



Introducción a la Radiografía Industrial



Dictado por: Ramón Rivero
Realizado por: Michelin Tavera

Contenido

Capítulo I Introducción

- Breve historia de la Inspección Radiográfica
- Definición y Propósito de la Inspección Radiográfica
- Principio de la Inspección Radiográfica
- Procedimiento para Obtener de una Radiografía
- Ventajas y Limitaciones de la Inspección Radiográfica

Capítulo II Principios de Inspección Radiográfica

- Tipos de Radiación
- Principales Fuentes de Radiación
- Vida Media de los Radioisótopos
- Unidad de Medición
- Capa hemireductora y decireductora

Capítulo III Principios de Seguridad Radiológica

- Conceptos de Seguridad Radiológica
- Equipos Utilizados en la detección de radiación
- Técnica de Protección contra la radiación externa
- Emergencia Radiológica
- Mantenimiento de Equipos
- Procedimiento de Trabajo en Radiografía Industrial

Contenido

Capítulo IV Fuentes de Radiación

- Tubo de Rayos X
- Equipos de Rayos Gamma
- Vida Media de Radioisótopos
- Actividad
- Unidades de Medición
- Actividad Específica
- Ventajas y Desventajas de los Rayos X y Rayos Gamma

Capítulo V Películas Radiográficas

- Características de la Imagen y las películas radiográficas
- Estructura de la Película
- Curva Característica
- Densidad de las Radiografías
- Ley de Reciprocidad
- Pantallas Intensificadoras
- Colimadores

Capítulo VI Proceso Radiográfico

- Distorsión
- Técnicas Radiográficas
- Ley Inverso Cuadrado
- Regla de Calculo
- Indicadores de Calidad de Imagen

Contenido

Capítulo VII Proceso de Revelado

- Cuarto Oscuro
- Procesado Manual de la Película Radiográfica
- Procesado Automático de la Película Radiográfica

Capítulo VIII Interpretación y Evaluación Radiográfica

- Interpretación
- Evaluación
- Sensibilidad
- Equipos de Interpretación Radiográfica
- Defecto
- Indicaciones y Tipos
- Discontinuidades y Tipos
- Terminología de la Soldadura
- Defectos de Manipulación y Proceso
- Normas y Códigos



Introducción a la Radiografía Industrial Capitulo I



Dictado por: Ramón Rivero
Realizado por: Michelin Tavera

Breve Historia de la Inspección Radiográfica

Los rayos X fueron descubiertos en 1895 por el físico alemán Roentgen, quien les dio este nombre debido a que en ese entonces se ignoraba todo sobre su naturaleza y se puede afirmar que él fue el primer radiólogo industrial, puesto que realizó investigaciones sobre el comportamiento de ciertos materiales y de armamentos de reciente creación.

Durante ese mismo año el físico francés Henry Becquerel estudiaba la fluorescencia de los compuestos de Uranio; y al realizar varios experimentos colocando cristales de Sulfato de Potasio y Uranio sobre una placa fotográfica envuelta con papel negro, observó que al exponerlos a la luz solar, la parte de la placa que se encontraba en contacto con los cristales se oscurecía.

Sin embargo, una casualidad lo llevó a la conclusión de que el Uranio emitía rayos en forma espontánea, sin necesidad del estímulo de la luz exterior. A este fenómeno de emisión espontánea de radiación le dio el nombre de radioactividad.

Breve Historia de la Inspección Radiográfica

Ante estos hechos, Bequerel llegó a otra hipótesis para establecer que la presencia de radioactividad en algunos minerales de Uranio indicaba la existencia de una sustancia aún más radioactiva que éste; por lo que encargó a Piere y Marie Curie la identificación y separación de dicha sustancia.

Los esposos Curie efectuaron la separación química y el análisis de minerales de Uranio, logrando aislar en 1898 un nuevo elemento radioactivo: el Polonio, nombre dado en honor al país natal de Marie.

En 1902, los esposos Curie lograron aislar el mineral Plechblenda (de Uranio), una pequeña cantidad de otro elemento nuevo, el cual era 300,000 veces más radioactivo que el Uranio y al que llamaron Radio.

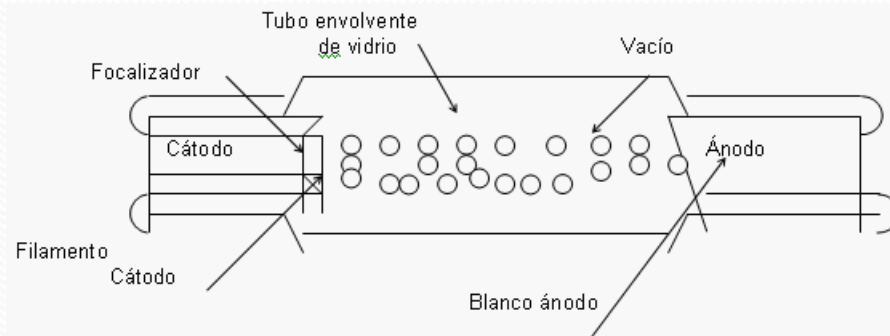
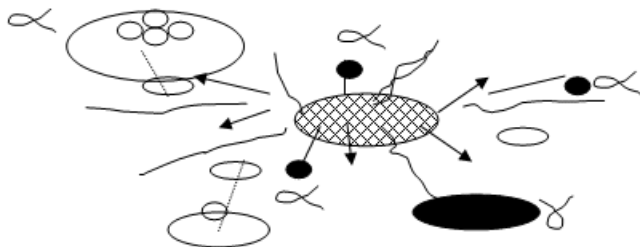
Marie Curie fue la primera radióloga que empleó radioisótopos para tomar una radiografía médica. Esto lo realizó durante la Primera Guerra Mundial, en el frente de Verdum, demostrando adicionalmente la ventaja de que este tipo de radiografía no requería de energía eléctrica para su realización.

Breve Historia de la Inspección Radiográfica

En la actualidad, dentro del campo de la industria existen dos técnicas comúnmente empleadas para la inspección radiográfica:

1. Radiografía con rayos X
2. Radiografía con rayos Gamma.

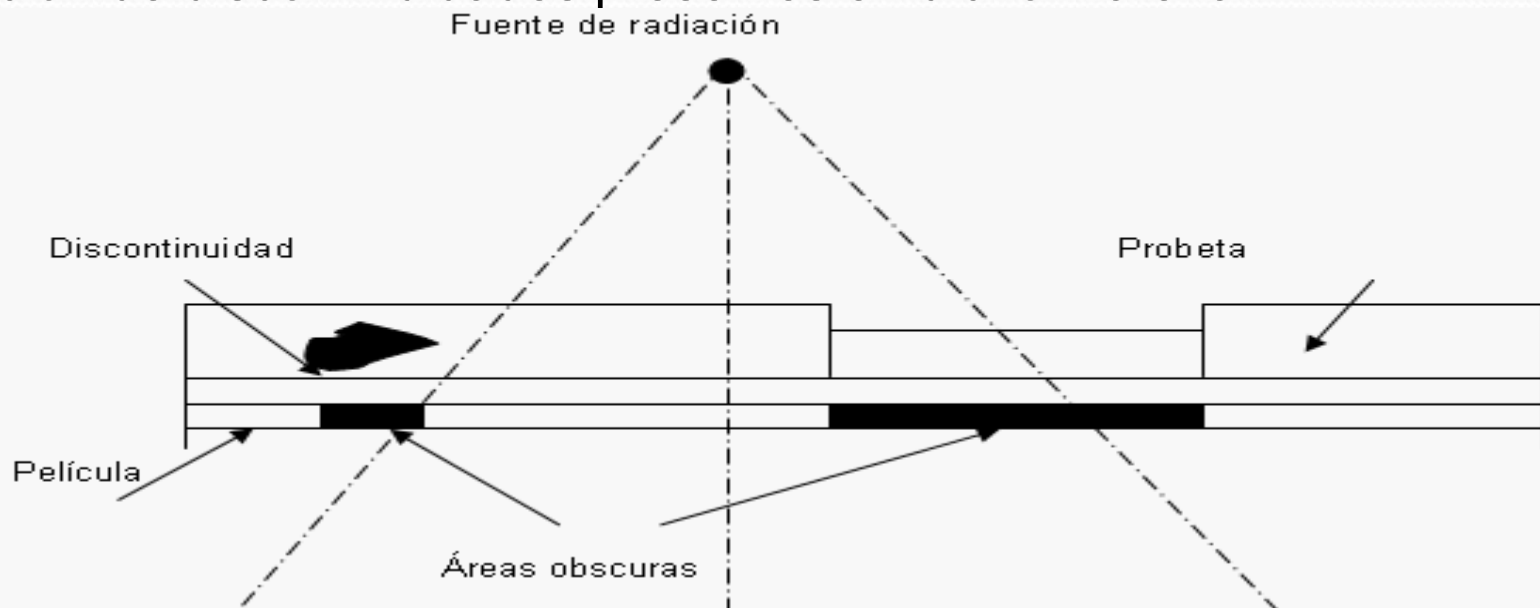
La principal diferencia entre estas dos técnicas es el origen de la radiación electromagnética; ya que, mientras los rayos X son generados por un alto potencial eléctrico, los rayos gamma se producen por la desintegración atómica espontánea de un radioisótopo.



