer de juegos de numerosos ICI para utilizar, en cada caso, el que tenga un espesor adecuado. En cuanto a los taladros, su diámetro y disposición --- permite dividir en tres familias a los ICI de espesor constante:

- i).- ICI 4T, 1T, 2T (ASTM)
- ii).- ICI 4T, 3T, 2T (ASME)
- iii).- ICI 4T, 1T, 2T (API)

- i).- ICI 4T, 1T, 2T (ASTM).

La característica de estos ICI estriba, en que los orificios que llevan taladrados, tienen diámetros de 4, 1 y 2 veces, respectivamente, al espesor de la placa del ICI y van, además dispuestos en el orden citado; es decir, el de menor diámetro queda en medio (figura 4.16). Los espesores del ICI y del objeto especificado se muestran en la tabla 4.17.

La identificación, hecha de plomo, representa en enteros el valor del espesor de la pieza que se radiografía para un nivel de calidad tal como 2-1T y van pegadas sobre la placa del ICI. Para espesores que requieran el empleo de un ICI de un grosor igual o superior a 0.180", existe otro formato en forma de pastilla (fig. 4.18) con sólo dos barrenos de diámetro 1T y 2T respectivamente. En estos ICI, el incremento de espesor entre dos consecutivos es de 0.020".

Para la interpretación de los resultados, utilizando estos tipos de penetrómetros, hay que tener presente lo siguiente:

- a).- Salvo que se indique expresamente lo contrario, se considera como aceptable, una calidad radiográfica que corresponda a una sensibilidad de ICI del 2%.
- b).- No se exige la visibilidad en la imagen de los tres orificios del ICI, dependiendo de la exigencia de las condiciones impuestas a la obra o trabajo controlado. Así, la especificación,

en cada caso concreto, podrá exigir la visibilidad de 1, 2 ó 3 orificios.

- c).- Se consideran niveles "ordinarios" de calidad, los mostrados en la tabla 4.19.

En el nivel 2-1T, deberá resultar visible el orificio 1T del ICI que tenga un espesor del 2% (1/50) del espesor del objeto. En el nivel 2-2T, deberá ser visible, en las mismas condiciones, el orificio 2T.

En el nivel 2-4T, deberá ser visible el taladro 4T.

Si no se dice nada en contra, la calidad debe corresponder al nivel 2T. Esto quiere decir que el orificio más pequeño (1T) podrá no ser visible en la imagen. Esto representa el 2% de sensibilidad radiográfica.

- d).- Se consideran niveles "especiales" de calidad a los mostrados en la tabla 4.20.

En el nivel 1-1T, deberá resultar visible el orificio 1T en un ICI que tenga un espesor del 1% del objeto.

En el nivel 1-2T deberá verse el orificio 2T en las mismas condiciones.

En el nivel 4-2T, deberá ser visible el orificio 2T en un ICI cuyo espesor sea 1/25 (4%) del espesor del objeto.

ii).- ICI 4T, 3T, 2T (ASME).

La característica de éstos ICI estriba en que el diámetro de los barrenos es, respectivamente de 4, 3 y 2 veces el espesor del ICI y que van dispuestos, precisamente, en ese orden (figura 4.21). Por lo demás, es válido casi todo lo dicho en relación con los del tipo ASTM, las excepciones dignas de tener en cuenta son:

- a).- Los ICI más delgados (números 5, 7 y 10) tienen, además de la cifra de identificación y de los barrenos, una ranura longitudinal de 1" de longitud y 0.010" de separación entre sus bordes.
- b).- A la hora de evaluar calidades de imagen con los ICI, es preciso que los tres orificios del ICI sean visibles en dicha imagen. Asimismo, en los ICI ranurados la imagen de la ranura debe, también ser perfectamente visible.

c).- Los ICI, pueden adaptarse al tipo ASTM, taladrándoles un barrenamiento suplementario de diámetro 1T entre los de 2T y 3T, --- prescindiendo entonces del diámetro 3T a la hora de evaluar. Esta modificación sólo es posible a partir del 2% previsto para espesores de 15/8" (47 mm), ya que el diámetro del orificio 2T es 1/16" (1.6 mm). La tabla 4.16 muestra la selección de estos ICI.

iii).- ICI 4T, 2T (API).

La característica de estos ICI, parecidos al ASTM estriba en que ningún orificio debe ser menor de 1/16" (1.59 mm) en diámetro (figura 4.22).

Aunque el nivel usual de calidad de imagen corresponde a una sensibilidad de detección del 2%, algunas especificaciones (API 5L, API 5LX por ejemplo) admiten, para ciertos casos, una sensibilidad del 4%. En este caso, el orificio 2T es igual a un 8% del grosor del objeto. Es evidente que el ICI que reúne estas condiciones, es aquel que debería emplearse con una pieza de doble espesor, para cuya radiografía se exigiese una calidad que correspondiese a una sensibilidad de detección del 2%. La tabla 4.23 muestra la selección de este ICI.

b).- ICI de escalera.

Estos ICI corresponden principalmente, a las especificaciones del "United States Bureau of Ships" designándose, también "API-ASME stepped type". Este ICI (figura 4.24) está construido por una placa de metal idéntico al material a radiografiar, presentando cinco escalones cuadrados de 1" de lado, cuyos espesores son los siguientes:

para aceros hasta de 2 pulgadas (50 mm) de espesor:						
0.005	0.01	0.02	0.03	0.04	pulgadas	
0.13	0.25	0.51	0.76	1.01	mm	

para aceros comprendidos entre 2 y 4 pulg. (50 a 100 mm) de espesor

0.04	0.05	0.06	0.07	0.09	pulgadas
1.01	1.27	1.52	1.78	2.29	mm

Cada escalón lleva un taladro de 3/16 de pulgada (4.8 mm) de diámetro. La sensibilidad es considerada como el 2% si es visible el espesor correspondiente del indicador, sin tener en cuenta la imagen del taladro.

El valor de la sensibilidad del 2% obtenida con este indicador no tiene ninguna relación con el mismo valor nominal obtenido con los indicadores de espesor constante.

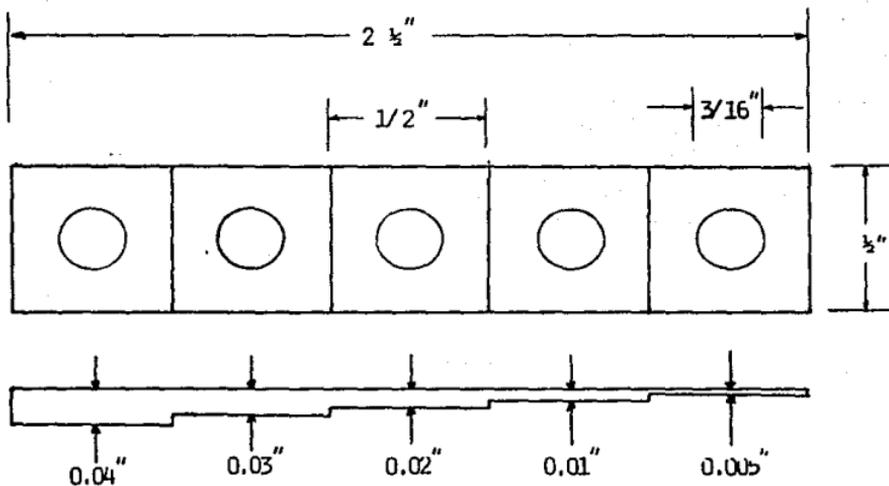


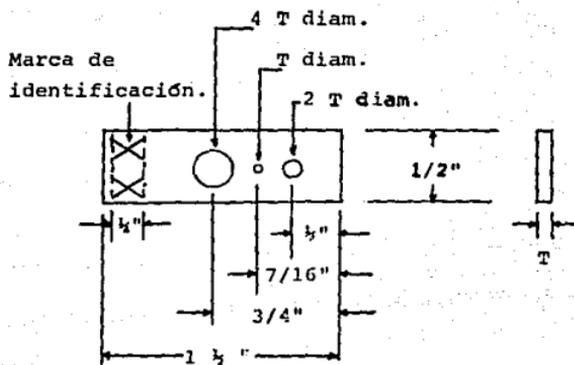
FIGURA 4.24.- ICI de Escalerilla.

**ESPESOR DE MATERIAL, DESIGNACION DE PENETROMETRO Y AGUJEROS ESCENCIALES**

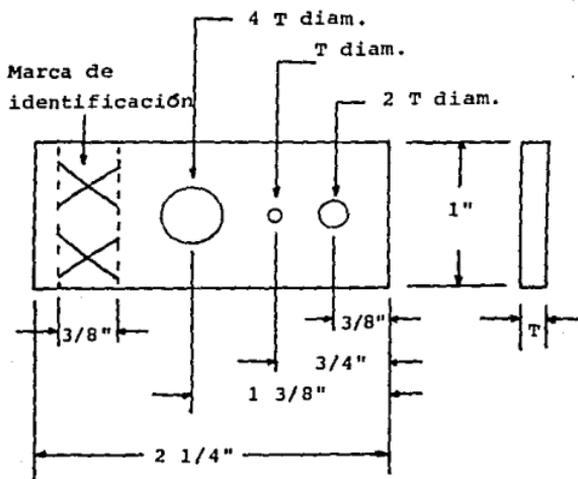
**PENETROMETRO**

RANGO NOMINAL PARED SENCILLA PULGADAS	LADO DE LA FUENTE		LADO DE LA PELICULA	
	AGUJERO DEL ALAMBRE DESIGNACION ESCENCIAL	DIAMETRO DEL ALAMBRE IN.	AGUJERO DEL ALAMBRE DESIGNACION ESCENCIAL	DIAMETRO DEL ALAMBRE IN.
Hasta 0.25, inclusive	12	2T	10	2T
De 0.25 hasta 0.375	15	2T	12	2T
De 0.375 hasta 0.50	17	2T	15	2T
De 0.50 hasta 0.75	20	2T	17	2T
De 0.75 hasta 1.00	25	2T	20	2T
De 1.00 hasta 1.50	30	2T	25	2T
De 1.50 hasta 2.00	35	2T	30	2T
De 2.00 hasta 2.50	40	2T	35	2T
De 2.50 hasta 4.00	50	2T	40	2T
De 4.00 hasta 6.00	60	2T	50	2T
De 6.00 hasta 8.00	80	2T	60	2T
De 8.00 hasta 10.00	100	2T	80	2T
De 10.00 hasta 12.00	120	2T	100	2T
De 12.00 hasta 16.00	160	2T	120	2T
De 16.00 hasta 20.00	200	2T	160	2T

TABLA 4.17.- SELECCION DEL ICI ASME



Indicadores de 0.005 a 0.050 pulg. de espesor.



Indicadores de 0.06 a 0.160 pulg. de espesor.

FIGURA 4.10.- ICI ASME

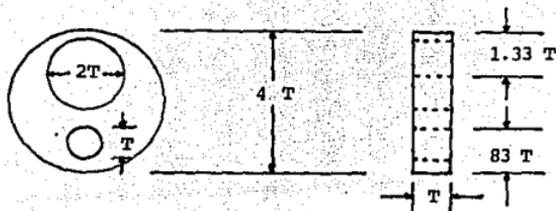


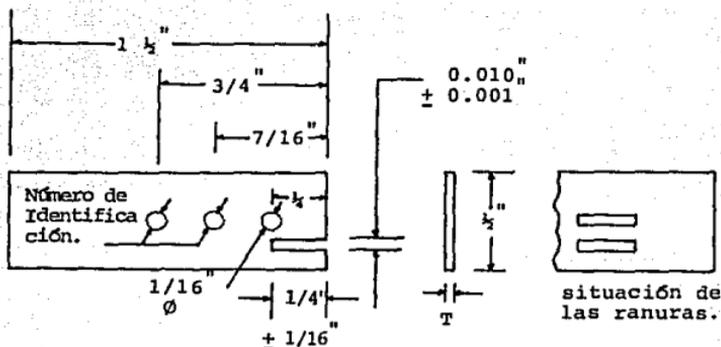
FIGURA 4.18.- ICI de Pastilla.

NIVEL DE CALIDAD	GROSOR DEL ICI	Ø DEL MENOR ORIFICIO ACEPTABLE.	SENSIBILIDAD %
2 - 1 T	1/50	1 T	1.4
2 - 2 T	(2% del grosor de la muestra)	2 T	2.0
2 - 4 T		4 T	2.8

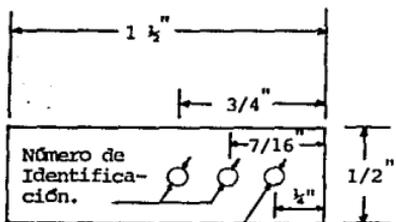
FIGURA 4.19.- Niveles Ordinarios de Calidad.

NIVEL DE CALIDAD	GROSOR DEL ICI	Ø DEL MENOR ORIFICIO ACEPTABLE.	SENSIBILIDAD %
1 - 1 T	1/100	1 T	0.7
1 - 2 T	(1% del grosor del objeto)	2 T	1
4 - 2 T	1/25 (4% del grosor del objeto)	2 T	4

FIGURA 4.20.- Niveles Especiales de Calidad.



Indicadores 5, 7 y 10



Tolerancias:

Longitud y anchura  $\pm 1/64$  pulg

Espesor nominal  $\pm 10\%$

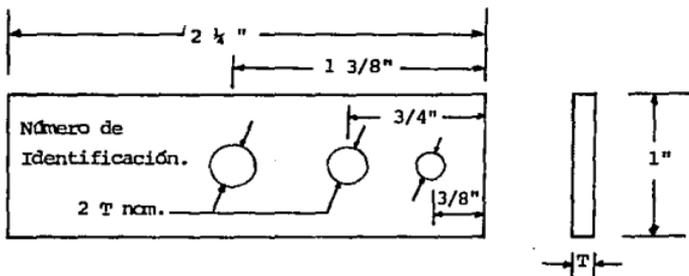
Diámetro de los taladros  $\pm 10\%$

Situación del taladro  $\pm 1/64$  pulg

Taladro para iniciar la ranura si es empleado máx. 0.05 pulg

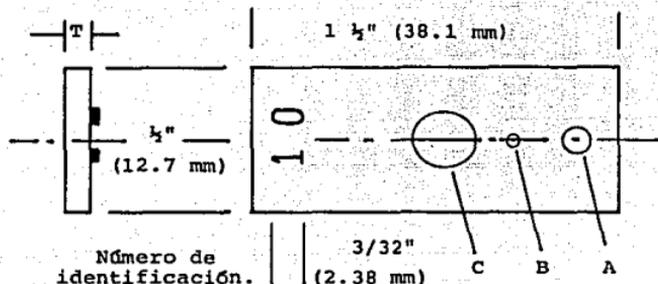
2 T nom. pero no inferior a 1/16"

Indicadores 12 - 50 (inclusive)



Indicadores 60 - 200 (inclusive)

FIGURA 4.21.- ICI ASME 4T, 3T, 2T.



T = Espesor del penetrómetro  
 Diámetro A = 2T  
 Diámetro B = 1T  
 Diámetro C = 4T

EL BARRENO MAS PEQUEÑO NO DEBERA SER MENOR QUE 1/16" Ø  
 LOS BARRENOS DEBERAN SER PERFORADOS PERPENDICULAR A LA SUP.  
 LOS BARRENOS DEBERAN ESTAR LIBRES DE REBABAS Y NO SERAN  
 ACHAFLANADOS.

FIGURA 4.22.- ICI API

Pared de la tubería o espesor soldado pulg. (mm)	Máximo espesor del penetrómetro pulg. (mm)	Núm. de identif.
Hasta 1/4" incl. (6.35)	0.005 (0.127)	5
Arriba de 1/4" hasta 3/8" (6.35-9.52)	0.0075 (0.19)	7
Arriba de 3/8" hasta 1/2" (9.52-12.70)	0.010 (0.254)	10
Arriba de 1/2" hasta 5/8" (12.70-15.88)	0.0125 (0.305)	12
Arriba de 5/8" hasta 3/4" (15.88-19.05)	0.015 (0.381)	15
Arriba de 3/4" hasta 7/8" (19.05-22.22)	0.0175 (0.444)	17
Arriba de 7/8" hasta 1" (22.22-25.4)	0.020 (0.508)	20
Arriba de 1" hasta 1 1/4" (25.4-31.75)	0.025 (0.635)	25
Arriba de 1 1/4" hasta 1 1/2" (31.75-38.10)	0.030 (0.762)	30
Arriba de 1 1/2" hasta 2" (38.10-50.8)	0.035 (0.889)	35

TABLA 4.23.- SELECCION DEL ICI API

#### 4.5.- Radiación difusa.

Cuando un haz de rayos X o Gamma atraviesa un objeto, una parte de la radiación es difundida en todos los sentidos por los átomos que constituyen el objeto. La radiación difusa produce un velo uniforme, disminuyendo el contraste de la imagen y por lo tanto su nitidez (figura 4.25). La intensidad de la radiación difusa aumenta con el grosor del objeto a examinar. Debido a que la radiación primaria es fuertemente absorbida por los objetos metálicos de cierto grosor, la mayoría de la radiación emergente será en este caso, una radiación difusa.

Debe tenerse en cuenta que todos los objetos situados en las cercanías del objeto examinado (mesas, paredes, pisos etc.) y alcanzados por los rayos X o Gamma, refejan parcialmente estos rayos en forma de una radiación difusa, que velará la película. La radiación difundida por los objetos circundantes puede ser importante con respecto a la radiación transmitida por el objeto examinado.

La radiación difusa es menos penetrante que la radiación primaria de la que deriva. Los rayos difusos, más blandos, pueden ser interceptados por medio de un filtro metálico antes de que alcancen la película radiográfica. Los rayos difusos procedentes de objetos situados detrás de la película pueden ser interceptados por medio de una hoja de plomo. Es de observar que la cara dorsal del chasis deberá tener esta hoja de plomo.

El velo debido a la radiación difusa que llega a la película puede ser a su vez disminuido:

- a).- Reduciendo al mínimo la sección del haz de rayos X o Gamma. Para ello se emplean diafragmas o focalizadores, colocados en el punto de emisión. De esta manera se evita en lo posible que la radiación primaria no alcance ningún otro objeto más que el que deba radiografiarse.
- b).- Empleando máscaras, consistentes generalmente en planchas de plomo que envuelven el objeto a radiografiar.

#### 4.6.- Ley del inverso de los cuadrados de la distancia.

Cuando la emisión de la radiación X o Gamma, es constante, la intensidad de la radiación que llega al objeto viene determinada por la distancia, ya que, como sucede con las fuentes de otro tipo de energía, el flujo de la misma o la intensidad total que pasa a través de toda la superficie cerrada que envuelve a la fuente emisora es constante. Por lo tanto, la intensidad de la radiación que atraviesa un elemento de superficie es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre el objeto y el foco emisor (figura 4.26).

Este principio se puede expresar matemáticamente de la siguiente forma:

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

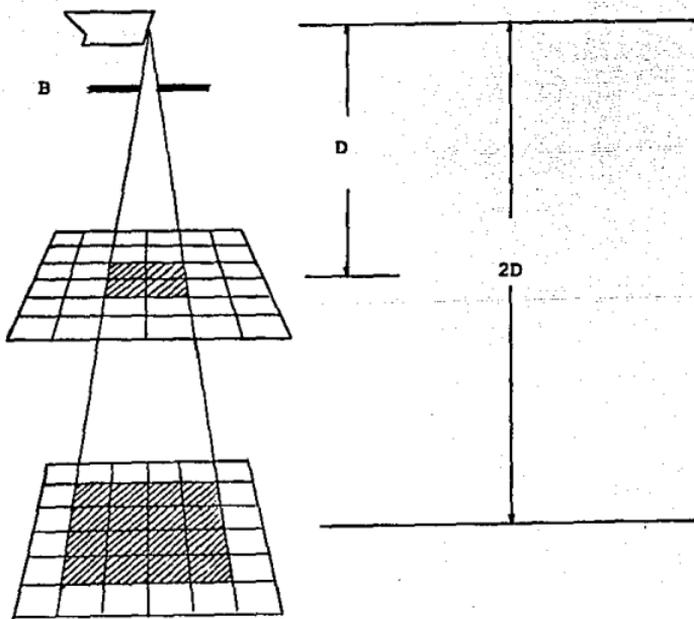


FIGURA 4.26.- Representación esquemática de la ley de la ley del inverso del cuadrado de la dist.

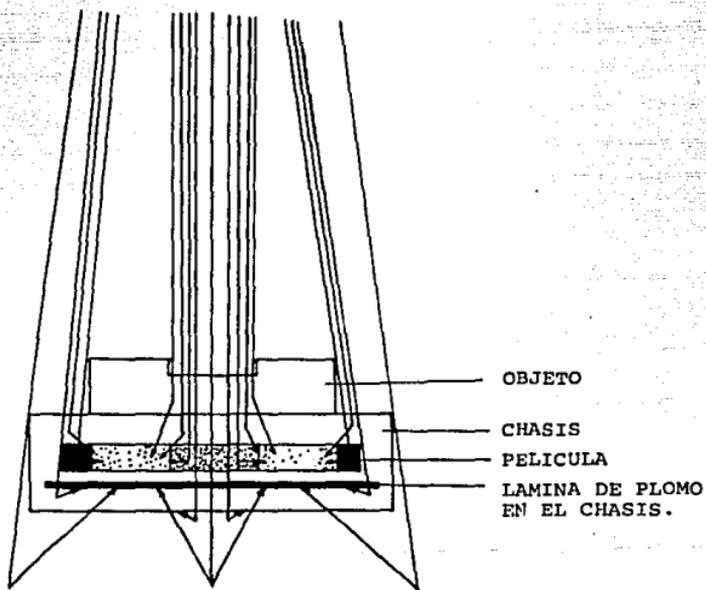


FIGURA 4.24.- Formación de la radiación difusa.

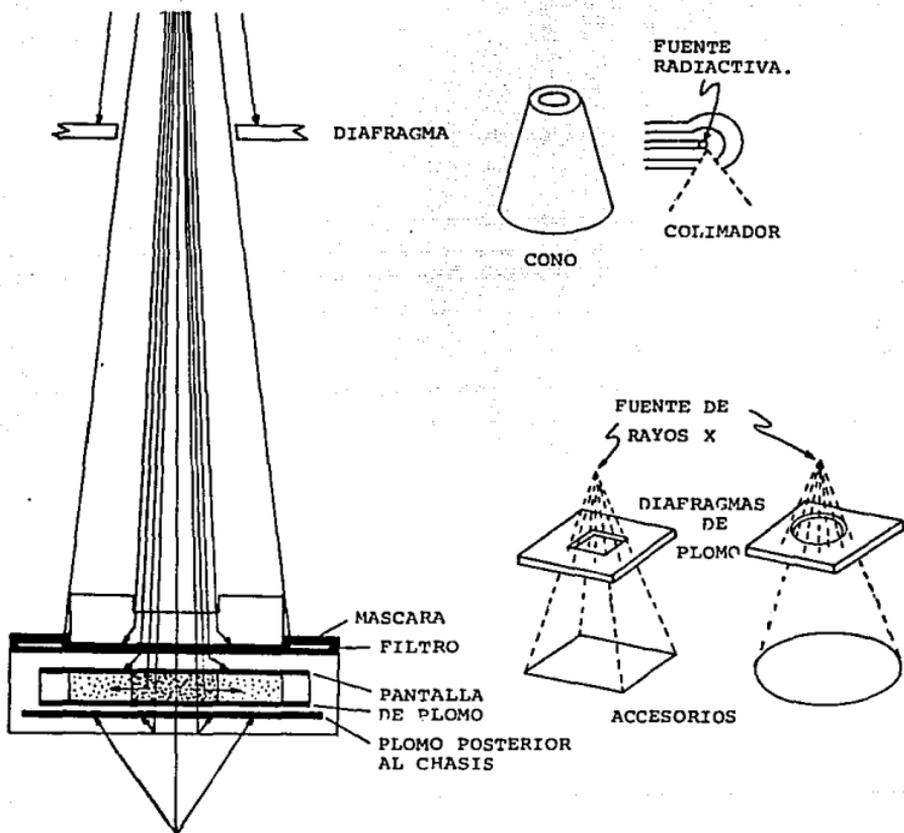


FIGURA 4.25.- ELIMINACION DE LA RADIACION DIFUSA.

## CAPITULO No. 5.- TECNICAS RADIOGRAFICAS.

### 5.1.- Generalidades.

Es muy importante que el técnico conozca la manera más idónea de tomar una radiografía para obtener la máxima calidad radiográfica de la pieza inspeccionada.

Algunas de las consideraciones a tomar en cuenta son:

- El arreglo apropiado para obtener la mejor definición posible.
- El arreglo que de el más corto tiempo de exposición.
- La geometría de la pieza, y el acceso a esta.

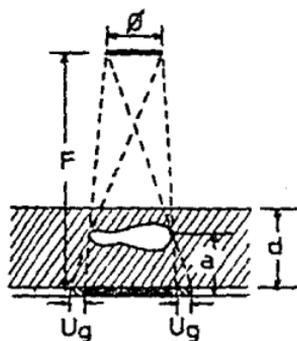
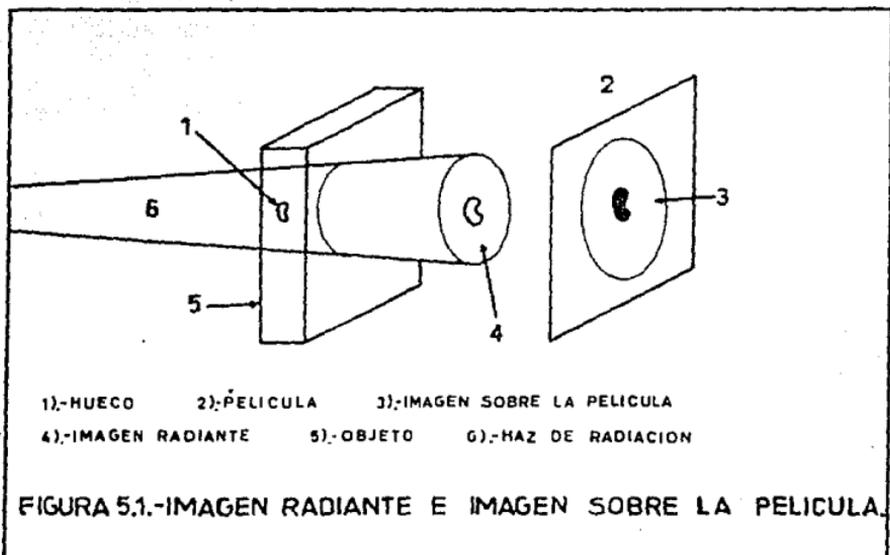
### 5.2.- Penumbra Geométrica.

La preparación de una toma radiográfica es relativamente simple, basta con disponer de tres elementos como son:

- Una fuente de radiación,
- un objeto a radiografiar,
- y un material sensible.

El orden en que deben disponerse, es precisamente ese, o sea: el objeto debe quedar interpuesto entre la fuente y el material sensible. Así, su contorno y las particularidades externas o internas de su configuración geométrica, se proyectarán sobre la película según una perspectiva cónica (figura 5.1).

Las partes en que el material del objeto sea más grueso o más denso, absorberán mayor proporción del flujo de la radiación que aquellas en que sea más fino o más ligero. De este modo, al incidir sobre el material sensible (película) el haz que ha atravesado el objeto, se proyectará sobre ella una imagen potencial de dicho objeto, invisible para el ojo humano. Si esta imagen potencial se mantiene fija, durante un tiempo adecuado sobre la película, acabará induciendo en ella una imagen "latente" susceptible de ser transformada, por un proceso químico adecuado, en una imagen real observable que conocemos como radiografía del objeto.



$\phi$  = DIAMETRO DEL FOCO.       $F$  = DISTANCIA FOCO-PELICULA.       $d$  = ESPESOR DEL OBJETO.  
 $a$  = DISTANCIA DEFECTO-PELICULA.       $U_g$  = PENUMBRA GEOMETRICA

FIGURA 5.2.-PENUMBRA GEOMETRICA.

Una analogía ayudará a comprender esto: sustituimos la -- fuente por una bombilla de una linterna de no mucha potencia, y el objeto por un trozo de ámbar, en cuyo centro se encuentra un insecto fósil. Si iluminamos el objeto con la luz de la bombilla en una habitación oscura e interceptamos la luz que atraviesa el ámbar, mediante una cartulina blanca, se proyectará sobre ésta su silueta, así como una sombra arrojada por el insecto. Esta -- imagen proyectada equivale a lo que hemos llamado "imagen potencial". Si se desea un registro gráfico de la imagen proyectada, bastará con sustituir la cartulina blanca por un trozo de película o papel fotográfico poco sensible.

Como puede verse, la formación de las imágenes radiográficas se rige por las leyes de la perspectiva cónica, lo que debe tenerse en cuenta a la hora de la interpretación.

En efecto, frecuentemente, las imágenes aparecen deformadas proyectivamente, no siendo raro que en lo que en la radiografía es una elipse o un ángulo obtuso, corresponda en el objeto a un círculo o a un ángulo agudo. De un modo especial, si se trata de medir dimensiones reales, hay que tener en cuenta que la imagen es siempre una proyección cónica de la realidad tridimensional sobre el plano de la película.

Otro aspecto que conviene no olvidar, es que la fuente de radiación, tiene siempre una dimensión discreta. Esto lleva consigo la formación de una penumbra en los bordes de la imagen, -- con la consiguiente falta de definición en la misma.

El valor de esta borrosidad o penumbra geométrica ( $U_g$ ) --- viene dado por la siguiente relación:

$$U_g = \frac{\varnothing \times a}{F - a}$$

en la cual (figura 5.2):

$\varnothing$  = diámetro del foco

F = distancia foco-película

a = distancia defecto-película.

El valor máximo de  $U_g$  relativo a un defecto situado a la distancia máxima de la película (en la cual  $a=d$ ) se calcula por la siguiente fórmula:

$$U_g(\text{max}) = \frac{\phi \times d}{F - d}$$

en donde  $d$  = espesor del material.

Por consiguiente, eligiendo la mayor distancia posible foco-película, se hace que la borrosidad geométrica sea lo más pequeña posible. Sin embargo, con el fin de evitar tiempos de exposición muy largos, no se colocará la fuente de rayos X o  $\delta$  a más de un metro del objeto. En efecto, el tiempo de exposición aumenta con el cuadrado de la distancia, como se vió en el capítulo anterior.

La figura 5.3 nos muestra además que la penumbra geométrica se hace más importante a medida que aumenta la distancia entre el objeto y la película. En la práctica se procura que esta distancia sea lo la pequeña posible.

La radiación, al penetrar en una emulsión fotográfica, --- arranca electrones de ella. Estos se dirigen en todas direcciones. Los granos de halogenuros de plata tocados por estos electrones se hacen revelables. De ello resulta que, al -evelar una película expuesta a la radiación, se forman granos de plata no solamente en los lugares en que la película ha sido insolada, -- sino también, aunque en menor proporción, en una zona situada -- alrededor de las partes insoladas. Esta zona se denomina "borrosidad interna" ( $U_i$ ). Su anchura viene definida por la distancia recorrida dentro de la emulsión por los electrones liberados es por lo tanto función de la energía de la radiación. En ausencia de la borrosidad geométrica ( $U_g$ ), la borrosidad interna se manifiesta en la película de la radiografía del borde de una lámina (de acero, por ejemplo), por una zona de transición gradual entre las dos densidades (a) y (b). La densidad (a) es la que corresponde a la parte de la película que se halla debajo de la lámina siendo (b) la que corresponde a las partes de película expuesta

a la radiación. Sin la borrosidad interna esta transición gradual no existiría; la película presentaría una delimitación perfectamente nítida entre ambas zonas. La anchura de esta zona de --- transición, expresada en mm, es la medida de la borrosidad interna (figura 5.4).

Además, hay que tener en cuenta que, en ocasiones, un movimiento vibratorio que afecte a la fuente, a la película y/o al objeto añade un nuevo elemento de "borrosidad" a los contornos de la imagen. Si designamos como  $U$  a la suma de estos efectos, se define como penumbra total o efectiva al valor:

$$U_t = \sqrt{\sum U^2} = \sqrt{U_1^2 + U_2^2 + U_3^2}$$

siendo  $U_1$ ,  $U_2$  y  $U_3$  los valores de la penumbra debida a efecto geométrico, la inherente a la película y la originada por otras causas, respectivamente.

### 5.3.- Factores geométricos de exposición.

Con el fin de evitar en lo posible los fenómenos de distorsión, es importante considerar los siguientes cinco factores geométricos:

- a).- La distancia de la fuente a la película.
- b).- El tamaño del punto focal.
- c).- La distancia entre la película y el objeto a radiografiar.
- d).- La perpendicularidad del haz de radiación.
- e).- La colocación de la película.

Estos factores se muestran en las figuras 5.5.

#### a).- Distancia fuente-película.

Cuando la distancia entre el objeto y el foco de emisión de rayos X o  $\gamma$  es pequeña, los detalles de estructura y de los defectos del objeto quedan amplificados sobre la película. La amplificación será variable con las distancias. Para una misma distancia objeto-película, las dimensiones de la reproducción de los detalles del objeto examinado se acercan a sus dimensiones reales a medida que aumenta la distancia del foco a la película (figura 5.6).

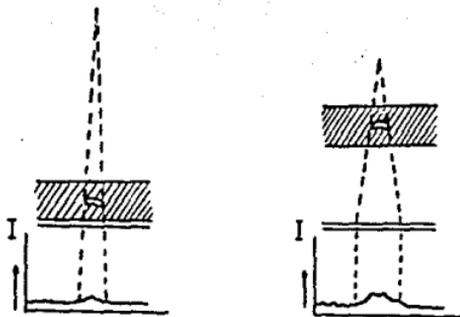


FIGURA 5.3.-INCREMENTO DE LA PENUMBRA GEOMETRICA EN FUNSION DE LA DISTANCIA.

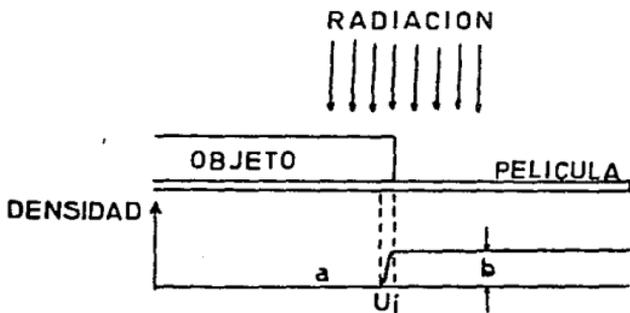


FIGURA 5.4. - PENUMBRA INTERNA.

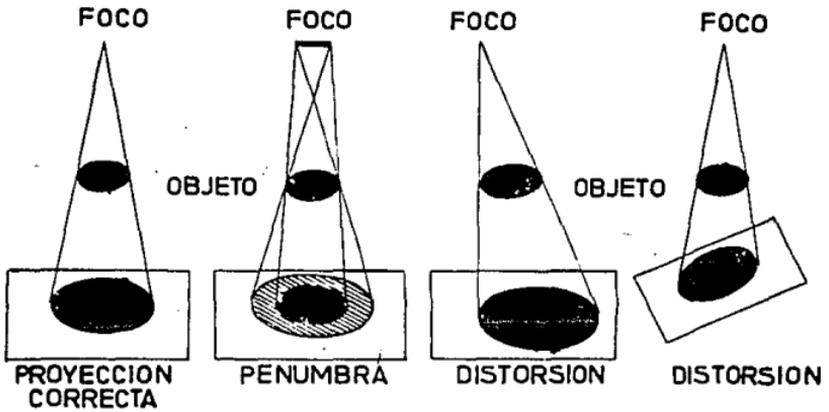


FIGURA 5.5.- PRINCIPIOS GEOMETRICOS.

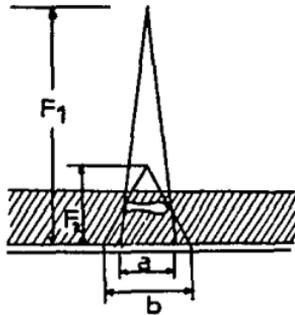


FIGURA 5.6.-DISTANCIA FUENTE PELICULA

b).- Tamaño del punto focal.

El tamaño del punto focal es de primordial importancia para el detalle radiográfico. En términos generales, el detalle de la imagen disminuye en la medida en que aumenta el tamaño del punto focal; la pérdida del detalle da como consecuencia la penumbra geométrica  $U_g$ .

Como puede observarse en la figura 5.7, la zona sombreada aparece debido a que el punto focal del ánodo no es una fuente puntiforme; en esencia consta de muchas fuentes puntiformes, cada una de ellas proyecta en la película su propia imagen del objeto. La figura A ilustra el uso de un punto focal grande y su resultante zona sombreada; la figura B muestra un punto focal pequeño y una reducida zona sombreada.

Para mayor claridad, el punto focal que se ilustra en la figura 5.8 consta de las fuentes puntiformes A, B y C. Cuando sus respectivos haces viajan en línea recta desde el punto focal real del ánodo, no llegan a la película en el mismo sitio sino que se traslapan, ocasionando que en la imagen, los bordes del objeto resulten indefinidos.

c).- Distancia película-objeto.

Hay otro factor que afecta al detalle: la distancia película-objeto, y es la que existe entre la película y el objeto radiografiado, como produce zonas con penumbra, y/o amplificación del objeto, afecta directamente al detalle.

En la figura 5.9 B, al emitirse desde el ánodo el haz de radiación, normalmente se produce en la película una ligera amplificación del objeto real; en la figura 5.9 A se ha aumentado la distancia película-objeto, lo cual produce una amplificación mucho mayor del objeto y un incremento de penumbra.

La distancia película-objeto y el tamaño del punto focal tienen mucha relación. La figura 5.10C representa una distancia

larga objeto-película, con su consecuente alto nivel de penumbra y de amplificación; nótese que la distancia foco- película es -- relativamente corta, mientras que el punto focal es grande. En la figura 5.10 D se representa la misma distancia larga objeto-- película, pero en cambio el punto focal es pequeño y la distancia foco-película es larga; en este caso se ha reducido notablemente la penumbra.

En la práctica se procura que esta distancia sea lo más -- pequeña posible. Se orientará el objeto de tal manera que el supuesto defecto esté lo más cerca posible de la película.

d).- Perpendicularidad del haz de radiación.

Otra consideración acerca de la distorsión y amplificación de la image- radiográfica se refiere al resultado que puede obtenerse si el objeto no se coloca directamente debajo del punto focal; es decir, si el rayo central no atraviesa el centro del - objeto (figura 5.11).

En la ilustración podemos observar que cuando el objeto se mueve hacia la derecha (A, B, C), es decir, cuando se aleja del ánodo, pero se mantiene paralelo a la película, la imagen se va distorcionando, conforme se incrementa la distancia.

e),- Colocación de la película.

La imagen del objeto en la película radiográfica puede --- distorcionarse, si el plano del objeto y el plano de la película no son paralelos (figura 5.12).

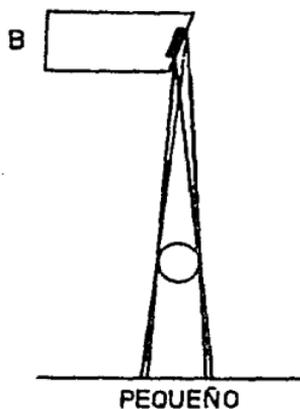
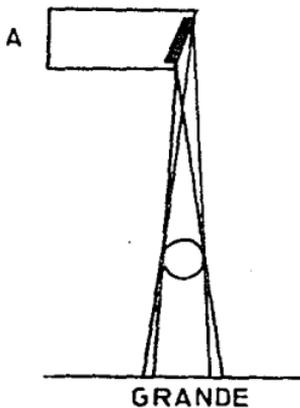


FIGURA 5.7.-TAMAÑOS DE PUNTO FOCAL.

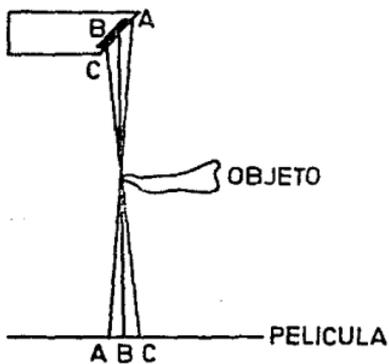


FIGURA 5.8.-PUNTO FOCAL

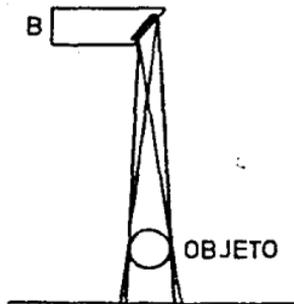
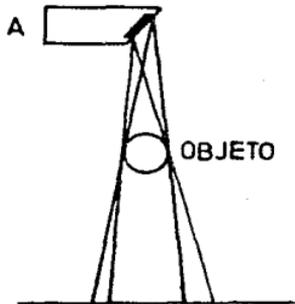


FIGURA 5.9.-DISTANCIA PELICULA OBJETO.

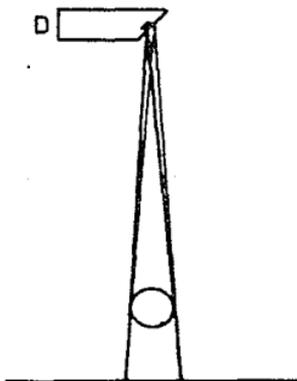
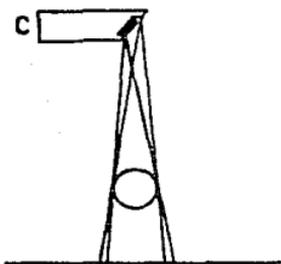


FIGURA 5.10.-DISTANCIA PELICULA OBJETO.

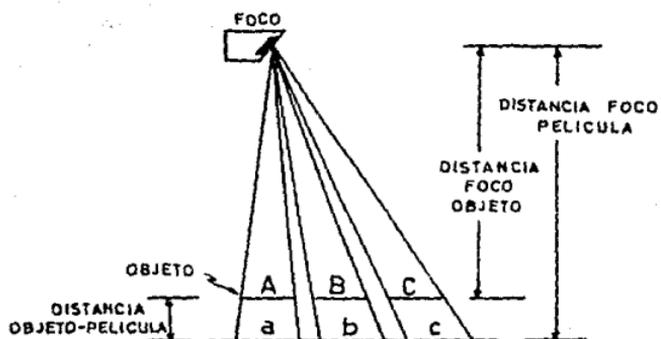


FIGURA 5.11.-PERPENDICULARIDAD DEL HAZ DE RADIACION

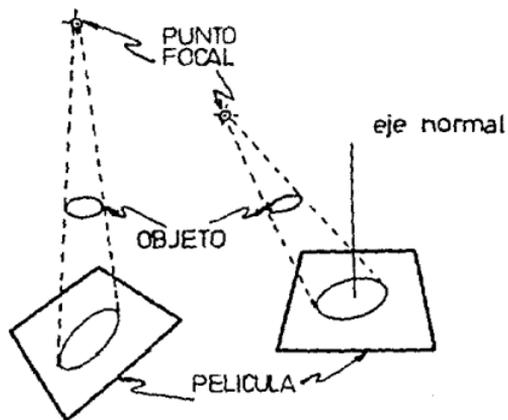


FIGURA 5.12.-COLOCACION DE LA PELICULA.

#### 5.4.- Técnica en tuberías.

Los problemas que se presentan en estos tipos de uniones - están en función de su diámetro, lo cual origina a tres diferentes circunstancias:

- De que la película y la fuente, indistintamente, puedan introducirse en el interior de la tubería,
- de que sólo pueda introducirse la fuente en el interior de la tubería,
- y de que no puedan introducirse ni la fuente ni la película.

De aquí, que podamos elegir las siguientes técnicas:

- A).- Película interior y fuente exterior.
- B).- Película exterior y fuente interior.
- C).- Película exterior y fuente exterior.

A).- Película interior y fuente exterior.

En esta técnica (figura 5.13) se coloca la película en la parte cóncava del cordón de soldadura, procurando que se adapte bien a la superficie (íntimo contacto). Es recomendable proteger la parte posterior de la película con una hoja de plomo, para -- evitar la radiación difusa existente en el interior del tubo. En estos casos, la película se puede fijar con comodidad acuñando - un puntal diametral de madera u otros tipos de accesorios especiales. Como puede observarse, el problema de las variaciones -- del espesor del material y de la distancia, a medida que los rayos se separan de la línea PF es de bastante consideración, ya - que no se cumple con uno de los factores geométricos de la exposición (perpendicularidad del haz de radiación).

La fórmula que relaciona la longitud útil (L) de la imagen con el radio de la tubería (r) y la distancia foco-película (d), suponiendo el espesor de la pared no muy grueso, es la siguiente:

$$L = 0.034 r \left[ \alpha - \arcsin \left( \frac{r}{r+d} \sin \alpha \right) \right]$$

en donde  $\alpha$  es el ángulo abarcado por la película.

Si expresamos como  $a_r$  la relación entre el espesor ( $a_g$ ) -- del material atravesado por la radiación en un extremo de la --- imagen y la del valor nominal de la pared ( $a_f$ ), tendremos:

$$a_r = \frac{a_g}{a_f} \cdot l$$

en tal caso:

$$\frac{1}{a_r} \text{ sen } \alpha$$

De acuerdo con la fórmula anterior y para valores de  $a_r = 1.06$  y  $a_r = 1.10$  respectivamente, se han elaborado las tablas 5.14 y 5.15. Dichos valores corresponden a incrementos de espesor entre el borde y el centro de la imagen, del 6% y del 10% respectivamente.

Como es obvio, empleando esta técnica, si se desea radiografiar completo el cordón de soldadura, son necesarias varias exposiciones, de acuerdo con las longitudes deducidas de las tablas ya mencionadas.

#### B).- Película exterior y fuente interior.

Este método, como puede observarse en la figura 5.16 admite dos variantes:

B.1.- Variante panorámica.- En la que la fuente se sitúa en el centro de la tubería y la película fuera de esta. Así se obtiene, de una sola exposición, la imagen de todo el cordón de soldadura. El inconveniente principal de este arreglo radica en la dificultad de centrar satisfactoriamente la fuente. Este método deja de ser aplicable en el caso de tubos de diámetro pequeño y de pared muy gruesa, por ser muy intensa la difusión y el efecto de la penumbra. En algunas ocasiones en que el interior de la tubería no es accesible, se puede hacer un orificio junto al cordón, por el cual se pueda introducir la fuente hasta el centro de la tubería. Posteriormente, este orificio puede taparse con una pieza adecuada que se suelde al tubo. Actualmente se está extendiendo el empleo de sistemas automáticos, con mando a distancia, que desplazan la fuente por el interior del tubo. Esta técnica se emplea generalmente en la inspección de oleoductos.

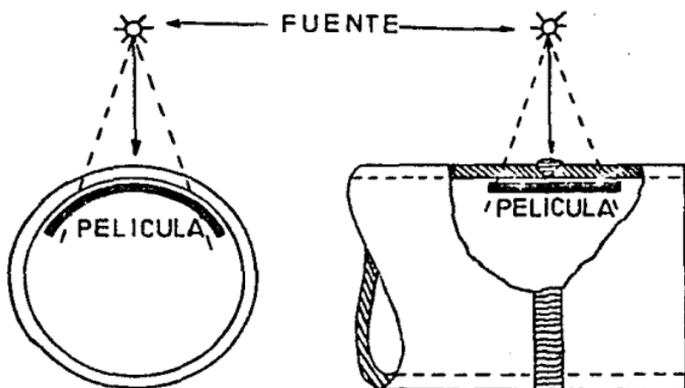


FIGURA 5.13.-PELICULA INTERIOR Y FUENTE EXTERIOR.

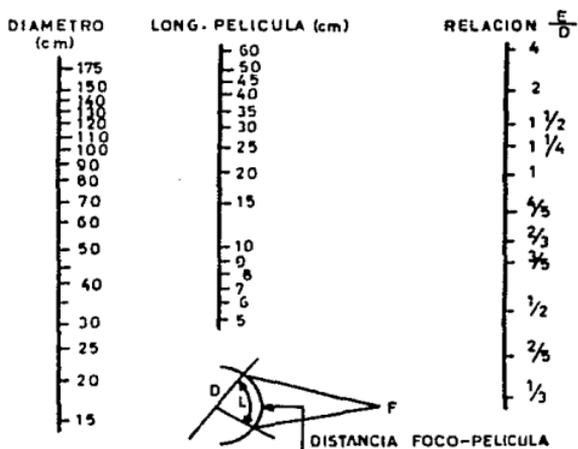


FIGURA 5.14-CALCULO PARA LA SELECCION DE LA LONGITUD DE LA PELICULA CON UN LIMITE DE VARIACION DE ESPESOR DEL 6%.

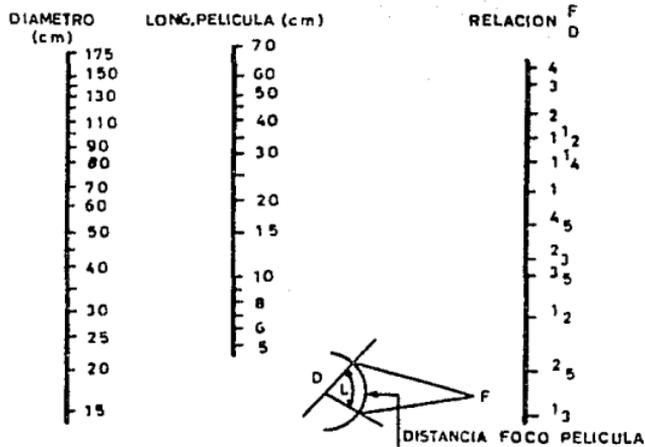


TABLA 5.15-TABLA PARA LA SELECCION DE LA LONGITUD DE LA PELICULA CON UN LIMITE DE VARIACION DE ESPESOR DEL 10%.

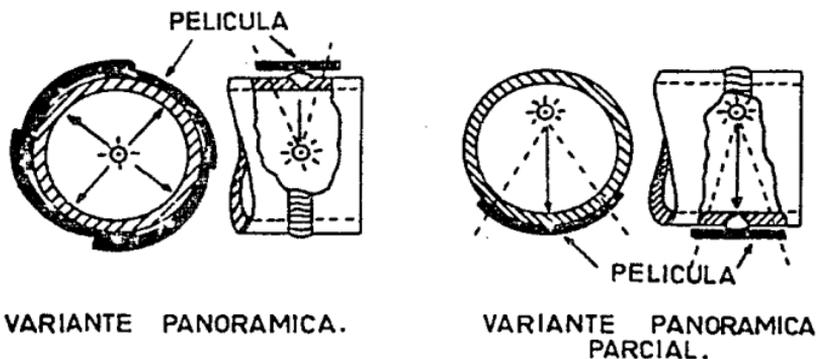


FIGURA 5.16.-PELICULA EXTERIOR Y FUENTE INTERIOR.

B.2.- Variante panorámica parcial o exéntrica. En el caso de ser insuficiente la distancia fuente-película y suponiendo que el espesor del tubo no permita aplicar la técnica de doble pared, puede situarse la fuente exéntrica e incluso, junto a la pared opuesta a la que se radiografía. En estos casos, resulta conveniente poner detrás de la fuente una placa de plomo para evitar la radiación difusa. Como regla general para estos casos, puede decirse que el espesor máximo atravesado de material no debe ser superior a 1.1 veces el espesor de la pared de la tubería. Este criterio lleva a la conclusión práctica de radiografiar la totalidad del cordón en tres exposiciones, según direcciones decaladas de  $120^\circ$ , teniendo cuidado de dejar los traslapes adecuados para evitar zonas "muertas".

C).- Película exterior y fuente exterior.

La figura 5.17 muestra las dos variantes posibles. En ambas hay que tener en cuenta que la pared del tubo es atravesada dos veces y que por lo tanto, el espesor del material debe tomarse doble para todos los cálculos.

C.1.- Variante en tercios.- En ella la fuente se sitúa fuera pero, generalmente, próxima al tubo. Es aplicable para diámetros mayores de 4 pulgadas en adelante. Lo más usual es colocarla junto a su superficie y al lado, pero nunca encima de la porción de cordón opuesta diametralmente a la que se inspecciona. De este modo, la irradiación se hace siempre con una cierta oblicuidad que debe tenerse en cuenta a la hora de la evaluación. En estos casos, la práctica es examinar el cordón con tres exposiciones a  $120^\circ$ . Si se desea mayor precisión, serán necesarias cuatro exposiciones decaladas a  $90^\circ$ .

C.2.- Variante en ovalo.- Consiste en disponer la fuente a suficiente distancia de la tubería para obtener la película, que se dispone en una posición plana y normal al eje del haz de radiación, una proyección ovalada del cordón completo. Esta variante es especialmente indicada para tuberías de pequeño diámetro (menores de 4 pulgadas), y conviene tener en cuenta las siguientes consideraciones:

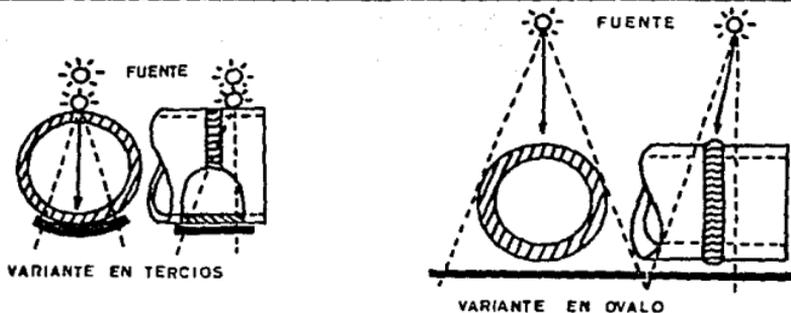


FIGURA 5.17.-PELICULA EXTERIOR Y FUENTE EXTERIOR.

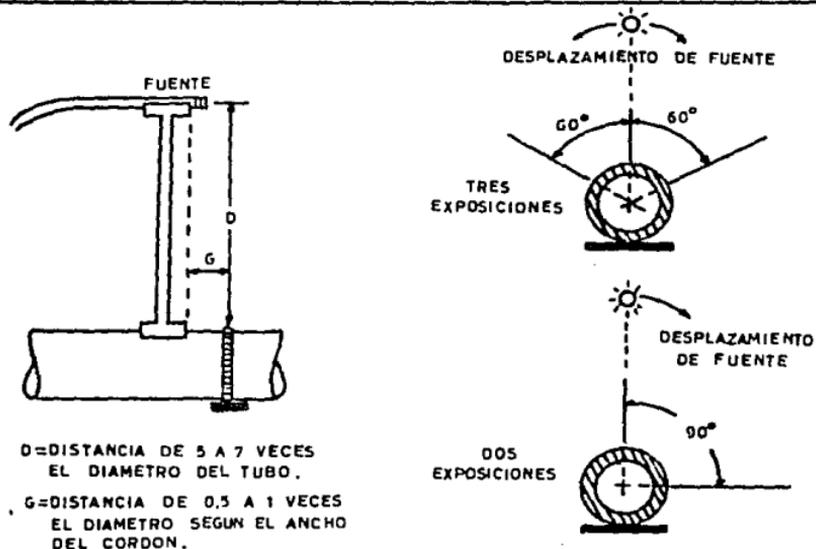


FIGURA 5.18.- TECNICA EN OVALO.

- Se tendrá en cuenta que la parte del cordón más proxima a la fuente, debe arrojar sobre la película una imagen con poca definición, debido a que no hay íntimo contacto,
- esto obliga a realizar otra radiografía decalada, respecto a la primera, a un ángulo de  $90^\circ$ . Si se desea mayor precisión, serán necesarias dos exposiciones más a  $60^\circ$ , hacia la izquierda y derecha respecto a la primera (figura 5.18)

#### 5.5.- Técnica en placas.

Esta técnica se utiliza para soldaduras que unen placas para formar tanques esféricos, verticales, horizontales, etc., y consiste en colocar la película en la parte de la raíz, en el caso de una unión en "V" sencilla, y la fuente del lado contrario.

Un problema que suele presentarse, sobre todo si las zonas radiografiadas son de cierta longitud, es el control de la calidad en los extremos de la imagen. De modo práctico, la solución consiste en emplear un ICI en cada extremo de la imagen. El resultado de esto, nos permitirá conocer cual es la distancia más idónea de la colocación de la fuente.

#### 5.6.- Técnica en filetes.

Suelen llamarse así aquellas destinadas a unir piezas por canto con traslape, en "T" o en "L", además de todas las que se unen según diedros de diversas formas.

En todas, debe de procurarse que la película venga a quedar lo más cerca posible a el cordón de la soldadura, ocasionando al técnico problemas para su realización.

Como ejemplo de algunos de estos casos, puede elegirse una unión soldada como la de la figura 5.19. El haz de radiación debe de dirigirse a  $45^\circ$ , por ser, en este caso, el ángulo con que se ha preparado la pieza que acomete. La película como es lógico se colocará debajo de la pieza, de modo que la proyección del cordón a partir de la fuente vaya a caer sobre ella. Todo esto -

son problemas geométricos que un detenido estudio del problema - permite solucionar adecuadamente esto. Si las planchas son gruesas, la diferencia entre las distancias ab y cd es considerable, siendo fácil que la película aparezca excesivamente clara en b y demasiada oscura en d. Si se trata de atenuar este inconveniente, puede recurrirse a las disposiciones sugeridas en la figura 5.20. En la primera figura, la solución preferible, es igualar los espesores a base de una cuña metálica intercalada entre la película y el objeto, colocada de forma que la punta esté dirigida a la zona de máximo espesor de la pieza. La cuña debe de ser del mismo material que el objeto; aunque, si no se desea aumentar excesivamente la distancia objeto-película, puede construirse de un material más absorbente, por ejemplo plomo. Un buen material recomendado es una plancha de imprenta, aunque debe cuidarse especialmente que sea perfectamente homogéneo.

Otra solución consiste en completar el espesor del cordón con una pila de chapas finas del mismo material y, por último, - la solución número tres logra el mismo efecto a base de una parte opaca a la radiación. Consiste de una pasta de polvo de sulfato de bario o sales de plomo, amasada en un vehículo plástico.

Si la unión en "T" presenta dos cordones, es preciso radiografiar dos veces a  $45^\circ$  y  $135^\circ$ , respectivamente (figura 5.21) -- colocando las películas en las posiciones  $P_1$  y  $P_2$ . En caso de ser necesario igualar espesores, se procedería como se indicó -- anteriormente, pero dos veces: una para cada radiografía.

Por último, la figura 5.21 muestra algunas de las disposiciones usuales para radiografiar otras situaciones de uniones -- soldadas. El ejemplo a corresponde a placas en ángulo obtuso -- dispuestas en esquina abierta. En este caso, se sitúa la fuente en la región convexa del ángulo. En el ejemplo b, se ve la disposición para placas en ángulo recto o agudo, también en esquina abierta, con la fuente en la parte cóncava. En algunas ocasiones, sobre todo si se trata de placas no muy gruesas, pueden éstas ha-

ber sido soldadas como se indica en f (unión en esquina) siendo, entonces conveniente disponer el ensayo de modo que la dirección del haz de radiación tienda a coincidir con el plano de la junta primitiva de las dos piezas. Esto debe hacerse así, por ser dicha zona la que, con mayor probabilidad, puede estar afectada -- por defectos. El ejemplo d muestra la forma de resolver la radiografía de un cordón en una unión de traslape. Lo recomendable en este caso, es realizar dos exposiciones sucesivas, en  $P_1$  y  $P_2$  irradiando según las direcciones  $r_1$  (para detectar posibles faltas de fusión en el canto) y  $r_2$  (para localizar posibles faltas de penetración en la raíz). En el caso de realizarse solamente una radiografía, debe dirigirse la irradiación según  $r_1$ .

El ejemplo es, en realidad, un caso especial de unión a tope en "V", en el que la raíz no es accesible. Los ejemplos c, g y h son demasiado claros.

En general, siempre se deben seguir los cinco principios geométricos en todas las inspecciones radiográficas de las soldaduras, para poder minimizar cualquier distorsión o amplificación posible.

En el caso de que alguno de estos principios no se pueda lograr; que por lo general se debe a la ubicación o geometría de la soldadura, el técnico deberá de calcular la distorsión existente, para poder evaluar con mayor exactitud el tamaño del defecto.

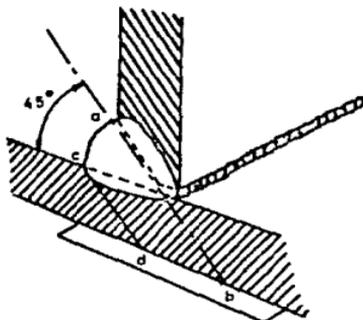


FIGURA 5.19.-RADIOGRAFIA DE UNA UNION EN T.

CON CUNA METALICA.

CON PILA DE CHAPAS.

CON PASTA ABSORBENTE.

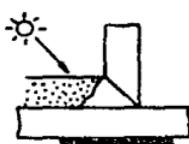
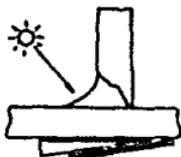


FIGURA 5.20.-IGUALACION DE ESPEORES EN LA RADIOGRAFIA DE UNA UNION EN T.

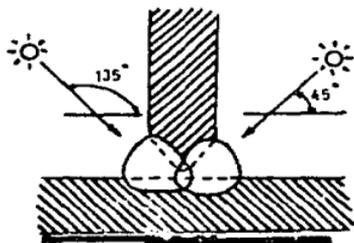


FIGURA 5.21.-RADIOGRAFIA DE UNA UNION PREPARADA EN K.

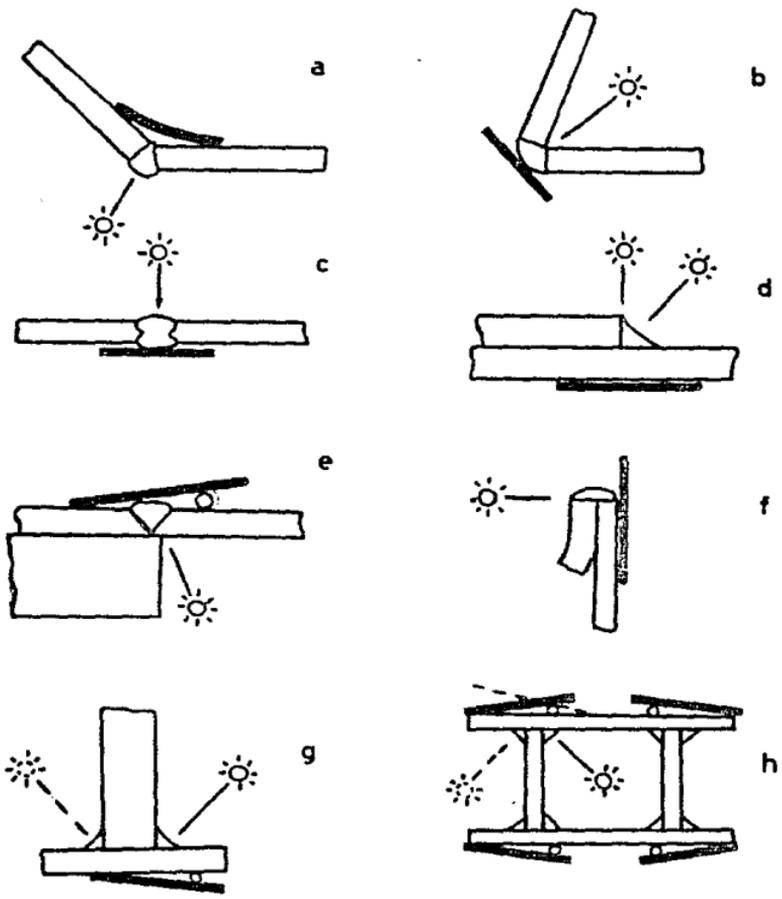
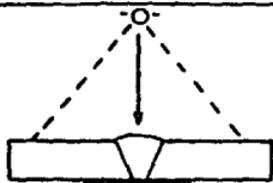
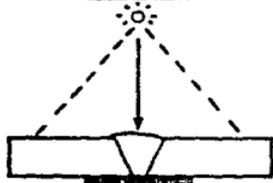


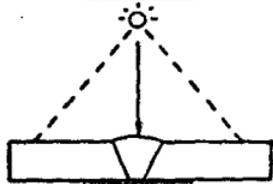
FIGURA 5.22.-DISPOSICIONES USUALES EN LA RADIOGRAFIA DE UNIONES SOLDADAS.



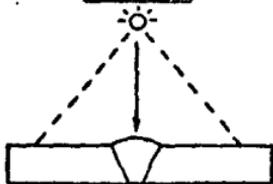
DISTANCIA FUENTE  
 PELICULA LO MAS  
 ALEJADO POSIBLE.



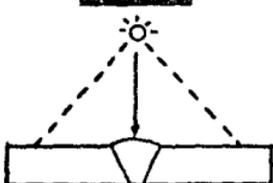
TAMAÑO DEL PUNTO  
 FOCAL LO MAS PE-  
 QUEÑO POSIBLE



LA PELICULA DEBERA  
 ESTAR EN INTIMO CON  
 TACTO CON LA SOL-  
 DADURA.



EL PUNTO FOCAL DE-  
 BERA ESTAR PERPEN-  
 DICULAR A LA SOL-  
 DADURA.



LA PELICULA DEBERA  
 ESTAR PARALELA A LA  
 SOLDADURA.

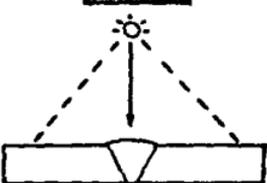
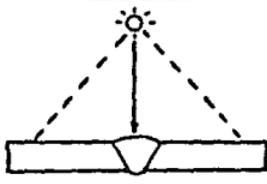
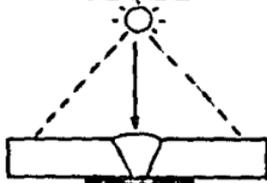
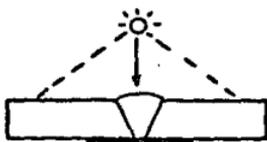


FIGURA 5.23.- PRINCIPIOS GEOMETRICOS.

## CAPITULO No. 6.- PELICULA RADIOGRAFICA.

### 6.1.- Generalidades.

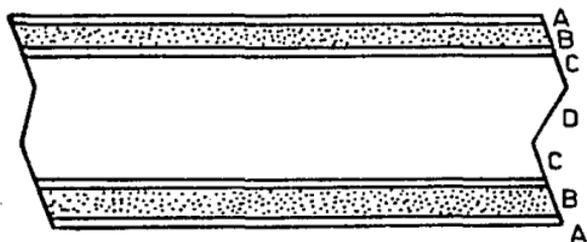
Existen en el mercado una gran cantidad de películas radiográficas disponibles para el uso industrial. Sin embargo el técnico deberá de tener pleno conocimiento de las características - esenciales que las distinguen, para así poder seleccionar la más idónea al tipo de trabajo a realizar.

Su empleo racional requiere de un conocimiento suficiente de la sensitometría, la cual es la ciencia que tiene por objetivo el estudio de las propiedades fotográficas de una película -- así como de los métodos que permitan medirlos.

### 6.2.- Estructura de la película radiográfica.

La película radiográfica es básicamente análoga a la empleada en la fotografía. Ambas presentan como componentes fundamentales una capa sensible llamada emulsión, la cual recubre un soporte flexible y transparente llamado base. La diferencia esencial - entre la película fotográfica normal y la radiográfica es que esta última presenta dos capas de emulsión, una por cada lado de la base. De esta forma se consigue reducir el tiempo de exposición y se obtiene una imagen radiográfica más contrastada. Además tiene una capa de gelatina endurecida que protege a la emulsión y una - capa de substrato que asegura la adherencia de esta a la base --- (figura 6.1).

La emulsión consiste en una suspensión de halogenuros de -- plata en gelatina. Esta emulsión es muy sensible a la acción de - la luz y de la radiación X y  $\gamma$ , que actúan sobre los granos de -- halogenuros de plata originando cambios en su estructura física. Estos cambios dan lugar a la "imagen latente", que no puede ser - puesta de manifiesto por métodos físicos. Sin embargo, cuando las películas expuestas se tratan con determinadas sustancias químicas, que constituyen la solución o baño revelador, se producen -- una serie de reacciones que dan lugar a que se deposite plata me-



- A).-CAPA DE GELATINA ENDURECIDA  
 B).-CAPA DE EMULSION  
 C).-CAPA DE SUBSTRATO  
 D).-SOPORTE DE TRICETATO DE CELULOSA O POLIESTER

FIGURA 6.1.- ESTRUCTURACION DE LA PELICULA RADIOGRAFICA

TIPO	VELOCIDAD	CONTRASTE	GRANO
1	LENTA	MUY ALTO	MUY PEQUEÑO
2	MEDIA	ALTO	PEQUEÑO
3	ALTA	MEDIO	GRANDE
4 *	MUY ALTA *	MUY ALTO *	* *

- \* PELICULAS CON PANTALLAS REFORZADORAS FLUORESCENTES. CUANDO ESTAS PELICULAS SE EXPONEN DIRECTAMENTE O CON PANTALLAS DE PLOMO, SU RAPIDEZ, CONTRASTE Y TAMAÑO DE GRANO SON MEDIOS.
- \*\* EL TAMAÑO DE GRANO DEPENDE DE LAS PANTALLAS FLUORESCENTES UTILIZADAS.

**TABLA 6.2.-CLASIFICACION DE PELICULAS**

tática en suspensión en la capa de gelatina para dar lugar a la formación de la imagen; cuanto menor sea el tamaño de estos granos de plata mejor será la definición de la imagen.

### 6.3.- Clasificación de las películas radiográficas.

Las películas radiográficas pueden dividirse en dos grandes grupos, en uno de ellos se incluyen aquellas películas preparadas para ser expuestas directamente a la acción de la radiación X o  $\gamma$ , o para ser usadas con pantallas reforzadoras de plomo. A las películas de este grupo se les designa como "películas sin pantalla". El otro grupo llamado "películas con pantalla" -- esta constituido por las películas que han de ser utilizadas con pantallas reforzadoras salinas.

Teniendo en cuenta el tamaño de grano, el contraste y la rapidez de las películas radiográficas, estas pueden ser clasificadas dentro de cuatro grupos o tipos, tal y como se indica en la tabla 6.2.

### 6.4.- Curvas características de las películas radiográficas.

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

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

exponiendo la película, ya sea directamente o colocada entre pantallas reforzadoras, de tal forma que una serie de bandas de la película reciban una serie de exposiciones perfectamente determinadas.

Las exposiciones se realizan, generalmente, manteniendo -- constante la intensidad de la radiación y variando el tiempo, de forma que en cada zona o banda de la película, cuyas características se quieran determinar, reciba una exposición cuyo tiempo -- sea el doble de la anterior. Esta película, una vez expuesta, se revela controlando cuidadosamente el tiempo y la temperatura del baño.

Las densidades fotográficas obtenidas se miden con un densitómetro, y sus valores se disponen sobre un eje de ordenadas, - mientras que las exposiciones correspondientes se colocan en ab-- sisas sobre una escala logarítmica. Para el empleo de este tipo - de gráfica existen tres razones fundamentales:

- 1.- La densidad fotográfica es un valor logarítmico.
- 2.- Las unidades logarítmicas permiten situar un gran número de valores de la exposición sin que el eje sea muy - largo
- 3.- Cuando una exposición es doble de otra, queda representada por el mismo intervalo. Por otra parte, cualquier par de exposiciones que guarden la misma relación quedarán separadas entre sí por la misma distancia, sin que - queden afectadas por su valor absoluto y, además son independientes de la forma en que se realicen las variaciones de la exposición, ya sea por cambios de la intensidad o del tiempo. Por ejemplo:

Exposición relativa.	Log. exposición relativa.	Intervalo log. exp. rel.
1	0.0	0.70
5	0.70	
2	0.30	
10	1.00	0.70
150	2.18	0.70

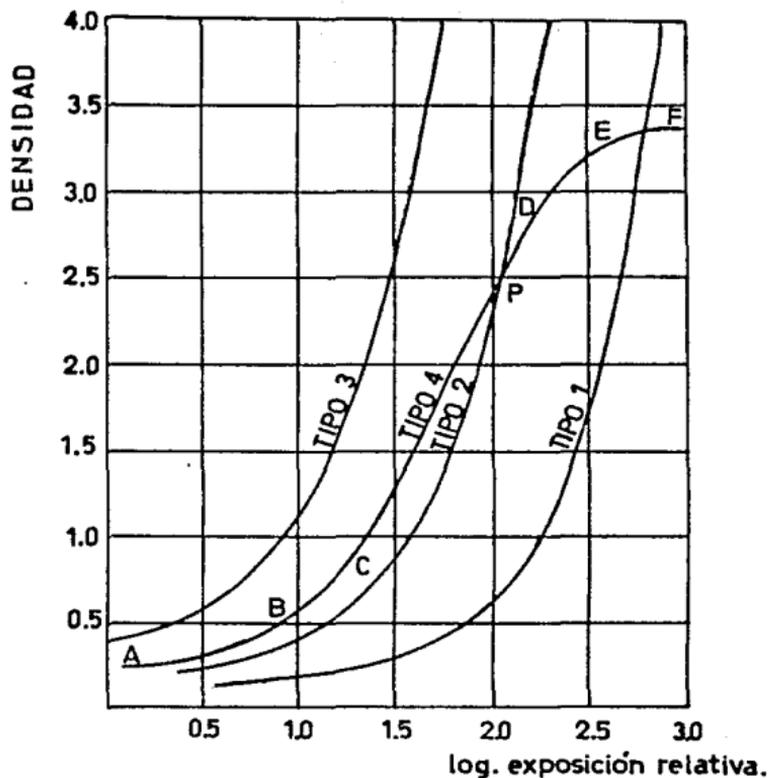


FIGURA 6.4.-CURVAS CARACTERISTICAS CORRESPONDIENTES A LOS TIPOS DE PELICULA INDICADOS EN LA TABLA 6.2.

De esta forma, haciendo uso de las exposiciones relativas, la curva característica determina los distintos niveles de la -- exposición sin necesidad de fijar en cada caso los valores absolutos de las mismas.

La figura 6.4 muestra las curvas características correspondientes a los cuatro tipos de película indicados en la tabla 6.2. Las curvas de las películas tipos 1, 2 y 3 se obtuvieron -- haciendo la exposición sobre películas colocadas entre pantallas reforzadoras de plomo y la del tipo 4, empleando pantallas reforzadoras salinas de alta definición. Si se observan estas curvas -- se puede apreciar que ninguna de ellas comienza en la densidad -- cero. Esto se debe a que toda película radiográfica presenta una pequeña densidad inherente o "velo", que puede ser medido sobre -- una película que no ha sido expuesta y que se ha revelado en condiciones normales. La aparición de este velo se debe fundamen-- talmente a dos causas; en primer lugar a la absorción de luz por el soporte o base de la película y en segundo lugar a la apari-- ción del velo químico como consecuencia de la acción ejercida por los reactivos químicos utilizados en los baños de revelado y fi-- jado sobre la emulsión.

En todas estas curvas existe una zona A-C llamada "pie de -- la curva" en la cual las variaciones de densidad comienzan a ser diferenciables. En la curva correspondiente a la película 4, que es la de una película radiográfica para ser usada con pantallas -- reforzadoras salinas, se observa que la región A-B de la curva es plana, lo que indica que la densidad no aumenta sobre el velo --- hasta un determinado valor de la exposición, valor que es superior al necesario para conseguir la misma densidad sobre una pel-- cula sin pantallas. Esto se debe a que en las películas para ser utilizadas sin pantallas, al ser expuestas a la acción de la ra-- diación, por débil que ésta sea, es suficiente para dar lugar a -- la activación de un grano de halogenuro de plata; en las exposi-- ciones con luz, como ocurre con las pantallas salinas, en cambio, es necesaria una mayor energía para conseguir el mismo efecto.

La parte B-C de la curva, para películas con pantallas salinas, es seguida de una región prácticamente recta C-D que es la parte más interesante de la curva, ya que corresponde a una película expuesta correctamente a la formación de la imagen. A continuación (curva 4) existe una región DEF, en la cual un aumento de exposición no determina una mayor densidad, y al llegar esta a un valor máximo F comienza a disminuir. Esta reversibilidad del efecto fotográfico se denomina "solarización" y aparece en las películas que han sufrido una exposición excesiva.

Estas curvas características permiten explicar las propiedades relativas de las películas. Así por ejemplo, comparando -- las curvas 2 y 4 de la figura 6.4 puede verse que:

- a).- La película 4 tiene un valor de velo superior al de la película 2,
- b).- en las zonas bajas de las curvas las densidades obtenidas con exposiciones iguales son mayores para la -- película 4 que para la 2, y en consecuencia, la película 4 es más rápida que la 2;
- c).- en el punto P, donde se cortan ambas curvas y al que corresponde una densidad igual a 2.48 y un logaritmo de la exposición relativa de 2.04, ambas películas -- tienen la misma rapidez para la exposición y densidades indicadas;
- d).- por encima de una densidad 2.5, el contraste de la -- película 2 continúa aumentando con la densidad, mientras que el de la película 4 decrece gradualmente.

#### 6.5.- Pantallas reforzadoras.

La intensidad de la acción fotográfica de la radiación X o de la radiación es función de la dosis de energía radiante absorbida por las capas sensibles de la película. Esta cantidad es del orden del 1 % para radiaciones de poder de penetración -- medio. La radiación restante atraviesa la película y por lo tanto no es utilizada. Para poder remediarlo se coloca la película entre dos pantallas reforzadoras. Estas, bajo la acción de los rayos X o se vuelven fluorescentes (pantallas reforzadoras --- fluorescentes) o emiten electrones (pantallas de plomo). De ---

ello resulta un efecto fotográfico suplementario sobre las capas sensibles de la película. Para obtener imágenes buenas, deberá procurarse un íntimo contacto entre la película y las pantallas. Para ello, las pantallas reforzadoras se emplean siempre dentro de un portapelículas (figura 6.5).



FIGURA 6.5.- COMPONENTES DE UN CHASIS.

Existen dos tipos de pantallas reforzadoras:

- a).- Pantallas reforzadoras salinas o fluorescentes;
- b).- pantallas reforzadoras de plomo.

#### 6.6.- Pantallas reforzadoras salinas o fluorescentes.

Consisten esencialmente de un soporte delgado y flexible sobre el cual se encuentra una capa fluorescente compuesta de micro-cristales de una sal metálica apropiada, casi siempre tungstato de calcio.

Bajo la influencia de la radiación X o  $\gamma$ , la pantalla emite rayos luminosos, a los cuales es sensible la película. Esta radiación luminosa es proporcional a la radiación X. De ello resulta un importante refuerzo de la radiación actínica así como un aumento del contraste de la imagen. Debido a la disminución de calidad de imagen que producen, las pantallas reforzadoras fluorescentes, casi ya no se utilizan.

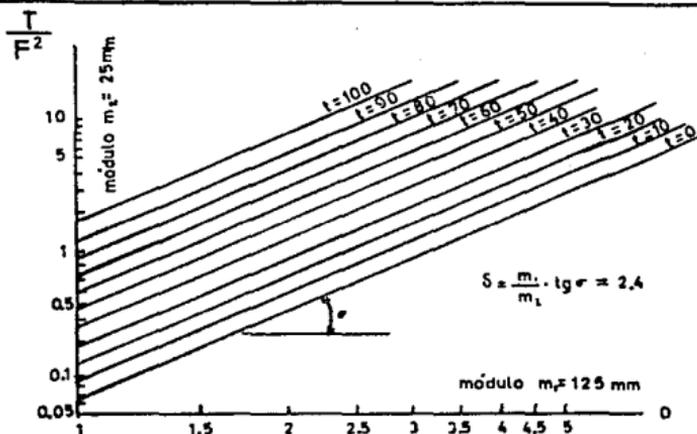


FIGURA 6.6.- DETERMINACION GRAFICA DEL EXPONENTE

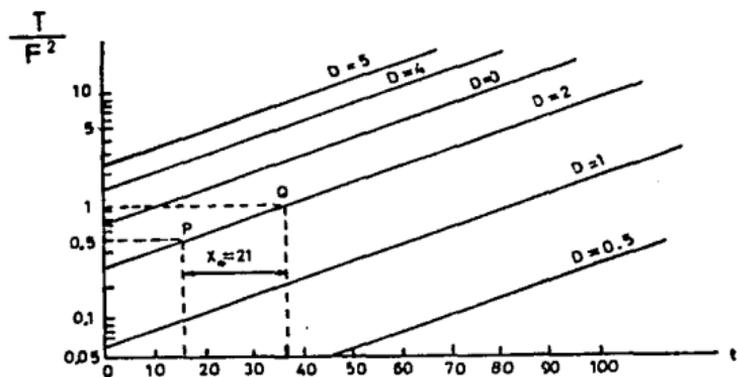


FIGURA 6.7 DETERMINACION GRAFICA DEL VALOR DE LA CAPA DE SEMIABSORCION  $t_0$ .

#### 6.7.- Pantatallas reforzadoras de plomo.

Estas se componen de una delgada hoja de plomo particularmente homogénea, pegada sobre un soporte delgado como por ejemplo una hoja de papel o de cartón. Se emplean dos pantallas de plomo. El grosor de la capa de plomo de la pantalla anterior -- debe estar adaptado a la calidad de la radiación empleada, de -- tal manera que deje pasar la radiación primaria y detenga en lo posible la radiación secundaria de mayor longitud de onda y por lo tanto menos penetrante. El grosor de la pantalla varía de -- 0.02 a 0.15 mm.

Sin embargo se pueden utilizar dos pantallas de 0.02 mm y 0.15 mm de grosor, por ejemplo. La superficie metálica de las -- pantallas metálicas está pulida con el fin de favorecer un contacto más íntimo entre la pantalla y la superficie de la película. Defectos tales como rayas o quebraduras en la superficie metálica de la pantalla están visibles en la imagen fotográfica.

En la acción de las pantallas de plomo cabe señalar:

- 1).- Una absorción parcial de la radiación primaria por la pantalla anterior,
- 2).- una mayor absorción de todos los rayos blandos y de los rayos oblicuos,
- 3).- bajo la influencia de los rayos X o  $\gamma$  el plomo emite una radiación  $\beta$  (electrones) a la cual es sensible la película. Esta radiación  $\beta$ , es más intensa cuanto -- más duras sean las radiaciones, no produce velo de -- difusión. Su efecto se suma al producido por la radiación X o  $\gamma$ .

#### 6.8.- Cálculo del tiempo de exposición.

De todos los factores hasta ahora considerados, conviene -- destacar la importancia que tiene la densidad fotográfica o grado de ennegrecimiento de la película. Esta densidad depende de -- la cantidad de radiación recibida por la película y, en su consecuencia, del tiempo de exposición.

Un tiempo de exposición corto da lugar a radiografías con densidades medias bajas y, como consecuencia, con poco contraste ya que, según se ha visto en las curvas características de las películas (6.4), éstas densidades se encuentran en la zona de la curva que presenta una pendiente poco elevada. Por el contrario, una radiografía muy densa es difícil de observar, no obstante -- podrá hacerse si se dispone de un negatoscopio adecuado. En este caso las películas sin pantallas presentan una curva con pendiente muy acusada y, por lo tanto, con un gran contraste en este --- campo de altas densidades.

Es difícil poder fijar un valor óptimo de la densidad, dado su amplio campo de variación, y que siempre dependerá del tipo de negatoscopio de que se disponga para la observación de la radiografía. Como regla general, se puede indicar que no interesa nunca que la densidad sea inferior a 1.8 y que es conveniente trabajar con densidades medias comprendidas entre 2.0 y 3.0, pudiendo ser superiores a éste último valor siempre que para el -- examen de las radiografías se disponga de un negatoscopio con -- potencia de iluminación suficiente.

De lo expuesto anteriormente se deduce que, para llegar a establecer fórmulas o gráficas que permitan el cálculo de la exposición radiográfica, se hace necesario estudiar la relación --- existente entre la densidad fotográfica D y el tiempo de exposición T.

Este estudio queda prácticamente hecho en las curvas características de las películas radiográficas, ya que en ellas se relaciona la densidad con el valor de la exposición E, que es directamente proporcional a la cantidad de radiación recibida por la - película. La cantidad de radiación es, a su vez, función de la -- distancia foco o fuente película, del tiempo de exposición y de - la intensidad de la radiación I. La expresión que nos da el valor de la exposición será:

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

Esta exposición puede ser modificada por la interposición en el trayecto de la radiación de un determinado material absorbente, según una ley exponencial que no es otra que la que rige la absorción de la radiación por la materia y que en este caso - se puede escribir:

$$E = E_0 e^{-\mu t}$$

en la cual:

E = valor de la exposición con interposición de material absorbente;

$E_0$  = valor de la exposición sin interposición de material absorbente;

$\mu$  = coeficiente de absorción;

t = espesor del material absorbente.

por lo cual, el valor del tiempo de exposición se podrá determinar con facilidad si se conoce:

a).- La curva característica de la película;

b).- la curva de absorción de la materia sometida a examen por la radiación considerada; es decir, la curva

$$E = E_0 e^{-\mu t};$$

c).- los factores que definen la exposición, o sea, la -- intensidad de la radiación I y la distancia foco o -- fuente-película F.

con lo cual, y para un valor determinado de la exposición y conocido el valor de I, se podrá actuar sobre los del tiempo y la distancia.

Por otra parte, es posible determinar una fórmula sencilla que nos de directamente el tiempo de exposición en función de la distancia foco-película, intensidad de la radiación, espesor del material absorbente y su coeficiente de absorción, esta expresión es:

$$T = T_0 e^{-\mu t} \frac{F^2}{I}$$

en la cual  $T_0$  es el tiempo de exposición necesario para impresionar la película con una densidad igual a la obtenida con un tiempo T, pero sin la interposición de un material absorbente.

Esta última expresión puede ser transformada en forma de hacer intervenir directamente la densidad D. En un estudio teórico sobre el ennegrecimiento de las emulsiones radiográficas, efectuado por C. Brachet, se ha demostrado que la densidad óptica D de una película revelada en condiciones bien definidas está relacionada con el tiempo de exposición por la expresión:

$$T^a = A \frac{F^2}{I} D^\delta 2^{t/t_0} \dots\dots\dots (1)$$

en la cual:

- T = Tiempo de exposición;
- F = distancia fuente-película;
- I = intensidad de la radiación X o gamma;
- D = densidad óptica;
- t = espesor del material radiografiado;
- t<sub>0</sub> = espesor o capa de semiabsorción del material radiografiado.

el exponente a, llamado exponente de Schwartachild, es igual a 1 cuando se cumple la ley de reciprocidad. Esta ley, que dice -- que el efecto fotoquímico depende únicamente del producto de la intensidad de la radiación por el tiempo, siendo independiente -- del valor absoluto de cada una de estas cantidades, se cumple -- para la exposición con rayos X o gamma siempre que la exposición se haga sin pantallas o con pantallas reforzadoras metálicas, no siéndolo cuando se utilizan pantallas reforzadoras fluorescentes. El valor A es un coeficiente que, al igual que el exponente δ de la densidad, es característica de la película y radiación utilizada.