Definición y Propósito de la Inspección Radiográfica

La inspección por radiografía industrial se define como un procedimiento de inspección no destructivo de tipo físico, diseñado para detectar discontinuidades macroscópicas y variaciones en la estructura interna o configuración física de un material.

Al aplicar la radiografía industrial, normalmente se obtiene una imagen visible del material, por lo que el propósito principal de este tipo de inspección es la obtención de registros permanentes para el estudio y evaluación de discontinuidades presentes en dicho material.



Principio del Método de Inspección Radiográfica

El principio físico es la interacción entre la materia y la radiación electromagnética, siendo ésta última de longitud de onda muy corta y de alta energía. Durante la exposición radiográfica, la energía de los rayos X o gamma es absorbida o atenuada al atravesar un material. Esta atenuación es proporcional a la densidad, espesor y configuración del material inspeccionado.

La radiación ionizante que logra traspasar el objeto puede ser registrada por medio de la impresión en una placa o papel fotosensible, que posteriormente se somete a un proceso de revelado para obtener la imagen del área inspeccionada; o bien, por medio de una pantalla fluorescente o un tubo de video, para después analizar su imagen en una pantalla de televisión o grabarla en una cinta de video.

Equipo para la Inspección Radiográfica

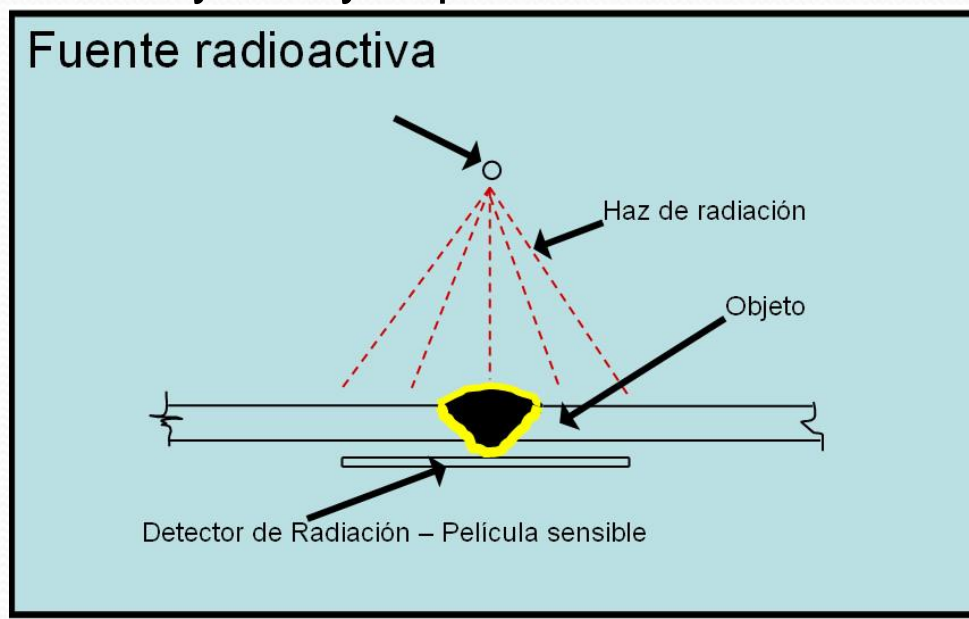
- Fuente de radiación (rayos X o rayos gamma)
- Controles de la fuente.
- Película radiográfica.
- Pantallas intensificadoras
- Indicadores de calidad de la imagen.
- Accesorios.

Procedimiento para Obtener una Radiografía

- Inicialmente, deben conocerse algunas características del material que se va a examinar, como son: tipo de metal, su configuración, el espesor de la pared a ser radiografiado, etc. Todo ello con el fin de seleccionar el radioisótopo o el kilovoltaje más adecuado.
- Una vez establecida la fuente de radiación, se deben calcular las distancias entre ésta, el objeto y la película, para así poder obtener la nitidez deseada.
- Se selecciona la película con ciertas características que permitan una exposición en un tiempo razonable y una calidad de imagen óptima. Esta se coloca dentro de un portapelícula que sirve como protección para evitar que la luz dañe la emulsión fotográfica, y que además contiene las pantallas intensificadoras que sirven para reducir el tiempo de exposición, mejorando con esto la calidad de la imagen. Este proceso se efectúa en el laboratorio.
- Una vez realizado lo anterior, se procede a poner en práctica las medidas de seguridad radiológica en la zona en el que se va a efectuar la radiografía, con el fin de evitar una sobredosis al personal que pueda estar laborando cerca de la zona de inspección.

Procedimiento para Obtener una Radiografía

- A continuación se hace un arreglo para colocar la fuente a la distancia calculada con respecto al objeto y se coloca la película radiográfica del otro lado de este para registrar la radiación que logre atravesar al material sujeto a inspección. Se realiza la exposición, bien sea sacando la cápsula que contiene al radioisótopo o encendiendo al aparato de rayos X; esto se lleva cabo durante el tiempo previamente calculado para realizar la exposición. Una vez terminada la exposición, se recupera la cápsula o se apaga el instrumento de rayos X y la película se lleva a revelar.



Procedimiento para Obtener una Radiografía

- Como ya se mencionó, el proceso de revelado se verifica en el laboratorio de revelado, también conocido como cuarto oscuro. El revelado es una de las partes más críticas de la radiografía industrial y consiste en convertir la imagen virtual producida por el paso de la radiación a través de la película, en una imagen real por medio de una serie de reacciones químicas. El revelado se efectúa en varios pasos: **Revelado, baño ácido o de parada, baño de fijado y lavado final**. Al terminar el revelado se seca la película y se procede a la interpretación de la imagen obtenida; siendo primero evaluada para comprobar si reúne los requisitos de calidad indicados por el procedimiento de inspección. Si se comprueba que la imagen es satisfactoria, entonces se interpreta para conocer qué tipo de indicaciones están presentes, las cuales son posteriormente evaluadas para conocer su nivel de severidad y su posible efecto en el material que se inspecciona

Ventajas de la Inspección Radiográfica

- Su uso se extiende a diversos materiales.
- Se obtiene una imagen visual del interior del material.
- Se obtiene un registro permanente de la inspección.
- Descubre los errores de fabricación y ayuda a establecer las acciones correctivas.

Límites de la Inspección Radiográfica

- No es recomendable utilizarla en piezas de geometría complicada.
- No debe emplearse cuando la orientación de la radiación sobre el objeto sea inoperante, ya que no es posible obtener una definición correcta.
- La pieza de inspección debe tener acceso al menos por dos lados
- Su empleo requiere el cumplimiento de estrictas medidas de seguridad.
- Requiere personal altamente capacitado, calificado y con experiencia.
- Requiere de instalaciones especiales como son: el área de exposición, equipo de seguridad y un cuarto oscuro para el proceso de revelado.
- Las discontinuidades de tipo laminar no pueden ser detectadas por este método.

Cuestionario RT Primera Lección

1. ¿Quién descubrió los RX?
2. ¿Quién fue el primer radiólogo industrial?
3. ¿Quién fue Henri Becquerel?
4. ¿Quiénes fueron los esposos Curie?
5. ¿Cómo se forman los RX?
6. ¿Cómo se forman los Rayos Gamma?
7. ¿Qué se necesita para realizar una radiografía (los 3 elementos principales)?
8. ¿Cómo se calcula un tiempo de exposición para hacer una radiografía?
9. Ventajas de la inspección radiográfica
10. Limitaciones de la inspección radiográfica



Principios Básicos de la Inspección Radiográfica

Capitulo II



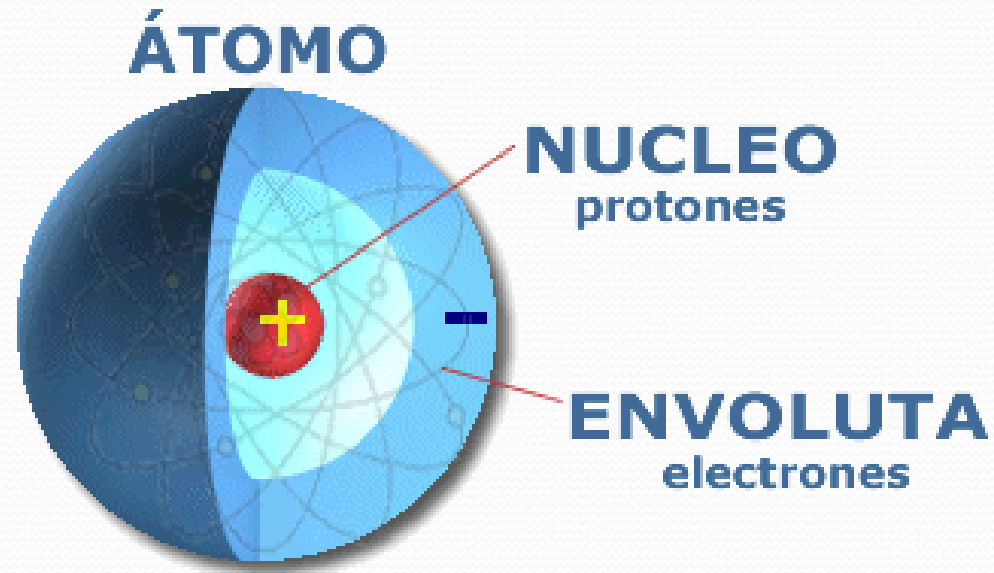
Dictado por: Ramón Rivero
Realizado por: Michelin Tavera

Principios Físicos de las Radiaciones

- **Elemento:** Puede definirse como la sustancia que no puede ser susceptible de división por los métodos químicos ordinarios.
- **Átomo:** es la unidad, más simple en la que se puede dividir un elemento, conservando todas las características y propiedades del mismo. Cada átomo está constituido a su vez, de las siguientes partículas conocidas también como partículas sub-atómicas.
- **Protón:** Partícula con carga positiva que se encuentra en el núcleo del átomo. Es además, la partícula más pesada dentro del átomo.
- **Neutrón:** Partícula aproximadamente del mismo tamaño y masa que el protón, pero que no tiene carga eléctrica. Al igual que el protón, el neutrón se localiza en el núcleo del átomo. Se considera que está formado por un protón y un electrón.
- **Electrón:** Partícula con carga negativa que se encuentra girando alrededor del núcleo. Es muy ligero, siendo aproximadamente $1/1840$ veces menos pesado que la masa de un protón.

Principios Físicos de las Radiaciones

- Estructura del átomo



Principios Físicos de las Radiaciones

- **Número Atómico (Z):** Representa el número de protones del núcleo y se designa con la letra Z, determinando así el tipo de elemento.
- **Peso Atómico:** Es el peso de uno de los átomos del elemento en relación con el peso de un átomo de carbono 12, que es 12.000 unidades de masa atómica unificada.
- **Número Másico (A):** Es la suma de protones y neutrones en el núcleo de un átomo. Este número determina los diferentes isótopos del mismo elemento y se designa con la letra A.

Nomenclatura

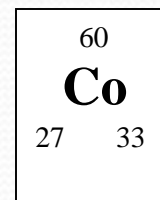
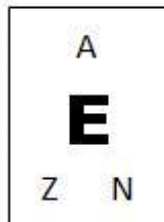
Donde:

E: Elemento

Z: Número Atómico

A: Número Másico

N: Número de Neutrones



Co: Cobalto

Z: 27

A: 60

N: 33

Principios Físicos de las Radiaciones

- **Compuesto:** Es una sustancia formada por dos o más elementos de tal forma que:
 - Sólo la acción química los puede separar
 - Los elementos que forman cada sustancia no pueden ser ya identificados por sus propiedades individuales originales.
 - Los átomos que forman un compuesto se combinan siempre con la misma relación en peso.
- **Molécula:** Es la partícula más pequeña que puede existir como sustancia compuesta y que conserva sus propiedades.
- **Isótopos:** Son átomos de un elemento que tienen el mismo número de protones en el núcleo (número atómico Z), pero diferente peso atómico. Puesto que el número de electrones es igual para los diferentes isótopos de un mismo elemento, sus propiedades químicas son las mismas.
 - (Hidrógeno o hidrógeno -1)
 - (Deuterio o hidrógeno -2)
 - (Tritio o hidrógeno -3)

El hidrógeno tiene un número atómico $Z=1$ y un número másico $A=1$. Al sumarle un neutrón, da un número másico $A=2$

Principios Físicos de las Radiaciones

- **Radioisótopos:** Existen alrededor de 100 elementos diferentes con aproximadamente 300 isótopos estables y más de 500 que son inestables. La inestabilidad surge porque algunos isótopos tienen un desequilibrio de neutrones; por lo que intentan alcanzar una relación más estable entre éstos y los protones, por medio de la emisión de radiaciones **alfa, beta o gamma**. Es por ello que a los isótopos inestables se les conoce como isótopos radioactivos o radioisótopos. Existen radioisótopos naturales como el Radio-226 y el Polonio-216; o bien, como subproductos de las reacciones de fisión nuclear como es el caso del Cesio-137 o el Plutonio-239.

Pero la mayoría de los isótopos radioactivos conocidos actualmente son producidos artificialmente a partir de átomos estables que son transformados, al bombardear durante cierto tiempo con neutrones en un reactor nuclear, donde el proceso de fisión produce una gran cantidad de neutrones libres. A este proceso de transformación de un elemento estable en radioactivo, se le conoce como **activación**.

Principios Físicos de las Radiaciones

TIPOS DE RADIACION

Los isótopos radioactivos, se desintegran emitiendo espontáneamente radiación y partículas subatómicas que se conocen como:

1. Partículas Alfa
2. Partículas Beta
3. Radiación Gamma

Las partículas alfa y beta, son emitidas desde el núcleo del radioisótopo. Estos 2 tipos de partículas no son emitidos simultáneamente por todos los radioisótopos, ya que algunos emiten sólo partículas alfa y otros emiten partículas beta; en tanto que los rayos gamma acompañan unas veces a la emisión de partículas alfa y otras veces a la emisión de partículas beta. Sin embargo, cada sustancia radioactiva emitirá siempre el mismo tipo de radiación y de partículas, con lo que formará un espectro característico.

Partículas Alfa α : Las partículas alfa son núcleos de Helio.

- a. Son Partículas con masa ($6.62 \times 10^{-24} g$)
- b. Son altamente ionizantes (10 veces más que los rayos gamma)
- c. Son desviadas en un campo magnético hacia el polo negativo.
- d. Tienen bajo poder de penetración.
- e. Su velocidad es aproximadamente 1/10 veces la velocidad de la luz.
- f. Pueden ser detenidas fácil y efectivamente por material sólido como las hojas de papel.

Partículas Beta β : Las partículas beta se deben a la emisión de un electrón desde el núcleo. Pueden ser consideradas como el producto de la desintegración de un neutrón para formar un protón y un electrón.

- a. Son partículas con carga negativa.
- b. Tienen la misma masa que los electrones.
- c. Son emitidas desde el núcleo.
- d. Su velocidad es de 9/10 la velocidad de la luz.
- e. Son desviadas por un campo magnético hacia el polo positivo.
- f. Tienen bajo poder ionizante.
- g. Tienen poder de penetración (no muy alto)
- h. Pueden ser absorbidas totalmente por alguno materiales plásticos con un espesor de 6.2 mm (1/4")

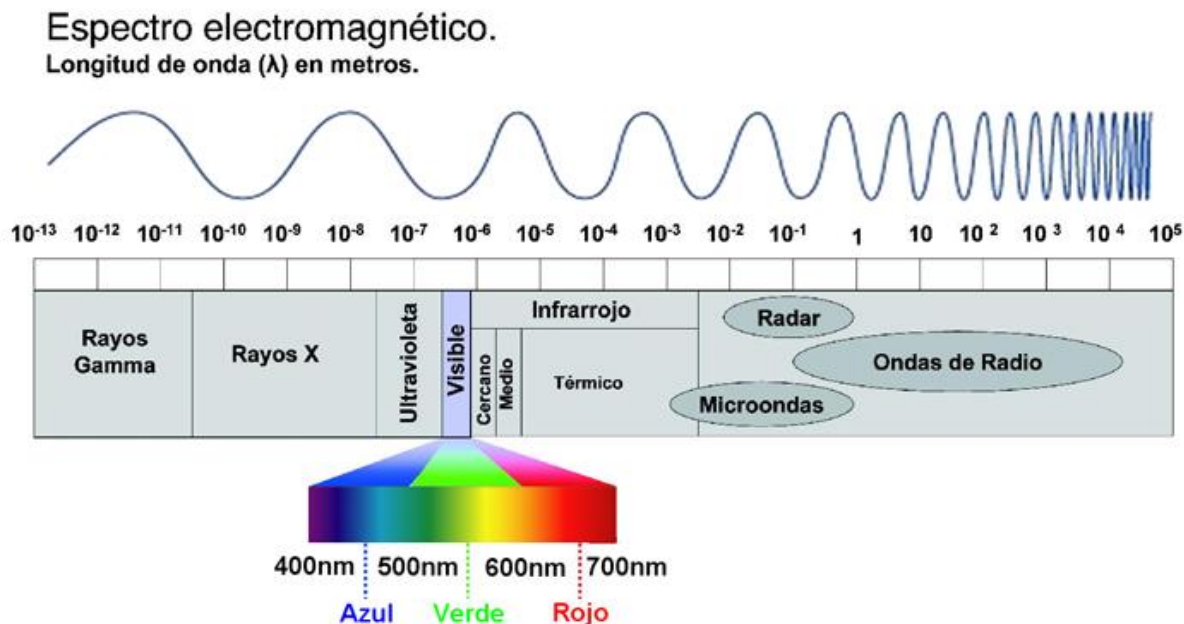
Principios Físicos de las Radiaciones

- **Radiación Gamma γ :** La radiación gamma es la de mayor poder de penetración, por lo que es la más útil en la inspección radiográfica. A diferencia de las partículas alfa y beta, la radiación gamma no es corpuscular y tiene las siguientes características:
 - Se comporta como una onda electromagnética y como fotón.
 - Es emitida por el núcleo.
 - No posee masa ni carga eléctrica.
 - No es desviada por un campo magnético.
 - Tiene relativamente bajo poder ionizante.
 - Presenta un alto poder de penetración en materiales sólidos.
 - Viaja en línea recta a la velocidad de la luz.
 - Presenta una corta longitud de onda.