Si por el momento y con el objeto de facilitar el cálculo nos limitaremos a la radiografía con radiación gamma, con fuentes radiactivas artificiales como el cobalto 60 y el iridio 192, y con películas sin pantalla o con pantallas reforzadoras de plomo se tendrá que I = 1 y, en un momento determinado, la intensidad de la fuente I será un valor constante. Entonces la expresión (1) se podrá simplificar y quedará en la forma siguiente:

$$T = K F^2 D^{\delta} 2^{t/t_0}$$

donde  $K = \frac{A}{I}$

o de otra forma:

$$\log \frac{T}{F^2} = \log K + \delta \log D + \frac{\log 2}{t_0} t \dots (2)$$

la cual permite determinar los valores de A, y  $t_0$ , correspondientes a una película determinada, y llegar al establecimiento del tiempo de exposición para una radiación dada.

Con objeto de aumentar la precisión en las medidas y obtener sobre una misma película una amplia serie de densidades crecientes se prepara una placa del material a radiografiar (por ejemplo Acero), en la que se tallan una serie de escalones cuyas alturas aumentan en progresión aritmética. Una de estas placas puede presentar 40 escalones, con un espesor mínimo de 5 mm y un máximo de 50 mm, con lo que se dispone de una gama suficientemente amplia de espesores pequeños para las determinaciones a realizar con rayos X, así como espesores más fuertes aconsejables en el caso de radiación gamma. De esta forma, y sobre una sola película, se obtendrá un determinado valor de  $T/F^2$ , y en condiciones de revelado que serán rigurosamente iguales, una serie de densidades cuya progresión será casi aritmética y comprendidas entre 0.5 y 3.0 aproximadamente.

De esta forma se podrá llegar a conocer una serie amplia de valores de T, F, t, y D, en los cuales solamente se puede presentar error de medida en la determinación fotométrica de las densidades y en una variación eventual de las condiciones de revelado, pero que permitirá el planteamiento de sistemas de ecuaciones en las que figuran las incógnitas:  $\log K$ ,  $\delta$ , y  $1/t_0$ . La resolución de estos sistemas de ecuaciones, cualquiera que sea el método seguido, no es cómodo y por ello se recurre en la práctica a métodos gráficos, más rápidos y suficientemente precisos.

Para la resolución gráfica se opera de la siguiente manera: con los valores encontrados, y sobre un papel doble logarítmico, se trazará un haz de líneas  $t$  constantes, colocando en ordenadas los valores  $T/F^2$  y en abscisas, densidades  $D$  (fig.6.6). En esta gráfica, y en virtud de la relación (2), las líneas del haz son rectas paralelas, cuya pendiente, común a todas ellas, será igual a  $\Delta$ , con lo cual será suficiente para tener el valor del exponente  $\Delta$ . Por otra parte y sobre papel semilogarítmico se llevan en ordenadas los valores de  $T/F^2$  y en abscisas los espesores  $t$ , con lo cual se obtendrá un haz de rectas para  $D = \text{cte.}$  (fig. 6.7), cuya pendiente, de acuerdo con la expresión (2) será igual a  $\log 2/t_0$  y que permite conocer el valor de  $t_0$ , pues puede ser determinado directamente sobre la gráfica, ya que resulta ser igual a la diferencia de las abscisas correspondientes a los puntos P y Q, sobre una cualquiera de las rectas  $D$ , cuyas ordenadas son una doble de la otra.

El valor de  $K = A/I$ , y por consiguiente el de  $A$  cuando el de  $I$  es conocido, se encontrará en la escala de ordenadas en el punto de intersección de esta escala con la recta  $D = 1$ .

Los resultados obtenidos por H. de Leiris y E. Antoni siguiendo esta técnica operatoria sobre cinco tipos de película con pantallas reforzadoras de plomo, y utilizando como fuente de radiación el isótopo iridio 192, son las que se dan en la tabla 6.8.

PELICULA	FORMULA DE EXPOSICION
A	$T = 3.0 (F^2/I) D^{1.47} 2^{t/16}$
B	$T = 0.31 (F^2/I) D^{1.93} 2^{t/16}$
C	$T = 0.05 (F^2/I) D^{2.5} 2^{t/16}$
D	$T = 0.3 (F^2/I) D^{1.42} 2^{t/15}$
E	$T = 1.28 (F^2/I) D 2^{t/18}$

Tabla 6.8.- Expresiones para el cálculo de tiempos de exposición

A partir de los coeficientes numéricos de una fórmula de exposición es posible definir dos valores característicos, la calidad del contraste y la rapidez de las emulsiones radiográficas para una radiación determinada.

La rapidez de una emulsión radiográfica para un determinado tipo de radiación puede ser caracterizada por la "dosis de ennegrecimiento"  $R_N$  medida en Roentgens que es necesaria para obtener una densidad fijada previamente, por ejemplo,  $D = 2$ , y sin que la radiación atravesase ningún material absorbente. Con una fuente que produzca Roentgens por Curie en una hora a la distancia de un metro ( Rhm/Ci), la "dosis de ennegrecimiento" es:

$$R_N = \left[ \frac{I T}{F^2} \right]_{\substack{t=0 \\ D=2}} \checkmark$$

La fórmula del tiempo de exposición en este caso se puede expresar de la siguiente forma:

$$R_N = A 2 \checkmark$$

$$\left[ \frac{I T}{F^2} \right]_{\substack{t=0 \\ D=2}} \checkmark = A 2^5 \checkmark$$

La rapidez de una película varía en razón inversa de la "dosis de ennegrecimiento"  $R_N$ .

El contraste se puede caracterizar por la diferencia de espesor  $\Delta t$ , requerido para obtener una determinada diferencia de densidad  $\Delta D$ . Haciendo abstracción del tamaño de grano y de las variaciones de densidad de la película, que no son tenidas en cuenta en las fórmulas del tiempo de exposición, se llega a establecer la siguiente expresión:

$$\int \frac{\Delta D}{D} = - t \frac{\log 2}{t_0}$$

en la que, para un valor dado de  $\Delta D/D$ ,  $\Delta t$ , es proporcional al producto  $\delta t_0$ . Esta cantidad se denomina "espesor de contraste",  $E = \delta t_0$ .

Estos valores característicos  $R_N$  y  $E_C$  permiten hacer una clasificación de las películas radiográficas, clasificación que en el caso de las cinco películas indicadas anteriormente es la que figura en la tabla 6.9.

Radiación	I R I D I O 1 9 2				
	E	A	B	D	C
$R_N$	14.08	4.57	0.65	0.44	0.15
Rapidez	pequeña	_____	_____	_____	grande
Película	C	B	A	D	E
$E_C$	32.5	25.09	19.11	18.46	13.0
Contraste	bajo	_____	_____	_____	alto

Tabla 6.9.- Clasificación de las películas de la tabla 6.8 de acuerdo con sus dosis de ennegrecimiento y espesor de contraste.

Tanto en la inspección radiográfica de las union-s soldadas, como en cualquiera de las aplicaciones de la radiografía -- industrial, es necesario conocer con la mayor exactitud posible las características de las películas que se utilicen.

Por otra parte, para ciertos trabajos, es imprescindible comprobar que una determinada emulsión no presenta variaciones - marcadas en su sensibilidad.

Estas razones motivaron a que la Comisión V del Instituto Internacional de la Soldadura iniciara una serie de estudios que dieron lugar a la publicación del Documento I.I.S./I.I.V.-184-65, en la cual se establece el método a seguir para comparar entre sí los distintos tipos de emulsiones que pueden ser utilizados en el campo de la radiografía industrial.

## CAPITULO No. 7.- PROCESADO RADIOGRAFICO

### 7.1.- Generalidades.

El tratamiento de las películas radiográficas se puede -- dividir en dos grupos: tratamiento automático y tratamiento manual. El tratamiento automático por lo general es usado en nuestro país en instalaciones fijas, las cuales cuentan con todas las facilidades para su funcionamiento (energía, agua, espacio, etc). En cambio, el tratamiento manual es muy útil en lugares -- poco accesibles como son los pozos en explotación, líneas de -- conducción a travez de valles, montañas, desiertos y ríos, en -- los cuales muchas veces se carece de los elementos indispensa -- bles para hacer funcionar un sistema automático.

El técnico deberá adquirir la destreza suficiente para -- poder maniuplar la película radiográfica sin ocasionarle el menor daño (raspones, rallones, dobleces, manchas, etc.).

Cualquiera que sea el tipo de tratamiento se deberá de -- contar con un cuarto oscuro adecuado para el procesado radio -- gráfico.

### 7.2.- Cuarto oscuro.

La localización, diseño y construcción del cuarto de procesado son factores de primer orden en la construcción de insta -- laciones para proporcionar servicios adecuados de radiografía; -- las instalaciones pueden ser, un solo cuarto, o una serie de -- cuartos para trabajos individuales dependiendo de la cantidad y del tipo de trabajo a realizar. Debido a la importancia que -- tienen estas instalaciones para el manejo, procesado y almacena -- miento de las películas radiográficas debe planearse adecuada -- mente, tomando en cuenta las características tanto generales -- como detalladas. Cuando la planeación se hace con cuidado y vi -- sión, los esfuerzos se ven reflejados en la facilidad de opera -- ción, de incremento de producción y de bajos costos de manteni -- miento.

Por razones prácticas, la cámara oscura se instalará lo más próximo posible al lugar de la toma radiográfica, pero fuera del alcance de la radiación.

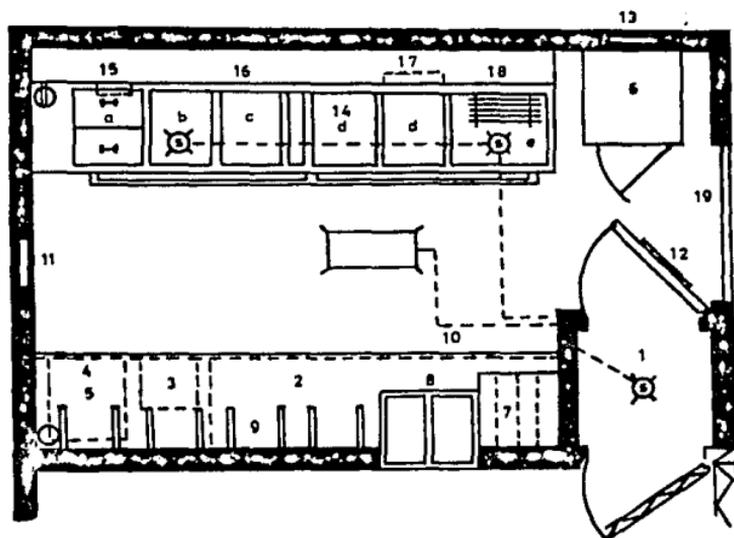
El cuarto oscuro consiste básicamente de dos zonas; una zona seca y una zona húmeda. En la zona seca se cargan y descargan los porta películas, se corta la película, se encarreta la película o se sujeta en los marcos de revelado; en una palabra, en la zona seca se desarrollan todas las operaciones que no tienen que ver con la humedad. Por otro lado, en la zona húmeda se lleva a cabo el tratamiento de la película con los agentes químicos adecuados en los tanques de revelado. En la figura 7.1 se muestran algunos ejemplos de cuartos oscuros.

En el cuarto oscuro no debe penetrar ninguna cantidad de luz. Por esta razón la entrada al cuarto oscuro debe estar protegida por una esclusa (dos puertas próximas una de otra), una puerta giratoria o un laberinto (fig. 7.2). La selección del tipo de entrada dependen del espacio disponible y de la cantidad de personas que circulen a través del cuarto oscuro.

La entrada de laberinto parece ser la más práctica, pero exige relativamente mucho mayor espacio. Las paredes deberán estar cubiertas con pintura negra mate, y una tira blanca de unos 10 cm de ancho colocada a la altura de los ojos en todas las paredes del laberinto guiarán hacia la entrada del cuarto oscuro. Las paredes de la cámara oscura deberán estar de preferencia pintadas de color claro; ya que este color es de más fácil limpieza y agradable, además que reflejan con mayor eficiencia la luz de seguridad existente dentro del cuarto oscuro.

### 7.3.- Luz de seguridad.

Las películas deben tratarse bajo un alumbrado inactivo. Se puede usar un alumbrado rojo-naranja o verde normal dependiendo de la potencia en watts del foco.



- 1.-LUZ DE SEGURIDAD.  
 2.-MESA DE CARGA DE PELICULA.  
 3.-ALMACENAMIENTO DE PELICULA.  
 4.-NEGATOSCOPIO.  
 5.-ALMACENAMIENTO DE PELICULA DESPERDICIAA.  
 6.-SECADOR DE PELICULA.  
 7.-ALMACENAMIENTO DE CHASISES.  
 8.-CHASISES DE TRABAJO.  
 9.-MARCOS PARA PELICULA TIPO HOJA.  
 10.-GAVINETE DE SUMINISTROS.  
 11.-DUCTO DE AIRE.  
 12.-FILTRO DE SEGURIDAD  
 13.-SALIDA DE AIRE DEL SECADOR

- 14.-TANQUES DE PROCESADO :  
 a).-REVELADOR  
 b).-BAÑO DE PARADA  
 c).-FIJADOR  
 d).-ENJUAGUE  
 e).-SECADO  
 15.-ALARMA DE TIEMPO.  
 16.-TABLA DE REVELADO.  
 17.-ILUMINADOR.  
 18.-DRENAJE.  
 19.-PANEL DE LUCES.

FIGURA 7.1.-CUARTO OSCURO PARA PROCESADO MANUAL.

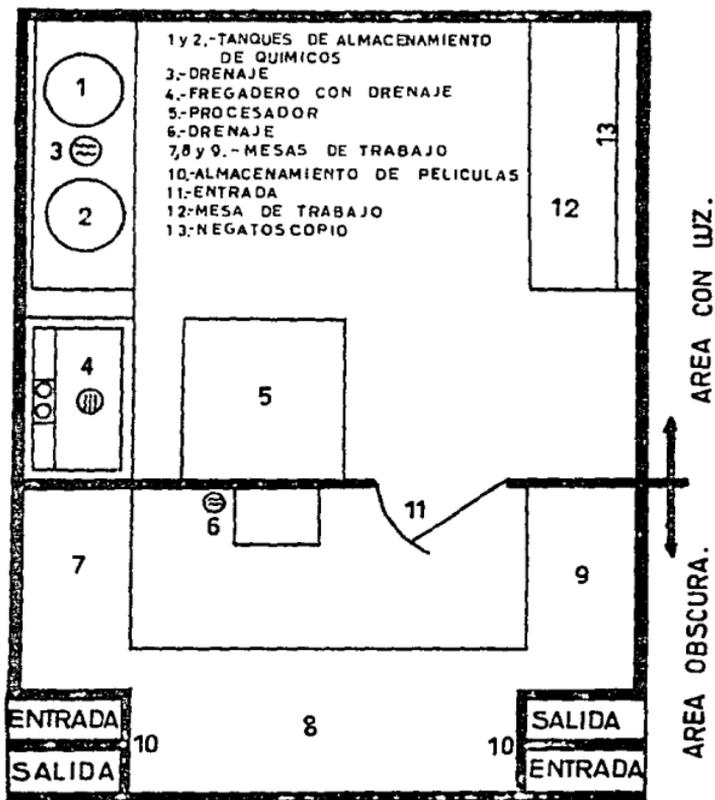


FIGURA 7.1.-CUARTO OSCURO PARA PROCESADO AUTOMATICO.

En lo que se refiere a la distancia de la luz y el tiempo de exposición a esta fuente de luz, debe tenerse en cuenta la --sensibilidad de la película empleada.

Se puede controlar la ausencia del actinismo del alumbrado de la cámara oscura colocando sobre la mesa de trabajo un tramo de película virgen cubierta por un cartón que será desplazado --gradualmente de manera que se obtenga una serie de exposiciones. Enseguida se revelará esta película de manera habitual y se podrá verificar hasta qué punto es segura la luz y cuanto tiempo puede soportar la película al alumbrado del cuarto oscuro sin ningún peligro.

#### 7.4.- Tanques de procesado.

Los tanques deberán ser de un material resistente a la corrosión. La mayoría son ahora fabricados de acero inoxidable --tipo AISI 316 con un 2 o 3 por ciento de molibdeno. También pueden ser de materia sintética como la fibra de vidrio; pero entre estos dos se debe preferir al acero inoxidable.

Las dimensiones de los tanques deberán adaptarse al formato de las películas que se empleen y a su cantidad. Debe tomarse en cuenta que las películas deben distar al menos 2 cm unas de otras y que la parte superior de las películas deberán hallarse a unos 2 cm por debajo del nivel del baño.

Los tanques deberán limpiarse a cada substitución de líquidos. Esta limpieza se hará de preferencia con agua caliente o --con agua jabonosa. Si esto no fuera suficiente, se podrá utilizar, para los tanques de materia sintética, agua de Javel (de 100 a --200 ml por litro), ácido clorhídrico concentrado (10 ml por litro) o ácido acético glacial (50 ml por litro). Los tanques de --acero inoxidable pueden limpiarse con una solución de ácido ní--trico (10 ml por litro) o de ácido acético glacial (50 ml por --litro). No deberá utilizarse nunca ácido clorhídrico para la ---limpieza del acero inoxidable.

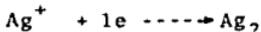
### 7.5.- Tratamiento de las películas radiográficas.

Tanto la luz visible como las radiaciones X y gamma actúan sobre los halogenuros de plata contenidos en la emulsión sensible en la forma siguiente. El cristal de halogenuro sensible, -- por ejemplo bromuro de plata (AgBr), está formado por un enrejado de iones de plata positivos, e iones bromuro negativos. Este cristal no es perfecto y presenta discontinuidades en su superficie, debidas principalmente a la presencia de sulfuro de plata, - circunstancia de mucha importancia, ya que estas discontinuidades constituyen los centros sensibles que favorecen la reacción fotoquímica y dan lugar en la película expuesta a la formación de la imagen latente.

El mecanismo de la reacción fotoquímica es el siguiente. - El fotón  $h\nu$  de energía radiante actúa sobre los iones bromo y -- deja en libertad electrones



los cuales se dirigen a los centros sensibles del cristal y crean una región cargada negativamente que atrae los iones plata  $\text{Ag}^+$  -- bres, y éstos, al llegar a ella, se descargan.



depositándose, en estos centros sensibles, plata metálica que dará lugar a la formación de la imagen.

La imagen latente no es visible hasta que la película no es sometida al tratamiento adecuado. Una vez obtenida esta imagen visible es preciso someter la película a un proceso de sensibilización, despues del cual la película podrá ser expuesta a la luz sin que sufra ninguna alteración y la imagen radiográfica será permanente.

El tratamiento de las películas ha de hacerse bajo una luz de color e intensidad adecuadas. Esta luz tiene que carecer de radiación azul, a la cual la película radiográfica es particularmente sensible.

La acción del revelador da lugar a un ennegrecimiento de --- aquellas zonas de la película que han sido expuestas a la acción de la radiación. Después del revelado, pasa aun baño de parada o a un enjuague con agua con el fin de detener la acción del revelador y se lava para quitar el exceso de reactivo que pueda quedar en su superficie. A continuación se introduce en el baño fi jador, el cual disuelve los granos de halogenuro de plata que no han sido expuestos, con lo cual la película queda insensible a la acción de la luz. Finalmente, las películas se lavan en agua corriente para quitar los agentes químicos del fijador.

#### 7.6.- Revelado.

Cuando la película impresionada se introduce en el revelador, los granos de halogenúro de plata que no han sido expuestos no sufren ninguna acción; por el contrario, este baño actúa rápi damente sobre los granos expuestos y son reducidos rápidamente a plata metálica finalmente dividida, que son las que dan lugar a la formación de la imagen.

Todos los reveladores utilizados en radiografía industrial contienen los siguientes constituyentes esenciales:

- a).- agente revelador,
- b).- agente acelerador,
- c).- agente conservador,
- d).- agente moderador,
- e).- disolvente.

a).- Agente revelador. El agente revelador es un reductor de acción suave y de naturaleza orgánica, tal como la hidroquinona o el metol, que reduce los granos expuestos y deposita plata metálica.

El mecanismo de esta reacción de oxidación-reducción es el siguiente:



b).- Agente acelerador. Su misión es acelerar el proceso de reducción. Como este tiene lugar en medio alcalino, y en la reacción de oxidación-reducción anterior se libera ácido bromhídrico, es necesaria la presencia en el baño de una sustancia -- que lo neutralice. Este acelerador alcalino es generalmente el carbonato sódico, cuya acción es:



c).- Agente conservador. Como tal se emplea generalmente - el sulfito sódico, que evita que el agente revelador sea oxidado por la acción del aire y pierda sus propiedades. La fijación del oxígeno por el sulfito sódico tiene lugar la reacción.



d).- Agente moderador. El agente moderador ha de actuar so bre el agente revelador, evitando que actúe sobre los granos de halogenuro de plata que no han sido expuestos; es decir actúa au mentando la estabilidad del bromuro de plata y, en consecuencia, el moderador tiene que ser el bromuro potásico o algún halogenuro soluble, pero el más frecuentemente utilizado es el KBr.

e).- Disolvente. Se utiliza agua y, si es posible, agua -- destilada. Después de haber revelado un determinado número de pe lículas en la solución contenida en el tanque, el baño revelador va perdiendo actividad y al mismo tiempo disminuye su volumen. - Esto se debe a las siguientes causas. En primer lugar el agente revelador se oxida y el álcali se va neutralizando por acción -- del ácido bromhídrico, como segunda causa se puede indicar que - cada película, al ser sacada del baño, retiene una cierta cantidad de la solución, lo que hace que disminuya el volumen del baño. Además se tiene que, a medida que se van revelando películas en el mismo baño, ya aumentando en él la concentración de halogenuros solubles. Si bien en la mayoría de los casos no es posible - actuar sobre estas concentraciones de halogenuros solubles y di luibles, si resulta fácil corregir la actividad al tiempo que se

mantiene el nivel del baño en el tanque.

Mantener el nivel del baño de revelado por adiciones de agua no es aconsejable, pues al diluir el baño que ya ha perdido actividad se disminuye ésta y, como consecuencia, para conseguir el mismo grado de revelado se tendrá que aumentar el tiempo o la temperatura para compensar la pérdida de actividad. Por todo -- ello, en la práctica de la radiografía industrial se hace uso de una "solución conservadora". la cual incorpora al baño de revelado nuevas cantidades de agente revelador y álcali, al tiempo que mantiene el nivel del baño.

La cantidad de plata metálica depositada sobre la película por la acción del revelado, ocasiona su grado de ennegrecimiento o densidad, la cual no solamente depende de la exposición, sino -- también del tiempo de duración del revelado y de la temperatura a que esta operación se realice. Dentro de ciertos límites se -- puede decir que, a más tiempo de revelado, corresponde una mayor cantidad de plata depositada y, por lo tanto, de una imagen más densa; y por otra parte, al aumentar la temperatura, se incrementa el grado de revelado.

Por lo tanto, el tiempo y la temperatura son dos variables que han de ser tenidas muy en cuenta en el proceso de revelado de las películas radiográficas. Si la temperatura es baja, la -- reacción será lenta y la película revelada durante el tiempo recomendado para una temperatura normal resultará clara, como si -- su exposición no fuese la correcta o es tuviese falta de revelado. Contrariamente, si el revelado se hace a una temperatura superior a la normal y para el mismo tiempo de revelado, la película puede parecer sobreexpuesta. (fig. 7.3)

Por último, conviene indicar que, para que la acción del revelador sea uniforme, se deben agitar las películas para que no queden adheridas a ellas burubjas que motivarán la aparición de manchas blancas en la radiografía.



FIGURA 7.2.-TIPOS DE ENTRADAS A CUARTOS OSCUROS.

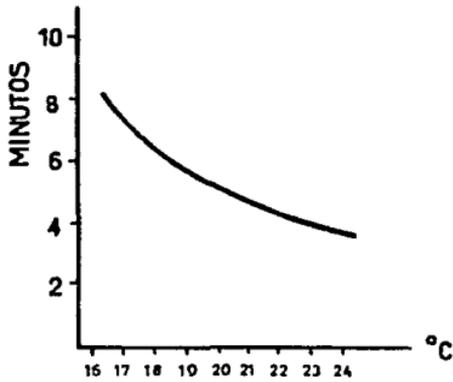


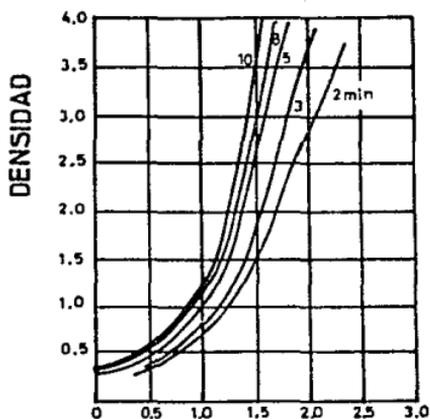
FIGURA 7.3.-VARIACION DEL TIEMPO DE REVELADO CON LA TEMPERATURA.

#### 7.7.- Efecto del revelado sobre el contraste y la rapidez.

Aunque la forma de las curvas características no es afectada por la calidad de la radiación X o gamma, si lo es por el grado de revelado. Este grado de revelado, como ya se ha indicado, depende del tiempo de duración del revelado, de la actividad del revelador y de la temperatura del baño. Dentro de ciertos límites se puede decir que a un aumento del grado de revelado corresponde un aumento del contraste y rapidez de las películas radiográficas; sin embargo, si este aumento es excesivo, puede ocurrir que se incremente el límite inferior del velo y que, como consecuencia, puedan decrecer tanto el contraste como la rapidez.

En la figura 7.4 pueden verse una serie de curvas características correspondientes a una película sin pantalla con distintos tiempos de revelado en un baño de revelador rápido a 20° C. En esta gráfica puede comprobarse cómo al aumentar el tiempo de revelado la curva característica va tomando más pendiente y al mismo tiempo se desplaza hacia la izquierda, esto es, aumenta su contraste y rapidez. La forma en que varían el contraste, la rapidez y el velo se muestran en la gráfica de la figura 7.5. Estas curvas dependen del tipo de película considerada y las de la 7.5 corresponden a la película que sirvió para construir la gráfica de la figura 7.4.

Desde un punto de vista práctico, es necesario hacer constar que, aunque el gradiente medio de una película (contraste de la película) puede no ser afectado por cambiar en el tiempo de revelado, un aumento de este tiempo puede dar lugar a un aumento en el contraste radiográfico como consecuencia de las diferencias de densidad fotográfica a que puedan dar lugar los cambios en el tiempo de revelado. En la figura 7.6 se han trazado las curvas características de una película radiográfica del tipo 1 reveladas durante 5 y 8 minutos en un revelador rápido a 20°C. Estas curvas, cuya forma es la misma y que por tanto tendrán el mismo gradiente medio, muestran una diferencia en su rapidez como consecuencia del cambio en el tiempo de revelado. Considere



log. exp. rel.

FIGURA 7.4.-ACCION DEL TIEMPO DE REVELADO SOBRE LA CURVA CARACTERISTICA DE LA PELICULA.

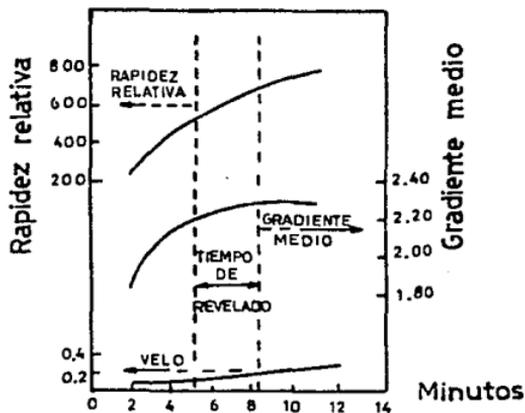


FIGURA 7.5.-INFLUENCIA DEL TIEMPO DE REVELADO SOBRE LA RAPIDEZ Y EL GRADIENTE DE UNA PELICULA.

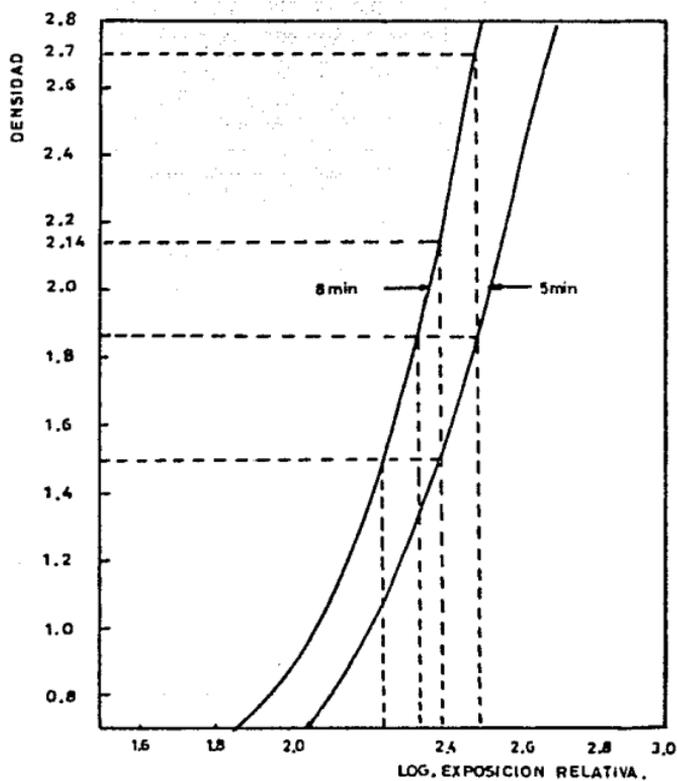


FIGURA 7.6.-EFECTO DEL TIEMPO DE REVELADO SOBRE LA RAPIDEZ DE UNA PELICULA DEL TIPO 1.

mos dos espesores ligeramente diferentes en el objeto que se radiografiem de tal forma que uno transmite un 25% más de radiación que el otro, en cuyo caso la diferencia del logaritmo de exposición entre ambas zonas será 0.1 Para una determinada exposición; exposición 1 y tiempo de revelado de 5 minutos, encontramos una variación en la densidad  $D = 0.36$ . Si se disminuye el tiempo de exposición; exposición 2, nos encontramos que al revelar durante 8 minutos se alcanza la misma variación de densidad 0.36 que se obtenía antes con la exposición 1 y revelado de 5 minutos, con lo cual quedará compensado el aumento de rapidez motivado por el mayor tiempo de revelado. Estos resultados son meramente informativos, ya que las diferencias de densidad fotográfica correspondientes a determinadas variaciones en la exposición dependen de la zona de la curva característica de la película en que se actúe.

#### 7.8.- Baño de parada o de aclarado.

Terminado el revelado y antes de introducir las películas en el fijador, deben ser escurridas unos 10 segundos aproximadamente sobre el tanque que contiene el revelador con el fin de que dejen en él la mayor parte del revelador que queda en su superficie, y a continuación han de ser enjuagadas con agua durante otros 10 segundos para quitarles el exceso de revelador o, lo que es mejor, introducir las en un baño de parada que neutralice la acción del revelador.

El baño de parada es fundamentalmente un baño ácido, cuya acción principal es neutralizar el álcali del revelador y al mismo tiempo detener la acción del agente revelador. Para este fin se utiliza el ácido acético en la concentración adecuada para impedir que el desprendimiento de anhídrido carbónico, que se produce en su reacción con el carbonato sódico, pueda producir burbujas en la superficie de la película que puedan dañar a la gelatina.

Este tratamiento intermedio entre el revelado y el fijado tiene como consecuencia inmediata una mayor duración del baño fijador. No es aconsejable la utilización del baño de parada cuando éste haya perdido sus cualidades ácidas, y por ello debe ser renovado periódicamente de acuerdo con el tamaño y número de las películas que hayan sido tratadas. Para conocer el estado del baño se puede añadir un indicador, tal como el azul de bromofenol, que presenta una coloración amarilla en medio ácido y azul en medio alcalino, siendo el tinte de transición violeta azulado.

#### 7.9.- Fijado.

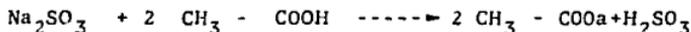
La etapa final del tratamiento químico de las películas -- consiste en la desensibilización o fijado, operación en la que ha de hacerse desaparecer de la emulsión sensible el halogenuro de plata que no fué activado, y dejar en la película solamente la plata metálica que forma la imagen. Además de esta acción -- principal, el baño fijador debe actuar sobre la gelatina endureciéndola, por ello los fijadores utilizados en radiografía industrial pertenecen al grupo de fijadores ácidos endurecedores. Un fijador de este tipo está integrado por los siguientes constituyentes:

- a).- agente fijador,
- b).- agente ácido,
- c).- agente endurecedor,
- d).- solución reguladora.

a).- Agente fijador. La sustancia normalmente usada como agente fijador, es el tiosulfato sódico (hiposulfito) o amónico, el cual reacciona con los halogenuros de plata insolubles, formando un complejo soluble en agua de acuerdo con la siguiente -- reacción:

$$\text{AgBr} + 2 \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \text{ ----} \text{Na}_3\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2 + \text{NaBr},$$
 quedando la emulsión desprovista de halogenuros sensibles.

b).- Agente ácido. El baño fijador debe contener un ácido libre capaz de neutralizar las pequeñas cantidades de álcali que pueden contener las películas, pues el tiosulfato sódico se impurifica fácilmente en medio alcalino. Por otra parte, y dado que el tiosulfato se descompone fácilmente por la acción de muchos ácidos, es necesario emplear un ácido muy débil. De estos ácidos débiles el más indicado es el sulfuroso; pero, como éste no se puede tener libre, se utiliza el sulfito sódico y ácido acético, con lo que:



que actúa al mismo tiempo conservador de la solución de tiosulfato.

c).- Agente endurecedor. Su misión es evitar que la gelatina se hinche y ablande durante el lavado posterior al fijado. Este agente endurecedor es el alumbre potásico,  $\text{ALK}(\text{SO}_4)_2 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$ .

El alumbre potásico presenta el inconveniente de formar un compuesto insoluble integrado por la gelatina, el alumbre y el tiosulfato. Sin embargo, es posible la formación de este compuesto con la adición de una sal amónica, tal como el cloruro amónico que actúa sobre el tiosulfato impidiendo su absorción y evitando así la formación del compuesto insoluble.

d).- Solución reguladora. Dada la sensibilidad del tiosulfato a las variaciones de acidez y alcalinidad, y debido a la incorporación al baño de fijador de las pequeñas cantidades de álcali que puedan llevar las películas, es preciso que el baño contenga una mezcla tampón o solución reguladora que actúe sobre estos cambios de acidez.

La solución, tampón, en este caso, está formada por el sulfito sódico y el ácido acético. El tiempo de duración del fijador no ejerce, a diferencia de lo que ya se han indicado para el revelador, ninguna acción sobre las características de la película.

El fijador actúa disolviendo los halogenuros de plata que no han sido afectados por el revelado y, debido a esto, hace que vaya desapareciendo el aspecto lechoso que tienen las películas-reveladas. Esto sirve de guía para saber cuándo ha terminado el fijado, pues entonces la emulsión aparecerá clara; de todas formas es aconsejable que las películas permanezcan en el fijador durante un tiempo que sea al menos el doble del que se ha necesitado para que la película se vea clara, para, de esta forma, asegurar que el fijado es completo y la acción del endurecedor suficiente. De una forma aproximada se puede decir que el tiempo para el fijado oscila entre 2 y 5 minutos, no obstante es frecuente prolongarlo hasta el doble del tiempo de revelado.

#### 7.10.- Lavado y secado.

Cuando las películas son extraídas del fijador, la emulsión se encuentra saturada de los componentes de este baño, los cuales, de permanecer en ella, pueden descomponerse produciendo una decoloración todos estos productos, lo que se consigue mediante el lavado de las películas.

Este lavado debe hacerse en tanques con agua corriente, de esta forma, si el caudal es suficiente, el tiempo de lavado será corto. Por el contrario, si no se utiliza agua corriente, la duración del lavado será mayor y además será preciso remover frecuentemente esta agua para que su acción sea efectiva.

Como regla de aplicación prácticas, se puede decir que el tiosulfato sódico y los demás componentes de los baños se eliminan en un lavado de 10 minutos, si el caudal de agua es suficiente para que el contenido del tanque de lavado se renueve 4 veces por hora, siempre que la temperatura del agua no sea inferior a los 10°C.

Una vez que las películas hayan sido convenientemente lavadas, y para que la radiografía queda terminada, es preciso sacarlas. Esta operación tiene más importancia de la que a primera --

vista parece, ya que mientras la gelatina se encuentra húmeda es muy sensible a cualquier acción mecánica que puede dar lugar a la formación de arañazos o zonas en que pueda desprenderse del soporte y, al mismo tiempo, hay que evitar los depósitos de polvo que serían imposibles de quitar.

Para efectuar el secado con la debida garantía se debe de utilizar un armario secador, diseñado de forma que permita la utilización de una corriente de aire caliente y que este aire sufra un filtrado previo para quitarle el polvo que pueda llegar. Asimismo, es recomendable el empleo de ciertos productos -- que modifiquen la tensión superficial del agua, con lo cual no solamente se evitan la formación de gotas en la superficie de la película, sino que al mismo tiempo se consigue que el secado sea más rápido y uniforme.

Algunas industrias no cuentan con instalaciones fijas como las mencionadas en el punto 7.2, lo que las obliga a contratar -- los servicios de otras empresas especializadas en pruebas no destructivas. O por procedimientos de los clientes, no pueden ser -- juez y parte en la fabricación de recipientes o tuberías.

Estas empresas debido al movimiento de traslado hasta la -- obra, tienen la necesidad de transportar un laboratorio compacto a bordo de una camioneta, en la cual cuentan con todo lo necesario para el procesado manual de una radiografía (fig.7.7).

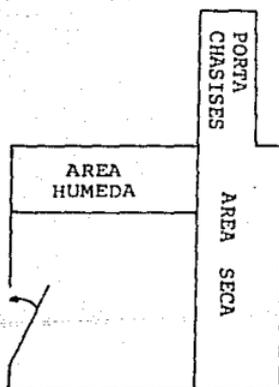
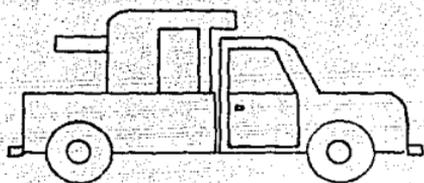


FIGURA 7.7.- LABORATORIO MOVIL PARA PROCESADO MANUAL.

## CAPITULO No. 8.- EQUIPOS DETECTORES DE RADIACION.

### 8.1.- Generalidades.

La exposición a la acción de la radiación X o gamma de -- cualquier parte del cuerpo humano puede resultar nociva y es, -- por lo tanto, esencial en todo trabajo en el que sean utilizadas estas radiaciones tomar las precauciones adecuadas para garantizar la protección tanto del operador como de las personas que se encuentren en las proximidades del lugar en que el trabajo de -- inspección radiográfica se realice.

La única manera de preveer un accidente radiológico, es el de contar con un instrumento capaz de detectar la presencia de - la radiación, el cual nos indicará el grado de esta en el área - de trabajo. Todo el personal técnico deberá conocer el manejo de estos tipos de aparatos para saber su cuidado y su alcance.

El ingenio del hombre ha creado instrumentos que miden y - detectan las radiaciones nucleares que el organismo humano no - puede percibir a través de sus cinco sentidos. Se han ideado -- procedimientos y aparatos para detectar, medir y analizar las radiaciones nucleares, a fin de prevenir sus posibles efectos, -- y poder en cambio sacar ventaja de sus múltiples aplicaciones. - Para esto, se aprovechan diversos efectos que produce la radiación al atravesar la materia. Los principales efectos son:

- a).- Ionización de los gases,
- b).- Excitación de luminiscencia en sólidos,
- c).- Ennegrecimiento de placas fotográficas.

Cuando una radiación nuclear atraviesa un gas provoca la ionización de una parte de sus átomos y, por consiguiente, la -- liberación de iones positivos y electrones negativos, Con ello - el gas, que primitivamente se comportaba como un aislante eléc - trico, pasa a ser parcialmente conductor. Midiendo la corriente eléctrica que por él circula, en determinadas condiciones, puede

deducirse la intensidad de la radiación que lo atraviesa.

De una manera parecida la radiación nuclear provoca, al atravesar ciertos sólidos transparentes, la excitación de una fracción de los átomos de la sustancia atravesada, los cuales se desexcitan inmediatamente emitiendo fotones luminosos. La medida de la luz permite medir y analizar la radiación nuclear que la provocó.

Las radiaciones nucleares pueden atravesar la envoltura que protege de la luz ordinaria a una película fotográfica y ennegrecerla. Midiendo después la intensidad de dicho ennegrecimiento, se puede deducir la dosis de radiación que ha alcanzado a la película.

#### 8.2.- Cámaras de Ionización.

Una cámara de ionización consiste en un recinto cerrado lleno de gas, en donde se encuentran dos electrodos entre los que se aplica una tensión eléctrica, generalmente del orden de un centenar de voltios.

Siendo el gas que llena el detector un buen aislante en condiciones normales, ninguna corriente eléctrica apreciable circulará entre los dos electrodos. Pero según se ha visto, el peso de una radiación nuclear provocará una ionización de dicho gas, y el campo eléctrico existente en la cámara pondrá en movimiento las cargas liberadas de cada signo hacia el electrodo de signo contrario. De esta manera se originarán en el detector corrientes o impulsos eléctricos que pueden ser medidos exteriormente, que revelan la presencia de la radiación incidente y que pueden llegar a indicar en determinadas condiciones, la naturaleza y energía de dicha radiación.

La figura 8.1 representa esquemáticamente la constitución de un detector de radiación de esta clase. La cámara es de forma cilíndrica y la pared exterior, generalmente metálica o metalizada por la parte interna de su superficie, que actúa haciendo el papel

de uno de los electrodos, estando el otro constituido por una -- varilla central y ambos separados y soportados por un disco aislante. La pared exterior de la cámara no debe ser muy gruesa a -- fin de que pueda ser atravesada por la radiación que se quiere detectar.

### 8.3.- Dosímetro de bolsillo.

Un dosímetro de bolsillo es básicamente una cámara de ionización, semejante a una pluma fuente, incluye un sistema óptico y una escala transparente.

Contiene dos fibras de cuarzo, uno de ellos está libre para moverse respecto a su posición inicial. A éstas se le aplican cargas iguales, ocasionando una repulsión entre ellas. La ionización en la cámara reduce la carga y permite que la fibra se mueva hacia su posición original. La distancia que se mueve la fibra, es proporcional a la dosis recibida en la cámara.

Los instrumentos de este tipo pueden construirse lo suficientemente resistentes como para soportar pequeñas sacudidas en las actividades de trabajo. Sin embargo un golpe más fuerte lo daña, -- es por esto que se recomienda que se verifique el estado de su -- clip segutador.

Son lo suficientemente pequeños para ser usados cómodamente y son muy útiles para medir exposiciones. Usualmente se construyen de modo que la deflexión máxima corresponda a 500 mR o para -- sensibilidades de 200 mR, 100 mR, 1R, 10 R, 100 R, etc La ventaja predominante de este tipo de instrumento, es que puede leerse en cualquier momento que se desee sin la ayuda de otro accesorio, -- simplemente dirigiéndolo hacia una fuente de luz mirando hacia su interior. (fig. 8.2).