Principios Físicos de las Radiaciones

ONDA ELECTROMAGNETICA, RAYOS X y RAYOS GAMMA:

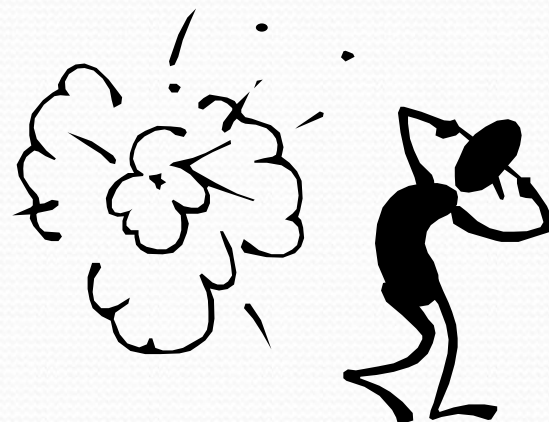
Los rayos X son una forma de radiación electromagnética con una longitud de onda en el ámbito de 250 Angstroms y menores. Estos se producen al chocar un haz de electrones de alta energía con un blanco metálico, tras lo que se producen fotones por la desaceleración brusca de los electrones. Los rayos gamma son emitidos por la desintegración del núcleo atómico de un radioisótopo. La emisión de los rayos gamma generalmente está asociada con la emisión de partículas alfa y beta.



Principios Físicos de las Radiaciones

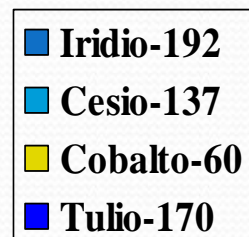
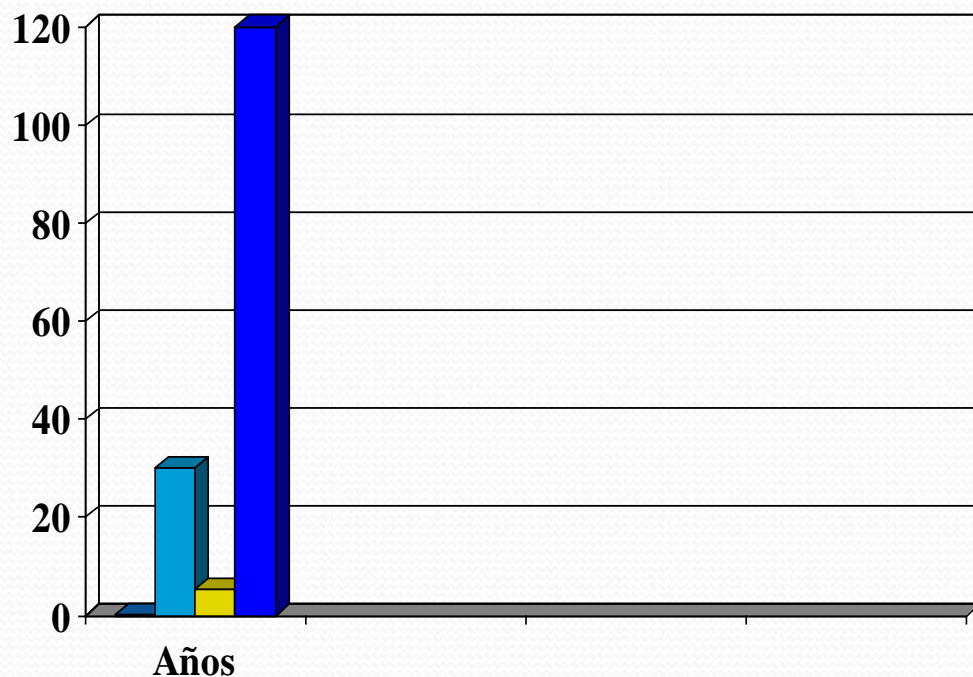
Principales Fuentes Radiactivas

- Iridio 192: Ir - 192
- Cobalto 60: Co - 60
- Cesio 137: Ce - 137
- Tulio 170: Tu - 170



Período o Vida Media de un elemento Radiactivo

Tiempo transcurrido para que la actividad del radioisótopo disminuya en un 50%



- Iridio-192: 75 días
- Cesio-137: 30 años
- Cobalto-60: 5.3 años
- Tulio-170: 120 años

Principios Físicos de las Radiaciones

Roentgen (R): Es la primera unidad empleada para la medición de la ionización en el aire, debido al paso de la radiación X o gamma y tiene varias definiciones:

- Un Roentgen es aquella cantidad de radiación X o gamma que producirá 2.083×10^9 pares de iones por centímetro cúbico de aire a una presión de 760 mmHg y a una temperatura de 0 grados C (273 Kelvin)
- Un Roentgen equivale a 1.61×10^{12} pares de iones por gramos de aire.
- Un Roentgen es equivalente a una unidad electrostática de carga.
- En unidades de energía, un Roentgen es igual a 83 Ergs

Capa Hemirreductora

Es aquel espesor de un material dado que es capaz de reducir a la mitad la intensidad de la radiación incidente que proviene de un isótopo o de un equipo de rayos X específico

Capa Decirreductora

Este es el espesor de un material que reduce a un décimo la intensidad de radiación incidente, siendo específico para determinado material y energía. Es una expresión conocida, pero poco empleada en los cálculos prácticos

Cuestionario RT Segunda Lección

1. ¿Qué es el átomo?
2. ¿Qué es el neutrón?
3. ¿Qué es el electrón?
4. ¿Cuál es la nomenclatura establecida para distinguir los diferentes arreglos atómicos?
5. Cuando las radiaciones se desintegran emiten esporádicamente radiaciones y partículas subatómicas, ¿Con qué nombre se conocen estas partículas?
6. Los RX son una forma de radiación electromagnética. Explique
7. Los rayos Gamma son una forma de radiación. Explique
8. ¿Cuáles son los radioisótopos empleados en la industria y cuál es su vida media en $T_{1/2}$?
9. ¿Qué es la unidad Roentgen (R) y para qué se emplea?
10. ¿Qué entiende usted por capa hemireductora o semireductora?



Principios de Seguridad Radiológica Capitulo III



Dictado por: Ramón Rivero
Realizado por: Michelin Tavera

Seguridad Radiológica

¿Qué es Seguridad Radiológica?

Son las medidas que se toman para proteger a las personas de los riesgos de las radiaciones, para evitar las enfermedades o efectos que estas producen, sin limitar los beneficios del uso de las mismas.



¿Por qué es importante conocer sobre la Seguridad Radiológica?



- Porque lo primordial para la empresa es la seguridad de sus empleados.
- Porque las radiaciones parecen inofensivas ya que no se sienten, no se huelen ni se ven, pero en **EXCESO** pueden afectar el organismo produciendo enfermedades irreversibles, tales como cáncer, esterilidad, alteraciones genéticas, etc...



¿De quién depende la Seguridad Radiológica?

- En primer lugar depende de **USTED**.
- Si manipula materiales radiactivos debe tener extremo cuidado, protegiéndose tanto **USTED** como a sus **COMPAÑEROS**.
- La empresa reporta directamente al Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica y Nuclear



Conceptos más utilizados en Seguridad Radiológica

DOSIS EFECTIVA: Es la suma ponderada de las dosis equivalente recibida en los distintos órganos.

DOSIS EQUIVALENTE: Es la dosis en un punto considerado de un tejido

DOSIS ACUMULADA: Es la suma de la dosis absorbida desde que un trabajador comenzó su actividad laboral hasta el momento que se considere.

DOSIS ABSORBIDA: Es la energía cedida por la radiación ionizante a la unidad de masa del material irradiado.

PERSONAL OCUPACIONALMENTE EXPUESTO: Personas que por razón de su trabajo están sometidas al riesgo de exposición a las radiaciones ionizantes.

SIGUE



Conceptos más utilizados en Seguridad Radiológica

ZONA CONTROLADA: Es aquella en la cual las exposiciones pueden producir dosis iguales o superiores a tres décimos de los límites anuales de dosis equivalente.

ZONA SUPERVISADA: Es aquella en la cual las exposiciones producen dosis inferiores a tres décimos de los límites anuales de dosis equivalente

BLINDAJE: Es el sistema material empleado como protección contra las radiaciones ionizantes o material usado para prevenir o reducir el paso de partículas o de radiaciones electromagnéticas.

COLIMADOR: Son pequeñas piezas portátiles y de fácil manejo fabricados de plomo, tungsteno o uranio residual, que colocadas en el extremo de la manguera guía del blindaje de trabajo, atenúan la radiación que no incide directamente sobre material que se está radiografiando.

SIGUE



Conceptos más utilizados en Seguridad Radiológica

FOSA: Almacén subterráneo de fuentes radiactivas.

DESECHOS RADIATIVOS: Es todo material radiactivo que no puede ser utilizado de nuevo. Los desechos radiactivos que genera la industria son las fuentes radiactivas decaídas o defectuosas y las gammacámaras en desuso.

CONTAMINACIÓN RADIATIVA: Presencia indeseable de sustancias radiactivas en seres vivos, objetos o medio ambiente.

EMERGENCIA RADIOLÓGICA: Es una situación que puede producir una exposición imprevista que origina una dosis absorbida de radiación con o sin incorporación de sustancias radiactivas.

Equipos utilizados para la Protección Radiológica

GEIGER: Es un instrumento cuyo medio de detección es un gas (orgánico, inorgánico o mezcla de gas inerte-aire) que se encuentra encerrado herméticamente en un tubo metálico o de vidrio. Se caracterizan por su gran sensibilidad, versatilidad, confiabilidad y su fácil manejo.



Se usan para medir la intensidad de la radiación en el ambiente

Equipos utilizados para la Protección Radiológica

DOSÍMETROS

DE ALARMA E INDICACIÓN INMEDIATA

Son dispositivos electrónicos que generan una señal de advertencia acústica que a su vez pueden proporcionar una lectura directa de la dosis de radiación

PERSONAL DE PELÍCULA

Dispositivo plástico o metálico provisto de filtros especiales que contienen como medio de registro una o más películas radiográficas encerradas en un envoltorio

PERSONAL DE TERMOLUMINISCENCIA DTL

Compuesto por cristales sensibles que al absorber energía de la radiación pasan al estado excitado metaestable que se mantiene a temperatura ambiente.

Equipos utilizados para la Protección Radiológica

MONITOR DE ÁREA:

Constituido por una cámara de ionización o un tubo Geiger-Muller. Tiene como función detectar y alertar la exposición producida por una fuente de radiaciones ionizantes, mediante la emisión de una señal visible y audible.



MODELOS DE AVISOS PARA SEÑALIZACIÓN DE ÁREAS Según Norma COVENIN 96 y 2257



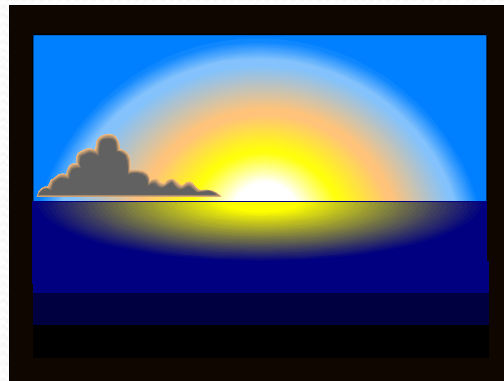
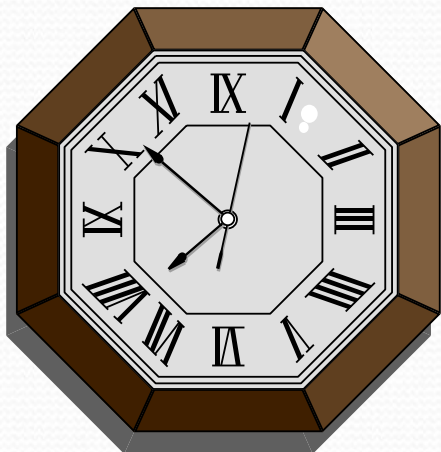
**Fondo en Amarillo
Símbolo y Leyendas
en Letras Negras**

Técnicas de protección contra la radiación externa

PRINCIPIO BÁSICO: Reducir la exposición y controlar que la radiación sea la mínima necesaria para el trabajo requerido.

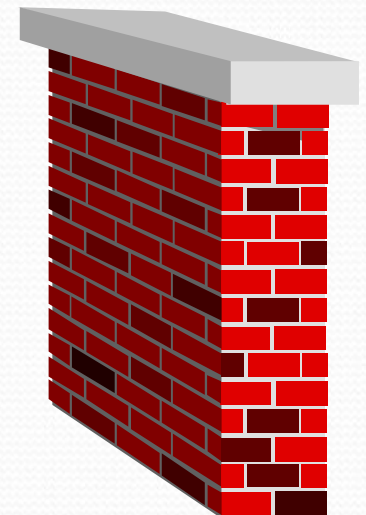
LA PROTECCIÓN CONTRA LA RADIACIÓN EXTERNA SE PUEDE LOGRAR MEDIANTE LAS SIGUIENTES:

TIEMPO



DISTANCIA

BLINDAJE



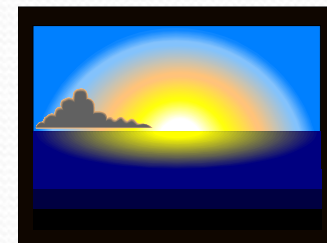
Técnicas de protección contra la radiación externa

DISTANCIA: A mayor distancia de la fuente, menor será la dosis de exposición

“ Desde una fuente puntual de radiación, la intensidad de la energía emitida es directamente proporcional al inverso del cuadrado de la distancia a la fuente ”

La ecuación para calcular el inverso al cuadrado de la distancia es la siguiente:

$$I_1 d_1^2 = I_2 d_2^2$$



Técnicas de protección contra la radiación externa

DISTANCIA DE ACORDONAMIENTO:

$$D = \sqrt{\frac{A \cdot \Gamma}{\dot{X}}}$$

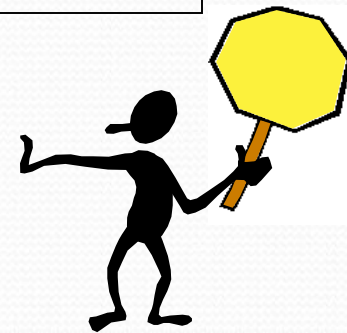
Donde:

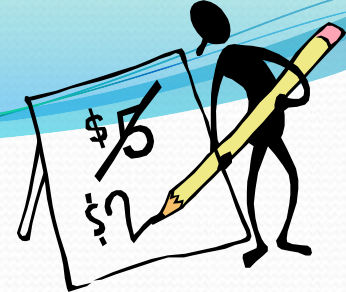
D= Distancia de acordonamiento (m)

A= Actividad de la fuente (Ci)

Γ = Factor Gamma \longrightarrow 480mrem.m²/hr.Ci

\dot{X} = Tasa de dosis(mrem/hr)





Tasas de Dosis

PUBLICICO

0.05mrem/hr

8,65mrem/mes

103.6mrem/año (1mSv)

TRABAJADORES

1mrem/hr

173mrem/mes

2076mrem/año (20mSv)

Valores según la Norma COVENIN 2259

Estos valores son tomados en base a: 8 horas de trabajo diario, es decir, un promedio de 173 horas mensuales, 12 meses al año

Técnicas de protección contra la radiación externa

TIEMPO: Controlando el tiempo que una persona es expuesta a la radiación, se puede reducir la dosis recibida. La dosis de exposición es directamente proporcional al tiempo de exposición.