### 8.4.- Contador Geiger Muller.

Otro tipo de detector de radiaciones nucleares más empleado en la actualidad es el contaro Geiger-Muller. Su funcionamiento -- también está basado en la cámara de ionización.

La corriente entregada por una cámara de ionización en respuesta a las radiaciones nucleares es generalmente muy débil. Por ello, y pese a su posterior amplificación con dispositivos electrónicos. Los detectores basados en tales cámaras no pueden ser muy sensibles y resultan incapaces de medir niveles de radiación muy bajos.

Se puede aumentar considerablemente la sensibilidad de la medición, disminuyendo el diámetro del cilindro exterior de la cámara y muy especialmente el de su electrodo central, y llenándola de una mezcla de gases apropiada. Queda entonces convertida la cámara de ionización en un contador Geiger, el cual, aplicándole una tensión algo más elevada que la que se aplica a la cámara, responde a la radiación nuclear con corrientes mucho más intensas que las entregadas por ésta última.

La razón de tal comportamiento se encuentra en que los electrones inicialmente liberados por las radiaciones nucleares incidentes, son ahora muy acelerados por el fuerte campo eléctrico existente en el interior del contador. Por ello, en su veloz recorrido hacia el electrodo positivo chocan contra los átomos neutros del gas con tal violencia que los ionizan, librando así nuevas cargas que pasan a engrosar el flujo de la corriente inicial. Los electrones así liberados se comportan en la misma forma y el proceso se hace acumulativo, resultando muy amplificada; ya dentro del propio tubo Geiger, la corriente inicialmente producida por la radiación nuclear que penetra en él.

Los equipos detectores de radiación basados en el tubo Geiger resultan así mucho más sensibles que los basados en las cámaras de ionización y más adecuados por lo tanto más adecuados para medir niveles de radiación muy bajos.

Después de la descarga a todo lo largo del hilo central, en tanto que los iones no se alejen lo suficiente de ésta para que puedan formarse nuevas avalanchas, no podrá el contador detectar

una nueva partícula que lo atraviese. Al intervalo de tiempo en que esto sucede, contado a partir de la iniciación de la avalancha, se le denomina tiempo muerto del contador.

Antes de que todos los iones hayan alcanzado el cilindro, puede ser ya detectada una nueva partícula, aunque dando lugar a un impulso más pequeño que el anterior, por no haberse restablecido todavía en toda su magnitud el campo eléctrico junto al hilo central; este efecto se muestra en la figura 8.3, en donde se ha representado la forma de un segundo impulso en función del -- intervalo de tiempo que le separa del primero. Al intervalo que ha de transcurrir, después de un impulso aislado, para que el -- contador pueda dar otro impulso de amplitud máxima se le llama -- tiempo de recuperación; viene a ser el tiempo que tarda en desaparecer del contador la nube de iones formada en cada impulso.

El Contador Geiger Muller es muy útil para la detección de campos radiactivos. Como ya se dijo en los párrafos anteriores, es muy sensible, lo cual es una gran ventaja ya que resulta muy -- apropiado para monitorear zonas de radiación. Las dimensiones fí -- sicas de este instrumento, lo hacen menos maniobrable. Se debe -- tener mucho cuidado para no golpearlo ni sacudirlo, porque esto ocasiona que con el tiempo las lecturas mostradas sean inexactas.

#### 8.5.- Dosimetría Termoluminiscente (TLD)

Los llamados dosímetros termoluminiscentes se basan en -- las propiedades que poseen ciertos materiales dieléctricos con -- un rango de transparencia óptica (sólidos cristalinos), los cua -- les después de haber recibido una dosis de radiación, emiten -- luz si son calentados a temperaturas por debajo de su temperatu -- ra de incandescencia. Midiendo entonces la cantidad de luz emiti -- da se deduce el valor de la dosis absorbida por el dosímetro.

Una cuarta parte de los minerales naturales exhiben el fenómeno de Termoluminiscencia (TLD), sin embargo, sólo alguno de ellos han resultado apropiados para la dosimetría; calcitas, -- fluoristas, cuarzos, silicatos, etc. Los materiales más utilizados son los compuestos inorgánicos preparados sintéticamente inroduciéndoles impurezas en forma artificial, para que actúen como activadores.

Estos dosímetros suelen tener forma de pastilla circular de varios centímetros de diámetro y su utilización es parecida a la de los dosímetros fotográficos. Para su lectura debe contarse con un dispositivo adecuado para el calentamiento del dosímetro y de la lectura de la luz emitida. Al calentar y medir la luz, desaparecen en el dosímetro los efectos de la radiación recibida y queda de nuevo listo para ser utilizado nuevamente.

El uso de este tipo de dosímetro es personal, y se debe de portar siempre que se trabaje con radiación y durante toda la -- jornada.

#### 8.6.- Dosimetría de película.

Este tipo de dosimetría está basado en los efectos causa dos por la radiación nuclear sobre una película fotográfica. La película consta de una cubierta de papel y de una laminilla de fibra de vidrio o celulosa llamada base, sobre la cual hay una o dos capas de emulsión.

Existen varios tipos de emulsiones que tienen en común una base de gelatina con halogenuros de plata, esparcidos sobre la -- película, con espesores que varían de unas cuantas micras hasta varios cientos de micras. El espesor más común para radiaciones nucleares está entre 10 a 25 micras.

Su funcionamiento es de la siguiente manera: la radiación pierde energía liberando o elevando la energía de uno o más -- electrones en la banda de conducción de energía de los cristales de plata. Los electrones emigran alrededor del cristal y quedan

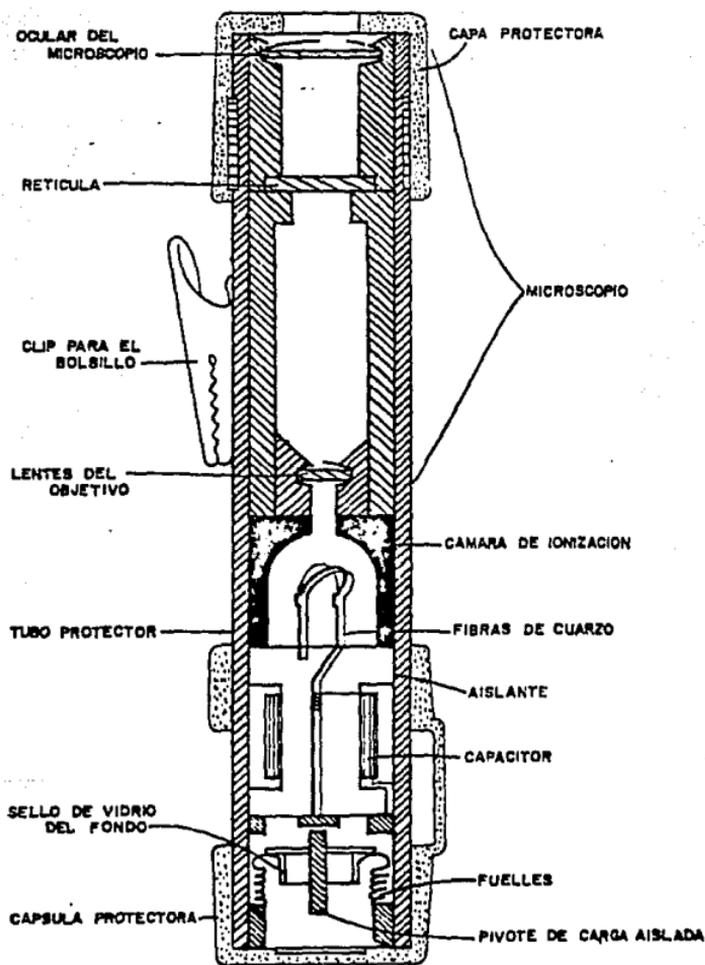
atrapados en los centros de sensibilidad que pueden consistir de impureza o deformaciones en la estructura del cristal. El potencial electrostático formado alrededor de los centros, da por resultado la acumulación de algunos iones de plata, que tienden a moverse libremente en el cristal, el número de iones que toman parte en esa migración depende principalmente de la temperatura; estos iones se colectan alrededor de los centros de sensibilidad debido a la atracción de los electrones negativos.

Finalmente, los iones se neutralizan para formar átomos de plata, los cuales constituyen la imagen latente de la emulsión y actúan como catalizador durante el proceso de revelado para convertir completamente el grano a plata; así el desarrollo del proceso es realmente una amplificación del orden de  $10^{12}$  de lo que se ha detectado.

La probabilidad de que se establezca una imagen latente, aumenta con el número de electrones en los centros de sensibilidad, número que es proporcional a la energía absorbida por la emulsión. El tratamiento de la película dosimétrica es similar al de la película radiográfica.

Esta película se aloja en un portadosímetro generalmente de plástico, el cual está diseñado de tal manera que la radiación puede llegar a la película directamente a través de una ventana abierta y de varios filtros diferentes, tales como el aluminio, cobre, cadmio, estaño y plomo (fig. 8.4).

Mediante la comparación de la densidad óptica de la película usada por una persona, se puede medir el índice de exposición. La densidad óptica no varía aunque se proceda a evaluaciones repetidas, ni se altera sensiblemente cuando la película se guarda durante largo tiempo. Por esta razón, la película dosimétrica se acepta como una prueba médica legal de exposición a las radiaciones nucleares.



DOSIMETRO TIPO DE FIBRA DE CUARZO.

#### 8.7.- Dosímetro de alarma.

En muchas ocasiones no es posible mantener una vigilancia constante en las lecturas de un contador Geiger Muller. Es por esto que se han diseñado dispositivos portátiles, de un volumen reducido y de poco peso capaces de detectar los niveles de radiación en lugares y circunstancias muy diversas.

Su funcionamiento está basado en el principio de la cámara de ionización. Posee un tubo Geiger asociado a un sistema electrónico que detecta y amplifica a través de sonidos audibles la presencia de la radiación.

Por lo general poseen un selector o control que permite fijar la intensidad del campo radiactivo, el cual opera la alarma integrada al dispositivo.

La selección de un equipo detector de radiación va de acuerdo al tipo de instalación, al costo, tamaño, rango y tipo de radiación a detectar. Por ejemplo, en un laboratorio es necesario un equipo que cuantifique con mucha exactitud la radiación existente. En los trabajos de radiografía industrial en la obra misma solamente es necesario un detector sonoro para indicar la presencia de la radiación, además de los dosímetros personales que por seguridad radiológica deberá de portar.

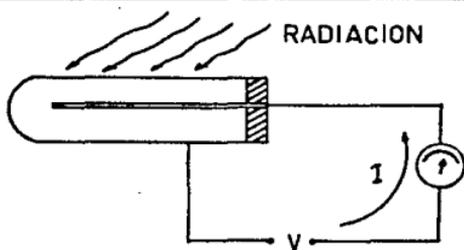


FIGURA 8.1.- CAMARA DE IONIZACION.

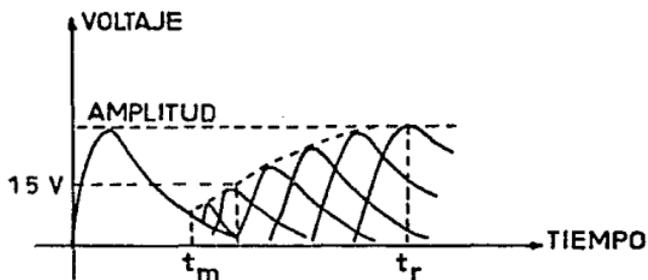


FIGURA 8.3.- IMPULSOS DE UN CONTADOR GEIGER.

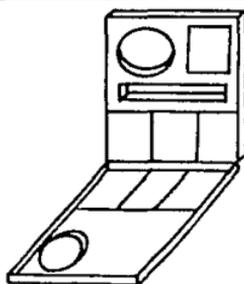


FIGURA 8.4.- PORTADOSIMETRO DE PELICULA.

## CAPITULO No. 9.- SEGURIDAD RADIOLOGICA.

### 9.1. Generalidades.

Todas las radiaciones ionizantes, ya sean de naturaleza - electromagnética o corpuscular, son nocivas para el cuerpo humano. Esto ha ocasionado que la protección contra estos peligros - haya sido elevado al rango de una ciencia.

El técnico radiógrafo es quien está expuesto sobre todo a las dos formas de radiación ionizante: los rayos X y los rayos Gamma, y es quien asume la pesada responsabilidad de protegerse y proteger a sus auxiliares técnicos y al público, contra una inútil exposición de radiación.

Es por esto, que es necesario que el técnico posea los conocimientos -- necesarios relativos a los principios básicos de la protección radiológica, con el objetivo de poder realizar sus labores sin poner en peligro su salud - y las de los demás.

Se recomienda que las personas que trabajan con rayos X o Gamma no de - ban recibir más de 5 Rems en todo el cuerpo a lo largo de un año. Se supone - que esta cantidad de dosis no produce ningún daño al trabajador ni a su des - cendencia, aún si se llegara a recibir repetidamente a lo largo de muchos años trabajando con este tipo de radiaciones. Suponiendo 50 semanas de trabajo al año, ello equivale a una dosis media semanal de 100 milirems. Y suponiendo 40 horas semanales de trabajo, ello supone que el valor máximo de la tasa de dosis media durante el trabajo queda fijada en 2.5 milirems/hora. Sin embargo, siempre hay que tener presente que toda cantidad de radiación es siempre dañi na. De todo esto se deduce fácilmente que hay que procurar mantener los límites de dosis tan bajos como sean posibles.

### 9.2.- Unidades de medición.

Exposición. Este término involucra a la capacidad de la radiación X o Gamma para producir ionización en un volumen específico de aire. La unidad - utilizada para expresarla es el Roentgen (R). Su mérito descansa en el hecho de que la magnitud de la exposición en Roentgene puede relacionar se usualmente con la dosis absorbida, la cual es de mucha importan - cia para predecir o cuantificar el efecto biológico esperado ---

(o daño) resultante de la radiación.

El Roentgen se define como sigue:

$1 R = 2.083 \times 10^9$  pares de iones por  $\text{cm}^3$  de aire a temperatura y presión estándar.

Dosis. Es la cantidad de radiación que recibe un organismo que se expone a un campo ionizante. La dosis es sinónimo de la cantidad de radiación absorbida. Cuando un tejido o un organismo se halla expuesto a una radiación penetrante, parte de ésta lo atraviesa y sigue su camino, mientras que la parte restante es sólo la parte absorbida que cede su energía al tejido u organismo y puede producir en él efectos perjudiciales.

Por ello, el efecto de la radiación viene determinado por la dosis absorbida, o sea por la energía cedida por la radiación a los tejidos u órganos atravesados. Como unidad de dosis de radiación absorbida, de cualquier tipo se ha adoptado internacionalmente el RAD.

Se absorbe una dosis de radiación de un RAD cuando cada kilogramo de sustancia irradiada recibe de la radiación una energía de 0.01 Julios. Un múltiplo del RAD es el GRAY que equivale a 100 RADS y por consiguiente la absorción de una energía de 1 Julio por cada kilogramo de sustancia irradiada.

$$1 \text{ RAD} = 100 \text{ ERGS/Gr} = \frac{1}{100} \text{ J/Kg.}$$

$$1 \text{ GRAY} = 100 \text{ RADS.}$$

Es conveniente enfatizar que aunque el Roentgen es estrictamente aplicable a la radiación X o Gamma, el RAD puede utilizarse independientemente del tipo de radiación ionizante o del tipo de medio absorbente.

El REM. Es la unidad de dosis biológica que incluye el efecto causado y se define como:

$$\text{REM} = \text{Dosis en RADS} \times \text{Factor de Calidad.}$$

Da una indicación de la cantidad de daño biológico que podría resultar por la absorción de la radiación nuclear. El valor del factor de calidad para los rayos X o Gamma es 1.

Así, en general, para radiación X o Gamma, la dosis equivalente en REMS es numéricamente igual a la dosis absorbida en RADS y burdamente a la exposición en Roentgens.

### 9.3.- Efectos biológicos de la radiación.

Como ya se ha indicado anteriormente, el ser humano carece por completo de sensibilidades para detectar directamente las radiaciones nucleares que recibe.

Desde que el hombre, los animales, las plantas y aún los microorganismos aparecieron en la tierra, diferentes tipos de radiaciones han estado actuando sobre ellos. Durante todo este tiempo han recibido las radiaciones solares, así como el bombardeo constante de los rayos cósmicos y radiaciones provenientes del espacio exterior.

Los efectos biológicos de las radiaciones constituyen uno de los problemas de mayor complejidad en la ciencia médica. Poco después del descubrimiento de los rayos X y de la radiactividad, se notó de que una excesiva exposición a tales radiaciones producía efectos perjudiciales, desde pequeñas quemaduras en la piel hasta trastornos mucho más graves, como son la destrucción de tejidos, anemia, esterilidad, cancer e incluso la muerte en un breve plazo tras una exposición intensa y prolongada.

Los efectos más importantes de la radiación se clasifican en somáticos y genéticos. Los primeros son aquellos que se manifiestan a través de quemaduras en la piel, diversas formas de cáncer, esterilidad, cataratas, anemia, etc. El daño se manifiesta directamente en la persona expuesta. Los segundos son aquellos que se presentan en las generaciones posteriores a través del código genético alterado, éstos son los más peligrosos, ya que la idoneidad biológica de la raza humana se pone en serio peligro.

Los diferentes tipos de células, tejidos y órganos de que está compuesto el organismo humano, muestran diferencias marcadas en su respuesta a una exposición dada. Se ha observado que no son igualmente sensibles o vulnerables a la radiación.

Existen algunas observaciones que nos permiten predecir el grado de radiosensibilidad de los diferentes tipos de células, tejidos y órganos.

Las células más activas y de crecimiento más rápido, tenderán a ser más radiosensitivas en un tejido dado; los tejidos y células menos especializadas o menos diferenciadas, tienden a ser menos vulnerables a la radiación. En general, el núcleo de una célula es más radiosensitivo que el citoplasma; de aquí que una célula más grande, con mucho citoplasma, no se vea tan afectada como una que tenga proporcionalmente más material en el núcleo.

La siguiente lista muestra en orden decreciente la radiosensibilidad de las células, tejidos y órganos:

- 1.- Tejido linfático, particularmente los linfocitos.
- 2.- Células sanguíneas inmaduras que se encuentran en la médula ósea.
- 3.- Células que revisten el canal gastro-intestinal.
- 4.- Células de las gónadas.
- 5.- Piel, particularmente la porción alrededor de los folículos capilares.
- 6.- Células endoteliales: vasos sanguíneos y peritonéo.
- 7.- Epitelio del hígado y suprarrenal.
- 8.- Otros tejidos, incluyendo hueso, músculo y nervios, en ese orden.

Existe un período latente antes de que los efectos de la radiación se manifiesten, el cual puede variar desde unos pocos días hasta décadas, y aún generaciones.

A los efectos originados por la exposición a cuerpo total de una gran dosis de radiación en un período corto de tiempo se le conoce con el nombre de efecto agudo. Estos efectos pueden resumirse como sigue:

DOSIS AGUDA	EFECTO PROBABLE
0 - 25 R	No hay lesión aparente.
25 - 50 R	Cambios posibles en la sangre sin lesiones serias.
50 - 100 R	Cambios en las células sanguíneas, lesión parcial, no incapacidad.
100 - 200 R	Lesión, posible incapacidad.
200 - 400 R	Lesión e incapacidad, posible muerte.
400 R	Fatal en un 50%.
600 R o más	Fatal.

#### 9.4.- Principios básicos de protección radiológica contra la radiación nuclear.

Como ya se dijo en los párrafos anteriores, los efectos biológicos de la radiación han establecido valores de dosis máximas permisibles para el ser humano. Se estima que no existen riesgos apreciables para las personas que reciban dosis de radiación inferiores a dichos valores. Por lo tanto, es necesario adoptar las medidas necesarias para que, ni los trabajadores profesionalmente expuestos, ni el público en general, reciban dosis superiores a tales valores máximos considerados como razonablemente seguros.

La dosis de radiación recibida por una persona al permanecer en las proximidades de una fuente radiactiva, depende de tres principios fundamentales, que son (figura 9.1) :

A.- La Distancia.

B.- El Tiempo.

C.- El Blindaje.

A.- La Distancia.- La radiación se propaga en el aire siguiendo la ley del inverso cuadrado, la cual se define de la siguiente manera: "LA INTENSIDAD DE LA RADIACION ES INVERSAMENTE PROPORCIONAL AL CUADRADO DE LA DISTANCIA AL PUNTO FOCAL". En otras palabras, al alejarse de la fuente, la intensidad de la radiación disminuye en la misma proporción en que aumenta el cuadrado de la distancia. De la misma manera, al acercarse a la fuente, la intensidad de radiación aumenta en la misma proporción en que disminuye el cuadrado de dicha distancia.

O sea, que la dosis de la radiación Gamma, que en un mismo intervalo de tiempo, se recibe a un metro de distancia, libre de obstáculos, de una fuente radiactiva disminuirá a la cuarta parte al alejarse hasta dos metros; a la novena parte al alejarse a tres metros; a la centésima parte al alejarse a diez metros, etc. Análogamente, al acercarse a la mitad de la distancia, la intensidad de dosis aumentará cuatro veces. Y a nueve veces si nos acercamos a una distancia tres veces inferior a la inicial.

Fácilmente se comprende, por lo tanto, que en muchos casos bastará con alejarse de la fuente de emisión, para que el nivel de radiación disminuya a valores tolerables que permitan estancias más o menos prolongadas para la realización, en condiciones aceptables de los trabajos u operaciones necesarias.

B.- El Tiempo.- Otro factor a tener en cuenta es el tiempo durante el cual una persona va a ser expuesta a un cierto nivel de radiación para la realización de un trabajo. Lógicamente, cuanto menor sea el tiempo empleado en la operación, menor será la dosis recibida. Por ello, es muy importante que el personal ocupacionalmente expuesto, esté bien adiestrado y conozca perfectamente las operaciones que se van a realizar, con el objeto de invertir en ellas el menor tiempo posible. Es conveniente que

cuando se trate de operaciones complicadas o de personal sin la suficiente experiencia, se realicen previamente simulacros, es decir ensayar con una fuente simulada, las mismas operaciones -- que luego habrá de efectuar en el trabajo real.

En muchos casos, una adecuada combinación de los dos factores considerados (distancia y tiempo), bastará para proporcionar una protección adecuada. Al alejarse suficientemente de una fuente, los niveles de radiación disminuyen rápidamente, permitiendo una estancia más prolongada. Inversamente, si se consigue acortar el tiempo empleado en una operación determinada, será -- posible efectuarla a menor distancia, aún cuando los niveles de radiación sean elevados.

C).- El Blindaje.- En la práctica se presentan circunstancias en las que los dos factores anteriores, por si solos, no -- bastan para conseguir unas condiciones de trabajo adecuadas, ya sea porque a la máxima distancia práctica, los niveles de radiación sigan siendo demasiado altos, o bien porque el tiempo a emplear tenga que ser demasiado prolongado. En tales circunstancias es preciso interponer, entre la fuente de radiación y el operador algún material de espesor suficiente que absorba la radiación. Como ya se mencionó en los capítulos anteriores, toda radiación, al atravesar la materia, sufre una disminución o atenuación de -- su intensidad. Según sea el tipo y la energía de la radiación y la aten-ación a conseguir, habrá que utilizar distintos tipos y espesores de blindajes.

Para la radiación X o Gamma es preciso emplear materiales blindadores como el concreto, hierro, plomo, etc.

Se le llama capa hemirreductora al espesor de un material que, interpuesto en la trayectoria de la radiación, esta se reduce a la mitad de su intensidad. Análogamente, una capa decirreductora es el espesor de un material que, interpuesto en la trayectoria de la radiación, esta se reduce a la décima parte de su intensidad. Ambas capas dependen de la energía de la radiación -

incidente y, en general, es tanto menor cuanto mayor sea la densidad del material empleado como blindaje.

El siguiente cuadro muestra una lista de capas hemirreductoras para rayos X o Gamma.

Materiales Hemirreductores en cm.			
Rayos X: Intensidad	Concreto	Hierro	Plomo
50 Kv	0.6	0.06	0.01
100 Kv	1.8	0.15	0.02
150 Kv	2.3	0.35	0.03
200 Kv	2.7	0.60	0.05
250 Kv	3.1	0.70	0.70
300 Kv	3.3	1.00	0.15
<b>Rayos : Isótopos</b>			
Cobalto 60	6.6	2.2	1.6
Cesio 137	4.4	1.4	0.9
Iridio 192	3.7	1.1	0.3

Un blindaje reduce la intensidad de radiación que incide sobre ella en un determinado número de veces, cualquiera que sea su distancia a la fuente radiactiva o al generador de rayos X. Por lo tanto, es posible colocar el blindaje a cualquier distancia entre la fuente y el operador.

Sin embargo, no hay que olvidar que, a medida que aumente la distancia entre la fuente y el blindaje, disminuye el espacio protegido contra la radiación (sombra). La figura 9.2 ilustra lo dicho, y de él se deduce la conveniencia de colocar los elementos de blindaje lo más cerca posible de la fuente cuya radiación se quiere atenuar.

Los cálculos necesarios para conocer el espesor del blindaje en espesores hemirreductores son muy sencillos. El siguiente

te ejemplo muestra los pasos a seguir:

Calcular cuál debe ser el espesor necesario para reducir una intensidad de radiación de 700 mR/h a 150 mR/h?

Solución:

$$\text{Relación de intensidades} = \frac{700}{150} = 4.6$$

El número de grosores hemirreductores necesarios = N

$$2^N = 4.6$$

Despejando N:

$$N \log 2 = \log 4.6$$

$$N = \frac{\log 4.6}{\log 2} = 2.19$$

N = 2.19 espesores hemirreductores.

Finalmente, se toma en cuenta el tipo de fuente de radiación y material a usar. Por ejemplo, si la radiación es del tipo Gamma y el material a emplear es el plomo, tenemos que:

$$0.3 \times 2.1 = 0.65 \text{ cm. de espesor.}$$

En toda área de trabajo siempre se debe de indicar mediante letreros la presencia de campos radiactivos. Estos letreros deberán cumplir con las dimensiones exactas que se muestran en dibujo de la figura 9.3. Los colores de éste símbolo internacional de radiación varían de acuerdo a la intensidad del campo radiactivo existente en la zona, siendo el más peligroso aquel que combina el fondo amarillo y el símbolo color magenta.

La seguridad radiológica es un factor muy importante para todo el personal que labora en la radiografía industrial, ya que está en juego su salud y la de su futura descendencia.

En México existe una Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS) la cual es la encargada de vigilar que todo el personal que opere material radiactivo reciba capacitación y adiestramiento al respecto, al inicio y cada periodo establecido.

Esta comisión establece los requerimientos mínimos que debe de cumplir una empresa que se dedique a la radiografía industrial como son:

- Un ingeniero que funja como Encargado de Seguridad Radiológica.
- Equipo de monitoreo suficiente y adecuado al trabajo.
- Instalaciones adecuadas.
- Equipo de manipulación (contenedores, reeles, etc)
- Personal adiestrado y capacitado.

El Encargado de Seguridad Radiológica es la persona encargada de vigilar que todo el personal cumpla con los requisitos establecidos en la licencia otorgada por la CNSNS. Los requisitos necesarios para poder llegar a ser Encargado son: ser titulado y aprobar un curso de Seguridad Radiológica en alguna institución de prestigio comprobado; en México por ejemplo está el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ).

Los accidentes más comunes en la radiografía industrial son debido a que en algunas ocasiones la fuente se atora en la manguera guía, o que por alguna razón se rompe el chicote que empuja la fuente. Cuando sucede esto el personal deberá llevar a cabo un rescate de fuente que a veces llega a durar algunas horas.

En estos accidentes ha habido personal que ha sufrido lesiones muy serias que la han llevado a perder algunos de sus miembros (manos, dedos, nalgas, piernas, etc). Por estas razones es necesario establecer una vigilancia muy estrecha al personal y al equipo para evitar este tipo de accidentes.

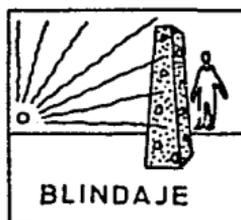
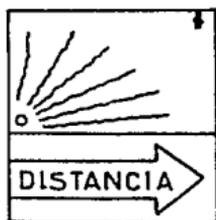
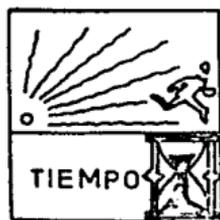


FIGURA 9.1.-PRINCIPIOS BASICOS DE PROTECCION RADIOLOGICA

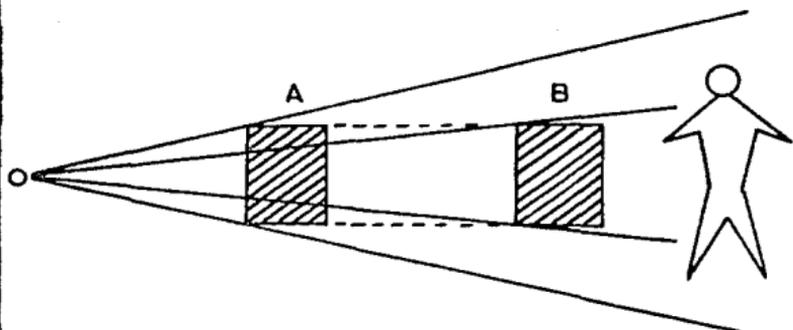


FIGURA 9.2.- COLOCACION DEL BLINDAJE.

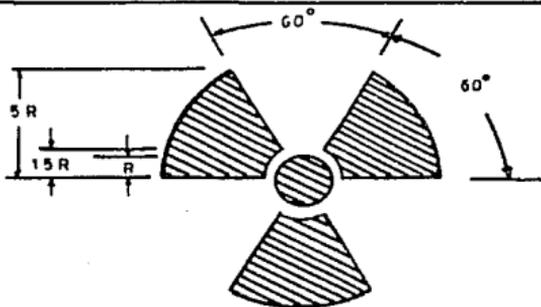


FIGURA 9.3.-SIMBOLO INTERNACIONAL DE RADIACION.

## CAPITULO No. 10.- INTERPRETACION RADIOGRAFICA.

### 10.1.- Generalidades.

El objetivo de este capítulo es proporcionar los elementos necesarios para alcanzar un alto grado de confiabilidad en la -- interpretación de radiografías correctamente tomadas. Partiendo de la base de que la interpretación radiográfica es la tarea más delicada y que requiere de mayores conocimientos y experiencia. Este capítulo va más allá de indicar a que discontinuidad corresponde una indicación dada en una radiografía para abarcar las -- definiciones, localización, forma y causas de los defectos o --- discontinuidades. Será la base para unificar criterios y enfoques respecto a la interpretación, a la vez que un material básico -- para todo personal que se inicie en esta etapa del proceso radiográfico.

Se abarcará únicamente uniones soldadas a tope, ya que para otros procesos como la fundición, el forjado o el laminado, se -- requiere de un estudio de las discontinuidades propias de estos - procesos.

No se abarcan todas las posibles formas en que se pueden -- presentar las discontinuidades, sino más bien las formas típicas en que aparecen. A partir de la presentación típica y del conocimiento de la naturaleza de los defectos, el técnico deberá deducir a qué defecto corresponde una indicación dada, aunque no aparezca en la forma convencional.

### 10.2.- Calidad de las soldaduras.

La soldadura se define como un proceso para la unión de dos partes metálicas mediante la aplicación de calor, con o sin el -- uso de metal de aporte y con o sin uso de presión. Esta definición abarca todos los procesos individuales de soldadura utilizados industrialmente.

La soldadura se emplea donde se requiera una unión íntima -

entre dos piezas metálicas y ha reemplazado casi por completo a los antiguos métodos de remachado, en la construcción de puentes, barcos, calderas, edificios, tanques de almacenamiento, etc.

Las ventajas evidentes de la soldadura con el estado actual de la tecnología ha llevado a exigir esfuerzos cada vez mayores a una unión soldada. De hecho, actualmente se diseña bajo la --- premisa de que una soldadura resiste tanto o más que el metal -- base.

Realmente se puede conseguir que una soldadura resiste --- tanto o más que el metal que une si se logran reunir las condi-- ciones siguientes:

- 1.- El metal de aporte es el adecuado con respecto al metal base que se va a unir.
- 2.- La soldadura se efectúa siguiendo la especificación de un procedimiento que haya demostrado previamente ser - capaz de producir una soldadura con las propiedades -- requeridas.
- 3.- La soldadura la aplica un soldador calificado que haya demostrado previamente tener la habilidad necesaria -- para producir una soldadura sana, siguiendo un proce-- dimiento calificado.

Sin lugar a dudas que se pueden lograr las condiciones an-- teriores, pero la realidad es que en algunas ocasiones no se lo-- gran por ciertas desviaciones. Si se analiza cada una de las --- tres condiciones ya señaladas, se comprenderán las razones que - se exponen a continuación.

La mayoría de los fabricantes de prestigio en electrodos - han logrado una muy buena calidad en sus productos. Sin embargo, sus procesos también están expuestos a ciertas variables que en un momento dado pueden provocar que la composición química del - electrodo quede fuera de especificación, dando así una soldadura de mala calidad.

En la especificación del procedimiento de soldadura se establecen una serie de condiciones que por alguna causa pueden no reunirse en la práctica. Por ejemplo, el equipo de soldadura --- puede tener fallas, la limpieza del material base puede ser incorrecta, el enfriamiento puede ser muy brusco, etc.

Una desviación o desviaciones pueden dar lugar a una calidad inferior en el depósito de la soldadura.

La experiencia ha demostrado que una fuente de mala calidad sigue siendo la mano de obra. En un trabajo importante se -- deben mantener registros sobre los soldadores para permitir que sólo trabajen aquellos soldadores que han sido calificados para un trabajo específico. Sin embargo no debemos confiar demasiado en la calificación de un soldador, pues ésta, en el mejor de los casos, demuestra que el soldador PUEDE hacer la soldadura, pero no demuestra o asegura que el soldador lo HARA.

En consecuencia, hemos de considerar que una soldadura --- puede presentar defectos o imperfecciones de tres clases generales:

- 1.- Defectos Dimensionales.- Son aquellos relacionados con -- una falla de la soldadura en cumplir con las especificaciones respecto a su forma, perfil o dimensiones. Entre -- estos defectos se pueden incluir: distorsión de las placas, preparación incorrecta de la ranura, refuerzo excesivo, superficie irregular, etc.
- 2.- Defectos de Propiedad.- Cuando las propiedades químicas o mecánicas de la soldadura no cumplen con las especificaciones señaladas. Entre estas se pueden considerar, la -- resistencia a la tensión, la ductibilidad, la dureza, etc. Las propiedades químicas se refieren básicamente a su --- composición.
- 3.- Defectos Estructurales.- Por esta clase de defectos se -- deben entender aquellas condiciones en que existe una interrupción en la estructura normal del material. No se --

debe usar el término discontinuidad para referirse a un -- cambio en la estructura metalográfica o a una variación -- local de la composición química promedio, sino realmente -- como una interrupción física en la sanidad del metal. Entre estas podemos considerar, la porosidad, las escorias, roturas, etc.

Concluimos entonces que como parte de las operaciones de - soldadura se debe incluir la inspección de la misma. La inspec- ción se ha de efectuar siguiendo un método capaz de detectar los defectos cuya existencia se presume.

### 10.3.- Naturaleza de la interpretación.

La interpretación es el quinto y último paso del proceso - radiográfico, consistente en observar cuidadosamente la imagen - radiográfica bajo condiciones apropiadas de iluminación. Con esta observación se logra detectar, localizar, clasificar y evaluar - aquellas indicaciones en una radiografía, que corresponden a -- discontinuidades en la soldadura.

El intérprete siempre debe imaginarse que está viendo el -- interior de la soldadura y no solamente una placa radiográfica -- que muestra una imagen en dos dimensiones. El principio fundamen- tal que se debe tener siempre en mente es la visualización del -- interior y exterior de la soldadura, más que la simple observa- ción de la placa. Evidentemente la visualización requiere un com- cimiento suficiente del proceso empleado en la unión, así como el tipo y forma de la ranura preparada. El intérprete debe conside- rar como una buena práctica el efectuar un examen visual previo - a la exposición para detectar condiciones tales como socavado, -- coronas bajas, refuerzos excesivos, roturas superficiales, poros superficiales, etc.

En la medida que sea posible, el intérprete deberá enterarse de los detalles del proceso de soldadura, número de cordones, -- secuencia, procedimientos de limpieza, etc. Esto le recompensará

ampliamente al llevar a cabo la interpretación.

La interpretación tiene una naturaleza limitada y bien definida. El intérprete podrá decir que discontinuidades están --- presentes en una soldadura y en que extensión. Al comparar estas discontinuidades con una norma aplicable, juzgará si la soldadura está DENTRO o FUERA de norma, pero en ningún caso podrá hacer conjeturas respecto al efecto mecánico que tendrán tales discontinuidades en la soldadura y mucho menos podrá determinar en que grado se ve disminuida la resistencia del material, ya que no -- cuenta con los datos y medios para ello.

#### 10.4.- Condiciones básicas para la interpretación.

Con el objeto de que la interpretación rinda información - completa de la sanidad de una soldadura, es requisito indispensable que dicha información esté contenida en la radiografía.

La radiografía se debe tomar usando una técnica apropiada que se seleccionará de acuerdo con cada tipo de trabajo (placa, tubería, estructura). La placa radiográfica debe mostrar un buen contraste y ésto se puede juzgar fácilmente al comparar la imagen del cordón de soldadura con la del metal base. Las indicaciones deben exhibir buena definición y una regla práctica para comprobarlo, es observar la imagen de los números de plomo utilizados para la identificación, o el penetrómetro para ver si hay o no - penumbra en su contorno; es importante que el técnico siempre -- tenga sus números libres de rebabas.

Tanto la definición como el contraste radiográfico están - comprendidos dentro de un concepto más general llamado sensibilidad, que se refiere al tamaño de la discontinuidad más pequeña -- que puede verse en una radiografía.

El penetrómetro es el medio empleado para comprobar si se, ha logrado la sensibilidad requerida. En toda radiografía se debe distinguir el contorno del penetrómetro empleado, así como su nú-

mero de identificación y el agujero esencial que tiene la función de una discontinuidad artificial. Cuando el penetrómetro aparece en la forma indicada, se debe suponer que en la radiografía se -- han detectado todas aquellas discontinuidades que tienen un tamaño igual o mayor del agujero esencial del penetrómetro y en consecuencia la interpretación será sobre la base de que la información existe. No deberá interpretarse cuando no se ha usado el penetrómetro, o si éste no aparece en la forma exigida.

El procesado de la película debe hacerse con todo cuidado - de tal manera que no se produzcan defectos durante estas operaciones. Un defecto en el procesado podría confundirse con una discontinuidad en la soldadura o podría ocultar una discontinuidad -- real.

Finalmente, la radiografía debe mostrar una identificación completa que nos permita localizar el lugar en que se encuentra - la soldadura, así como la fecha en que fué tomada y cualquier --- otra información que pueda exigir el interesado.

#### 10.5.- Defectos en la soldadura.

Se considera como defecto en una soldadura cualquier desviación que la aparte de ciertas especificaciones relacionadas ya sea con las dimensiones, la sanidad estructural o con sus atributos. La existencia de defectos es algo que siempre puede ocurrir y su simple existencia no será razón suficiente para el rechazo, sólo -- mente cuando su magnitud exceda los valores establecidos en una -- norma aplicada.

A continuación hablaremos de las discontinuidades más comunes en la soldadura, poniendo énfasis en su naturaleza, causas de formación y su interpretación radiográfica.

#### 10.5.1.- Porosidades.

Un poro es un hueco o bolsa de gas generalmente esférico. El gas ha evolucionado durante la solidificación de la soldadura y se ha quedado atrapado en ella.

El principal elemento que causa o contribuye a la formación de porosidades es el hidrógeno, proveniente de alguna de las siguientes fuentes:

- 1.- El gas atmosférico alrededor de la zona del arco eléctrico y del depósito de la soldadura.
- 2.- La presencia de humedad en la atmósfera, en el recubrimiento del electrodo, en el flux o fundente o agua en la superficie del metal base.
- 3.- La celulosa y algunos otros constituyentes del recubrimiento del electrodo que forman hidrógeno al arder.
- 4.- El metal base mismo puede contener bolsas de gas que se mezclan con el metal de soldadura y quedan atrapados en éste.

Debido al gran calor producido por el arco, las moléculas de hidrógeno se disocian produciendo hidrógeno atómico. En este estado, el hidrógeno se difunde fácilmente en el metal fundido. A medida que la soldadura se enfría, disminuye la solubilidad del hidrógeno para la mayoría de los metales.

Al disminuir la temperatura, el metal queda sobresaturado de hidrógeno, el cual se reúne para formar burbujas o bolsas de gas. Siendo más ligeras que el metal fundido; las bolsas de gas tienden a elevarse hasta la superficie. Si las burbujas no alcanzan la superficie antes de que el metal se solidifique, quedarán atrapadas como porosidades internas. Si alcanzan la superficie cuando el metal está casi sólido, quedarán como porosidades superficiales. Si alcanzan la superficie cuando el metal aún está líquido o semilíquido, la soldadura quedará libre de porosidades.

La porosidad puede presentarse especialmente al iniciar o

interrumpir un cordón, ya que en ese momento se pierde la protección contra la atmósfera y además el enfriamiento es muy rápido.

Las uniones verticales y sobrecabeza muestran una mayor ---tendencia a la porosidad, pues las bolsas de gas tienen su paso -restringido al tratar de alcanzar la superficie. Otra causa de --porosidad es una corriente muy baja o muy elevada, así como una -pérdida de protección debida a corriente de aire o por flujo in--suficiente de gas cuando se usa un proceso como el TIG o MIG.

Los óxidos en la superficie del metal base pueden reaccio--nar con el carbono para formar monóxido de carbono (CO) que puede quedar atrapado en el metal de soldadura, formando porosidades. Respecto a la forma en que se presentan los poros, se sigue la --siguiente clasificación:

- 1.- Poros Esféricos.- Se presentan en una forma aproximadamen--te esférica y pueden encontrarse aislados, agrupados, ali--neados o dispersos. En la figura 10.1, se muestra la vista en corte de una soldadura con poros esféricos aislados. En uniones efectuadas sobre un plano vertical, a veces se pre--sentan en una forma ligeramente alargada.
- 2.- Poros Cilíndricos.- Son discontinuidades en forma tubular alargada que se presentan a través de varios cordones. ---Inicialmente fué un poro esférico en algún cordón que al -depositarse el siguiente cordón, quedó fundido y ascendió un poco más hacia la superficie, dejando un hueco tubular; este mismo proceso se puede repetir en el siguiente o si--guientes cordones. Los poros cilíndricos se presentan so--bre todo cuando se solda con elevada densidad de corriente como en los procesos de arco eléctrico protegido con gas inerte (figura 10.2).
- 3.- Poro Tunel. Es una discontinuidad de forma tubular que ---ocurre en el cordón de fondeo o de raíz, provocado princi--palmente cuando hay gran turbulencia en el charco de metal fundido debido a la corriente excesiva desplazándolo hacia la parte líquida de la soldadura siguiendo el charco de --metal y dejando el cordón hueco (figura 10.3).

En la figura 10.4 se muestra una ilustración de una radiografía conteniendo los diferentes tipos de porosidades ya mencionados. En el primer centímetro observamos dos poros esféricos -- individuales, entre el centímetro 7 y 9 hay porosidad agrupada, y en los últimos tres centímetros hay poros dispersos.

En el centímetro 10 podemos observar un poro tunel; como veremos más adelante, esta indicación podría confundirse con una falta de penetración, sin embargo el técnico debe notar que aquí si existe cordón de fondeo y penetración completa, como lo demuestra la franja clara al centro de la radiografía, pero está hueco el cordón.

Observamos que hasta el centímetro 7, no se nota la imagen del cordón de fondeo, lo cual puede significar que tal cordón ha quedado justamente al nivel de la superficie del metal base, o bien, que se ha soldado por ambos lados, dejando un refuerzo uniforme.

Del centímetro 7 al 16, podemos notar claramente la imagen del cordón de fondeo. Compárese las figuras 10.5 y 10.6, respectivamente.

Los poros son la discontinuidad más común en una soldadura en cualquier proceso empleado. En ocasiones el poro se muestra en una forma no esférica, sino un tanto irregular que puede hacernos creer que se trata de una inclusión de escoria. Para distinguirlos, hay que recordar que el poro es un gas atrapado que ejerce presión en todas direcciones y que aunque puede ser de forma --- irregular, no puede mostrar "picos", puntas o aristas.

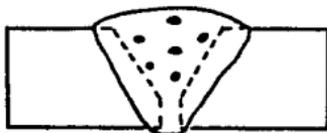


FIGURA 10.1.-POROS ESFERICOS.



FIGURA 10.2.-POROS CILINDRICOS.

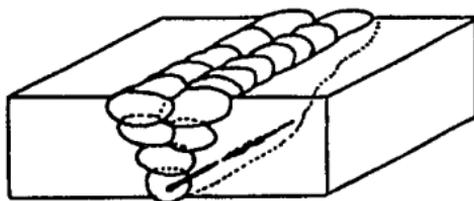


FIGURA 10.3.-POROS TUNEL.

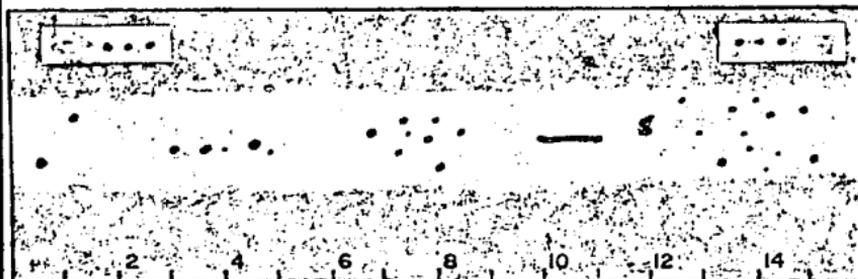


FIGURA 10 4 RADIOGRAFIA MOSTRANDO POROS ESFERICOS INDIVIDUALES, ALINEADOS, AGRUPADOS UN PORO TUNEL, UN PORO CILINDRICO Y POROS DISPERSOS, EN ESTE ORDEN.

### 10.5.2.- Inclusiones de Escoria.

Este término se utiliza para describir óxidos y sólidos no metálicos atrapados en el metal de soldadura o entre el metal de soldadura y el metal base. La escoria se puede presentar como partículas individuales o bien como líneas continuas o intermitentes.

El proceso de arco eléctrico protegido con electrodo recubierto, muestra la máxima tendencia a la aparición de escorias; también es común encontrar escorias en una soldadura hecha con un proceso de arco eléctrico sumergido y es muy improbable que se presente cuando se solda usando un arco protegido con gas inerte.

Las fuentes más comunes de la escoria son el recubrimiento del electrodo que al fundirse produce sólidos no metálicos y los óxidos, pintura, etc., sobre la superficie o cara de la ranura. La escoria no se disuelve en el metal fundido y como es más ligera tiende a alcanzar la superficie, a menos que se encuentre con obstáculos o que la soldadura se solidifique muy rápido.

Es muy común que la escoria quede atrapada en la zona de fusión de los primeros cordones, particularmente si la superficie del cordón queda convexa, como se muestra en la figura 10.7. Las inclusiones de escoria pueden evitarse o minimizarse al máximo efectuando una limpieza cuidadosa del metal base y al terminar cada uno de los cordones, y al utilizar una corriente adecuada de tal manera que el metal de soldadura no quede muy viscoso e impida la salida de la escoria.

En una radiografía las inclusiones de escoria aparecen en forma irregular y más oscura que la zona adyacente. En el centímetro 2 de la figura 10.8 vemos dos inclusiones aisladas; entre los centímetros 4 y 6 hay una línea de escoria, entre los centímetros 8 y 12 hay doble línea de escoria y, finalmente en el centímetro 16 hay otra inclusión aislada. Nótese la franja clara central indicativa del cordón de fondeo. Compárese la figura 10.7 y la doble línea de escoria.



FIGURA 10.5. - PROPORCIONARAN UNA IMAGEN RADIOGRAFICA DONDE NO SE NOTARA EL CORDON DE FONDEO.

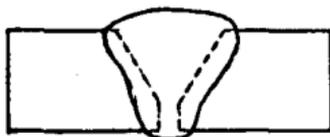


FIGURA 10.6.-PROPORCIONARA UNA IMAGEN RADIOGRAFICA DONDE SI SE NOTARA EL CORDON DE FONDEO.

FIGURA 10.7.-INCLUSIONES DE ESCORIA.



FIGURA 10 8 RADIOGRAFIA MOSTRANDO INCLUSIONES Y LINEAS DE ESCORIA.

### 10.5.3.- Falta de Penetración.

Es el llenado incompleto de la raíz de una unión. En general se refiere a una penetración insuficiente para cubrir todo el espesor de la unión. En una unión de tubos, en que normalmente se prepara una "V" sencilla y se solda por un solo lado, la falta de penetración es una discontinuidad expuesta a la superficie (fig. 10.9)

Cuando la preparación de la ranura es en "V" doble, la falta de penetración es una discontinuidad interna (figura 10.10). Las causas que provocan una falta de penetración pueden ser: un diseño inapropiado de la ranura, una abertura de raíz muy estrecha, un diámetro del electrodo muy grande, un avance de la soldadura muy rápido o una corriente insuficiente. El técnico debe siempre saber el diseño de la ranura para así saber de antemano en que parte de la radiografía puede aparecer la falta de penetración. En las figuras 10.11 y 10.12 se muestran diferentes casos.

En la figura 10.13 se muestra una radiografía con diferentes tipos de falta de penetración. Del centímetro 2 al 4, hay una falta de penetración que corresponde al corte de la figura 10.9 o --- 10.11 (a); el cordón de fondeo nos indica que la soldadura se ---- efectuó por un solo lado, por lo tanto no corresponde a las figuras 10.10 o 10.11 (b). Nótese que donde hay falta de penetración - desaparece la imagen del cordón de fondeo. Entre los centímetros 8 y 10 hay una falta de penetración que no se encuentra al centro, - corresponde a la figura 10.12 (b). Compárese cuidadosamente el esquema de la soldadura y la radiografía.

En algunas ocasiones, la falta de penetración es causada por un desalineamiento de las placas o tubería, como se muestra en las figuras 10.11 y 10.12 (a), en esos casos la imagen radiográfica -- muestra dos densidades. El área más clara corresponde a la placa - donde el bisel ha quedado sin fusionar (figura 10.12). En ocasiones los biseles son de forma irregular ocasionando aberturas de -- raíz muy estrechas, resultando una falta de penetración más delgada (figura 10.14).

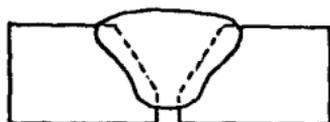


FIGURA 10.9.-FALTA DE PENETRACION EN UNA RANURA EN V SENCILLA.

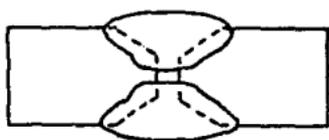


FIGURA 10.10.-FALTA DE PENETRACION EN UNA RANURA EN V DOBLE.

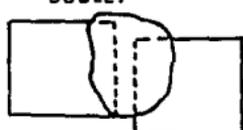
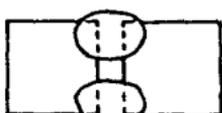


FIGURA 10.11.-FALTA DE PENETRACION EN RANURAS CUADRADAS.



FIGURA 10.12.-a) FALTA DE PENETRACION OCASIONADA POR DESA LINEAMIENTO.



b) FALTA DE PENETRACION EN UNA RANURA DE BISEL SENCILLO.

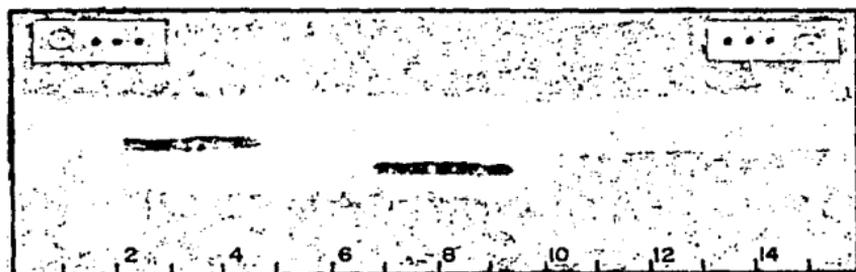


FIGURA 10.13.-RADIOGRAFIA MOSTRANDO FALTAS DE PENETRACION.

#### 10.5.4.- Falta de Fusión.

Es la ausencia de liga o unión entre el metal de soldadura y el metal base, o bien entre dos cordones adyacentes. El técnico debe entender que la falta de fusión implica dos porciones de metal "pegado" o sobrepuesto sin que haya una unión íntima.

La causa principal de la falta de fusión es el calor insuficiente al aplicar el cordón de soldadura, lo cual no fusiona el metal adyacente, quedando además una capa fina de óxido.

Una corriente demasiado baja, un precalentamiento insuficiente y una falta de limpieza del metal base o del cordón depositado, tienden a causar falta de fusión.

Como la falta de fusión es una discontinuidad sumamente delgada, es difícil su detección mediante la radiografía, a menos que sea aproximadamente paralela con la dirección de la radiación.

En la figura 10.15 se muestra una falta de fusión entre cordones (b), muy difícil de detectar y una falta de fusión entre metal base y metal de soldadura que es más fácil de aparecer en una radiografía.

La falta de fusión aparece en una radiografía como una línea o líneas continuas, intermitentes y son de una densidad muy tenue. La ilustración de la figura 10.16 muestra una falta de fusión muy severa.

El técnico deberá tener mucho cuidado al interpretar una radiografía que pudiera tener faltas de fusión, ya que densidad a veces no permite detectarlas con mucha claridad, y tampoco las deberá de confundir con roturas.

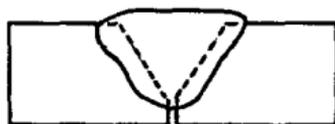


FIGURA 10.14.-FALTA DE PENETRACION.

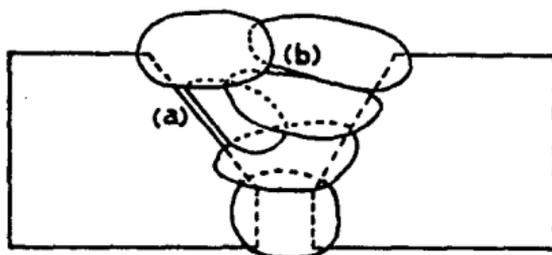


FIGURA 10.15.-FALTAS DE FUSION.

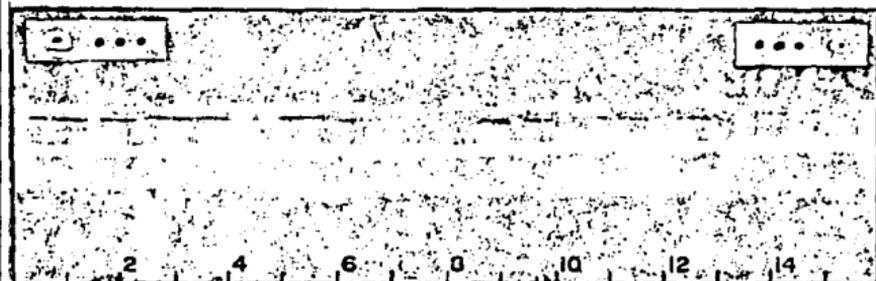


FIGURA 10.16.-RADIOGRAFIA MOSTRANDO FALTA DE FUSION.

#### 10.5.5.- Roturas o Grietas.

Es una ruptura en el metal de soldadura debido a la generación de esfuerzos localizados, que en algún punto exceden la resistencia máxima del metal.

Normalmente las roturas ocurren durante el enfriamiento debido a las contracciones resultantes. En ocasiones la rotura es provocada por la manipulación de las piezas soldadas antes de que haya terminado la unión.

La forma y orientación exacta en que se presenta una rotura dependerá del procedimiento seguido al efectuar la soldadura, así como de la dirección en que se generen los esfuerzos por contracción. En la figura 10.17 se muestran algunos tipos de roturas.

Entre las medidas más eficaces para reducir la posibilidad de una rotura, están: evitar la manipulación de los tubos o placas antes de terminar la soldadura, no fijar rígidamente las partes a soldar para dar margen a la contracción, efectuar un precalentamiento y postcalentamiento cuando el tipo de metal y la temperatura del ambiente así lo requieran.

Es recomendable que el técnico al interpretar "busque" una posible rotura, sobre todo en aquellos casos en que se trate de una rotura transversal inclinada con respecto al haz de radiación, y de esa manera reduce la posibilidad de que una rotura se le pase por alto. En la figura 10.18 se muestra una radiografía con roturas.

En una radiografía, la rotura aparece como una línea oscura o tenue y continua o interrumpida. Difícilmente se presenta como una línea estrecha y casi siempre la localizamos de ciertos espesores debido a la inclinación que presenta a la radiación.

A la izquierda de la figura 10.18 se muestra una rotura longitudinal en la zona de fusión de la soldadura. En la parte central podemos localizar la imagen de una rotura transversal.

En ocasiones el metal base cede primero, ocurriendo ahí la rotura como lo muestra en la derecha de la figura, rotura en el metal base.

Desde el punto de vista metalúrgico, las roturas se pueden clasificar en dos tipos: roturas en caliente y roturas en frío.

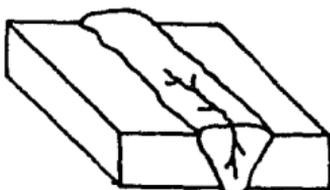
Las roturas en caliente ocurren a elevadas temperaturas, en el momento en que casi todo el metal de soldadura ha pasado del estado líquido al sólido. Estas roturas se atribuyen a la presencia de ciertos compuestos de bajo punto de fusión que permanecen en estado líquido en los límites de los granos, formando así una especie de película. A medida que el metal de soldadura se enfría, se producen esfuerzos de contracción que el metal no puede soportar debido a la película del compuesto de bajo punto de fusión, resultando en una rotura o separación a lo largo de los límites del grano.

En soldaduras de acero, el principal elemento que causa roturas en caliente, es el azufre, que se presenta en la forma de sulfuro de hierro ( $\text{FeS}$ ). Agregando manganeso, éste se combina con el azufre formando sulfuro de manganeso ( $\text{MnS}$ ) y disminuyendo así la formación del perjudicial  $\text{FeS}$ . Otros elementos que tienden a causar roturas en caliente son: Boro, Fósforo, Columbio, Estaño, y Estroncio, en ese orden.

Las roturas en frío ocurren a bajas temperaturas, cerca de la temperatura ambiente y ocurren generalmente en forma transgranular (o sea, a través de granos). Se pueden deber simplemente a que el metal de soldadura es insuficiente para soportar los esfuerzos de contracción térmica o algunos esfuerzos externos que se puedan aplicar accidentalmente o intencionalmente.



A).- ROTURA ESTRELLA



B).- ROTURA LONGITUDINAL



C).- ROTURA TRANSVERSAL Y EN METAL BASE.

FIGURA 10.17.- ROTURAS



FIGURA 10.18.- RADIOGRAFIA MOSTRANDO ROTURAS.

#### 10.5.6.- Socavados.

El socavado representa una ranura o canal cotínuo o intermitente fusionado a la orilla de la soldadura en el metal base y que ha quedado sin rellenar con metal de soldadura.

Las causas del socavado están diréctamente relacionadas -- con las técnicas-empleadas por el soldador y no con la calidad - de los materiales y equipo de soldadura.

Específicamente, una elevada corriente, un arco demasiado - largo y una velocidad de avance muy rápida tienden a la formación de los socavados. En la figura 10.19 se muestran algunos casos -- típicos de los socavados.

Los socavados se consideran como una discontinuidad externa que reduce la sección de la placa o tubo, disminuyendo así su -- resistencia.

Cuando el socavado presenta una forma aguda en forma de "V", es muy perjudicial, pues causa concentración de esfuerzos y puede dar origen a una rotura.

En una radiografía, los socavados se presentan como áreas -- oscuras a la orilla de la soldadura, si es socavado externo, -- compárese la figura 10.19 (a), (c) y la parte izquierda de la -- figura 10.20. Para el socavado interno, compárese la figura 10.19 (b) y la parte derecha de la figura 10.20.

Los socavados, ya sean internos o externos pueden ser contí-  
nuos o intermitentes y de variado grosor.

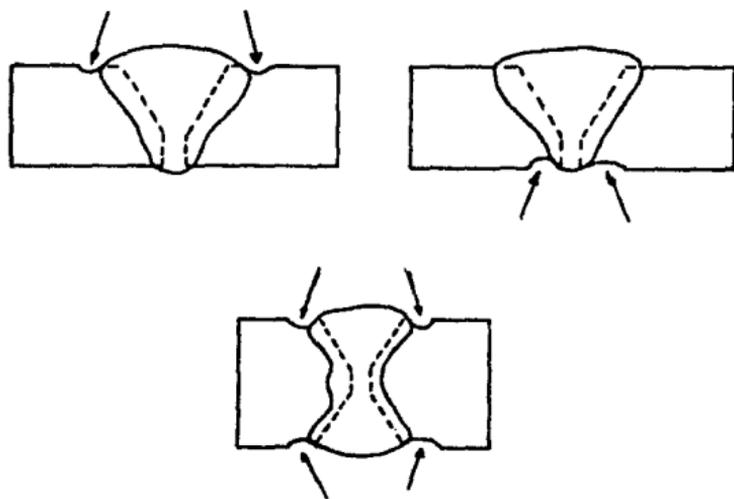


FIGURA 10.19.-SOCAVADOS.

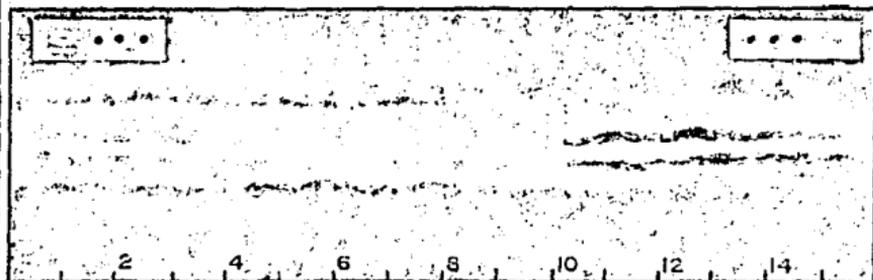


FIGURA 10.20.-RADIOGRAFIA MOSTRANDO SOCAVADOS.

#### 10.5.7.- Concavidad en la raíz, Quemada y Corona Baja.

La concavidad en la raíz se refiere a la situación provocada cuando el metal de soldadura ha penetrado y fusionado suficientemente todo el espesor del tubo o placa y durante la contracción se provocó una concavidad en el fondo de la soldadura (figura 10.21).

El técnico no deberá confundirla con la falta de penetración, pues ésta última deja los bordes de la raíz sin fusionar, mientras que la concavidad ha fusionado completamente.

La concavidad en la raíz ocurre comunmente cuando se solda tubería o placa en posición fija. La concavidad ocurre al soldar la parte inferior o sea en posición sobrecabeza. La gravedad y la tensión superficial hacen que el metal de soldadura forme una superficie cóncava en la superficie interior del tubo. La concavidad en la raíz se puede extender en una longitud considerable, a menudo ocupa hasta un cuadrante de la circunferencia en una tubería.

En una radiografía, la concavidad en la raíz se muestra como una franja oscura en el centro de la soldadura, pero sin que muestre una definición precisa de los lados. En la figura 10.24 se muestra la imagen de una concavidad en la raíz.

Una quemada es una discontinuidad externa producida cuando una porción de metal de soldadura ha sido soplada dentro del tubo o placa debido a una penetración excesiva.

En términos prácticos diremos que la quemada ocurre cuando el calor excesivo ha hecho que una porción de la soldadura se "gotee" dejando una especie de cráter en forma ovalada (figura 10.22). Sólo encontraremos quemadas cuando la ranura se prepara para soldarse por un solo lado y, predominantemente, cuando se solda en posición plana.

El técnico no debe de confundir la quemada con una concavidad en la raíz; la quemada es el cráter dejado al desprenderse -- una gota de metal líquido y es producido por el calor excesivo al detener el arco en un punto cuando se usa un proceso manual o semiautomático. La concavidad en la raíz es cuando el perfil del -- fondo de la soldadura queda abajo del metal base debido a la contracción del metal y se extiende en una longitud considerable, y se produce en los procesos automáticos de soldadura sobretodo.

En una radiografía la quemada aparece como una área oscura más o menos bien definida y de forma ovalada; se localiza en el -- lugar correspondiente al cordón de fondeo (figura 10.24)

La corona baja es un defecto relacionado con el perfil es--pecificado de la soldadura. Se presenta cuando los cordones de -- vista han sido insuficientes para cubrir el espesor total del metal base (figura 10.23). El técnico notará visualmente cuando --- exista una corona baja, además de que la observará en una radio--grafía cuando la soldadura presente una imagen aún más oscura -- que la del metal base. Cuando exista la corona baja, bastará con agregar más soldadura, hasta que se cubra totalmente la ranura, -- pero sin que el refuerzo exceda del valor permitido en la norma aplicada. En la figura 10.24 se puede observar una corona baja en la parte derecha, quemadas al centro y concavidad en la raíz a la izquierda.

#### 10.5.8.- Penetración Excesiva.

Se refiere a aquella condición en que el cordón de fondeo -- ha penetrado en forma excesiva, en comparación de lo necesario -- para cubrir la raíz de la unión. En una radiografía aparece como áreas de densidad sumamente baja. Compárese la figura 10.25 y la 10.26.



FIGURA 10.21.-CONCAVIDAD EN LA RAIZ.

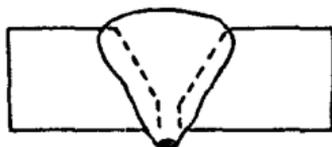


FIGURA 10.22.-QUEMADA.



FIGURA 10.23.-CORONA BAJA.

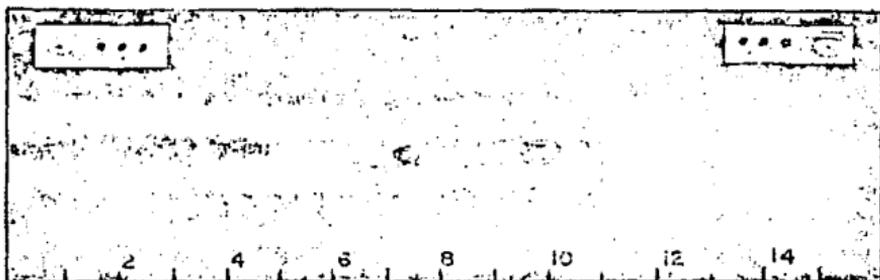
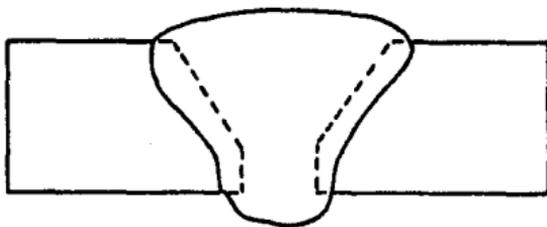
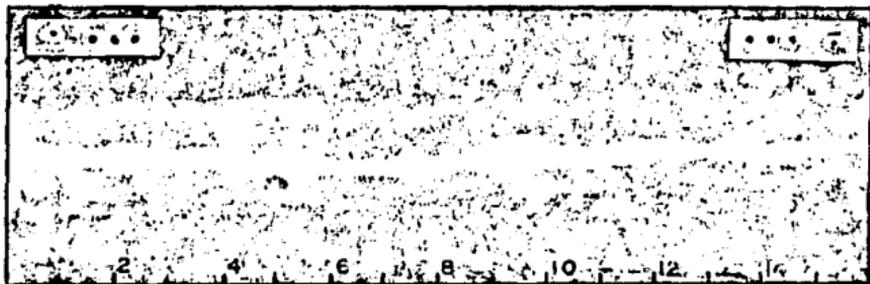


FIGURA 10.24.-RADIOGRAFIA MOSTRANDO CONCAVIDAD EN LA RAIZ , QUEMADAS Y CORONA BAJA , EN ESE ORDEN.



**FIGURA 10.25.-PENETRACION EXCESIVA.**



**FIGURA 10.26.-RADIOGRAFIA MOSTRANDO PENETRACION EXCESIVA.**

## CAPITULO No. 11.- NORMAS DE INTERPRETACION RADIOGRAFICA.

### 11.1.- Generalidades.

Una vez que el técnico radiógrafo ha reconocido las diferentes indicaciones en una radiografía y ha evaluado su magnitud, necesita compararlas con los valores establecidos en un estándar o norma aplicable.

Estas normas establecen valores límites de aceptabilidad de las diversas discontinuidades, mas alla de las cuales se consideran inaceptables. El técnico simplemente las reportará como "fuera de norma".

Un técnico bien desarrollado deberá conocer suficientemente todas las normas de aplicación usual y dominará a la perfección la norma que esté aplicando en un trabajo determinado. Deberá -- comprender los conceptos y criterios contenidos en cada norma y repasará constantemente los valores numéricos de los límites para cada tipo de discontinuidad.

### 11.2.- Norma API-1104.

Es un estándar publicado por el Instituto Americano del -- Petróleo, para gobernar lo referente a la soldadura de tuberías e instalaciones relacionadas con el petróleo. El técnico radiógrafo aplicará esta norma siempre que se trate de tuberías usadas para el transporte, compresión y bombeo de petróleo crudo, derivados y productos del petróleo y gases combustibles, así como en sistemas de distribución. La sección 6 de éste estándar se refiere a los límites de aceptabilidad de cada discontinuidad.

### 11.3.- Norma API-650.

Este estándar también es publicado por el Instituto Americano del Petróleo. Esta especificación señala los requerimientos de materiales, diseño, fabricación e inspección de tanques cilíndricos verticales de acero soldado, para el almacenamiento del -- petróleo o derivados, a una presión interna cercana a la atmosférica. En la sección 6 se describe el método radiográfico que --

se debe emplear en la inspección; sin embargo, no señala los límites de aceptabilidad para las diferentes discontinuidades, indicando que para éste objeto se apliquen los valores señalados - en la sección VIII del código de calderas y recipientes del ASME.

#### 11.4.- Norma API-620.

También éste estándar es publicado por el Instituto Americano del Petróleo. Esta especificación señala las reglas recomendadas para el diseño y construcción de grandes tanques de almacenamiento soldados en campo y usados para productos o derivados de petróleo, a una presión de 15 lb/pulg.<sup>2</sup> y menores. En cuanto a -- los límites de las discontinuidades, también nos remite al ASME sección VIII.

#### 11.5.- Norma ASME I.

Esta sección se aplica al diseño, materiales e inspección - de calderas de potencia. En la parte PW se trata de los requerimientos de las calderas fabricadas por soldaduras, y en los párrafos PW-51 se indican los límites para la aceptabilidad radiográfica. Complementándose con el apéndice A-250 para las indicaciones redondeadas.

Las roturas, faltas de penetración y faltas de fusión, se consideran muy perjudiciales debido al tipo de trabajo, y no se aceptan en ninguna longitud. En cuanto al resto de las discontinuidades, simplemente las clasifica en alargadas y redondeadas, señalando límites de aceptabilidad para cada clase. Según lo anterior, no es necesario distinguir si se trata de un poro o una quemada, pues ambas son indicaciones redondeadas y se les aplica el mismo límite. Sin embargo el técnico especificará en su reporte cada uno de los tipos de discontinuidades o indicaciones observadas.

#### 11.6.- Norma ASME V.

Publicada por el comité de calderas y recipientes a presión de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos. Esta sección se refiere a los métodos recomendables para la examinación no destructiva. El técnico deberá estudiar cuidadosamente el Artículo 2 de esta sección, que se refiere a la examinación radiográfica, pues es un material que contribuirá a su capacitación. El artículo 2, señala los requerimientos sobre materiales, equipo y calidad radiográfica, no señalando nada sobre interpretación ni de límites de aceptabilidad.

#### 11.7.- Norma ASME VIII.

Se refiere a los requerimientos para recipientes a presión y en nuestro caso se aplica a los tanques esféricos. En lo que se refiere a los límites de aceptabilidad para la inspección radiográfica, son exactamente iguales a los establecidos en la sección I.

#### 11.8.- Norma ASME IX.

Se refiere a los requerimientos para la calificación de --- soldadores y operadores de máquinas de soldar.

#### 11.9.- Norma AWS.

La Sociedad Americana de Soldadura ha publicado el código de Soldadura Estructural. Lo distintivo de este código, es que --- se aplica a la soldadura de miembros que van a tener una función mecánica y no presión.

El técnico deberá aplicar esta norma cuando inspeccione --- soldaduras de puentes, edificios, estructuras tubulares, plataformas marinas, etc., ya que en todos estos casos, sólo existe carga pero no presión. La sección 6 del código se refiere a la inspección radiográfica, señalando los requerimientos para la técnica. Los diferentes límites de aceptabilidad se encuentran en diversos párrafos de las secciones 8, 9 y 10, según se trate de edificios, puentes o estructuras tubulares.

11.10.- Norma ANSI B31.1.

Tuberías de Potencia. Es un estándar publicado por el Instituto Nacional Americano de Estándares. Este código prescribe los requerimientos mínimos para el diseño, materiales, fabricación, ensambles, montajes, examinación, inspección y pruebas de sistemas y tuberías para estaciones generadoras de electricidad, plantas industriales, plantas de vapor y sistemas de calefacción.

La colocación de la tubería cuando se use éste código incluye la tubería, las bridas, boquillas, juntas, válvulas, dispositivos de descarga, herrajes y las partes de otros componentes de tubería conteniendo presión.

11.11.- Norma ANSI B31.3.

Plantas Químicas y líneas de petróleo en refinerías. Este código prescribe los requerimientos mínimos para los materiales, diseño, fabricación, ensamble, montaje, examinación, inspección y prueba de sistemas de líneas sujetas a presión o vacío.

Estos códigos se aplican al manejo de sistemas de líneas -- para todos los fluidos, incluyendo sólidos fluibles, y para todos los tipos de servicios incluyendo productos químicos en bruto, -- procesados y refinados, gasolinas, productos del petróleo, vapor de gas, aire, agua y refrigerantes.

A continuación se muestran en forma de tablas los límites de aceptabilidad de los códigos ya descritos.

API-1104 EDICION 1986 SECC. 6  
ESTANDARES DE ACEPTABILIDAD

DISCONTINUIDAD OBSERVADA		DIMENSION MAXIMA ACEPTABLE	SUMA MAXIMA ACEPTABLE EN 12" CONT. DE SOLD.
INCLUSION DE ESCORIA	2 3/8" (60.3 mm) D. E. Y MAYORES	1/8" (3.17 mm) ANCHO MAXIMO	1/2" (12.7 mm) NO MAS DE 4 CON ANCHO MAXIMO DE 1/8" (3.17mm)
	MENORES DE 2 3/8" (60.3 mm)	1/2 DE t NACHO MAXIMO	2 t
LINEA DE ESCORIA	2 3/8" (60.3 mm) D. E. Y MAYORES	2" (50.8 mm) LONGITUD 1/6" (1.59 mm) ANCHO	2" (50.8 mm) LONGITUD
	MENORES DE 2 3/8" (60.3 mm)	3 t LONGITUD 1/16" (1.59 mm) ANCHO	
DOBLE LINEA DE ESCORIA	LINEAS DE ESCORIA PARALELAS DEBERAN CONSIDERARSE COMO CONDICIONES SEPARADAS SI EL ANCHO DE CUALQUIERA DE ELLAS EXCEDE 1/32" (0.79 mm)		
FALTA DE FUSION POR CIERRE EN FRIJO		2" (50.8 mm) LONGITUD	2" (50.8 mm) LONGITUD
FALTA DE FUSION CON CONEXION A LA SUPERFICIE		1" (25.4 mm) LONGITUD	1" (25.4 mm) LONGITUD O EL 8% DE LA LONGITUD DE LA SOLDADURA SI ESTA ES MENOR DE 12" (304.8 mm)
FALTA DE PENE TRACION EN LA RAIZ		1" (25.4 mm) LONGITUD	1" (25.4 mm) LONGITUD O EL 8% DE LA LONGITUD DE LA SOLDADURA SI ESTA ES MENOR DE 12" (304.8 mm)
FALTA DE PENE TRACION POR DESALINEAMIENTO		2" (50.8 mm) LONGITUD	3" (76.2 mm) LONGITUD
DESALINEAMIENTO	EL DESALINEAMIENTO NO ES RECHAZABLE SIEMPRE Y CUANDO LAS RAI-CES DE LOS TUBOS ESTEN BIEN FUNDIDOS		
QUEMADA	2 3/8" (60.3 mm) D. E. Y MAYORES	1/4" (6.35 mm) O t CUALQUIERA QUE SE MENOR	1/2" (12.7 mm)
	MENORES DE 2 3/8" (60.3 mm)	1/4" (6.35 mm) O t NO MAS DE UNA	(t = Espesor de tuberia)
QUEMADAS REPARADAS	DEBERAN CONSIDERARSE BIEN REPARADAS SI SU DENSIDAD NO ES MAYOR DE LA DEL METAL BASE ADYACENTE		
CONCAVIDAD INTERNA	SI SU DENSIDAD NO EXCEDE LA DEL METAL BASE, SE ACEPTA CUALQUIER LONGITUD, EN CASO CONTRARIO SE APLICAN LOS LIMITES DE LA QUEMADA.		
PORO ESFERICO	1/8" (3.17 mm) O EL 25% DE t CUALQUIERA QUE SEA MENOR LA MAXIMA DISTRIBUCION NO DEBERA EXCEDER LO MOSTRADO EN LAS FIGURAS 15 Y 16		
POROS EN GRUPO	NO DEBERA EXCEDER UNA AREA DE 1/2" (12.7 mm) DE DIAMETRO Y CADA PORO 1/16" (1.59 mm)		1/2" (12.7 mm)
PORO CILINDRICO	7/8" (3.17 mm) O EL 25% DE t CUALQUIERA QUE SEA MENOR LA ORIENTACION DE ESTA DISCONTINUIDAD AFECTARA SUBSTANCIALMENTE LA DENSIDAD DE LA IMAGEN RADIOGRAFICA, Y CUANDO SE APLIQUEN ESTOS LIMITES, CONSIDERE LA NOTA 1 LA MAXIMA DISTRIBUCION NO DEBERA EXCEDER LO MOSTRADO EN LAS FIGURAS 15 Y 16		
PORO TUNEL	1/2" (12.7 mm) LONGITUD	2" (50.8 mm) LONGITUD	
ROTURAS	POROS TUNEL ADYACENTES, DE MAS DE 1/4" (6.35 mm) DE LONGITUD DEBERAN ESTAR SEPARADOS COMO MINIMO POR 2" (50.8 mm) DE METAL SANO SE ACEPTAN ROTURAS CRATER POCO PROFUNDAS O ROTURAS ESTRELLA QUE NO EXCEDAN DE 5/32" (3.96 mm), CON LA EXCEPCION DE ESTAS, NO SE ACEPTA OTRO TIP O DE ROTURAS, A PESAR DE SU TAMAÑO Y LOCALIZACION.		

STANDARES DE ACEPTABILIDAD

( CONTINUACION )

<p>SOCAVADO (USADO METODOS MECANICOS Y VISUALES)</p>	<p>PROFUNDO ARRIBA DE 1/32" (0.79 mm) O ARRIBA DE 12 1/2% DE t CUAL QUIERA QUE SEA ME- NOR ARRIBA EL 1/64" HAS TA (0.4 mm) 1/32" (0.79 mm) O ARRIBA DE 6 A 12 1/2% DE t, CUALQUIERA QUE SEA MENOR</p>	<p>LONGITUD NO ACEPTABLE</p> <p>2" (50.8 mm) O 1/6 DE LA LONGITUD DE LA SOLDADURA, CUAL QUIERA QUE SE MENOR</p>
<p>SOCAVADO</p>	<p>2" (50.8 mm) O 1/6 DE LA LONGITUD DE LA SOLDADURA CUALQUIERA QUE SEA MENOR CUANDO SE USEN LOS METODOS MECANICOS Y RADIOGRAFICOS, LOS PRIMEROS SERAN LOS MANDATORIOS.</p>	
<p>ACUMULACION DE DISCONTI- NUIDADES</p>	<p>EXCLUYENDO DESALINEAMIENTO Y SOCAVADO, ES INCACEPTABLE CUALQUIER ACUMULACION DE DISCONTINUIDADES QUE TENGA UNA LONGITUD DE MAS DE 2" (50.8 mm) EN 12" - (304.8 mm) DE LONGITUD O EL 8% DE SU LONGITUD TOTAL</p>	
<p>NOTA 1.- YA QUE LOS METODOS DE PRUEBA NO DESTRUCTIVOS DAN INDICACIONES LIMITADAS, LA COMPAÑIA PUEDE RECHAZAR CUALQUIER SOLDADURA QUE CUMPLA CON ESTOS STANDARES DE ACEPTABILIDAD SI, EN SU OPINION, LA PROFUNDIDAD DE UNA DISCONTINUIDAD PUEDE SER PERJUDICIAL PARA LA SOLDADURA.</p>		

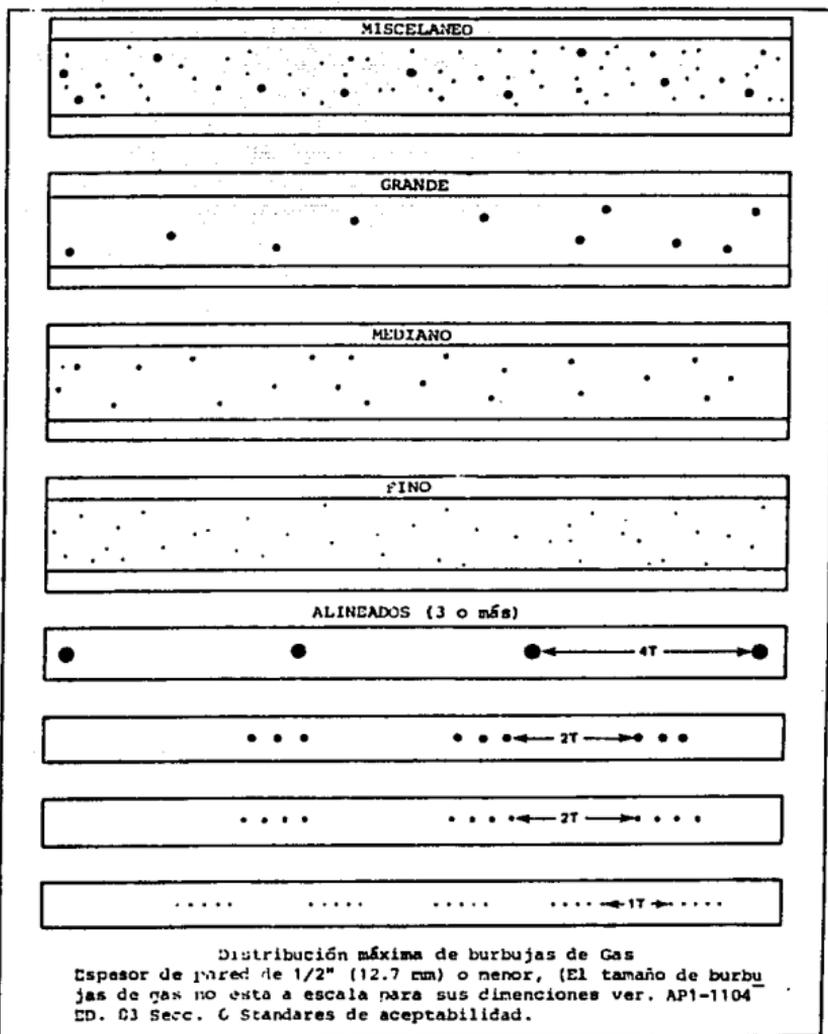


FIG. 15.

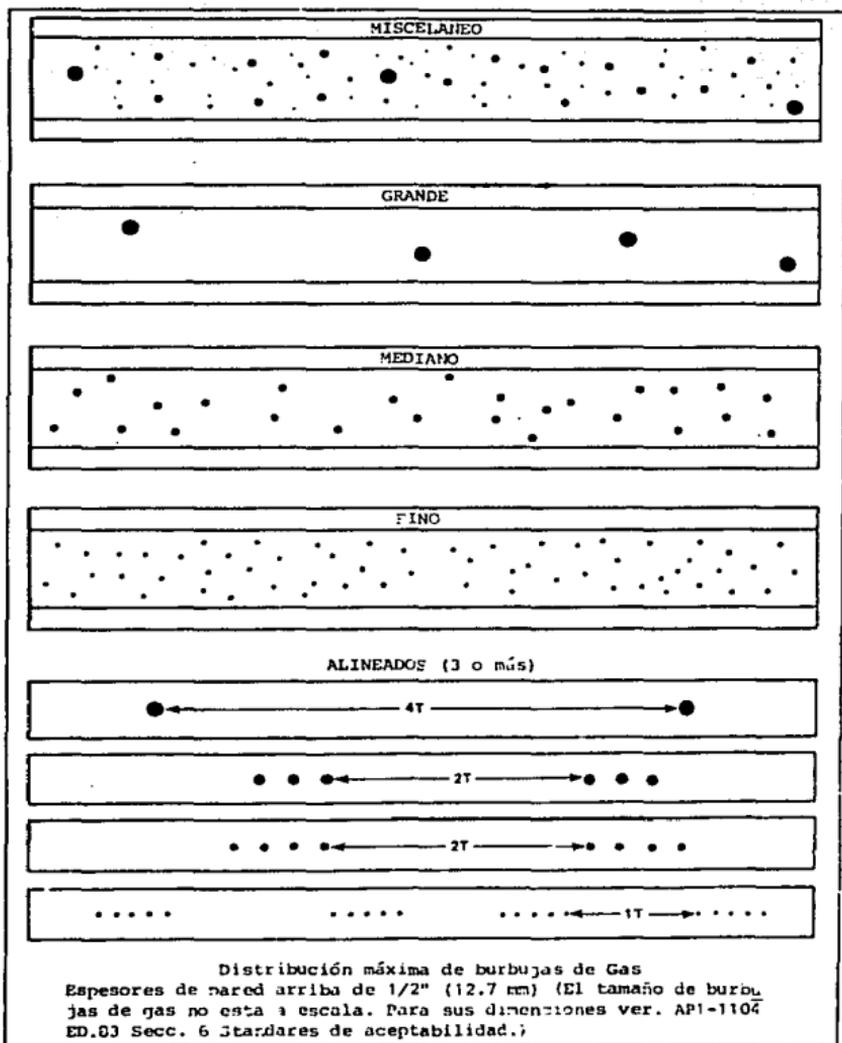


FIG. 16

ASME	SECC.	I	API	650	ESTANDARES DE
ASME	SECC.	VIII	API	620	ACEPTABILIDAD
		UM-51			

EDICION 1985

DISCONTINUIDAD	DIMENSIONES MAXIMAS ACEPTABLES
ROTURA	NO ACEPTABLE BAJO NINGUNA CONDICION
FALTA DE FUSION	NO ACEPTABLE BAJO NINGUNA CONDICION
FALTA DE PENETRACION	NO ACEPTABLE BAJO NINGUNA CONDICION
INDICACIONES REDONDEADAS AISLADAS	1.- PARA $t$ MENOR DE 2", EL TAMAÑO MAXIMO ES: $1/4"$ $t$ $5/32"$ . (CUALQUIERA QUE SEA MENOR) 2.- CUANDO UNA INDICACION ESTE SEPARADA DE OTRA ADYACENTE EN 1" O MAS, PUEDE ACEPTARSE COMO TAMAÑO MAXIMO $1/3 t$ $6 1/4"$ CUALQUIERA QUE SEA MENOR. 3.- PARA $t$ MAYOR DE 2" EL TAMAÑO MAXIMO PERMISIBLE SERA DE $3/8"$ .
INDICACIONES REDONDEADAS EN GRUPO	LOS GRUPOS NO DEBEN EXCEDER DE $1" \pm 2 t$ , LO QUE SEA MENOR. EN 6" DE SOLDADURA LA SUMA NO EXCEDERA DE 1" DE GRUPOS PARA ESPESORES MENORES DE $1/8"$ , EL NUMERO DE INDICACIONES NO EXCEDERA DE 12 - PARA UNA LONGITUD DE 6" DE SOLDADURA.
INDICACIONES ALARGADAS AISLADAS	QUE NO EXCEDAN DE: $1/4"$ PARA $t$ HASTA $3/4"$ $t$ = Espesor de Soldadura. $1/3$ DE $t$ DESDE $3/4"$ HASTA $2 1/4"$ $3/4"$ PARA $t$ MAYOR DE $2 1/4"$
GRUPO DE INDICACIONES EN LINEA	LA SUMA NO EXCEDERA DE $t$ EN UNA LONGITUD DE $12t$ , EXCEPTO SI CADA UNA ESTA SEPARADA POR UNA DISTANCIA DE $6L$ . DONDE $L$ ES LA LONGITUD DE LA INDICACION MAYOR EN EL GRUPO; Y SE CALIFICARIA COMO INDICACION AISLADA. EN $12t$ NO DEBE EXCEDER EN $t$ LA SUMA DE DEFECTOS.