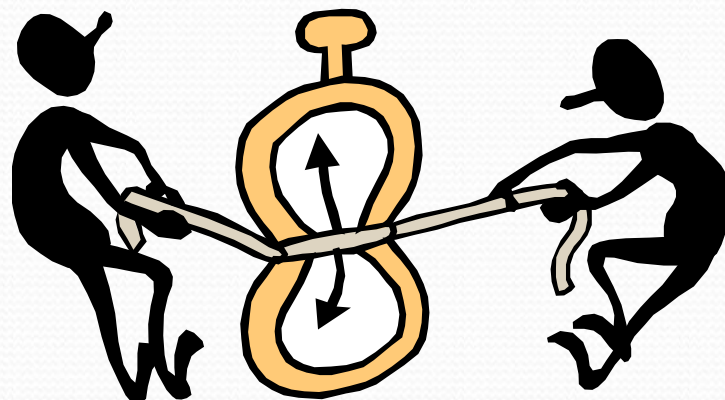
$$X = \ddot{X} \cdot t$$

Donde:

X= Exposición de dosis total

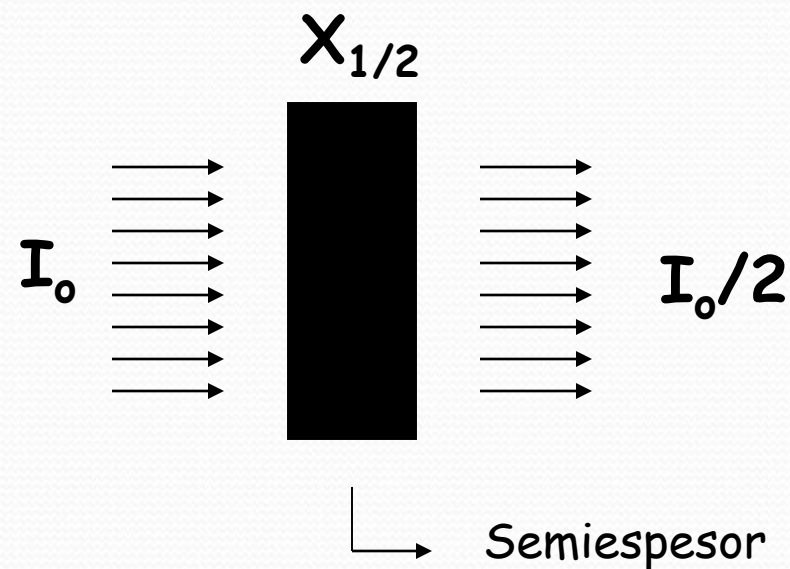
t= Tiempo de permanencia

\ddot{X} = Tasa de exposición (o dosis)



Técnicas de protección contra la radiación externa

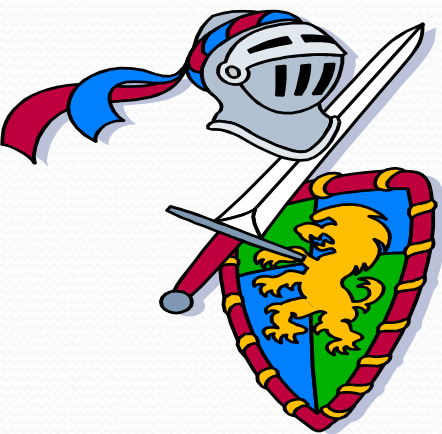
BLINDAJE: La radiación electromagnética sólo puede ser atenuada, es decir, disminuida su intensidad. Esto se logra aumentando el espesor o densidad de los medios absorbentes colocados a su paso.



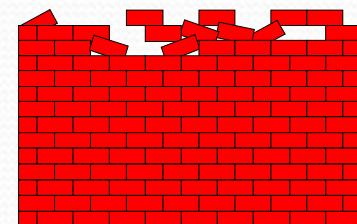
ATENUACIÓN: Es la reducción de la intensidad de la radiación.

SEMIESPESOR: Es el espesor de material que reduce a la mitad la intensidad inicial del haz de radiación.

Técnicas de protección contra la radiación externa

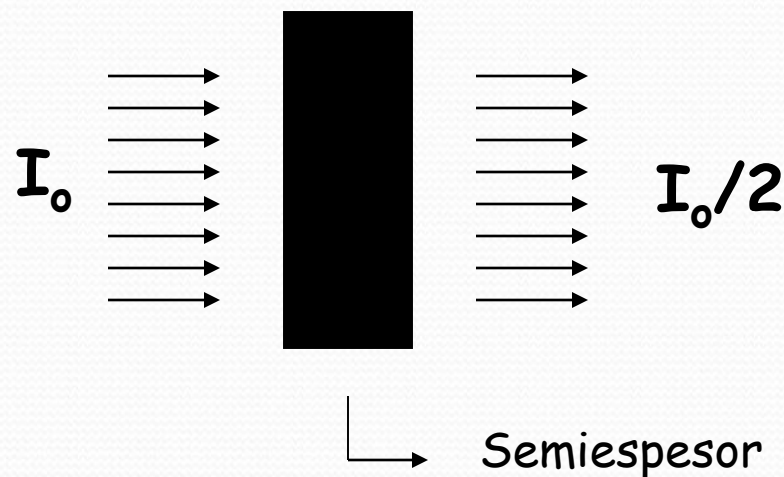


Fuente	Semiespesor (cm)		
	Plomo	Acero	Concreto
I-131	0.07		
Am-241	0.019	0.078	1.10
Ir-192	0.48	1.27	4.45
Cs-137	0.68	1.52	5.08
Co-60	1.24	2.16	6.05
Rayos X (60Kvp)	0.011		0.63
Rayos X (100Kvp)	0.024		1.52



Técnicas de protección contra la radiación externa $X_{1/2}$

COLIMADORES: Son pequeñas piezas portátiles y de fácil manejo fabricadas de plomo, tungsteno o uranio residual, que colocadas en el extremo de la manguera guía, atenúan la radiación que no incide directamente sobre el material que se está radiografiando.



Para calcular la distancia de acordonamiento cuando se utiliza un colimador se hace de la siguiente manera:

$$D = \sqrt{\frac{A \cdot \Gamma}{\dot{X} \cdot 2^n}}$$

n = número de HVL

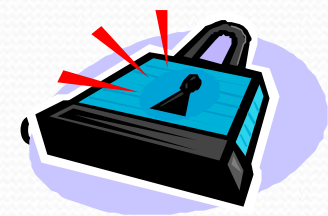
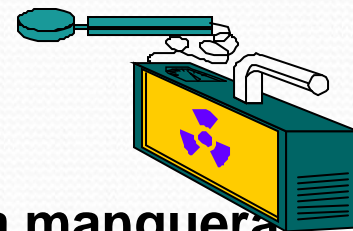


Emergencia radiológica

Son aquellas situaciones en las cuales la fuente NO puede retornarse por medios normales al blindaje de trabajo

CAUSAS:

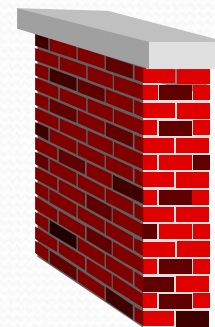
- Carencia, mal uso y/o funcionamiento incorrecto del instrumento de detección
- Retorno incompleto de la fuente al blindaje
- Obstrucción de la fuente por rotura o deformación de la manguera guía
- Fuente desconectada: mala conexión, conectores en mal estado en la manguera guía, cable de control desinstalado
- Operación de retracción incompleta
- Falta de bloqueo en el mecanismo de seguridad (cerradura llave) de la cámara



Emergencia Radiológica

¿QUÉ HACER?

1. Haga el diagnóstico de la emergencia
2. Amplíe el área de la zona demarcada y restrinja completamente su acceso
3. Improvise un blindaje de emergencia para disminuir la tasa de exposición
4. Comuníquese con su supervisor para informarle sobre la situación de emergencia. Mientras tanto, el ayudante no debe abandonar la zona de emergencia y debe mantener una actitud vigilante



Jamás trate de introducir con las manos o herramientas inapropiadas la fuente radiactiva en el blindaje

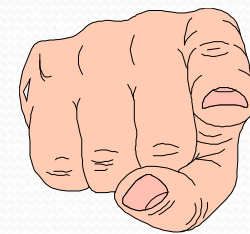


Emergencia Radiológica

¿CÓMO EVITARLO?



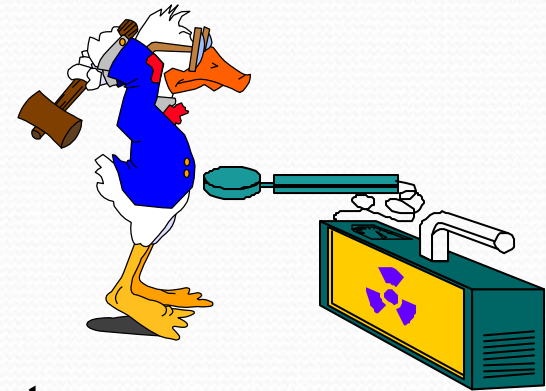
La única manera de evitar en lo posible una emergencia radiológica es que **USTED** cumpla al pie de la letra con el **Manual de Seguridad Radiológica** suministrado por la empresa y con las pautas dictadas anteriormente



Mantenimiento y almacenaje de los equipos de protección radiológica

EL RESPONSABLE DE SU VIDA ES **USTED** MISMO, POR LO TANTO DEBE CUIDAR Y MANTENER LOS EQUIPOS DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

1. Inspeccione visualmente si hay daños físicos
2. Verifique que las baterías suministren el voltaje correcto
3. Verifique que el botón de “RESET” esté operando correctamente
4. Verifique, con una fuente y distancia conocidas, que la lectura medida se corresponda con la lectura estimada y repórtelo en el formulario correspondiente suministrado
5. Evitar en lo posible la caída de los equipos de protección, en especial en lodo y/o agua. Si esto sucede, secar y enviar inmediatamente al supervisor, repórtelo y busque uno nuevo



Mantenimiento y **almacenaje** de los equipos de protección radiológica



1. Si el instrumento va a permanecer inactivo por un período largo, extráigale las baterías.
2. Almacene el equipo en un equipo en un ambiente que esté permanentemente deshumidificado
3. Limpie y seque el instrumento con un paño antes de ingresarlo al almacén, especialmente después de una salida de campo.