CALIFICACION DE SOLDADORES Y OPERADORES DE MAQUINAS DE SOLDAR ESTANDARES DE ACEPTABILIDAD  
 POR EL METODO RADIOGRAFICO SEGUN ASME SECC. IX EDICION 1986 PARA RADIOGRAFIA

(QW - 191)

DISCONTINUIDAD	DIMENSIONES MAXIMAS ACEPTADAS
ROTURA	NO ACEPTABLE BAJO NINGUNA CONDICION
FALTA DE FUSION	NO ACEPTABLE BAJO NINGUNA CONDICION
FALTA DE PENETRACION	NO ACEPTABLE BAJO NINGUNA CONDICION
INDICACIONES REDONDEADAS AISLADAS	1.- NO EXCEDERAN DEL 20% DE $t$ $\leq 1/8"$ (CUALQUIERA QUE SEA MENOR), EN ESPESORES DE $1/8"$ O MAYORES, LAS CARTAS DEL APENDICE I REPRESENTAN LA MAXIMA CANTIDAD DE INDICACIONES REDONDEADAS ACEPTABLES, LAS INDICACIONES REDONDEADAS MENORES DE $1/32"$ EN SU DIAMETRO MAYOR NO SE CONSIDERAN EN LA INSPECCION.
INDICACIONES REDONDEADAS EN GRUPO	1.- PARA ESPESORES MENORES DE $1/8"$ EL NUMERO DE INDICACIONES REDONDEADAS NO EXCEDE RA DE 12 PARA UNA LONGITUD DE $6"$ DE SOLDADURA. 2.- LAS CARTAS DEL APENDICE I REPRESENTAN LAS CONFIGURACIONES DE INDICACIONES REDONDEADAS DISPERSAS EN UNA LONGITUD DE $6"$ DE SOLDADURA, CUALQUIER GRUPO INDICA DO ES EL LIMITE MAXIMO PERMISIBLE.
INDICACIONES ALARGADAS	QIR: NO EXCEDAN DE $1/8"$ PARA $t$ HASTA $3/8"$ $1/3$ DE $t$ PARA $t$ DESDE $3/8"$ A $2 1/4"$ INCLUSIVE $3/4"$ PARA $t$ MAYOR DE $2 1/4"$
GRUPO DE INDICACIONES EN LINEA	LA SUMA NO EXCEDERA DE $t$ EN UNA LONGITUD DE $12 t$ , EXCEPTO SI CADA UNA ESTA SEPARADA POR UNA DISTANCIA DE $6L$ . DONDE $L$ ES LA LONGITUD DE LA IMPERFECCION MAYOR EN EL GRUPO.

- 194 -

## SEC. 8 PARTE D (DISEÑO DE NUEVOS EDIFICIOS) 8.15-2

DISCONTINUIDAD	DIMENSIONES MAXIMAS ACEPTADAS	CONDICIONES
ROTURA	NO ACEPTABLE BAJO NINGUNA CONDICION	
INDIVIDUAL MAYOR DE 3/32" (AISLADA)	<p>2/3 DE LA GARGANTA EFECTIVA EN SOLDADURA DE "FILETE"</p> <p>2/3 DEL TAMAÑO DE SOLDADURA EN SOLDADURA A " TOPE "</p> <p>3/4" (CUALQUIERA QUE SEA MENOR)</p>	<p>SI LA SOLDADURA TRABAJA CON TENSIONES PRIMARIAS (A TRACCION), LA INDICACION DEBE ESTAR LOCALIZADA A 3 VECES SU LONGITUD MAXIMA DEL EXTREMO DE LA SOLDADURA.</p>
EN LINEA MAYOR DE 3/32"	<p>1) LA SUMA DE LAS DIMENSIONES MAXIMAS DEBE SER IGUAL A UNA GARGANTA EFECTIVA O UN TAMAÑO DE SOLDADURA EN UNA LONGITUD DE SOLDADURA DE 6 GARGANTAS EFECTIVAS O TAMAÑOS DE SOLDADURA.</p> <p>2) LA SEPARACION ENTRE 2 DISCONTINUIDADES ADYACENTES DEBE SER MENOR DE 3 VECES LA DIMENSION MAXIMA DE LA DISCONTINUIDAD MAYOR.</p>	<p>SI LA LONGITUD DE LA SOLDADURA QUE SE EXAMINA ES MENOR DE 6 VECES LA GARGANTA EFECTIVA O EL TAMAÑO DE LA SOLDADURA, LA SUMA PERMISIBLE DE LAS DIMENSIONES MAXIMAS DEBE SER PROPORCIONALMENTE MENOR DE LA GARGANTA EFECTIVA O TAMAÑO DE SOLDADURA.</p>
EN GRUPO MENOR DE 3/32"	<p>LA SUMA DE SUS DIMENSIONES MAXIMAS NO DEBEN EXCEDER DE 3/8" EN CUALQUIER PULGADA DE SOLDADURA INSPECCIONADA.</p>	

DISCONTINUIDAD	DIMENSIONES MAXIMAS ACEPTADAS	CONDICIONES
ROTURAS	NO ACEPTABLE BAJO NINGUNA CONDICION	
INDICACION DE 1/16" ó MAYOR (AISLADA)	No deberá exceder del tamaño B indicado en la Fig. 1 para la garganta efectiva o tamaño de soldadura involucrado	-Para soldaduras sujetas a tensión en cualquier condición de carga. -La distancia de una indicación a otra, o al extremo, o a cualquier intersección de soldadura no debe ser menor que el claro mínimo permitido por C de la fig. 1.
INDICACION DE 1/8" ó MAYOR	No deberá exceder del tamaño B indicado en la Fig. 2 para la garganta efectiva o tamaño de soldadura involucrado.	-Para soldaduras sujetas a compresión. -La distancia de una indicación a otra, o al extremo, o a cualquier intersección de soldadura no debe ser mayor que el claro mínimo permitido por C de del Fig. 2.
Independientemente de anterior: En línea o en grupo, la indicación que tenga su dimensión máxima menor de 1/16".	La suma de sus máximas dimensiones no deben exceder de 3/8" (9.5mm) en cualquier pulgada lineal de soldadura.	
Indicación Aislada en espesores de 1 1/2" y mayores	No deben exceder de 1/2" para soldaduras sujetas a tensión. No deben exceder de 3/4" para soldaduras sujetas a compresión.	La distancia de una indicación a otra, o al extremo, o a cualquier intersección de soldaduras no debe ser menor que 4 1/2".

## SEC. 10 PARTE D 10. 12. 6. 1. (ESTRUCTURAS TUBULARES)

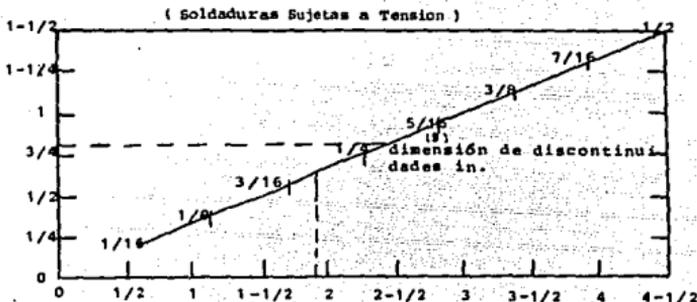
DISCONTINUIDAD	TAMAÑO MAXIMO ACEPTABLE	CONDICIONES
ROTURA	NO ACEPTABLE BAJO NINGUNA CONDICION	
Alargadas (Aisladas)	No deberán exceder del tamaño máximo indicado en la Fig. 3. No deberán estar más próxima que el claro mínimo permitido en la Fig. 3.	
Redondeadas (aisladas)	1/3 de la garganta efectiva o 1/3 del tamaño de la soldadura pero que no exceda de 1/4".  Para espesores mayores de 2" se acepta hasta 3/8"	Para discontinuidades de 3/32" o mayores, el claro mínimo hacia una <u>dis</u> continuidad, aceptable o hacia la <u>o</u> rilla de la placa, o hacia una soldadura de intersección, será de 3 veces la dimensión máxima de la mayor de las discontinuidades que esten - siendo consideradas.
Redondeadas en grupo.	La suma de sus dimensiones máximas no deben exceder del tamaño máximo de la discontinuidad <u>indica</u> da en la fig. 3.	El claro mínimo entre grupos o una <u>dis</u> continuidad, (alargada o <u>redondea</u> da), o una orilla o extremo de una soldadura de intersección será de 3 veces la dimensión mayor de la más grande de las discontinuidades que - se esten considerando.

DISCONTINUIDAD	TAMAÑO MAXIMO ACEPTABLE	CONDICIONES
INDIVIDUALES	La suma de las discontinuidades menores de $3/32"$ no deberán exceder de $2/3$ de la garganta efectiva o tamaño de la soldadura o $3/8"$ , cualquiera que sea menor en cualquier pulgada lineal de soldadura.	Este criterio es independiente de los anteriores.
Discontinuidades en línea	<p>La suma de cada una en su dimensión mayor no excederán del tamaño de la soldadura o garganta efectiva en cualquier longitud de 6 veces el tamaño de la soldadura o garganta efectiva.</p> <p>Cuando la longitud de la soldadura a examinar es menor que 6 veces el tamaño de la soldadura o garganta efectiva, la suma permisible deberá ser proporcionalmente menor.</p>	

FIG. 1

AWS D.1.1 ED. 86 Secc. 9 Parte D 9-25-2-1

A.- Garganta efectiva de la soldadura filete o tamaño de la soldadura, en pulgadas.



C. Claro mínimo a lo largo del eje longitud de la soldadura entre extremos de porosidad o discontinuidades tipo fusión. (pulgadas).

(Rige la mayor de las discontinuidades adyacentes).

INSTRUCCIONES:

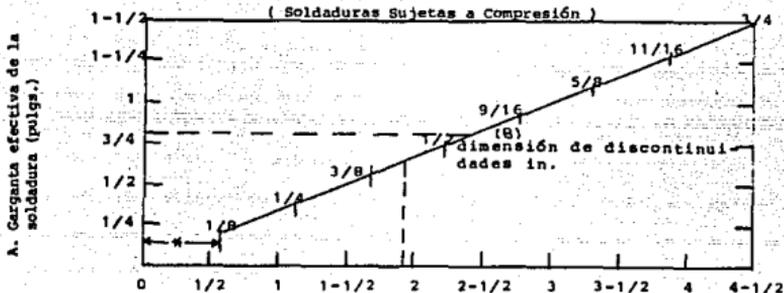
- 1.- Para determinar el tamaño de la discontinuidad máxima permitido en cualquier junta o garganta de soldadura refierase al eje A para encontrar el tamaño de la soldadura y proyectese horizontalmente hacia B para encontrar el tamaño de la discontinuidad permitida
- 2.- Para determinar el claro mínimo permitido entre los extremos de las discontinuidades de cualquier tamaño, proyectese B verticalmente hacia C.

NOTA:

Las discontinuidades adyacentes, con claros menores que el mínimo requerido por la Fig. 1 serán medidas como una longitud igual a la suma de la longitud total de las discontinuidades, más la longitud del espacio o claro entre ellas y evaluadas como una sola discontinuidad.

FIG. 2

A.W.S. D.1.1 ED 86 Secc. 9 Parte D 9-25-2-2



C. Claro mínimo medido a lo largo del eje longitudinal de la soldadura entre los extremos de la porosidad o discontinuidades tipo fusión, pulgadas.

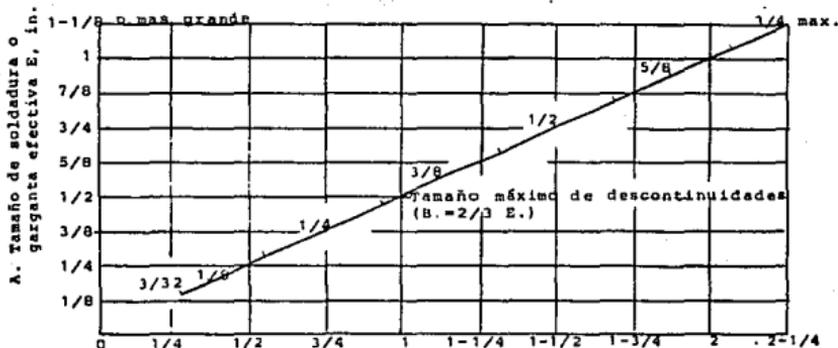
(Rige la mayor de las discontinuidades adyacentes)

INSTRUCTIVO:

- 1.- Para determinar el tamaño máximo de la discontinuidad permitida de cualquier junta o garganta de soldadura, proyectar A horizontalmente a B.
- 2.- Para determinar el claro mínimo permitido entre los extremos de las discontinuidades de cualquier de los tamaños, proyectar B verticalmente hacia C.

El tamaño de una discontinuidad localizada dentro de esta distancia desde un extremo de la placa será de 1/8" pero una discontinuidad de 1/8" - deberá estar separada de la orilla de la placa 1/16" o más. La suma de las discontinuidades menores de 1/8" y localizadas dentro de esta distancia desde la orilla, no excederá de 3/16". Las discontinuidades de 1/16" y menores de 1/8" no estarán restringidas en otras posiciones a menos - que ellas estén separadas por menos de 2L (siendo L la longitud de la discontinuidad mayor); en tal caso, las discontinuidades serán medidas como una longitud igual a la longitud total de las discontinuidades y espacios y evaluadas como se muestra en la fig.2.

FIG. 3



C.- Claro mínimo medido a lo largo del eje longitudinal de la soldadura entre los extremos de la porosidad o de discontinuidades tipo fusión (Rige la mayor de discontinuidades adyacentes), o a una orilla o extremo de una soldadura de intersección (pulg.)

$$C = JB = 2E$$

INSTRUCTIVO:

- 1.- Para determinar el tamaño de discontinuidad permitido en cualquier junta o garganta de soldadura, proyecte A horizontalmente hacia B.
- 2.- Para determinar el claro mínimo permitido entre los extremos de las discontinuidades mayores o igual a 3/32", proyecte B verticalmente hacia C.

E = GARGANTA EFECTIVA O TAMAÑO DE LA SOLDADURA

A.W.S. D.1.1. ED. 80  
SECC. 10 PARTE D 10, 12, 6. 1

## CAPITULO VI (TUBERIA DE POTENCIA)

## PARA RADIOGRAFIA.

DISCONTINUIDAD	DIMENSIONES MAXIMAS ACEPTADAS
ROTURAS	NO ACEPTABLE BAJO NINGUNA CONDICION
FALTA DE FUSION	NO ACEPTABLE BAJO NINGUNA CONDICION
FALTA DE PENETRACION	NO ACEPTABLE BAJO NINGUNA CONDICION
POROSIDAD (INDICACIONES REDON- DEADAS)	ASME SECC. I APENDICE 250
INDICACIONES ALARGADAS AISLADAS	QUE NO EXCEDAN DE: 1/4" PARA t HASTA 3/4" INCLUSIVE. 1/3 t PARA t DESDE 3/4" HASTA 2 1/4" INCLUSIVE. 3/4" PARA t MAYOR DE 2 1/4"  <u>NOTA:</u> "t" DEBE CONSIDERARSE EL ESPESOR MENOR CUANDO LA JUNTA SOLDADA TENGA DOS ESPESORES DIFERENTES.
GRUPO DE INDICACIONES REDONDEADAS EN LINEA	LA SUMA NO EXCEDERA DE t EN UNA LONGITUD DE 12 t EXCEPTO SI CADA UNA ESTA SEPARADA POR UNA DISTANCIA DE 6L., DONDE L ES LA LONGITUD DE LA IMPERFECCION MAYOR EN EL GRUPO.

TABLA 327-4.1A

DISCONTINUIDAD	CUANDO LA EXAMINACION REQUERIDA ES	SOLDADURAS EN JUNTAS A TOPE. CIRCUNFERENCIALES Y A INCLINATE	SOLDADURAS A TOPE LONGITUDINALES RECTAS O EN ESPIRAL	SOLDADURAS DE FILETE, SOCKET, SELLADAS Y EN ADITAMENTOS DE REFUERZO	CONEXIONES SOLDADAS DE RAMALES Y TRASLAPES FABRICADOS
ROTURAS O FALTA DE FUSION	CUALQUIERA	NO PERMITIDA	NO PERMITIDA	NO PERMITIDA	NO PERMITIDA
FALTA DE PENETRACION	RADIOGRAFIA AL 100 %	N) PERMITIDA	NO PERMITIDA	NA	NO PERMITIDA
	VISUAL O RADIOGRAFIA SELECTIVA (1) POR MUESTREO	A	NO PERMITIDA	NA	A y H
POROSIDAD INTERNA	RADIOGRAFIA AL 100 %	B	B	NA	B y H
	RADIOGRAFIA SELECTIVA O POR MUESTREO	C	C	NA	C y H
INCLUSIONES DE ESCORIA O DEFECTOS ALARGADOS	RADIOGRAFIA AL 100 %	D	D	NA	D y H
	RADIOGRAFIA SELECTIVA O POR MUESTREO	E	E	NA	B y H
SOCAVADO	CUALQUIERA	MEJOR DE 1/32" O 1/4 t	NO PERMITIDA	MEJOR DE 1/32" O 1/4 t	MEJOR DE 1/32" O 1/4 t
POROSIDAD SUPERFICIAL E INCLUSIONES DE ESCORIA - EXPOSITAS (ESPELOR NOMINAL DE TUBO 1/16" Y MENOS)		NO PERMITIDA	NO PERMITIDA	NO PERMITIDA	NO PERMITIDA
CONCAVIDAD EN LA RAIZ (CONTRACTIONS O RECHUTES)		F	F	NA	F y H
REFUERZO DE LA SOLDADURA		G	G	G	G y H

NOTAS : NA - No Aplicable

- A - La profundidad de la falta de penetración no excederá de  $1/32''$  ó  $0.2t$ , lo que sea menor.  
La longitud total de tales imperfecciones no excederá  $1.5''$  en cualquier longitud de  $6''$  de soldadura.
- B - La porosidad no excederá la que aparece como aceptable en ASME Sección VIII Apéndice 4.
- C - La porosidad no excederá: para  $t$  menor de  $1/4''$ , igual que nota B.  
para  $t$  mayor de  $1/4''$ , 1.5 veces los límites de la nota B.
- D - La longitud desarrollada de cualquier inclusión de escoria o defecto alargado aislado no excederá  $1/3 t$ .  
La longitud desarrollada acumulada total de inclusiones de escoria y/o defectos alargados no excederá  $t$  en cualquier longitud de  $12t$  de soldadura.  
El ancho de una inclusión de escoria no excederá  $1/32''$  ó  $1/3 t$ , lo que sea menor.
- E - La longitud desarrollada de cualquier inclusión de escoria o defecto alargado aislado no excederá  $2t$ .  
La longitud desarrollada acumulada total de inclusiones de escoria y/o defectos alargados no excederá  $4t$  en cualquier longitud de  $6''$  de soldadura.  
El ancho de una inclusión de escoria no excederá  $1/8''$  ó  $1/2 t$ , lo que sea menor.
- F - Para juntas soldadas desde un solo lado, la concavidad en la raíz no reducirá el espesor total de la unión, incluyendo refuerzo, a menos del espesor del más delgado de los componentes que están siendo unidos.
- G - El refuerzo externo y la saliente interna de la soldadura (cuando no se usan anillos de respaldo) deberán fundirse y unirse de modo uniforme en las superficies del componente. La altura del refuerzo externo o de la saliente interna de la soldadura desde la superficie del material base adyacente, lo que sea menor, no excederá los siguientes límites:

Espesor de la pared $t$ (pulgadas)	Refuerzo de soldadura ó Saliente interna de la soldadura (pulg.)
$1/4$ y menores	$1/16$
Más de $1/4$ hasta $1/2$	$1/8$
Más de $1/2$ hasta $1$	$5/32$
Más de $1$	$3/16$

H - Estos requerimientos se aplican solamente a soldaduras a tope.

A través de los años se ha venido incrementando en México la necesidad del uso de la radiografía en la producción de soldaduras, con lo cual el industrial aumenta la confiabilidad y en algunos casos la llega a garantizar en sus productos elaborados.

En algunos otros casos se utiliza como un medio para el mantenimiento preventivo de plantas e instalaciones industriales en donde la seguridad industrial es muy importante.

En los 11 capítulos de este trabajo se han presentado los conceptos necesarios para poder entender el objetivo de la radiografía industrial; más sin embargo la habilidad para poder desarrollarla se adquiere con algunos meses de estarla realizando -- diariamente.

El mercado de este servicio, se ha visto incrementado en los últimos años, ya que el número de empresas radiográficas ha ido en aumento, las cuales demandan la necesidad de personal técnico calificado para cubrir sus necesidades.

Dentro de la necesidad de personal se encuentran los técnicos nivel I, II y III. Esta clasificación la marca A.S.N.T. de la siguiente manera:

Nivel I : El personal de Nivel I deberá estar calificado para que de acuerdo con procedimientos escritos calibre equipos y realice Ensayos y evaluaciones específicas, registrando los resultados obtenidos. Deberá realizar su trabajo bajo la supervisión de personal certificado con nivel II ó III en el método de P.N.D. (Pruebas No Destructivas) aplicable.

En la siguiente tabla se señalan los factores mínimos de entrenamiento y experiencia que serán considerados por la empresa, para calificar a su personal de niveles I y II. El factor experiencia está basado en un horario de 48 horas semanales (210 horas al mes) En el expediente puede anotarse la experiencia indistintamente en horas o meses.

Nivel II : El personal de Nivel II deberá estar calificado para poner a punto y calibrar los equipos, interpretar con los códigos, normas y especificaciones aplicables. Deberá conocer profundamente el alcance y las limitaciones del método y será responsable de la formación y supervisión de los niveles I y del personal en período de formación. Deberá estar capacitado para preparar instrucciones escritas en la P.N.D. aplicable.

Nivel III : El personal de nivel III deberá ser capaz del establecimiento de técnicas y procedimientos de la interpretación de códigos, normas y especificaciones, y la designación del método y la técnica específica de P.N.D. a emplear. Será responsable de la operación de las P.N.D. para los cuales este calificado y esté asignado, y deberá estar capacitado para evaluar los resultados de acuerdo con los códigos, normas y especificaciones aplicables. Deberá tener experiencia suficiente en materiales, fabricación y/o tecnología de producto para poder establecer técnicas y asistir a los responsables del diseño en el establecimiento de los criterios de aceptación cuando estos no existan. Es deseable que este familiarizado con otros métodos de P.N.D. comúnmente utilizados. Deberá estar calificado para entrenar y examinar a los niveles I y II en P.N.D. para su certificación y mantener en forma confidencial los exámenes del personal en P.N.D.. Las funciones de impartir cursos de formación y de calificar los exámenes pueden ser delegados en un representante del nivel III debidamente seleccionado, haciéndolo constar en el expediente de calificación. Para poder considerar su certificación como nivel III el candidato deberá satisfacer uno de los siguientes criterios de entrenamiento y experiencia:

- a).- Ingeniero o Licenciado en Ciencias, más de 1 año de experiencia en nivel II.
- b).- Dos años de Ingeniería o carrera de técnico, más dos años de experiencia en nivel II.
- c).- Cuatro años de experiencia como nivel II, certificado en el método de ensayo aplicable.

REQUISITOS MINIMOS DE ENTRENAMIENTO Y EXPERIENCIA.

Formación académica	Nivel I	Nivel II
---------------------	---------	----------

CURSOS DE ENTRENAMIENTO CON TEMARIOS DE ACUERDO A A.S.N.T.

2 años de Ingeniería o carrera Técnica terminada.	29 h	35 h
Preparatoria, o Vocacional terminada	39 h	40 h
Secundaria Terminada	88 h	80 h

EXPERIENCIA.

Todos los grados	3 meses	9 meses
------------------	---------	---------

Como se puede observar, se requiere personal altamente calificado y entrenado para poder llegar a ser nivel III dentro de una empresa radiográfica.

A nivel Nacional, hasta la fecha ninguna institución oficial se ha preocupado por preparar personal de este tipo, lo cual implica que la escases de estos es muy grande.

## LINEAS DE CONDUCCION

Hoy en día las líneas de conducción de petróleo y sus derivados han tenido en nuestro país en auge considerable. Estas se han incrementado debido a que la producción petrolera día con día ha ido en aumento.

Existen líneas desde 4"Ø hasta 48"Ø las cuales conducen desde petróleo crudo hasta productos refinados; y longitudes varían desde 2 ó 3 Km hasta 500 ó 600 Km.

A estas líneas se les acostumbra identificar o llamar según el producto que lleven, por ejemplo; Oleoducto si conduce petróleo crudo, Gasoducto si conduce gas, Amonioducto si conduce amoniaco, etc.

La gran importancia de estas líneas es de que a través de ellas se conducen grandes volúmenes de producto a una mayor velocidad y seguridad. Eliminando los riesgos tradicionales del transporte carretero.

La construcción de las grandes líneas de conducción llega a ser en la mayoría de los casos una proeza, debido a que se cruzan ríos, montañas, carreteras, puentes, etc. Además de la cantidad de maquinaria y personal que participa en ella.

El personal participante va desde un obrero, hasta técnicos e Ingenieros altamente especializados con lo que se asegura la calidad, eficiencia y seguridad de la línea.

En el caso de las Pruebas o Ensayos no Destructivos es muy importante verificar que el personal este debidamente certificado de acuerdo a las normas internacionales aplicables.

Desafortunadamente en la actualidad no existe ninguna institución oficial que realice la formación de este tipo de técnicos. Han sido las empresas prestadoras de este servicio las que han capacitado y desarrollado a su personal para cumplir con sus contratos.

Actualmente con los inicios del Tratato de Libre Comercio con Canadá y Estados Unidos las empresas Mexicanas han tenido que incrementar y garantizar la calidad de sus productos elaborados por lo que los Ensayos no Destructivos (END) se han visto con mucha demanda.

Los END son aplicables principalmente al área metalmecánica, aeronáutica, naval, petrolera, medica, etc. y na sido una herramienta necesaria para garantizar la calidad de los productos.

## CONSTRUCCION DE LINEAS DE CONDUCCION

### 1.- TRAYECTORIA:

EN UN PRINCIPIO, SE REALIZA UN ESTUDIO SOCIO-ECONOMICO DE LA NECESIDAD DE TRANSPORTAR POR ESTE MEDIO, PETROLEO Y/O SUS PRODUCTOS O DERIVADOS, EN VEZ DE UTILIZAR LA RED FERROVIARIA O CARRETERA EN EL PAIS.

### 2.- PRODUCTO:

BASANDOSE EN EL VOLUMEN REQUERIDO, YA SEA PARA PROCESAR, DISTRIBUIR O ALMACENAR, SE REALIZA EL DISEÑO, DIAMETRO, MATERIAL Y ESPESOR DE LA TUBERIA. TAMBIEN ES IMPORTANTE TOMAR EN CUENTA EL PRODUCTO A TRANSPORTAR YA SEA GASEOSO, LIQUIDO, O CON ALGUN GRADO DE DENSIDAD.

### 3.- ESTUDIO DEL TERRENO:

SE REALIZA UN LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO DE LAS CONDICIONES DEL TERRENO PARA SELECCIONAR LA MEJOR RUTA POSIBLE QUE TENGA LOS MINIMOS OBSTACULOS DE CONSTRUCCION TALES COMO POBLADOS, RIOS, CRUCES DE CARRETERA, ZONAS PANTANOSAS, TERRENOS DE CULTIVO, BARRANCAS, ETC.

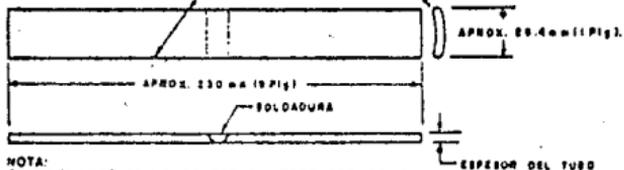
### 4.- PUNTOS DE BOMBEO:

DE ACUERDO AL VOLUMEN A TRANSPORTAR, LAS CONDICIONES TOPOGRAFICAS Y LA DISTANCIA SE ESTABLECEN CASOS DE BOMBAS CON EL FIN DE MANTENER UN FLUJO DE PRODUCTO CONSTANTE QUE ABASTEZCA EN EL PUNTO DE LLEGADA LO PLANEADO.

### 5.- DERECHO DE VIA:

UNA VEZ ANALIZADA LA TRAYECTORIA SE PROCEDE A ABRIR EL CAMINO POR EL CUAL PASARA LA LINEA, LIMPIANDOLO DE ARBUSTOS, HIERBA, ETC EL ANCHO ES DE APROXIMADAMENTE 20MTS. SUFICIENTE PARA QUE LA

LA PROBETA PUEDE SER MAQUINADA O CORTADA CON CEISERO.

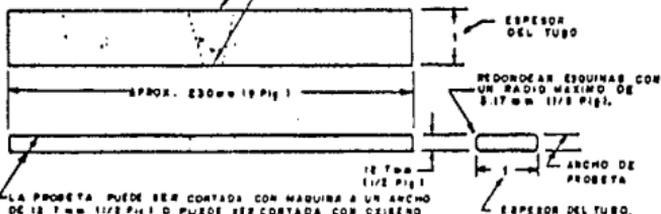


NOTA:  
EL REFUERZO DE LA SOLDADURA DEBE SER REMOVIDO DE AMBAS CARAS AL NIVEL CON LA SUPERFICIE, ANTES DEL ENSAYO

**DIMENSIONES DE PROBETAS PARA ENSAYO DE DOBLEZ EN LA RAIZ Y CARA (ESPESORES DE PARED MENORES O IGUALES A 12.7mm (1/2"))**

FIGURA No.1

LA SOLDADURA DE REFUEZO SERA REMOVIDA DE AMBAS CARAS NIVELANDOLA CON LA SUPERFICIE DE LA PROBETA.



LA PROBETA PUEDE SER CORTADA CON MAQUINA A UN ANCHO DE 12.7mm (1/2 PIG.) O PUEDE SER CORTADA CON CEISERO A UN ANCHO APROXIMADO DE 8mm (5/8 PIG.) ENTORCES MAQUINARSE O ALINEARSE AL ANCHO DE 12.7mm (1/2 PIG.) LAS SUPERFICIES CORTADAS DEBERAN ESTAR LIRAS Y PARALELAS.

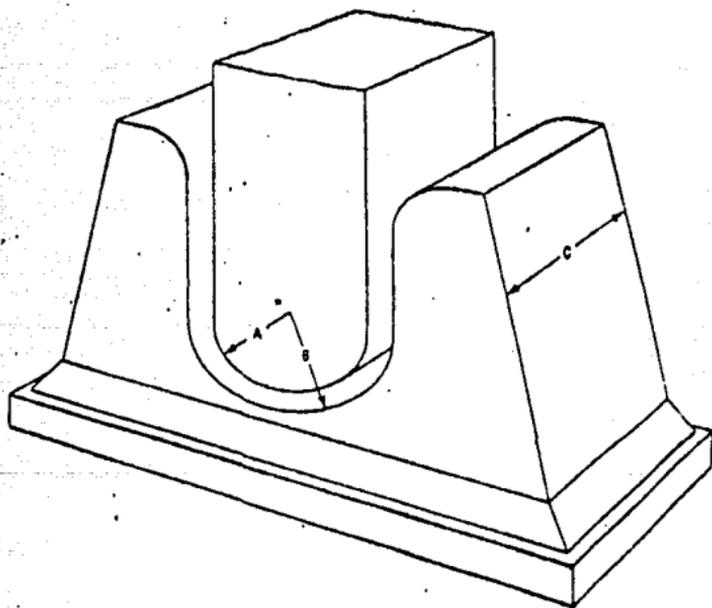
**DIMENSIONES DE PROBETAS PARA ENSAYO DE DOBLEZ LATERAL (ESPESORES DE PARED MAYORES QUE 12.7mm (1/2"))**

FIGURA No.3

RADIO DEL EMBOLO A = 1 3/4 (44,45 mm)

RADIO DEL DADO B = 2 5/16 PULG. (50,74 mm)

ANCHO DEL DADO C = 2.0 PULG. (50,8 mm)



PLANTILLA PARA GUIA DE ENSAYOS DE DOBLEZ  
FIGURA No.2

MAQUINARIA QUE SE REQUIERE PARA LA CONSTRUCCION PUEDA TRANSITAR LIBREMENTE.

6.- COLOCACION DE TUBERIA

SE PROCEDE A IR COLOCANDO LA TUBERIA A PIE DE OBRA EN UNO DE LOS EXTREMOS DEL DERECHO DE VIA.

7.- CALIFICACION DE PROCEDIMIENTO

SE PROCEDE A REALIZAR LA CALIFICACION DEL PROCESO DE SOLDADURA CON EL FIN DE COMPROBAR QUE ESTA CUMPLE CON SUS PROPIEDADES MECANICAS (DUCTIVILIDAD, DUREZA Y ESFUERZO) DE ACUERDO AL CODIGO API-1104. ESTA CALIDAD DE SOLDADURA SE COMPRUEBA CON PRUEBAS DESTRUCTIVAS LAS CUALES SON:

7.1 PRUEBAS DE DOBLEZ DE CARA Y RAIZ

SON PROBETAS QUE MIDEN APROXIMADAMENTE 9 PULGADAS DE LARGO Y DE APROXIMADAMENTE 1 PULGADA (FIG. 1 ) ESTAS DEBEN SER CORTADAS DEL CARRETE SOLDADO CON OXIACETILENO.

ESTAS PROBETAS SON DOBLADAS CON AYUDA DE UN ACCESORIO LLAMADO JIG COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA N. 2.

SE CONSIDERAN ACEPTABLES SI DESPUES DEL DOBLEZ NO APARECEN ROTURAS U OTROS DEFECTOS QUE NO EXCEDAN DE 1/8 DE PULGADA O DEL 50% DEL ESPESOR DE LA PROBETA, CUALQUIERA QUE SEA EL MENOR EN CUALQUIER DIRECCION EN LA SOLDADURA O ENTRE LA SOLDADURA Y LA ZONA DE FUSION DESPUES DEL DOBLEZ A LO LARGO DE LAS ORILLAS DE LA PROBETA DURANTE LA PRUEBA Y QUE SEAN MENORES DE 1/4 DE PULGADA, MEDIDAS EN CUALQUIER DIRECCION, NO DEBERAN SER CONSIDERADAS COMO DEFECTOS.

## 7.2 PRUEBA DE DOBLEZ DE LADO O LATERAL:

SON PROBETAS QUE MIDEN APROXIMADAMENTE 9 PULGADAS DE LARGO Y DE APROXIMADAMENTE 1/2 PULGADA DE ANCHO (FIG. 3 ) ESTAS DEBERAN SER CORTADAS CON MAQUINA O POR CORTE CON OXIGENO A APROXIMADAMENTE 3/4 DE PULGADA. LOS LADOS DEBERAN SER LISOS Y PARALELOS; LOS REFUERZOS DE VISTA Y RAIZ DEBEN SER REMOVIDOS Y NIVELADOS CON LA SUPERFICIE DEL MATERIAL BASE.

ESTAS PROBETAS SON DOBLADAS CON AYUDA DE UN ACCESORIO TIPO JIG COMO SE MUESTRA EN LA FIGURA 2 .

LA PROBETA DEBE CUMPLIR LOS MISMOS REQUERIMIENTOS DE DOBLADO DE CARA Y RAIZ.

## 7.3 PRUEBA DE MELLA:

SON PROBETAS QUE MIDEN APROXIMADAMENTE 9 PULGADAS DE LARGO Y DE APROXIMADAMENTE 1 PULGADA DE ANCHO (FIG.No.4 ). ESTAS DEBERAN SER CORTADAS CON MAQUINA O POR CORTE CON OXIGENO. DEBE HACERSELES UNA MUESCA CON UNA SEGUETA EN CADA LADO, Y AL CENTRO DE LA SOLDADURA, CADA MUESCA DEBE SER DE APROXIMADAMENTE 1/8 DE PULGADA DE PROFUNDIDAD.

LAS PROBETAS DEBEN SER ROTAS ESTIRANDOLAS EN UNA MAQUINA DE TENSION, SOPORTANDO LOS EXTREMOS Y GOLPEANDO EL CENTRO O SOPORTANDO UN EXTREMO Y GOLPEANDO EL OTRO EXTREMO CON UN MARTILLO. EN EL AREA EXPUESTA DE LA FRACTURA DEBERA SER DE, AL MENOS 3/4 DE PULGADA DE ANCHO. LAS SUPERFICIES EXPUESTAS DE CADA ESPECIMEN DEBEN MOSTRAR PENETRACION Y FUSION COMPLETA. LA DIMENSION MAS GRANDE DE CUALQUIER BOLSA DE GAS NO DEBE EXCEDER DE 1/16 DE PULGADA Y LAS AREAS COMBINADAS DE TODAS LAS BOLSAS DE GAS NO DEBEN EXCEDER DEL 2% DEL AREA DE LA

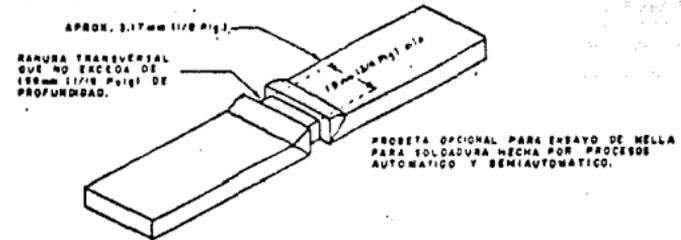
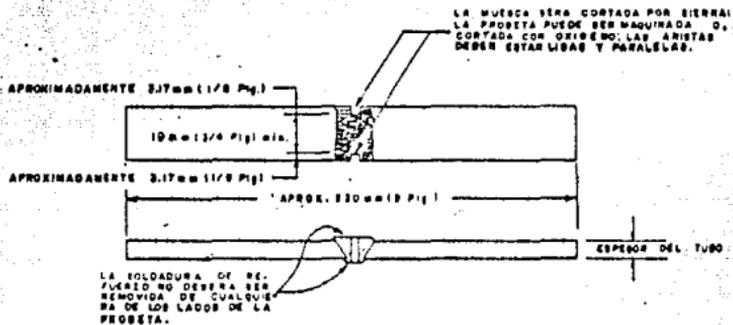
SUPERFICIE EXPUESTA. LAS INCLUSIONES DE ESCORIA NO DEBEN EXCEDER DE 1/32 DE PULGADA EN PROFUNDIDAD NI 1/8 DE PULGADA O 50% DEL ESPESOR NOMINAL DE LA PARED, CUALQUIERA QUE SEA MENOR. DEBE HABER POR LO MENOS 1/2 PULGADA DE METAL SANO ENTRE INCLUSIONES DE ESCORIA ADYACENTES.

#### 7.4 PRUEBA DE TENSION:

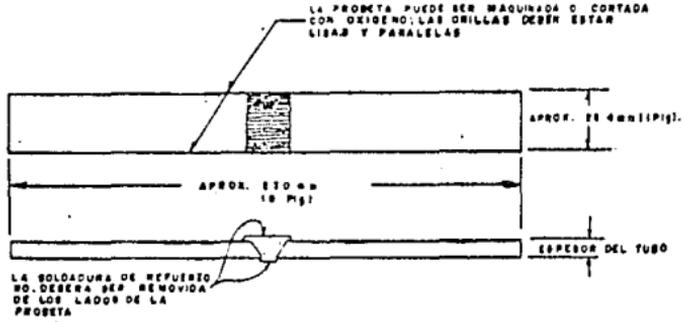
SON PROBETAS QUE MIDEN APROXIMADAMENTE 9 PULGADAS DE LARGO Y DE APROXIMADAMENTE 1 PULGADA DE ANCHO (FIG.5 ) PUEDEN SER CORTADOS A MAQUINA O POR CORTE CON OXIGENO. LAS PROBETAS DEBEN SER ROTAS BAJO UNA CARGA DE TENSION CON UN EQUIPO CAPAZ DE MEDIR LA CARGA DE LA CUAL OCURRE LA FALLA.

LA RESISTENCIA A LA TENSION DE LA SOLDADURA INCLUYENDO LA ZONA DE FUSION DE CADA ESPECIMEN DEBE SER IGUAL O MAYOR QUE LA RESISTENCIA A LA TENSION MINIMA ESPECIFICADA DEL MATERIAL DEL TUBO, PERO NO ES NECESARIO QUE SEA IGUAL O MAYOR QUE LA RESISTENCIA A LA TENSION REAL DEL MATERIAL DEL TUBO. SI LA PROBETA SE ROMPE FUERA DE LA SOLDADURA Y ZONA DE FUSION, ES DECIR, EN EL MATERIAL DEL TUBO, Y REUNE LOS REQUERIMIENTOS DE RESISTENCIA A LA TENSION MINIMOS ESPECIFICADOS, ENTONCES LA SOLDADURA DEBE SER ACEPTADA COMO ACEPTABLE. SI LA PROBETA SE ROMPE A UN VALOR DE RESISTENCIA A LA TENSION ABAJO DEL MINIMO ESPECIFICADO PARA EL MATERIAL DEL TUBO, ENTONCES LA SOLDADURA DEBE SER RECHAZADA Y HACERSE UNA NUEVA SOLDADURA.