Procedimientos de Trabajo en Radiografía Industrial

1. Clasificar el área como Zona Controlada o Zona Supervisada:

- Calcular la distancia mínima de protección
- Medir con el detector para verificar la distancia
- Una vez confirmada la medición y de acuerdo a la tasa de dosis medida, clasificar el área
- En las zonas donde existan altas tasa de exposición, establecer medidas de protección adicionales (aumento de distancia, blindajes)
- Delimitar y señalar la zona con una barrera colocada a la distancia establecida por la Norma COVENIN 2257.
- Colocar los avisos de radiación.





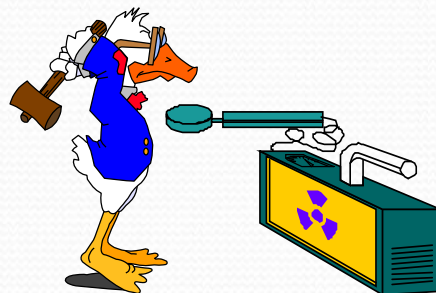
Procedimientos de Trabajo en Radiografía Industrial

- 2. Colóquese el dosímetro personal a nivel del tronco**
- 3. Verifique el buen funcionamiento del instrumento de detección**
- 4. Realice un monitoreo de radiación en los alrededores, para verificar que las fuentes se encuentren debidamente blindadas.**

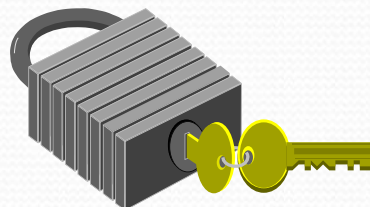
Procedimientos de Trabajo en Radiografía Industrial

5. Tome el equipo señalado para el trabajo y mediante una inspección visual verifique que:

- El equipo (cámara de almacenamiento o blindaje) esté exento de deformaciones, abolladuras o fisuras.



- El mecanismo de seguridad (cilindro con llave) funcione adecuadamente.



Procedimientos de Trabajo en Radiografía Industrial

- Las conexiones del equipo, así como el broche del portacápsula, el telemando, la manguera guía, las conexiones de los accesorios, el conector de la guaya del telemando a la fuente están libres de deformaciones, desgaste o impurezas

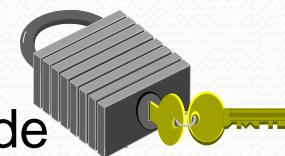
SI OBSERVA ALGÚN PROBLEMA EN CUALQUIERA DE LOS PASOS SEÑALADOS, COMUNÍQUESE CON SU SUPERVISOR Y NO UTILICE EL EQUIPO HASTA QUE SEA REPARADO

Procedimientos de Trabajo en Radiografía Industrial

VERIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES DE LA GAMMACÁMARA:

El radiólogo debe verificar que la gammacámara tenga:

◆ El cilindro con su llave en buenas condiciones, y el cilindro debe estar en su posición cerrada



◆ Los dos tapones protectores, el que va del lado de cerradura y el que va del lado de la salida de la fuente.

◆ La chapa metálica, en la que se indica claramente el número de serial, el tipo de radioisótopo, actividad inicial, tiempo inicial de fabricación, modelo y fabricante

S.N. 0002
Ir-192
100 Ci
04/04/2001
Modelo 987

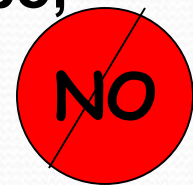
◆ En la superficie exterior claramente visible y legible el símbolo de las radiaciones y la indicación **“PELIGRO - MATERIAL RADIATIVO”**



Procedimientos de Trabajo en Radiografía Industrial

El radiólogo debe verificar que:

- ◆ La tasa de dosis, en contacto con la superficie de la cámara no debe ser mayor de 2mSv/hr, y a un metro de distancia de la superficie no debe ser mayor de 0.1mSv/hr (según la Norma COVENIN 3190)
- ◆ Si son mayores **no debe manipular no transportar el equipo**, debe reportarlo inmediatamente al GEND.
- ◆ Si recibe la FR del proveedor, debe revisar en la tabla de decaimiento la actividad de la fuente y su serial, y luego verificar que el número de serial aparezca en el conector de la fuente con el telemando, (rabo de cochino) y en la chapa de la fuente.



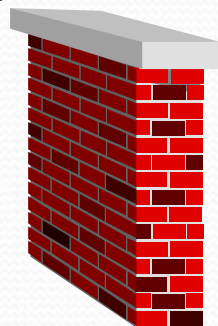
Procedimientos de Trabajo en Radiografía Industrial

DURANTE LA EXPOSICIÓN

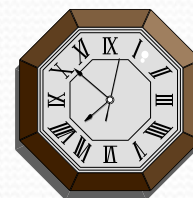
- Aléjese a la mayor distancia posible compatible con la operación



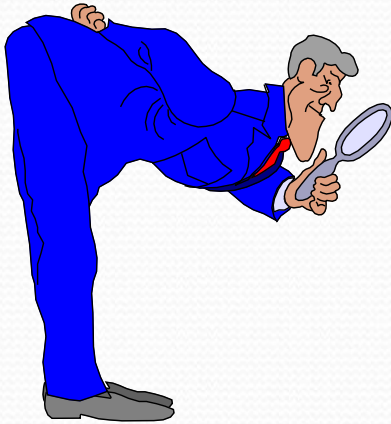
- Colóquese detrás de algún blindaje existente en los alrededores



- Procure que el tiempo empleado para la extracción y retracción de la fuente, sea el menor posible



Procedimientos de Trabajo en Radiografía Industrial



AL FINAL DE CADA EXPOSICIÓN

- Verifique, mediante monitoreo por la parte frontal del equipo, si la fuente de ingreso al equipo se encuentra debidamente blindada
- Conecte el mecanismo de seguridad del equipo

MANTENGA SIEMPRE UNA ACTITUD VIGILANTE Y DE MONITOREO CONSTANTE

Cuestionario RT Tercera Lección

1. ¿Cuál es la comisión nacional y salvamento que limita las radiaciones ionizantes para personal ocupacionalmente expuesto (POE) y público en general?
2. ¿Qué es un detector Geiger Müller?
3. ¿Qué es una cámara de ionización?
4. ¿Qué es un dosímetro de película film?
5. ¿Qué es un dosímetro de bolsillo con cámara de ionización o lectura directa o de lápiz?
6. ¿Qué es un Gammalarma?
7. ¿Qué es un monitor de área personal?
8. Explique que entiende por radiación natural
9. Explique que se conoce por irradiación y contaminación
10. ¿Cuáles son los límites permisibles de exposición a la radiación para el personal ocupacionalmente expuesto y para el público en general?



Fuentes de Radiación

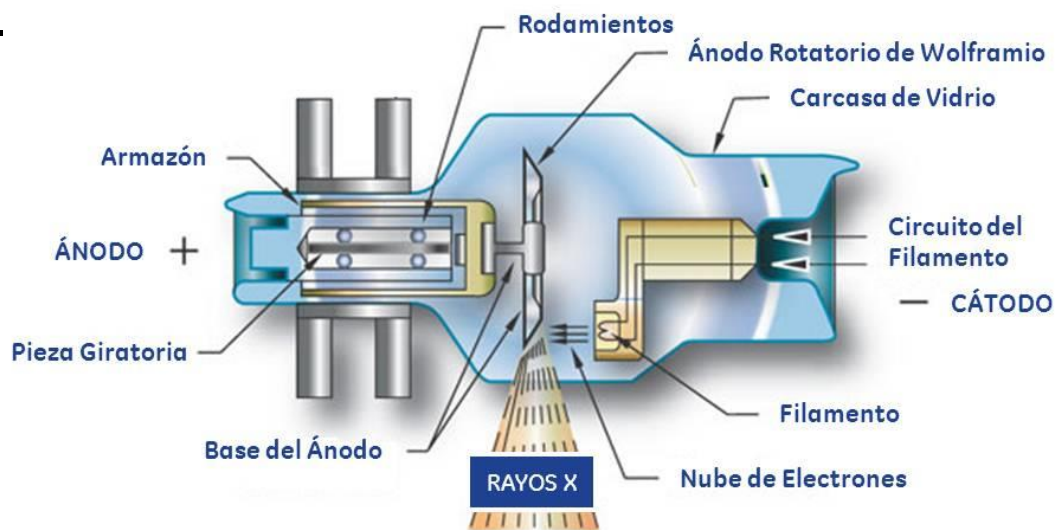
Capitulo IV



Dictado por: Ramón Rivero
Realizado por: Michelin Tavera

Tubo de Rayo. X.