SI LA PROBETA SE ROMPE EN LA SOLDADURA O EN LA ZONA DE FUSION Y LA RESISTENCIA A LA TENSION OBSERVADA ES IGUAL O MAYOR A LA RESISTENCIA MINIMA ESPECIFICADA PARA EL MATERIAL DEL TUBO Y CUMPLE CON LOS REQUERIMIENTOS DE SANIDAD ESTABLECIDAS EN LA



DIMENSIONES DE PROBETAS PARA ENSAYO DE MELLA (SANIDAD)  
FIGURA N° 4



DIMENSIONES DE PROBETAS PARA ENSAYO DE RESISTENCIA A LA TENSION  
FIGURA No.5

PRUEBA DE MELLA, ENTONCES LA SOLDADURA DEBE SER ACEPTADA COMO SATISFACTORIA.

LA SELECCION Y LOCALIZACION DEL NUMERO DE LAS PROBETAS REQUERIDAS PARA LAS PRUEBAS SE MUESTRAN EN LA TABLA No. 6 Y FIGURA No. 7 .

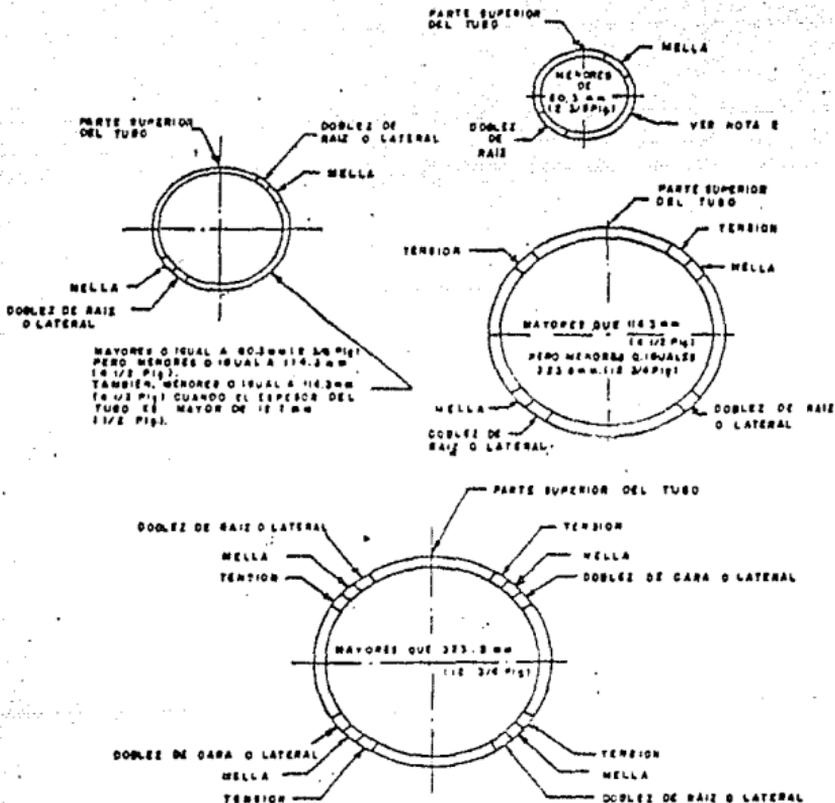
#### 8.- CALIFICACION DEL SOLDADOR

SE REALIZA LA PRUEBA DE CALIFICACION DE LOS SOLDADORES QUE VAN A PARTICIPAR EN LA OBRA, PARA DETERMINAR SUS HABILIDADES EN LA EJECUCION DE SOLDADURAS SANAS USANDO UN PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA PREVIAMENTE CALIFICADO.

ANTES DE INICIAR LAS PRUEBAS DE CALIFICACION, DEBE PERMITIRSE AL SOLDADOR UN TIEMPO RAZONABLE PARA AJUSTAR EL EQUIPO DE SOLDADURA USADO EN LA PRUEBA. EL SOLDADOR DEBE USAR LA MISMA TECNICA DE SOLDADURA Y PROCEDERA CON LA MISMA VELOCIDAD QUE USARA SI PASA LA PRUEBA Y SE LE PERMITE HACER LA SOLDADURA DE PRODUCCION. LA CALIFICACION DE LOS SOLDADORES DEBE SER CONDUCTIDA EN LA PRESENCIA DE UN REPRESENTANTE DE LA COMPAÑIA.

EL SOLDADOR DEBE CALIFICAR PARA LA SOLDADURA EJECUTANDO UNA PRUEBA EN SEGMENTOS DE NIPLES DE TUBERIA O EN NIPLES DE TUBO DE TAMAÑO COMPLETO.

CUANDO SON USADOS SEGMENTOS DE NIPLES DE TUBO, ESTOS DEBEN SER SOPORTADOS DE TAL MANERA QUE SE PRODUZCAN LAS SOLDADURAS TIPICAS DE POSICION PLANA, VERTICAL Y SOBRECABEZA. AL MENOS UNO DE ESTOS SEGMENTOS DEBE CONTENER EL BOTON TIPICO, EL CUAL ES PRODUCIDO EN EL COMIENZO O FIN DE LOS CORDONES DE SOLDADURA Y AL MENOS UNO DE ESTOS BOTONES DEBEN SER EXAMINADOS



MAYORES O IGUAL A 20.3 mm (1 1/2 PIG) SIEMPRE MENORES O IGUAL A 114.3 mm (4 1/2 PIG). TAMBIÉN, MENORES O IGUAL A 114.3 mm (4 1/2 PIG) CUANDO EL ESPESOR DEL TUBO ES MAYOR DE 12.7 mm (1/2 PIG).

NOTAS:

1. COMO OPCION, LA LOCALIZACION PUEDE SER GIRADA, PREEVIENDO QUE SERAN ESPACIADAS ALREDEDOR DEL TUBO, COMO SE INDICA (NO INCLUYE SOLDADURA LONGITUDINAL).
2. UNA PROBETA PARA RESISTENCIA A LA TENSION (SECCION COMPLETA) PUEDE SER USADA PARA TUBO CON DIAMETRO MENOR O IGUAL A 33.8 mm (1 3/8 PIG).

LOCALIZACION DE PROBETAS DE SOLDADURAS A TOPE (CALIFICACION DE SOLDADORES Y/U OPERADORES DE MAQUINAS DE SOLDAR)

FIGURA No. 7

TAMAÑO DE LA TUBERÍA  DIAMETRO EXTERNO	NÚMERO DE ESPECIMENES					
	ESPEJOR DE PARED DE 1/2 PULGADA Y MENORES					
	TENSION	WELLA	DOBLEZ DE RAIZ	DOBLEZ DE CARA	DOBLEZ LATERAL	TOTAL
MENOR DE 2 3/8"	0	2	2	0	0	4*
DE 2 3/8" HASTA 4 1/2" INCLUSIVE	0	2	2	0	0	4
MAYOR DE 4 1/2" HASTA 12 3/4" INCLUSIVE	2	2	2	0	0	6
MAYORES DE 12 3/4"	4	4	2	2	0	12
ESPEJOR DE PARED MAYOR DE 1/2 PULGADA						
4 1/2" Y MENORES	0	2	0	0	2	4
MAYOR DE 4 1/2" HASTA 12 3/4" INCLUSIVE	2	2	0	0	2	6
MAYOR DE 12 3/4"	4	4	0	0	4	12

\* OBTENER EL ESPECIMEN DE TENSION DE DOS SOLDADURAS O UNA SECCION COMPLETA DE TUBO, PARA TUBO DE 1 3/16" Y MENORES.

TIPO Y NUMERO DE ESPECIMENES DE ENSAYO PARA LA PRUEBA DE CALIFICACION DEL SOLDADOR Y PARA ENSAYO DESTRUCTIVO DE SOLDADURAS DE PRODUCCION, SOLDADURAS A TOPE.

T A B L A No. 6

EN LAS PRUEBAS DESTRUCTIVAS.

LAS VARIABLES ESENCIALES ASOCIADAS CON EL PROCEDIMIENTO Y CALIFICACION DEL SOLDADOR NO SON IDENTICAS. LAS VARIABLES ESENCIALES PARA LA CALIFICACION DEL SOLDADOR ESTAN EN LAS PARTES 8.1.1. Y 8.2.1.

#### 8.1 CALIFICACION SENCILLA

UN SOLDADOR CALIFICANDO PARA LOS REQUERIMIENTOS DE ESTE PARRAFO DEBE HACER UNA SOLDADURA DE PRUEBA USANDO UN PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA CALIFICADO PARA UNIR DOS NIPLES DE TUBERIA O SEGMENTOS DE NIPLE DE TUBERIA. EL SOLDADOR DEBE HACER UNA SOLDADURA A TOPE EN LA POSICION FIJA EN EL EJE DEL TUBO YA SEA EN EL PLANO HORIZONTAL O INCLINADO EN EL PLANO HORIZONTAL UN ANGULO QUE NO EXCEDA 45°.

UN SOLDADOR EJECUTANDO UNA PRUEBA DE CALIFICACION SENCILLA PARA SOLDADURAS A TOPE VERTICAL, CONEXIONES, SOLDADURAS DE FILETE, U OTRAS CONFIGURACIONES SIMILARES, DEBE SEGUIR LOS PROCEDIMIENTOS ESPECIFICOS DISEÑADOS PARA TALES CONFIGURACIONES, DEBE ESTAR LIMITADO AL RANGO ESPECIFICADO EN LA CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO.

CAMBIOS EN VARIABLES ESENCIALES DESCRITOS EN EL PARRAFO 8.1.1 REQUERIRAN UNA RECALIFICACION DEL SOLDADOR.

LA SOLDADURA DEBE SER ACEPTABLE SI REUNE LOS REQUERIMIENTOS DEL PARRAFO 8.3, EXAMINACION VISUAL, Y, YA SEA EL PARRAFO 8.4 CALIFICACION DEL SOLDADOR POR PRUEBAS DESTRUCTIVAS, O PARRAFO 8.5, CALIFICACION DEL SOLDADOR POR RADIOGRAFIA JUNTAS A TOPE SOLAMENTE.

### 8.1. ALCANCE DE LA CALIFICACION SENCILLA

UN SOLDADOR, QUIEN HA COMPLETADO SATISFACTORIAMENTE LA PRUEBA DE CALIFICACION DE SOLDADURA DESCRITA EN EL PARRAFO 8.1 DEBE SER CALIFICADO DENTRO DE LOS LIMITES DE LAS VARIABLES ESENCIALES DESCRITAS ABAJO. SI SON CAMBIADAS CUALQUIERA DE ESTAS VARIABLES ESENCIALES, EL SOLDADOR QUE USE EL NUEVO PROCEDIMIENTO DEBE SER RECALIFICADO:

A) UN CAMBIO DE UN PROCESO DE SOLDADURA A CUALQUIER OTRO PROCESO, COMBINACION DE PROCESOS DE SOLDADURA.

B) UN CAMBIO EN LA DIRECCION DE SOLDADURA, DE VERTICAL ASCENDENTE A VERTICAL DESCENDENTE, O VICEVERSA.

C) UN CAMBIO EN EL METAL DE APORTE DE UN GRUPO DE CLASIFICACION A OTRO GRUPO DE CLASIFICACION, COMO SE MUESTRA EN LA TABLA No.

D) UN CAMBIO EN EL GRUPO DE DIAMETRO DE UN GRUPO A OTRO GRUPO. ESTOS GRUPOS EN EL DIAMETRO EXTERIOR, EN PULGADAS (MM) SON:

(I) MENORES DE  $2\frac{3}{8}$ "

(II)  $2\frac{3}{8}$ " HASTA  $12\frac{3}{4}$ " INCLUSIVE

(III) MAYORES DE  $12\frac{3}{4}$ "

E) UN CAMBIO EN EL ESPESOR NOMINAL DE LA PARED DEL TUBO DE UN GRUPO A OTRO GRUPO. LOS GRUPOS DE ESPESOR DE PARED, EN PULGADAS SON:

- (I) MENORES DE 3/16"
- (II) 3/16 HASTA 3/4" INCLUSIVE
- (III) MAYORES DE 3/4"

F) UN CAMBIO DE POSICION, DIFERENTE DE LA QUE YA HA SIDO CALIFICADA. UN CAMBIO DE POSICION GIRADA A POSICION FIJA O VICEVERSA.

G) UN CAMBIO EN EL DISEÑO DE LA JUNTA (CON TIRA DE RESPALDO, BISEL EN V A BISEL EN U).

#### 8.2 CALIFICACION MULTIPLE.

UN SOLDADOR CALIFICANDO PARA LOS REQUERIMIENTOS DE ESTE PARRAFO, DEBE COMPLETAR SATISFACTORIAMENTE LAS DOS PRUEBAS, DESCRITAS ABAJO, UTILIZANDO PROCEDIMIENTOS CALIFICADOS. EN PRIMER LUGAR, EL SOLDADOR DEBE EJECUTAR UNA SOLDADURA A TOPE EN POSICION FIJA CON EL EJE DEL TUBO YA SEA EN UN PLANO HORIZONTAL O CON UNA INCLINACION QUE NO EXCEDA DE 45° CON RESPECTO AL PLANO HORIZONTAL. ESTA SOLDADURA A TOPE DEBE SER EJECUTADA EN TUBO QUE TENGA UN DIAMETRO DE AL MENOS 6 5/8 PULGADAS Y UN ESPESOR DE LA PARED DE AL MENOS 1/4 DE PULGADA Y SIN TIRA DE RESPALDO. LA SOLDADURA DEBE CONSIDERARSE ACEPTABLE SI REUNE LOS REQUERIMIENTOS DEL PARRAFO 8.3 "EXAMINACION VISUAL" Y, YA SEA EL PARRAFO 8.4 CALIFICACION DEL SOLDADOR POR ENSAYO DESTRUCTIVO O PARRAFO 8.5 CALIFICACION DEL SOLDADOR POR RADIOGRAFIA-JUNTAS A TOPE SOLAMENTE. LOS ESPECIMENES PUEDEN SER REMOVIDOS DE LA SOLDADURA DE PRUEBA EN LAS LOCALIZACIONES ILUSTRADAS POR LA FIGURA 7

O PUEDEN SER SELECCIONADAS EN LOCALIZACIONES RELATIVAS REPRESENTADAS POR LA FIGURA 7, PERO SIN REFERENCIA A LA PARTE SUPERIOR DEL TUBO, O PUEDEN SER SELECCIONADOS DE LOCALIZACIONES QUE ESTEN EQUIDISTICAMENTE SEPARADAS ALREDEDOR DE TODA LA CIRCUNFERENCIA DEL TUBO. LA SECUENCIA DE TIPOS DE ESPECIMEN ADYACENTE DEBE SER IDENTICA A LA MOSTRADA EN LA FIGURA 7, PARA LOS DIVERSOS DIAMETROS DEL TUBO.

LA SEGUNDA PRUEBA DE CALIFICACION DEBE CONSISTIR EN EL TRAZADO, CORTE, AJUSTE Y SOLDADO DE UNA RAMA DE TAMAÑO COMPLETO EN UNA CONEXION DE TUBO, POR EL SOLDADOR. ESTA PRUEBA DEBE SER HECHA CON TUBO DE AL MENOS, 6 5/8 PULGADAS, DE DIAMETRO Y UN ESPESOR NOMINAL DE LA PARED DE AL MENOS, 1/4 DE PULGADA.

DEBE CORTARSE UN AGUJERO DE TAMAÑO COMPLETO EN EL TENDIDO DE TUBERIA EN UNA POSICION HORIZONTAL Y EL EJE DEL TUBO RAMAL EXTENDIENDOSE VERTICALMENTE HACIA ABAJO DEL TENDIDO. LA SOLDADURA ACABADA DEBE EXHIBIR UNA APARIENCIA LIMPIA, UNIFORME Y QUE REVELE DESTREZA.

LA SOLDADURA DEBE EXHIBIR UNA PENETRACION COMPLETA ALREDEDOR DE LA CIRCUNFERENCIA ENTERA. LOS CORDONES DE RAIZ (FONDEO) COMPLETOS, NO DEBEN CONTENER NINGUNA QUEMADA QUE EXCEDA 1/4 DE PULGADA. LA SUMA DE LAS DIMENSIONES MAXIMAS DE QUEMADAS SEPARADAS SIN REPARAR EN CUALQUIER LONGITUD CONTINUA DE 12 PULGADAS DE SOLDADURA, NO DEBE EXCEDER 1/2 PULGADA.

DEBEN RETIRARSE CUATRO ESPECIMENES PARA ENSAYO DE MELLA DE LA SOLDADURA, EN LAS LOCALIZACIONES MOSTRADAS EN LA FIGURA 8 . ESTOS ESPECIMENES DEBEN SER PREPARADOS Y ENSAYADOS DE ACUERDO CON LOS PARRAFOS 8.8.1 Y 8.8.2 LAS SUPERFICIES EXPUESTAS DEBEN CUMPLIR LOS REQUERIMIENTOS DEL PARRAFO 8.8.3.

#### 8.2.1 ALCANCE DE LA CALIFICACION MULTIPLE.

UN SOLDADOR, QUIEN HA COMPLETADO FELIZMENTE LA PRUEBA DE CALIFICACION DE SOLDADURA A TOPE DESCRITA EN EL PARRAFO 8.2 EN TUBERIAS DE DIAMETRO DE 12 3/4 DE PULGADA O MAYORES Y UNA CONEXION DE RAMA DE TAMAÑO COMPLETO SOLDADA EN TUBO DE 12 3/4 DE PULGADA O MAYORES EN DIAMETRO, DEBE SER CALIFICADO PARA SOLDAR EN TODA POSICION, EN TODOS LOS ESPESORES DE PARED, DISEÑOS DE JUNTA, AJUSTES Y EN TODOS LOS DIAMETROS DE TUBERIA. UN SOLDADOR, QUIEN HA COMPLETADO FELIZMENTE LOS REQUERIMIENTOS DE SOLDADURA A TOPE Y DE CONEXIONES EN RAMA ESTABLECIDOS EN EL PARRAFO 8.2 EN TUBOS MENORES DE 12 3/4 DE DIAMETRO DEBEN CONSIDERARSE CALIFICADOS PARA SOLDAR EN TODAS LAS POSICIONES, EN TODOS LOS ESPESORES DE PARED, DISEÑOS DE JUNTA, AJUSTES Y EN TODOS LOS DIAMETROS DE TUBERIA IGUALES O MENORES A AQUELLOS QUE FUERON USADOS EN SUS PRUEBAS DE CALIFICACION.

SI SE CAMBIAN CUALQUIERA DE LAS SIGUIENTES VARIABLES ESCENCIALES EN LA ESPECIFICACION DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA, LOS SOLDADORES USANDO EL NUEVO PROCEDIMIENTO DEBEN SER RECALIFICADOS.

- A) UN CAMBIO DE UN PROCESO DE SOLDADURA A OTRO PROCESO DE SOLDADURA O A UNA COMBINACION DE PROCESOS DE SOLDADURA.
- B) UN CAMBIO EN LA DIRECCION DE SOLDADURA, DE VERTICAL ASCENDENTE A VERTICAL DESCENDENTE O VICEVERSA.
- C) UN CAMBIO EN EL METAL DE APORTE, DE UN GRUPO DE CLASIFICACION, COMO SE MUESTRA EN LA TABLA A OTRO GRUPO.

### 8.3 EXAMINACION VISUAL

LA SOLDADURA DEBE ESTAR LIBRE DE ROTURAS O GRIETAS, FALTA DE PENETRACION, QUEMADURAS SIN REPARAR OTROS DEFECTOS Y DEBE PRESENTAR UNA APARIENCIA DE LIMPIEZA Y DESTREZA EN SU EJECUCION. EL SOCAVADOR ADYACENTE AL CORDON FINAL EN EL EXTERIOR DEL TUBO NO DEBE EXCEDER A 1/32 PULG. EN PROFUNDIDAD O AL 12.5% DEL ESPESOR DE LA PARED DEL TUBO, CUALQUIERA QUE SEA LA DIMENSION MAS PEQUEÑA, Y NO DEBE HABER MAS DE 2 PULGADAS DE SOCAVADO EN CUALQUIER LONGITUD CONTINUA DE 12 PULG. DE LA SOLDADURA.

CUANDO SEA USADA SOLDADURA AUTOMATICA O SEMIAUTOMATICA, EL ALAMBRE DE APORTE SALIENDO AL AIRE EN EL INTERIOR DEL TUBO, DEBE SER MANTENIDO AL MINIMO. LA FALLA EN EL CUMPLIMIENTO DE LOS REQUERIMIENTOS DE ESTE PARRAFO DEBE SER CAUSA JUSTIFICADA PARA ELIMINAR ENSAYOS ADICIONALES.

### 8.4 CALIFICACION DEL SOLDADOR POR PRUEBAS DESTRUCTIVAS.

8.4.1 MUESTREO DE SOLDADURA DE PRUEBA - SOLDADURAS A TOPE. DEBEN SER CORTADOS ESPECIMENES DE CADA SOLDADURA DE PRUEBA. SI LA SOLDADURA DE PRUEBA ES UNA SOLDADURA CIRCUNFERENCIAL - COMPLETA, ENTONCES LAS LOCALIZACIONES DE DONDE DEBERIAN SER

REMOVIDOS LOS ESPECIMENES SE MUESTRAN EN LA FIGURA 7 . SI LA SOLDADURA DE PRUEBA CONSISTE DE SEGMENTOS DE NIPLES DE TUBO, UN NUMERO APROXIMADAMENTE IGUAL DE ESPECIMENES DEBE SER REMOVIDOS DE CADA SEGMENTO. EL NUMERO TOTAL DE ESPECIMENES Y, LAS PRUEBAS A LAS CUALES CADA UNO DEBEN SER SOMETIDOS, SE MUESTRAN EN LA TABLA 6 . LOS ESPECIMENES DEBEN SER ENFRIADOS POR AIRE A LA TEMPERATURA AMBIENTE ANTES DEL ENSAYO. PARA TUBO DE 1 5/16 PULG. O MENORES, UN ESPECIMEN DE SECCION COMPLETA DE TUBO PUEDE SUSTITUIR LOS ESPECIMENES DE DOBLADURA DE LA RAIZ Y DE ROTURA CON MUESCA.

8.4.2 PROCEDIMIENTOS DE ENSAYO A LA TENSION, ROTURA CON MUESCAS Y DOBLADO - SOLDADURAS A TOPE.

LOS ESPECIMENES DEBEN SER PREPARADOS Y LAS PRUEBAS HECHAS COMO SE DESCRIBE PARA LAS PRUEBAS DE CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO. EL ENSAYO A LA TENSION PUEDE SER OMITIDO EN CUYO CASO LOS ESPECIMENES DESIGNADOS PARA ESTE ENSAYO DEBEN SER SUJETOS AL ENSAYO DE ROTURA CON MUESCA (ENSAYO DE MELLA).

8.4.3 REQUERIMIENTOS DEL ENSAYO A LA TENSION - SOLDADURAS A TOPE.

SI DOS O MAS DE LOS ESPECIMENES DE SECCION REDUCIDA O EL ESPECIMEN DE SECCION COMPLETA ENSAYADOS SE ROMPEN EN LA SOLDADURA O EN LA UNION DE LA SOLDADURA Y EL METAL BASE Y FALLA AL CUMPLIR LOS REQUERIMIENTOS DE SANIDAD ESTABLECIDOS EN EL ENSAYO DE MELLA, EL SOLDADOR DEBE SER DESCALIFICADO.

8.4.4 REQUERIMIENTOS DE ENSAYO DE MELLA - SOLDADURA A TOPE.

SI CUALQUIER ESPECIMEN MUESTRA DEFECTOS EXCEDIENDO A LOS -

PERMITIDOS POR LOS REQUERIMIENTOS DEL ENSAYO DE MELLA DE LA PRUEBA DE CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO EL SOLDADOR DEBE SER DESCALIFICADO.

#### 8.4.5. REQUERIMIENTOS DEL ENSAYO DE DOBLADO - SOLDADURAS A TOPE.

SI CUALQUIER ESPECIMEN MUESTRA DEFECTOS EXCEDIENDO A LOS PERMITIDOS POR LOS REQUERIMIENTOS DEL ENSAYO DE DOBLADO DE RAIZ Y CARA O LOS REQUERIMIENTOS DEL ENSAYO DE DOBLADO LATERAL O LAS PRUEBAS DE CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO, EL SOLDADOR DEBE SER DESCALIFICADO. LAS SOLDADURAS EN TUBO DE ALTA PRUEBA (API STD. 5 LX) PUEDEN NO DOBLARSE EN LA FORMA DE UNA U COMPLETA. ESTAS DEBEN SER CONSIDERADAS ACEPTABLES SI LOS ESPECIMENES QUE SE AGRIETAN SON ROTOS APARTE Y SUS SUPERFICIES EXPUESTAS CUMPLEN LOS REQUERIMIENTOS DEL ENSAYO DE MELLA (DOBLADO CON MUESCAS).

SI ALGUNO DE LOS ESPECIMENES ENSAYADOS AL DOBLADO LLEGAN A FALLAR EN CUMPLIR ESTOS REQUERIMIENTOS Y EN OPINION DE LA COMPAÑIA, LA FALTA DE PENETRACION OCURRIENDO NO ES REPRESENTATIVA DE LA SOLDADURA, EL ESPECIMEN DE PRUEBA PUEDE SER REEMPLAZADO POR UN ESPECIMEN ADICIONAL CORTADO ADYACENTE A AQUEL QUE HA FALLADO. EL SOLDADOR DEBER SER DESCALIFICADO SI EL ESPECIMEN ADICIONAL TAMBIEN MUESTRA DEFECTOS EXCEDIENDO LOS LIMITES ESPECIFICADOS.

#### 8.4.6. MUESTREO DE SOLDADURAS DE PRUEBA - SOLDADURAS DE FILETE.

DEBEN CORTARSE ESPECIMENES DE CADA SOLDADURA DE PRUEBA, SI LA SOLDADURA DE PRUEBA ES UNA SOLDADURA CIRCUNFERENCIAL COMPLETA

ENTONCES LAS LOCALIZACIONES EN LAS CUALES HAN DE SER REMOVIDOS LOS ESPECIMENES. SE MUESTRAN EN LA FIGURA 8 . SI LA SOLDADURA DE PRUEBA CONSISTEN EN SEGMENTOS DE NIPLES DE TUBO, UN NUMERO APROXIMADAMENTE IGUAL DE ESPECIMENES DEBEN SER REMOVIDOS DE CADA SEGMENTO. LOS ESPECIMENES DEBEN SER ENFRIADOS POR AIRE A LA TEMPERATURA AMBIENTE ANTES DEL ENSAYO.

#### 8.4.7 METODO DE ENSAYO Y REQUERIMIENTOS - SOLDADURAS DE FILETE.

LOS ESPECIMENES DEBEN SER PREPARADOS Y EL ENSAYO HECHO COMO ES DESCRITO PARA LA CALIFICACION DEL PROCEDIMIENTO.

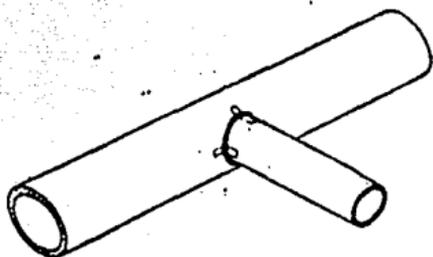
#### 8.5 CALIFICACION DEL SOLDADOR POR RADIOGRAFIA - JUNTAS A TOPE SOLAMENTE.

COMO OPCION PARA LA COMPAÑIA, LA SOLDADURA DE CALIFICACION PUEDE SER EXAMINADA POR INSPECCION RADIOGRAFICA EN LUGAR DE LOS ENSAYOS ESPECIFICADOS EN EL PARRAFO 8.4.

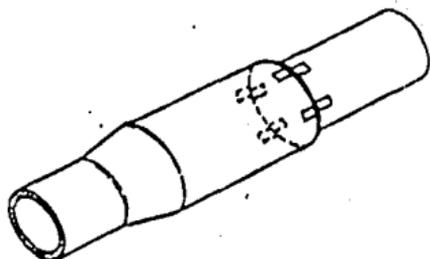
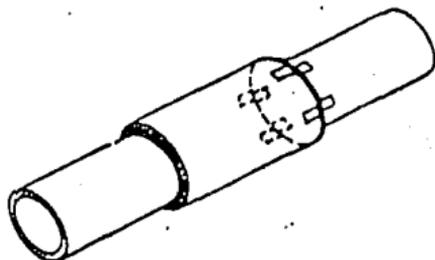
##### 8.5.1. INSPECCION RADIOGRAFIA DE SOLDADURA DE PRUEBA.

DEBEN HACERSE RADIOGRAFIAS DE CADA UNA DE LAS SOLDADURAS DE PRUEBA. EL SOLDADOR DEBE SER DESCALIFICADO SI CUALQUIERA DE ESTAS SOLDADURAS DE PRUEBA NO CUMPLE CON EL ESTANDAR DE ACEPTABILIDAD - ENSAYO NO DESTRUCTIVO, SECCION 6.0 DEL API 1104.

LA INSPECCION RADIOGRAFICA NO DEBE SER USADA CON EL PROPOSITO DE LOCALIZAR AREAS SANAS O AREAS CONTENIENDO DISCONTINUIDADES Y DESPUES DE ESO HACER PRUEBAS DESTRUCTIVAS EN TALES AREAS PARA CALIFICAR O DESCALIFICARA A UN SOLDADOR.



DOS ESPECIMENES DE LA  
BIFURCACION Y DOS A 90°  
DE LA BIFURCACION



2 3/8" Y MAYORES

PARA JUNTAS MENORES DE 2 3/8" (60.3 mm), CORTE LOS ESPECIMENES EN LA MISMA LOCALIZACION GENERAL PERO CORTE DOS ESPECIMENES DE CADA UNA DE LAS SOLDADURAS DE PRUEBA.

LOCALIZACION DE LOS ESPECIMENES PARA EL ENSAYE DE MELLA SOLDADURAS DE PRUEBA PARA LA CALIFICACION DEL SOLDADOR Y DEL PROCEDIMIENTO PARA SOLDADURA DEL FILETE.

FIGURA 8

## RE - CALIFICACION

SI, EN LA OPINION MUTUA DE LOS REPRESENTANTES DE LA COMPAÑIA Y EL CONTRATISTA, EL FRACASO DE UN SOLDADOR EN PASAR LA PRUEBA FUE DEBIDO A CONDICIONES INEVITABLES O CONDICIONES MAS ALLA DE SU CONTROL, EN TAL CASO AL SOLDADOR PUEDE DARSELE UNA SEGUNDA OPORTUNIDAD DE CALIFICAR. NO DEBEN DARSE OPORTUNIDADES ADICIONALES HASTA QUE EL SOLDADOR HAYA RENDIDO PRUEBAS ACEPTABLES A LA COMPAÑIA DE SUBSECUENTE ENTRENAMIENTO.

### REGISTROS DE SOLDADORES CALIFICADOS.

DEBE HACERSE UN REGISTRO DE LAS PRUEBAS HECHAS A CADA UNO DE LOS SOLDADORES Y DE LOS RESULTADOS DETALLADOS DE CADA UNA DE LAS PRUEBAS. DEBERIA USARSE UNA FORMA SIMILAR A LA MUESTRA A (ESTA FORMA DEBERIA DESARROLLARSE PARA ADAPTARSE A LAS NECESIDADES DE LA COMPAÑIA EN PARTICULAR, PERO LA FORMA DEBE CONTENER LOS SUFICIENTES DETALLES PARA DEMOSTRAR QUE LA PRUEBA DE CALIFICACION INCORPORA LOS VARIOS REQUERIMIENTOS PRESCRITOS EN ESTE ESTANDAR). DEBE MANTENERSE UNA LISTA DE SOLDADORES CALIFICADOS Y LOS PROCEDIMIENTOS EN LOS CUALES ELLOS ESTAN CALIFICADOS. UN SOLDADOR PUEDE SER REQUERIDO A RECALIFICAR SI EXISTE UNA DUDA ACERCA DE SU HABILIDAD. FINALMENTE LA FIGURA 9 MUESTRA UN RESUMEN DEL PROCESO PARA LA CALIFICACION DE SOLDADORES.

LOGOTIPO DE LA EMPRESA

REGISTRO DE PRUEBAS DE CALIFICACION DE SOLDADORES Y OPERADORES DE MAQUINAS DE SOLDAR

NOMBRE DEL SOLDADOR U OPERADOR: \_\_\_\_\_ IDENTIFICACION \_\_\_\_\_

USANDO ESPECIFICACION DE \_\_\_\_\_ REV. \_\_\_\_\_ FECHA \_\_\_\_\_  
PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA

VARIABLE:	REGISTRO DE VALORES ACTUALES USADOS EN LA CALIFICACION	RANGO DE CALIFICACION
PROCESO	_____	_____
TIPO DE PROCESO	_____	_____
RESPALDO	_____	_____
ESPECIFICACION DE MATERIAL	_____ A _____	_____ A _____
ESPESOR	_____	_____
RAJURA	_____	_____
FILETE	_____	_____
DIAMETRO	_____	_____
RAJURA	_____	_____
FILETE	_____	_____
METAL DE APORTE	_____	_____
ESPECIFICACION No.	_____	_____
RAJURA	_____	_____
FILETE	_____	_____
POSICION	_____	_____
PROGRESION DE SOLDADURA	_____	_____
TIPO DE GAS	_____	_____
GAS DE PROTECCION	_____	_____
CARACTERISTICAS ELECTRICAS	_____	_____
CORRIENTE	_____	_____
POLARIDAD	_____	_____

RESULTADOS DE PRUEBA DE DOBLEZ QUIADO

\*TIPO \_\_\_\_\_ RESULTADO \_\_\_\_\_

_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

RESULTADOS DE PRUEBA RADIOGRAFICA

POR ALTERNATIVA DE CALIFICACION DE SOLDADURAS DE RAJURAS POR RADIOGRAFIA  
RESULTADOS RADIOGRAFICOS \_\_\_\_\_

RESULTADOS DE PRUEBAS DE SOLDADURA DE FILETE

PRUEBA DE FRACTURA (DESCRIPCION DE LOCALIZACION, NATURALEZA Y TAMAÑO) \_\_\_\_\_

LONGITUD Y PORCENTAJE DE DEFECTOS \_\_\_\_\_ PULGADAS \_\_\_\_\_ %

MACRO PRUEBA FUSION \_\_\_\_\_  
APARIENCIA TAMAÑO DE FILETE \_\_\_\_\_ PLG. X \_\_\_\_\_ PLG. CONVEXIDAD \_\_\_\_\_ PLG. CONCAVIDAD \_\_\_\_\_ PLG.

RESULTADOS DE INSPECCION VISUAL

APARIENCIA \_\_\_\_\_ SOCABADO \_\_\_\_\_ POROSIDAD CILINDRICA \_\_\_\_\_

PRUEBA CONDUCTIVA POR: \_\_\_\_\_ PRUEBA DE LABORATORIO \_\_\_\_\_

CERTIFICANDO QUE LO INDICADO EN ESTE REGISTRO ES CORRECTO Y QUE LAS SOLDADURAS DE PRUEBA FUERON PREPARADAS, SOLDADAS Y PRUEBADAS DE ACUERDO CON LOS REQUISITOS DE \_\_\_\_\_ ORGANIZACION \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_\_ RECIBIDO POR \_\_\_\_\_ CLIENTE \_\_\_\_\_

NOTA: CUALQUIER VARIABLE ESENCIAL EN ADICION A LAS MENCIONADAS ARRIBA DEBERA SER REGISTRADA.

FIGURA A

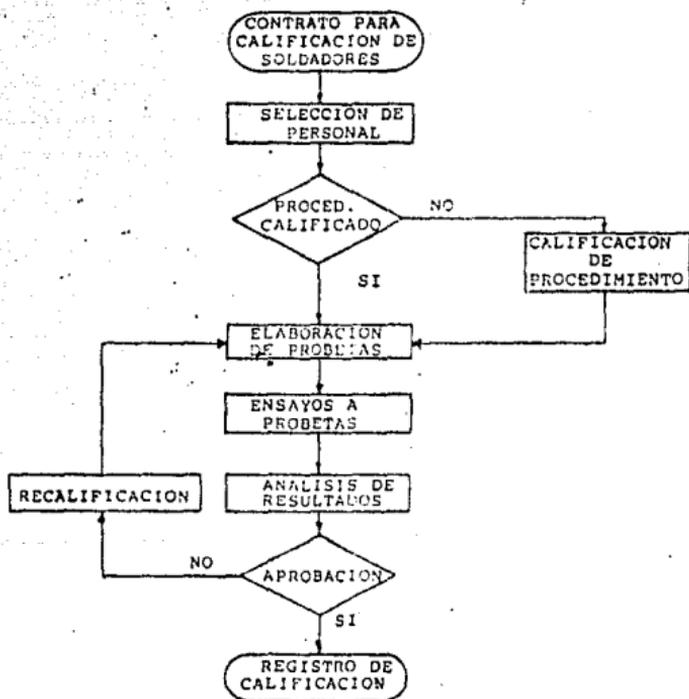


FIGURA No. 9

9.- FRENTE DE TRABAJO.

DEPENDIENDO DE LA DURACION DE LA OBRA, SE ESTABLECEN DIFERENTES FRENTE DE TRABAJO, PRINCIPALMENTE EN LOS CRUCES DE CARRETERA, PANTANOS, RIOS.

GENERALMENTE ESTOS PUNTOS SE UTILIZAN COMO INICIO O FIN DE TRABAJOS Y LA REALIZACION DE ESTOS TRAMOS SE DENOMINAN OBRAS ESPECIALES.

EN ESTOS FRENTE DE TRABAJO, DEPENDIENDO DEL ESPESOR DE LA TUBERIA, SE ESTABLECEN DOS O TRES CARPAS DE SOLDADURA, EN LAS CUALES SE REALIZAN YA SEAN SOLDADURAS DE RAIZ, DE RELLENO O DE VISTA.

ESTAS CARPAS PUEDEN SER FIJAS O MOBILES, LAS MOBILES SE UTILIZAN A TODO LO LARGO DE LA LINEA EN LA CUAL LA TUBERIA ES FIJA, Y LAS FIJAS EN LOS PUNTOS EN DONDE LA TUBERIA PUEDE SER JALADA.

10.- INSPECCION RADIOGRAFICA.

UNA VEZ QUE LAS SOLDADURAS HAN SIDO REALIZADAS Y TERMINADAS SE PROCEDE A EFECTUAR LA TOMA RADIOGRAFICA. ESTAS RADIOGRAFIAS DEBEN CUMPLIR CON LOS REQUISITOS MARCADOS EN EL ASME V ARTICULO 2. EL PERSONAL QUE REALICE ESTAS TOMAS DEBERA ESTAR CAPACITADO Y CERTIFICADO EN ESTE METODO. EXISTEN 3 NIVELES DE CALIFICACION DE ACUERDO A LO ESTIPULADO EN LA PRACTICA RECOMENDADA No. SNT-TC-1A. AL INDIVIDUO QUE SE ENCUENTRE EN EL PROCESO DE CALIFICACION Y/O CERTIFICACION PARA NIVEL I EN ESTE METODO SERA CONSIDERADO COMO UN AUXILIAR, Y DEBERA TRABAJAR CON UN TECNICO CERTIFICADO Y NO EFECTUAR INDEPENDIENTEMENTE NINGUNA TOMA RADIOGRAFICA,

INTERPRETAR, Y/O EVALUAR POR NINGUNA CIRCUNSTANCIA.

LAS CARACTERISTICAS Y NIVELES SON:

#### 10.1 NIVEL I

ES EL NIVEL DE CALIFICACION DE LA PERSONA QUE REALIZA LAS SIGUIENTES FUNCIONES:

- A) EJECUCION DE CALIBRACIONES, ENSAYOS Y EVALUACIONES ESPECIFICAS.
- B) ACEPTA O RECHAZA DECISIONES DE ACUERDO A INSTRUCCIONES ESCRITAS.
- C) REGISTRA RESULTADOS.

ESTE PERSONAL DEBERA REALIZAR SU TRABAJO BAJO LA SUPERVISION DE PERSONAL CERTIFICADO COMO NIVEL II O III EN EL METODO RADIOGRAFICO.

#### 10.2 NIVEL II

ES EL NIVEL DE CALIFICACION DE LA PERSONA QUE REALIZA LAS SIGUIENTES FUNCIONES:

- A) AJUSTA Y CALIBRA EQUIPOS
- B) INTERPRETA Y EVALUA RESULTADOS CON RESPECTO A CODIGOS, ESTANDARES Y ESPECIFICACIONES APLICABLES.
- C) CONOCE LOS ALCANCES Y LIMITACIONES DEL METODO RADIOGRAFICO.
- D) ENTRENA Y SUPERVISA A LOS AUXILIARES Y TECNICOS NIVEL I
- C) PREPARA INSTRUCCIONES ESCRITAS.
- F) ORGANIZA Y REPORTA LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS.

#### 10.3 NIVEL III

ES EL NIVEL DE CALIFICACION DE LA PERSONA QUE REALIZA LAS SIGUIENTES FUNCIONES:

- A) ESTABLECE TECNICAS Y PROCEDIMIENTOS.
- B) INTERPRETA CODIGOS, ESTANDARES, ESPECIFICACIONES Y PROCEDIMIENTOS.
- C) DESIGNA LOS METODOS, TECNICAS Y PROCEDIMIENTOS PARTICULARES A SER USADOS EN CADA SERVICIO.
- D) INTERPRETA Y EVALUA LOS RESULTADOS DE LOS ENSAYOS EN TERMINOS DE CODIGOS, ESTANDARES Y ESPECIFICACIONES EXISTENTES.
- E) TENER EL CONOCIMIENTO PRACTICO EN APLICACION DE MATERIALES, DESARROLLO DE LOS ENSAYOS Y TECNOLOGIA DE LOS PRODUCTOS PARA EL ESTABLECIMIENTO DE LAS TECNICAS APROPIADAS.
- F) AUXILIAR EN EL ESTABLECIMIENTO DE CRITERIOS DE ACEPTACION CUANDO ESTOS NO SE ENCUENTREN DISPONIBLES.
- G) CAPACITAR Y EXAMINAR A LOS TECNICOS NIVELES I Y II PARA SU CALIFICACION Y CERTIFICACION.

#### 10.2 REQUISITOS DE ESCOLARIDAD, CAPACITACION Y EXPERIENCIA DE CADA NIVEL.

PARA PODER CONSIDERAR LA CERTIFICACION DE LOS CANDIDATOS, ESTOS DEBERAN SATISFACER LOS CRITERIOS QUE SE EXPONEN A CONTINUACION SEGUN EL NIVEL REQUERIDO. LA FORMACION Y/O EXPERIENCIA ADQUIRIDA EN TRABAJOS Y ACTIVIDADES EQUIVALENTES A LOS NIVELES I, II, III, DEBERAN SATISFACER LOS CRITERIOS DE LOS PARRAFOS 10.2.1 Y 10.2.2. SIEMPRE Y CUANDO SE JUSTIFIQUEN DOCUMENTALMENTE.

### 10.2.1 NIVELES I Y II

EN LA TABLA 10 . . SE SEÑALAN LOS FACTORES MINIMOS DE CAPACITACION EXPERIENCIA QUE SON CONSIDERADOS POR LA COMPAÑIA PARA CALIFICAR AL PERSONAL EN LOS NIVELES I Y II. EL FACTOR EXPERIENCIA ESTA BASADO EN UN HORARIO DE 48 HORAS SEMANALES (210 HORAS AL MES).

### 10.2.2 NIVEL III

PARA PODER CONSIDERAR LA CERTIFICACION COMO NIVEL III EL CANDIDATO DEBERA SATISFACER LOS SIGUIENTES CRITERIOS DE CAPACITACION Y EXPERIENCIA:

A) INGENIERO O LICENCIADO EN CIENCIAS, MAS UN AÑO DE EXPERIENCIA EN TRABAJOS COMO NIVEL II O COMPARABLE CON EL METODO.

B) DOS AÑOS DE ESTUDIOS EN INGENIERIA O CIENCIAS MAS DOS AÑOS DE EXPERIENCIA EN TRABAJOS COMO NIVEL II O COMPARABLE CON EL METODO.

C) CUATRO AÑOS DE EXPERIENCIA COMO NIVEL II, CERTIFICADO EN EL METODO.

TABLA NO. 10

FORMACION ACADEMICA	NIVEL I	NIVEL II
---------------------	---------	----------

CURSOS DE ENTRENAMIENTO DE ACUERDO A A.S.N.T.

2 AÑOS DE INGENIERIA O CARRERA TECNICA.	29 HORAS	35 HORAS
PREPARATORIA O VOCACIONAL TERMINADA	39 HORAS	40 HORAS
SECUNDARIA TERMINADA.	88 HORAS	80 HORAS

EXPERIENCIA

TODOS LOS GRADOS	3 MESES	9 MESES
------------------	---------	---------

11.-RECHAZOS Y REPARACIONES.

DESPUES DE HABER HECHO LA TOMA RADIOGRAFICA Y HABER INTERPRETADO Y EVALUADO LA SOLDADURA, SE PROCEDE A REALIZAR EL REPORTE RESPECTIVO, SEÑALANDO LAS INDICACIONES ENCONTRADAS.

EN CASO DE HABER DEFECTOS FUERA DEL CODIGO, SE SEÑALA LA UBICACION EN CM. DEL LUGAR EN DONDE SE ENCUENTRAN, SOBRE LA TUBERIA CON AYUDA DE PINTURA AMARILLA.

QUEDA A CRITERIO DE LA COMPAÑIA CONTRATISTA O DEL CLIENTE EL ACEPTAR O RECHAZAR UN DICTAMEN RADIOGRAFICO.

EN CASO DE QUE LA SOLDADURA HAYA SIDO RECHAZADA SE PROCEDE A REALIZAR LA REPARACION CORRESPONDIENTE, SIGUIENDO UN PROCEDIMIENTO ESPECIFICO DE REPARACIONES.

UNA VEZ HECHA LA REPARACION, SE VUELVE A REALIZAR LA TOMA RADIOGRAFICA Y SI ESTA VOLVIERA A ESTAR FUERA DE NORMA ENTONCES SE TOMARIA LA DESICION POR PARTE DEL CLIENTE DE INTENTAR UNA SEGUNDA REPARACION O DE CORTAR LA TUBERIA E INSERTAR UN CARRETE NUEVO EN ESE TRAMO.

12.-ESMALTE.

CUANDO UNA SOLDADURA SE LIBERA, O SEA QUE SU SANIDAD INTERNA CUMPLE CON LOS CODIGOS, INMEDIATAMENTE SE PROCEDE A ESMALTARLA.

EL ESMALTE CONSISTE EN LIMPIAR LA TUBERIA Y DESPUES IMPREGNAR LA DE CHAPOPOTE DERRETIDO QUE SIRVE PARA ADHERIR UNA CAPA DE FIBRA DE VIDRIO.

LA FINALIDAD DEL ESMALTE ES DE EVITAR LA CORROSION EXTERNA DE LA TUBERIA.

13.-ENTIERRO DE LA LINEA.

DESPUES DE TERMINAR LOS TRABAJOS DE SOLDADURA Y DE ESMALTE SE REALIZA UNA ZANJA DE MAS O MENOS 3 METROS DE PROFUNDIDAD PARALELA A LA LINEA SOBRE EL DERECHO DE VIA.

EN ESTA ZANJA SE DEPOSITA LA LINEA Y SE ENTIERRA, QUEDANDO UNICAMENTE LAS VALVULAS E INTERCONEXIONES.

FINALMENTE SE SEÑALIZA EL PASO DE LINEA PARA EVITAR QUE ALGUIEN REALICE MANIOBRAS DE EXCAVACION EN ESE TRAMO.

14.-LIMPIEZA DE LA LINEA

UNA VEZ CONCLUIDA LA LINEA, SE PROCEDE A LIMPIAR ESTA, INTERNAMENTE.

A LO LARGO DE LOS TRABAJOS DE CONSTRUCCION ES MUY COMUN QUE LOS TUBOS TENGAN EN SU INTERIOR OBJETOS EXTRAÑOS COMO SON PIEDRAS, LODO, HERRAMIENTAS, TRONCOS, ANIMALES, ETC. POR ESTO ES MUY IMPORTANTE ESTA LIMPIEZA.

CON AYUDA DE UN DISPOSITIVO LLAMADO "DIABLO" QUE CONSISTE DE UNA ESTRUCTURA METALICA CON EXTREMOS DE HULE Y QUE SE AJUSTA AL MILIMETRO DEL DIAMETRO INTERNO DE LA TUBERIA SE BARRE CON TODO OBJETO EXTRAÑO ATRAPADO EN LA LINEA.

EL MOVIMIENTO DE ESTE DIABLO SE HACE GENERALMENTE POR MEDIO DE PRESION CON AYUDA DE AGUA O AIRE.

EL DIABLO SE INTRODUCE EN UNO DE LOS EXTREMOS Y DE ACUERO AL VOLUMEN DE AGUA O AIRE QUE SE INTRODUSCA, SE PUEDE CALCULAR - SU VELOCIDAD DE AVANCE.

EN ALGUNOS CASOS SE LLEGA A PERDER PRESION O EL DIABLO SE ATORA DEBIDO A CAMBIOS DE ESPESOR EN TUBERIAS O A GOLPES Y ABOLLADURAS EN LA LINEA.

POR TAL MOTIVO, TAMBIEN ES MUY COMUN QUE ESTOS DIABLOS LLEVEN UNA CAPSULA DE COBALTO 60 RADIOACTIVO QUE SIRVE PARA LOCALIZAR CON AYUDA DE CONTADORES GEIGER SU UBICACION EN LOS CASOS DE PERDIDA.

15.-PRUEBA HIDROSTATICA

FINALMENTE SE REALIZA UNA PRUEBA HIDROSTATICA PARA GARANTIZAR LAS PRESIONES DE DISEÑO. GENERALMENTE ESTA PRUEBA SE HACE A 1.5 VECES LA PRESION DE DISEÑO.

SPCO-115/80.

INSPECCION RADIOGRAFICA DEL OLEODUCTO DE 36" DE DIAMETRO POR 57 KMS. DE DOS BASES FAB. A CARDENAS. TAB. DEL KM. 45+147 AL KM. 65+297.

EQUIPO UTILIZADO: RAYOS " X "  
DEPENDENCIA: PETROLEOS MEXICANOS.  
AÑO: 1980.  
PLAZO: 151 DIAS.  
MONTO 1

SPCO-195/80.

INSPECCION RADIOGRAFICA DE UNIONES SOLDADAS EN TUBERIA DE 48" DE DIAMETRO Y ESPESORE DE 0.625", 0.938", Y 1" DEL OLEODUCTO CARDENAS - NUEVO TEAPA. TRAMO COMPRENDIDO ENTRE EL KM. 60+000 (RIO TONALA) AL 110+000 (NUEVO TEAPA) INCLUYE LA INSPECCION DEL CRUZAMIENTO DEL RIO.

EQUIPO UTILIZADO: RAYOS " X "  
DEPENDENCIA: PETROLEOS MEXICANOS.  
AÑO: 1980.  
PLAZO: 180 DIAS.  
MONTO: 7.197

SPCO-440/80.

INSPECCION RADIOGRAFICA DE UNIONES SOLDADAS EN LAS ESTACIONES DE BOMBEO EN MEDIAS AGUAS, DONAJI Y LOMA LARGA DEL OLEODUCTO DE 30" DE DIAMETRO NUEVO TEAPA - SALINA CRUZ.

EQUIPO UTILIZADO: RAYOS " X " Y RAYOS " GAMMA "  
DEPENDENCIA: PETROLEOS MEXICANOS.  
AÑO: 1980.  
PLAZO: 206 DIAS.  
MONTO: 1.5

SPCO-832/80.

INSPECCION RADIOGRAFICA DE UNIONES SOLDADAS EN LA CONSTRUCCION DEL OLEODUCTO DE 16" DE DIAMETRO POR 4 KMS. DE CHIAPAS, COPANO Y BUTANODUCTO DE 16" DE DIAMETRO POR 141 KMS. CACTUS, PAJARITOS DE 40 KMS.

EQUIPO UTILIZADO: RAYOS " X " Y RAYOS " GAMMA "  
DEPENDENCIA: PETROLEOS MEXICANOS.  
AÑO: 1980.  
PLAZO: 115 DIAS.  
MONTO: 2.3

SPCO-1052/80.

INSPECCION RADIOGRAFICA DE LOS TRABAJOS DE SOLDADURAS  
PARA LA CONSTRUCCION DEL GASODUCTO DE 36" DE DIAMETRO  
POR 207 KMS. SALAMANCA - GUADALAJARA (TRAMO DEL KM.  
137+000 AL KM. 162+000).

EQUIPO UTILIZADO: RAYOS " X "  
DEPENDENCIA: PETROLEOS MEXICANOS.  
AÑO: 1981.  
PLAZO: 120 DIAS.  
MONTO: 4.25

SPCO-64/81.

INSPECCION RADIOGRAFICA DE LOS TRABAJOS DE SOLDADURA  
PARA LA CONSTRUCCION DEL GASODUCTO DE 16" Y 36" DE  
DIAMETRO POR 100 KMS. DE LONGITUD ATASTA - CD.  
PEMEX. (KM. 60+000 AL 96+000).

EQUIPO UTILIZADO: RAYOS " X " Y RAYOS " GAMMA "  
DEPENDENCIA: PETROLEOS MEXICANOS.  
AÑO: 1981.  
PLAZO: 120 DIAS.  
MONTO: 7

SPCO-189/81.

INSPECCION RADIOGRAFICA DE JUNTAS SOLDADAS EN TUBERIA  
DE 48" DE DIAMETRO, PARA EL GASODUCTO COATZACOALCOS,  
VER - SANTA ANA HGO. (KM. 0+000 AL KM 100+000).

EQUIPO UTILIZADO: RAYOS " X " Y RAYOS " GAMMA "  
DEPENDENCIA: PETROLEOS MEXICANOS.  
AÑO: 1981.  
PLAZO: 205 DIAS  
MONTO: 14

SPCO-266/81.

INSPECCION RADIOGRAFICA DE LOS TRABAJOS DE SOLDADURA  
PARA LA CONSTRUCCION DE GASODUCTO DE 16" DE DIAMETRO  
POR 677 KMS NACO-CANANEA-HERMOSILLO-NAVAJOA. (DEL  
0+000 AL KM. 62+000)

EQUIPO UTILIZADO: RAYOS " X " Y RAYOS " GAMMA "  
DEPENDENCIA: PETROLEOS MEXICANOS.  
AÑO: 1981.  
PLAZO: 205 DIAS.  
MONTO: 14

SPCO-290/81.

INSPECCION RADIOGRAFICA EN LA CONSTRUCCION DE LA  
ESTACION DE COMPRESION No 1 ( CARDENAS TAB. ) DEL  
DUCTO TRONCAL SISTEMA NACIONAL DE GAS.

EQUIPO UTILIZADO: RAYOS " X " Y RAYOS " GAMMA "  
DEPENDENCIA: PETROLEOS MEXICANOS.  
AÑO: 1981.  
PLAZO: 180 DIAS.  
MONTO: 1.8

SPCO-115/82.

INSPECCION RADIOGRAFICA DEL DIESELDUCTO DE 12" DE  
DIAMETRO POR 0.219" MINATITLAN - VILLAHERMOSA F  
INSPECCION RADIOGRAFICA DE UNIONES SOLDADAS EN LA  
CONSTRUCCION DE BUTANODUCTO DE 16" DE DIAMETRO POR  
141 KMS. CACTUS - PAJARITOS DEL KM. 40+000 AL KM.  
80+000.

EQUIPO UTILIZADO: RAYOS " X " Y RAYOS " GAMMA "  
DEPENDENCIA: PETROLEOS MEXICANOS.  
AÑO: 1982.  
PLAZO: 180 A DIAS.  
MONTO: 8.5

SPCO-156/82.

INSPECCION RADIOGRAFICA DE UNIONES SOLDADAS EN  
TUBERIA DE DIFERENTES DIAMETROS EN EL AREA DE  
SERVICIOS AUXILIARES DEL COMPLEJO PETROQUIMICO  
TABASCO.

EQUIPO UTILIZADO: RAYOS " X " Y RAYOS " GAMMA "  
DEPENDENCIA: PETROLEOS MEXICANOS.  
AÑO: 1982.  
PLAZO: 120 DIAS.  
MONTO: 6.626

SPCO-35/83.

INSPECCION RADIOGRAFICA EN INTEGRACION DE PLANTAS Y AREA DE TANQUES. EN LA AMPLIACION DE EL ALMACENAMIENTO DE GASOLINA NATURAL, PROPANO Y SISTEMA DE REFINACION, SEPARADOR API-4, QUEMADORES SISTEMAS DE SEPARACION DE CATALIZADOR PLANTA T.C.C. EN LA REFINERIA LAZARO CARDENAS DE MINATITLAN, VER.

EQUIPO UTILIZADO: RAYOS " GAMMA "  
DEPENDENCIA: PETROLEOS MEXICANOS.  
AÑO: 1983.  
PLAZO: 90 DIAS.  
MONTO: 2.403

SPCO-397/83.

INSPECCION RADIOGRAFICA DE UNIONES SOLDADAS DURANTE LA EJECUCION DE LAS SIGUIENTES OBRAS:

- A) CONSTRUCCION DE POLIDUCTO DE 10" DE DIAMETRO POR 6.5 KMS. SATELITE - ESCOBEDO.
- B) REHABILITACION COMO POLIDUCTO DEL GASODUCTO DE 10" DE DIAMETRO POR 167 KM. INCLUYE EL LIBRAMIENTO MINA E HIDALGO N.L. Y LLEGADA A MONCLOVA, COAH.

EQUIPO UTILIZADO: RAYOS " X " Y RAYOS " GAMMA "  
DEPENDENCIA: PETROLEOS MEXICANOS.  
AÑO: 1983.  
PLAZO: 337 DIAS.  
MONTO: 8.368

SPCO-433/83.

INSPECCION RADIOGRAFICA DE UNIONES SOLDADAS DURANTE LA CONSTRUCCION DE LA TERMINAL DE GAS PROPANO (INCLUYE TANQUE CRYOGENICO FB-1301 DE 20.000 TON.) Y DE LA SUSTITUCION DE LAS TUBERIAS EN ROSARITO, B.C.N.

EQUIPO UTILIZADO: RAYOS " GAMMA "  
DEPENDENCIA: PETROLEOS MEXICANOS.  
AÑO: 1983.  
PLAZO: 337 DIAS.  
MONTO: 8.368

SPCO-75-264/84.

INSPECCION RADIOGRAFICA DE UNIONES SOLDADAS EN LINEAS DE 36" Y 42" DE DIAMETRO EN CORREDOR DE TUBERIAS PARA CRUDO A LOS MUELLES 7 Y 9 DE LASTRE DE BARCOS Y CRUDO A MONOBOYA 2 PAJARITOS, VER.

EQUIPO UTILIZADO: RAYOS " X " RADIAL Y RAYOS " GAMMA "  
DEPENDENCIA: PETROLEOS MEXICANOS.  
AÑO: 1984.  
PLAZO: 381 DIAS.  
LUGAR: PAJARITOS, VER.

SPCO-71/84.

INSPECCION RADIOGRAFICA DE UNIONES SOLDADAS DURANTE LA CONSTRUCCION DEL GASEODUCTO DE 48" DE DIAMETRO DE ESTACION No 7 ( T.S.N.G.) SANTANA HGO, TRAMO 3 DEL KM. 150+000 AL KM. 225+000.

EQUIPO UTILIZADO: RAYOS " X " RADIAL Y RAYOS " GAMMA "  
DEPENDENCIA: PETROLEOS MEXICANOS.  
AÑO: 1984.  
PLAZO: 365 DIAS.  
LUGAR: ORIENTAL PUEBLA.

SPZSE-605/85.

INSPECCION RADIOGRAFICA DE DUCTOS CAMPOS MORA JOLOTE BELLOTA Y CARDENAS DEL DTO. COMALCALCO.

EQUIPO UTILIZADO: RAYOS " GAMMA "  
DEPENDENCIA: PETROLEOS MEXICANOS.  
AÑO: 1985.  
PLAZO: 43 DIAS.  
LUGAR: VILLAHERMOSA, TAB.

SPCO-ZE-815/85.

INSPECCION RADIOGRAFICA PARA LA INTEGRACION DE GASODUCTO ENM LA ZONA SURESTE DEL GCPM COMPLEJO CACTUS Y COMPLEJO CD. PEMEX.

EQUIPO UTILIZADO: RAYOS " GAMMA "  
DEPENDENCIA: PETROLEOS MEXICANOS.  
AÑO: 1985.  
PLAZO: 90 DIAS.  
LUGAR: VILLAHERMOSA, TAB.

SPCO-2S-845/85.

INSPECCION RADIOGRAFICA DE LOS LIBRAMIENTOS DE LAS ESTACIONES 2, 2A, 3 Y 4 PARA LA CONVERSION DE LA LINEA DE 2 DE 24" DE DIAMETRO DE GASODUCTO A POLIDUCTO DE COSOLEACAQUE A VENTA DE CARPIO INCLUYE INSTALACIONES Y DIAMETRO DE 1, 4, 6, 8, 10, 12, 13, 18, 20, 24, 26, Y 30" DE DIAMETRO.

EQUIPO UTILIZADO: RAYOS " X " Y RAYOS " GAMMA "  
DEPENDENCIA: PETROLEOS MEXICANOS.  
AÑO: 1985.  
PLAZO: 120 DIAS.  
LUGAR: COSOLEACAQUE, VER.

SPZSE-618/85.

INSPECCION RADIOGRAFICA EN DUCTOS SOLDABLES DE DIFERENTES DIAMETROS EN CAMPO PAREDON.

EQUIPO UTILIZADO: RAYOS " X " Y RAYOS " GAMMA "  
DEPENDENCIA: PETROLEOS MEXICANOS.  
AÑO: 1985.  
PLAZO: 120 DIAS.  
LUGAR: VILLAHERMOSA, TAB.

SPCO-2E-671/85.

INSPECCION RADIOGRAFICA PARA LA SECCION DE TRATAMIENTO D.E.A. Y COMPRESOR DE ETANO PARA LA FRACCIONADORA No. 2 EN EL COMPLEJO PETROQUIMICO CACTUS CHIAPAS Y PARA LA INTEGRACION DE COMPRESORAS DE ETANO.

EQUIPO UTILIZADO: RAYOS " X " Y RAYOS " GAMMA "  
DEPENDENCIA: PETROLEOS MEXICANOS.  
AÑO: 1985.  
PLAZO: 180 DIAS.  
LUGAR: CHIAPAS.

SPZSE-774/85.

INSPECCION RADIOGRAFICA DE DUCTOS EN LAS AREAS DE LOS CAMPOS BELLOTA MECOACAN CASTARRICA, MORA Y CARNENAS DTO. COMALCALCO.

EQUIPO UTILIZADO: RAYOS " GAMMA "  
DEPENDENCIA: PETROLEOS MEXICANOS.  
AÑO: 1985.  
PLAZO: 35 DIAS.  
LUGAR: COMALCALCO, TAB.

SPZ-CR-087/86.

INSPECCION RADIOGRAFICA EN SOLDADURA DE TUBERIA DE ACERO PARA BOMBAS DE DESCARGA OLEOGASODUCTOS, CABEZALES Y RED DE BOMBEO NEUMATICO EN LOS CAMPOS, CARDENAS, MORA BELLOTA-JOLOTE Y EDEN, DIAMETROS, 4, 14, 16, 22, 24, 30" DE DIAMETRO.

EQUIPO UTILIZADO: RAYOS " GAMMA "  
DEPENDENCIA: PETROLEOS MEXICANOS.  
AÑO: 1986.  
PLAZO: 210 DIAS.  
LUGAR: COMALCALCO, TAB.

SPZSE-550/86.

INSPECCION RADIOGRAFICA EN DUCTOS SOLDABLES DE DIFERENTES DIAMETROS EN CAMPOS DEL DTO.

EQUIPO UTILIZADO: RAYOS " X " Y RAYOS " GAMMA "  
DEPENDENCIA: PETROLEOS MEXICANOS.  
AÑO: 1986.  
PLAZO: 120 DIAS.  
LUGAR: VILLAHERMOSA, TAB.

SPCO-ZE-556/86.

INSPECCION RADIOGRAFICA LINEA DE 16" DE DIAMETRO DE AC SUMISTRO A CO2 A LIQUID CARBONIC DE MEXICO, S.A. DE C.V. COSOLEACAQUE, VER.

EQUIPO UTILIZADO: RAYOS " X " FOCAL Y RAYOS " GAMMA "  
DEPENDENCIA: PETROLEOS MEXICANOS.  
AÑO: 1986.  
PLAZO: 53 DIAS.  
LUGAR: COSOLEACAQUE, VER.

SPZSE-085/86.

INSPECCION RADIOGRAFICA EN DUCTOS SOLDABLES DE DIFERENTES DIAMETROS EN CAMPOS DEL DTO.

EQUIPO UTILIZADO: RAYOS " X " Y RAYOS " GAMMA "  
DEPENDENCIA: PETROLEOS MEXICANOS.  
AÑO: 1986.  
PLAZO: 180 DIAS.  
LUGAR: VILLAHERMOSA, TAB.

SPCO-ZP-289/86.

INSPECCION RADIOGRAFICA DE LOS TRABAJOS  
RELACIONADOS CONSTRUCCION DEL POLIDUCTO DE 12" DE  
DIAMETRO POR 120 KM. DE LONGITUD,  
AGUASCALIENTES-ZACATECAS COMPRENDIDO DEL KM. 38+338  
A KM. 81+530.

EQUIPO UTILIZADO: RAYOS " GAMMA "  
DEPENDENCIA: PETROLEOS MEXICANOS.  
AÑO: 1986.  
PLAZO: 180 DIAS.  
LUGAR: AGUASCALIENTES.

SPZSE-343/86.

INSPECCION RADIOGRAFICA DE JUNTA DE TUBERIA SOLDADA  
EN LINEA DE DIFERENTES DIAMETROS.

EQUIPO UTILIZADO: RAYOS " X " Y RAYOS " GAMMA "  
DEPENDENCIA: PETROLEOS MEXICANOS.  
AÑO: 1986.  
PLAZO: 180 DIAS.  
LUGAR: NANCHITAL, VER.

SPZSE-129/87.

INSPECCION RADIOGRAFICA EN DUCTOS SOLDABLES DE  
DIFERENTES DIAMETROS EN CAMPOS DE OTO.

EQUIPO UTILIZADO: RAYOS " X " Y RAYOS " GAMMA "  
DEPENDENCIA: PETROLEOS MEXICANOS.  
AÑO: 1987.  
PLAZO: 132 DIAS.  
LUGAR: VILLAHERMOSA, TAB.

SPCO-ZS-727/87.

INSPECCION RADIOGRAFICA DE UNIONES SOLDADAS DURANTE  
LA CONSTRUCCION DEL OLEODUCTO DE 48" DE DIAMETRO POR  
265 KM. DE LONGITUD NUEVO TEAPA - SALINA CRUZ  
(TRAMO II) ( DEL KM. 65+000 AL KM. 115+000)  
ACAYUCAN, VER.

EQUIPO UTILIZADO: RAYOS " X " RADIAL Y RAYOS " GAMMA "  
DEPENDENCIA: PETROLEOS MEXICANOS.  
AÑO: 1987.  
PLAZO: 420 DIAS.  
LUGAR: ACAYUCAN, VER.

SPZSE-730/87.

INSPECCION RADIOGRAFICA EN DUCTOS SOLDABLES EN  
DIFERENTES DIAMETROS CAMPOS DEL DTO.

EQUIPO UTILIZADO: RAYOS " GAMMA. "  
DEPENDENCIA: PETROLEOS MEXICANOS.  
AÑO: 1987.  
PLAZO: 90 DIAS.  
LUGAR: VILAHERMOSA, TAB.

SPCO-ZP-567/88.

INSPECCION RADIOGRAFICA DE LOS TRABAJOS RELACIONADOS  
CON LA REHABILITACION Y CONVERSION DE GASODUCTO A  
POLIDUCTO DE 35.6 CM ( 14 " ) DE DIAMETRO, VENTA DE  
CARPIO - TULA - SALAMANCA - GUADALAJARA (TRAMO  
SALAMANCA, GUANAJUATO LA PUNTA JAL. DEL KILOMETRO  
275+409 AL KM. 491+471 )

EQUIPO UTILIZADO: RAYOS " GAMMA. "  
DEPENDENCIA: PETROLEOS MEXICANOS.  
AÑO: 1988.  
PLAZO: 112 DIAS.  
LUGAR: GUADALAJARA, JAL.

SPCO-ZC-069/88.

INSPECCION RADIOGRAFICA DE UNIONES SOLDADAS A LAS  
PLANTAS ENDULZADORAS DE GAS, RECUPERADORA DE AZUFRE Y  
SU INTEGRACION, EN LA AMPLIACION A LA U.P.Q.  
MATAPIONCHE, VER.

EQUIPO UTILIZADO: RAYOS " GAMMA. "  
DEPENDENCIA: PETROLEOS MEXICANOS.  
AÑO: 1988.  
PLAZO: 150 DIAS.  
LUGAR: MATAPIONCHE, VER.

SPZSE-099/88.

INSPECCION RADIOGRAFICA A JUNTAS DE CONSTRUCCION  
OLEOGASODUCTO 16" DE DIAM. PLANTA A JGO. DE  
VALVULAS RIO GONZALES KM. 0+000 AL 18+000.

EQUIPO UTILIZADO: RAYOS " GAMMA. "  
DEPENDENCIA: PETROLEOS MEXICANOS.  
AÑO: 1988.  
PLAZO: 305 DIAS.  
LUGAR: DTTO. COMALCALCO.

CONTRATO N.	NOMBRE DE LA EMPRESA	NOMBRE DE LA OBRA Y ESPECIALIDAD
S/C	P E M E X	Inspección Radiográfica del Gaseoducto de presión intermedia de 24" O y 11 Km. de longitud de Batería Cactus 3 al Complejo Cactus.
6 PC-117	P E M E X	Inspección Radiográfica de uniones soldadas en la modificación de la planta estabilizadora de hidrocarburos condensadas, para su endulzamiento en Cd. Frontera, Tab.
S/C	P E M E X	La construcción del cruzamiento del Río Mezcalapa en Cactus Cardenas, Chis.
S/C	P E M E X	La construcción de un tramo de 116 Km. del Folinoducto Topolobampo-Los Mochis, Cullacán de 10" de diámetro y 231 Km. de longitud (tramo 1 m. 0 000).
S/C	P E M E X	La construcción del Oleoducto de 36" de diámetro y 70 Km. de longitud Cardenas Dos Bocas.
181/80 GAP. DI	P E M E X	Inspección Radiográfica para los tanques de 500 MRLS. Zoomby tubería de diferentes diámetros de la terminal marítima Dos Bocas, Tab.

442/80	P E M E X	Inspección Radiográfica de uniones soldadas en el Oleoducto de 24" 0 por 34 Km., de longitud Gralacactus.
451/80	P E M E X	Inspección Radiográfica de uniones soldadas en las Baterías Mundo Nuevo, Juspi y Arrollo Zanapa y de los Oleogaseoductos de 16" 0 Río Nuevo-Sitio Grande (5 Km.), Camoapa, Mundo Nuevo (5.5) y Arrollo Zanapa Cactus (5 Km.)
658/77	P E M E X	Inspección Radiográfica de uniones soldadas en la construcción de Oleogaseoductos de 8" 0 y 10" 0 por 30 Km., de longitud cada uno entre Matapioche y Miralejos y en Distrito Cuenca del Papaloapan.
52/81	P E M E X	Inspección Radiográfica de los trabajos de soldadura para la construcción del Gaseoducto de 36" 0 por 207 Km., Salamanca-Guadalajara. Tramo del Km. 102+000 al km 137+000.
267/81	P E M E X	Inspección Radiográfica de los trabajos de soldadura para la construcción de un tramo de 16 Km. del Gaseoducto de 36" 0 por 223 Km. Salamanca-Guadalajara. (del Km. 217+000 al Km 223+000).

SPCO-2S-94/86 P E M E X

Inspección Radiográfica de líneas de diferentes diámetros en el derreador ED-303 en el interior de la Refinería General "Lázaro Cárdenas del Río" en Minatitlán, Ver.

SPCO-2C-669/85 P E M E X

Inspección Radiográfica de uniones soldadas en la construcción de un tanque vertical TV-139 de 19 MBLS. para tetrámetro y tubería de integración en la Refinería "18 de Marzo" Azcapotzalco, D.F.

SPCO-2P-179/84 P E M E X

Inspección Radiográfica de uniones soldadas en la construcción e integración de plantas primaria N. 2 y alto vacío N. 2, ampliación patio de tanques y calderas CB-3, CB-4, conversión planta de amoniaco a propano tubería de 30" Ø de lastre en Boya tres líneas de 20" Ø para nova, extra y diesel, tubería de 30" Ø de planta primaria y Hospital Auxiliar en Salina Cruz, Oax.

SPCO-2B-471/85 P E M E X

Inspección Radiográfica del cabezal y Ramales de Gas alta presión (especificaciones 12A y 11A), C.P.G., Cosoleacaque, Ver.

SPCO-2E-118/85 P E M E X

Inspección Radiográfica de uniones soldadas de un tanque de 500 MBLS. (TV-5011), incluye integración de cuatro tanques de 80 MBLS. (TV-801, TV-802; TV-803, TV-804), incluye integración de la terminal marítima Dos Bocas, Tab.

SPCO-ZN-115/85	P E M E X	Inspección Radiográfica y Ultrasonica de uniones soldadas en la construcción de las plataformas ZAAP-1 y EK-A (EXBALAM-1) en Arbol Grande, Tamps.
SPCO-SE-240/86	P E M E X	Inspección Radiográfica de soldaduras por rayos "X" y/o "GAMMA" en las instalaciones de productos aéreos del Distrito.
SPCO-ZE-010/86	P E M E X	Inspección Radiográfica de uniones soldadas en la construcción de líneas paralelas de 24" Ø x 12 Km., de longitud de los gasoductos N. 1 y 105+000 a 110+000.
SPCO-ZE-203/86	P E M E X	Inspección Radiográfica para terminar el control de calidad en la sección de tratamiento con DEA y Compresor de Etano para la Fraccionadora N. 2 en el Complejo Petroquímico Cactus, Chis., y para la integración de Compresores de Etano.
SG-76/86	P E M E X	Inspección Radiográfica de diámetros 1" a 4" y 6", en la terminal de ventas de Cactus, Chis., según su presupuesto.
SPCO-ZE-282/86	P E M E X	Inspección Radiográfica de uniones soldadas en la construcción del Gasoducto de alta presión N.2 de 36" Ø por 0.812" de espesor (15.6 Km.) de Batería Jujo a Batería Parodón, Tab.

SPCO-ZP-444/85	P E M E X	Inspección Radiográfica de uniones soldadas en la construcción e integración de plantas primarias N.2 y alto vacío N. 2, ampliación al Patio de tanques, servicios auxiliares y tanques de 500 MBLs. Conversión planta de amoníaco a propano; tubería de 36.2 cms. de diámetro de terminal crudo a planta primaria N. 1, 45.7 y 50.8 cms. diámetro de Refinería a Muelle, líneas para muelle del aeropuerto, Salina Cruz, Oax.
SPCO-ZE-670/85	P E M E X	Inspección Radiográfica en la construcción de la línea paralela de 24" O por 13.5 Km. de longitud de los Gasoductos 1 y 2 de Cd. Pemex a Nuevo Teapa, del Km. 49+500 al 63+000.
SPCO-ZE-540/86	P E M E X	Inspección Radiográfica en Corredor de tubería Cangrejera Pajaritos en el C.P.O. La Cangrejera, Ver.
SPCO-ZN-722/86	P E M E X	Inspección Radiográfica de juntas soldadas en la reposición del Oleoducto de 24" O Cd. Madero-Cadereyta en los tramos 68+500 al 86+500, 105+500 al 132+500, 138+500 140+500.
SPCO-ZC-470/86	P E M E X	Inspección Radiográfica de uniones soldadas en la construcción de un tanque vertical TV-115, de 200 MBLs. de cúpula flotante para gasolina en la Refinería "18 de Marzo" Azcapotzalco, D.F.

ZPCO-ZN-847/85	P E M E X	Inspección Radiográfica y Ultrasonica de uniones soldadas en la construcción de Plataformas Marinas EK-A ABKATUN-D y ABKATUN-P, en Arbol Grande, Tamps.
SPCO-ZN-833/85	P E M E X	Inspección Radiográfica de sustitución de 4 tramos de tubería (36.5 cms). del oleoducto de 24" O Cd. Madro-Cadereyta, (primera etapa entre los Km. 0+000 al 8+500 28+500 al 48+500, 158+500 al 161+500 y del 173+500 al 178+500).
SPCO-ZP-110/87	P E M E X	Inspección Radiográfica de uniones soldadas en la construcción e integración de plantas primarias y vacío No. 2 Patio de tanques; servicios auxiliares; torres despuntadoras, fraccionadora de propano-propileno, conversión de amoniaco a propano, tuberías y reacondicionamiento de terminal marítima y muelles en Salina Cruz, Oax.
SPCO-730/89	P E M E X	Inspección Radiográfica de uniones soldadas durante la construcción del oleoducto de 48" O tramo V de 50 Km., de longitud de Nuevo-Teapa a Salina Cruz, Oax.
SPCO-ZN-37/88	P E M E X	Inspección Radiográfica y ultrasonica para la subestructura de la plataforma Kokay-A y los pilotes de la plataforma UECH-B en Arbol Grande, Tamps.

SFCO-ZN-44/88	P E M E X	Inspección Radiográfica de uniones soldadas de diversas obras de la Refinería de Salina Cruz, Oax., planta primaria N. 2 de 150,000 bls/día, planta de alto vacío N.2 de 80,000 bls/día; integración de las plantas primaria N.2 y alto vacío N. 2 y ampliación de servicios auxiliares.
003/85 VIAS FERREAS	INTERVIAL	Inspección Radiográfica en uniones soldadas Patio de - Estación, Lázaro Cárdenas Km 182..
004/85. VIAS FERREAS	INTERVIAL	Inspección Radiográfica en Vías Férreas para S.C.T. en Salinas-La구나 Seca, San - Luis Potosí.
722/85	S.C.T.	Inspección Radiográfica en Vías Férreas Paso del Macho - Cd. Mendoza, Ver.
5/C/	ACERLAN	Inspección Radiográfica en cuerpos de válvulas de fierro colado.
15/85	PETROQUIMICA DE MEXICO	Medición de espesores a tanques y naves nodrizas en el interior de la República Mexicana.
043/86	INGENIEROS Y URBANISTAS	Inspección Radiográfica a uniones soldadas en la construcción del proyecto Cutzamala Línea de 48" O.
411/85	CONSTRUCTORA WONGPEC	Inspección Radiográfica a uniones soldadas en la construcción del proyecto Cutzamala Línea de 48" O.

S/C	P.I.M.S.A.	Inspección Radiográfica a uniones soldadas en la construcción del proyecto Cutzamala línea de 20" a 30" O.
014/85	METALURGICA ALMENA	Inspección Ultrasonica y Radiográfica a válvulas, lengüas toberas de cobre para - A.H.M.S.A.
S/C	S.E.D.U.E	Inspección Radiográfica a columnas de concreto de 30 X 30 cms. en la Unidad Habitacional Nonoalco Tlatelolco, en México, D.F.
S/C/	S.E.D.U.E.	Inspección Ultrasonica a columnas y traveses de concreto para medición de profundidad de grietas en concreto en la Unidad Habitacional Nonoalco Tlatelolco, en México, D.F.
S/C/	AXIS INDUSTRIAL, S.A.	Inspección Radiográfica a tubería y recipientes de diferentes diámetros, inspección ultrasonica para detección de laminaciones y medición de espesores para - area petroquímica.
S/C/	COMERCIAL TOSA	Inspección Radiográfica a válvulas de 1", 1.1/2", 2" y 4" O; para Du-Pont.
MCC-DT-CIT-006/90	MEXICO CIA. CONSTRUCTORA	Inspección Radiográfica en uniones soldadas de tubería de 2" a 36" O, obra en Central termoelectrica de Tuxpan, Ver.
S/C/	SVIKOPO MEXICANA	Inspección Radiográfica a recipientes de acero al carbono y acero inoxidable para el Area petroquímica.

S/C	INDUSTRIAS C Y G	Inspección Radiográfica y - Ultrasónica en tubería de - diferentes diámetros para - el proyecto Cutzamala y el proyecto Chapala, Jal.
PRLR-76246	DU-PONT, S.A. C.V.	Inspección Radiográfica y ultrasónica a recipientes y tubería de diferentes diáme- tros, en la Planta de la Laguna de (Altamira, Tamps.) la puerta.
FOLR-67780	DU-PONT, S.A. C.V.	Inspección Radiográfica y Ultrasónica a recipientes y tubería de diferentes diáme- tros en la Planta de pintu- ras, Barrientos - Tlalnep.
CORL-66238	DU-PONT S.A. C.V.	Inspección Radiográfica y Ultrasónica a recipientes y tubería de diferentes diáme- tros en la Planta de explo- sivos en Gómez Palacio, Dgo.
HOLR-66719	DU-PONT S.A. C.V.	Inspección Radiográfica y Ultrasónica a recipientes y tubería de diferentes diáme- tros en la Planta de Halo- carburos, Tlaxpetlac, Edo.de México.
ORLR-66358	QUIMICA FLUOR	Inspección Radiográfica y Ultrasónica a recipientes y tubería de diferentes diáme- tros en la Planta de Mata- moros, Reynosa.
S/C/	CONJUNTO MANUFACTURERO	Inspección Radiográfica a recipientes para alta pre- sión y piezas de fundición para AHMSA.

5550/AM2	CONSORCIO INDUSTRIAL	Inspección Radiográfica a recipientes y en tubería de diferentes diámetros y espesores.
S/C	FUNDICIONES DE HIERRO Y ACERO	Inspección Radiográfica a piezas de fundición de diferentes medidas y espesores para AHMSA.
S/C	CONSTRUCCIONES E INSTALACIONES BABCOCK AND WILCOX	Inspección Radiográfica a tubería de calderas de alta presión en las Plantas de FERTIMEX y AHMSA ubicadas en Monclova, Coah., inspección de tubería a calderas de Buques-Tanque en Salina Cruz, Oax.
GC-STUCK-86/293	CONSTRUCTORA NACIONAL DE CARROS DE FERROLARRIL	Inspección Radiográfica a cajas de enganche y sistemas de frenos de carros de metro en Ciudad Sahagún, Hgo.
S/C	HULES MEXICANOS, S.A.	Inspección Radiográfica para proyectos de especialidades CARRIER y otros en tubería de diferentes diámetros en la Planta de Altamira, Tamps.
906/87	COMISION MEXICO AMERICANA PARA LA ERRADICACION DEL GUSANO BARRENADOR	Inspección Radiográfica en tubería de vapor y retorno de condensado de 6" y 4" en su planta de producción en Chiapa de Corzo Chiapas.
S/C	PETROCEL, S.A.	Inspección Radiográfica en oxidador 01-C06 y 01-C07, C-6110 torre 408-C, tanque de vapor T-08 T-09 e inspección radiográfica a cabezal de cemento área esterificación de 20"0 en su planta de Altamira, Tamaulipas.



CASETA DE SOLDADURA



CASETA MOVIL DE SOLDADURA



CASETA MOVIL DE SOLDADURA



APLICACION DE SOLDADURA



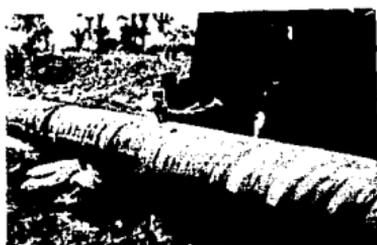
APLICACION DE SOLDADURA



COLOCACION DE PELICULA  
RADIOGRAFICA



CENTRADO DE EQUIPO DE RX  
DENTRO DE TUBERIA



SEÑAL DE INICIO PARA  
EQUIPO DE RX



DERECHO DE VIA



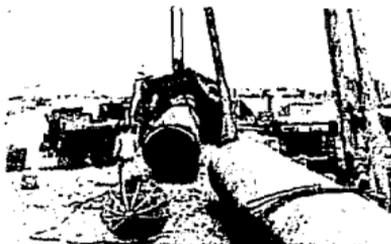
ZANJA Y DERECHO DE VIA



LÍNEA A TRAVÉS DE ZANJA  
CON AGUA



ALINEACION DE TUBERIA



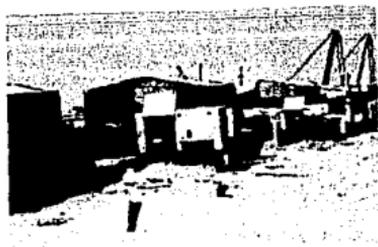
ALINEADOR DE TUBERIA



PREPARACION DE BICELES



TUBERIA PARA CONSTRUCCION



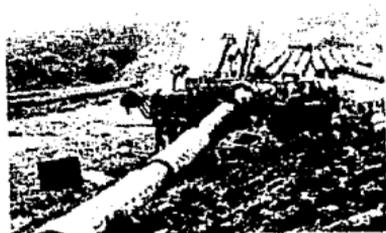
CASSETAS FIJAS DE SOLDADURA



DIABLO DAÑADO



REHABILITACION DE LINEA



TENDIDO DE TUBERIA



TENDIDO DE TUBERIA



PENDIENTES EN TERRENO



LIMPIEZA DE TERRENO



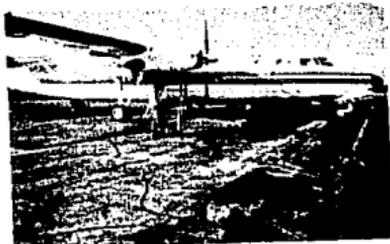
DERECHO DE VIA



DERECHO DE VIA



TRIPODES PARA PLATAFORMAS  
MARINAS



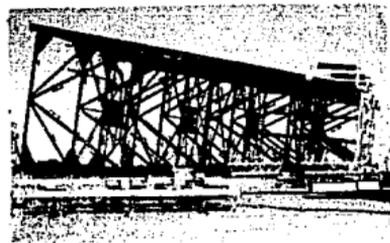
INSPECCION DE AVIONES



TUBERIAS ESPECIALES



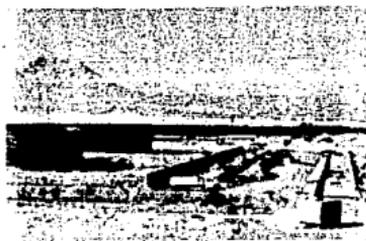
PLATAFORMAS MARINAS



PLATAFORMAS MARINAS



TERMINALES MARITIMAS



INICIOS EN REFINERIA



INSTALACIONES GEOTERMICAS