Un tubo de rayos X está constituido básicamente por un cátodo, el cual contiene un filamento que genera electrones y un ánodo también llamado blanco, en donde inciden los electrones después de haber sido acelerados por una diferencia de potencial entre los dos electrodos. Este sistema está integrado dentro de una cámara al alto vacío. La generación de rayos X se debe al efecto denominado **Bremstrahlung** que consiste en la conversión parcial de la energía cinética del electrón en un fotón de rayos X al chocar este con el metal ánodo (Wolframio). No obstante sólo una pequeña porción de la energía de aproximadamente 1% es convertida en rayos X el resto es disipada en forma de calor.



Fuentes de Radiación

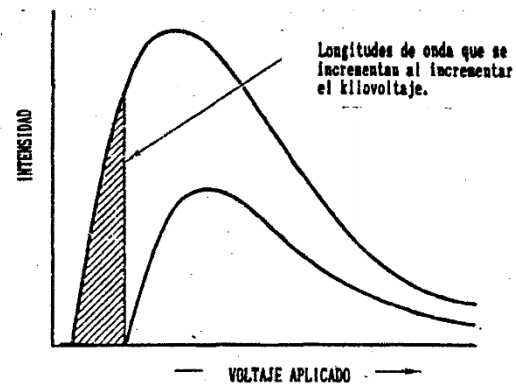
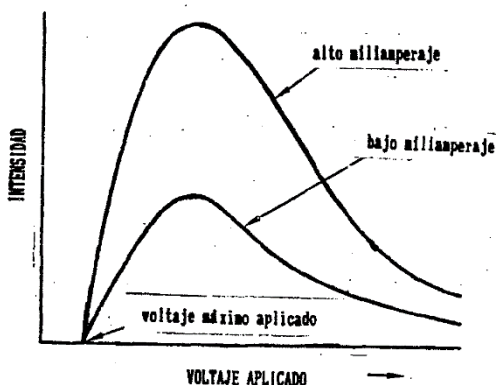
El espectro de emisión es modificado por dos variables que son:

- Miliamperaje empleado.
- Kilovoltaje aplicado.

El miliamperaje: actúa principalmente sobre la cantidad de electrones que se impactan en el ánodo; en consecuencia, un incremento en el miliamperaje del tubo se verá reflejado en la intensidad de la radiación emitida, sin modificar la longitud de onda del haz de radiación.

El kilovoltaje: actúa principalmente sobre la velocidad de los electrones y por tanto, un incremento en el kilovoltaje del tubo se verá reflejado en una reducción de la longitud de onda y un aumento de la intensidad en el espectro de la radiación emitida; por lo que la radiación se volverá más penetrante (mas dura) y menos contrastante.

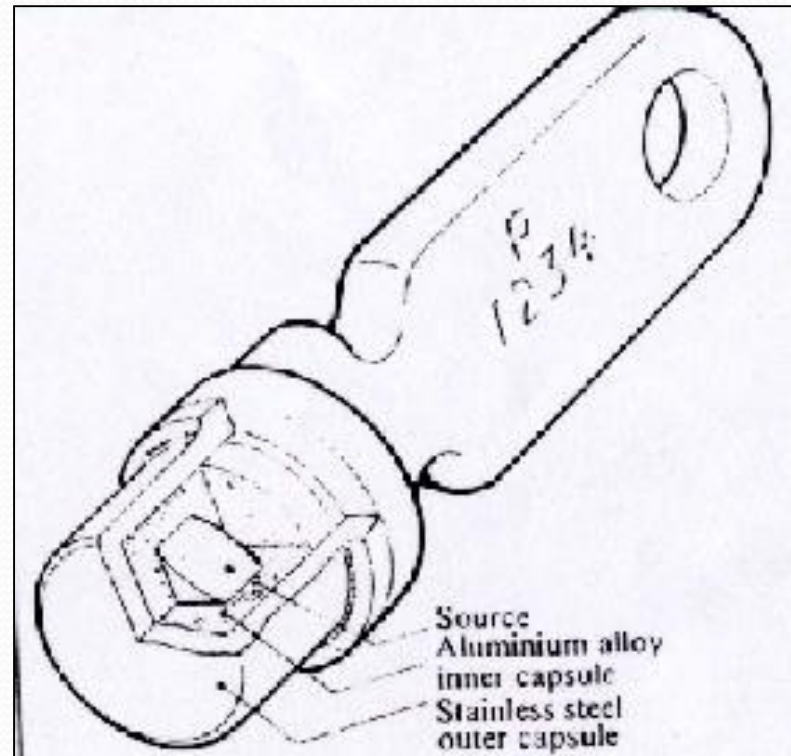
Cambio en el Miliamperaje



Cambio en el Kilovoltaje

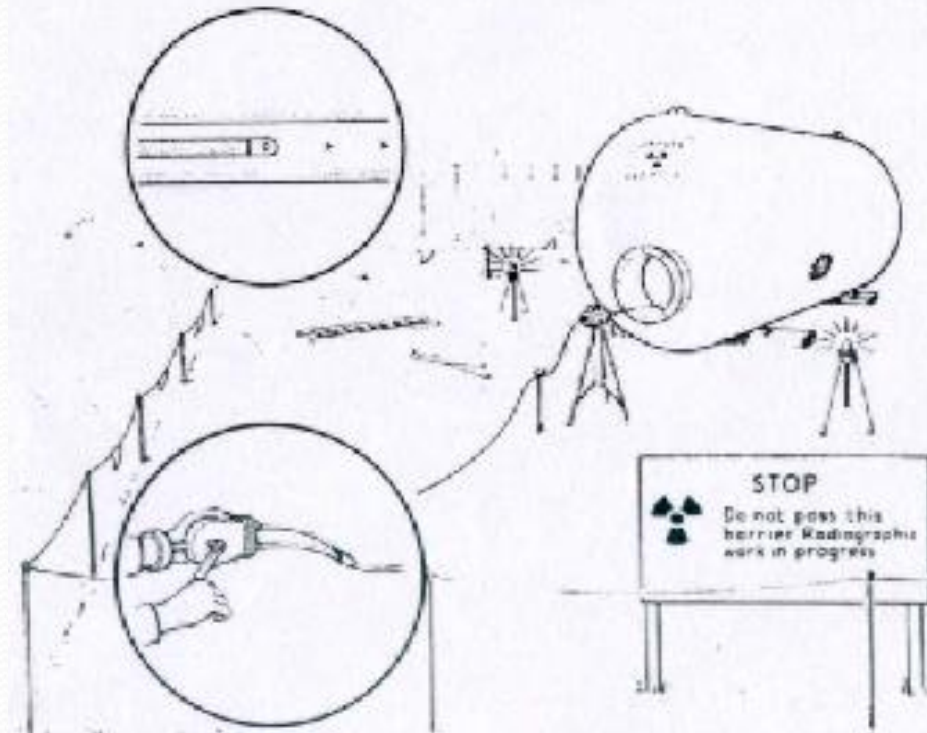
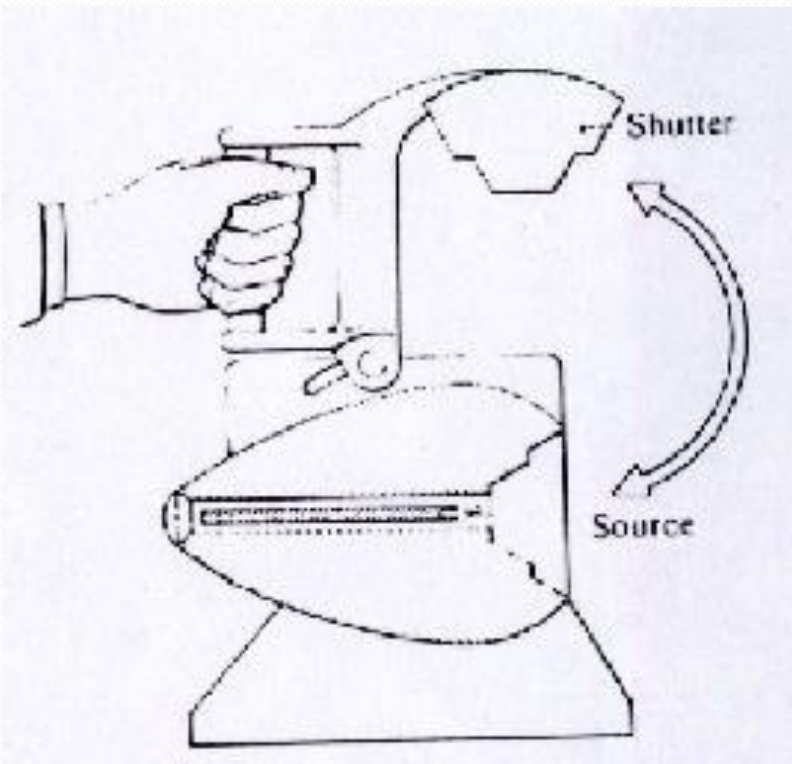
Equipos de Rayos Gamma

Fuente Radiactiva



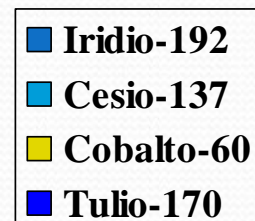
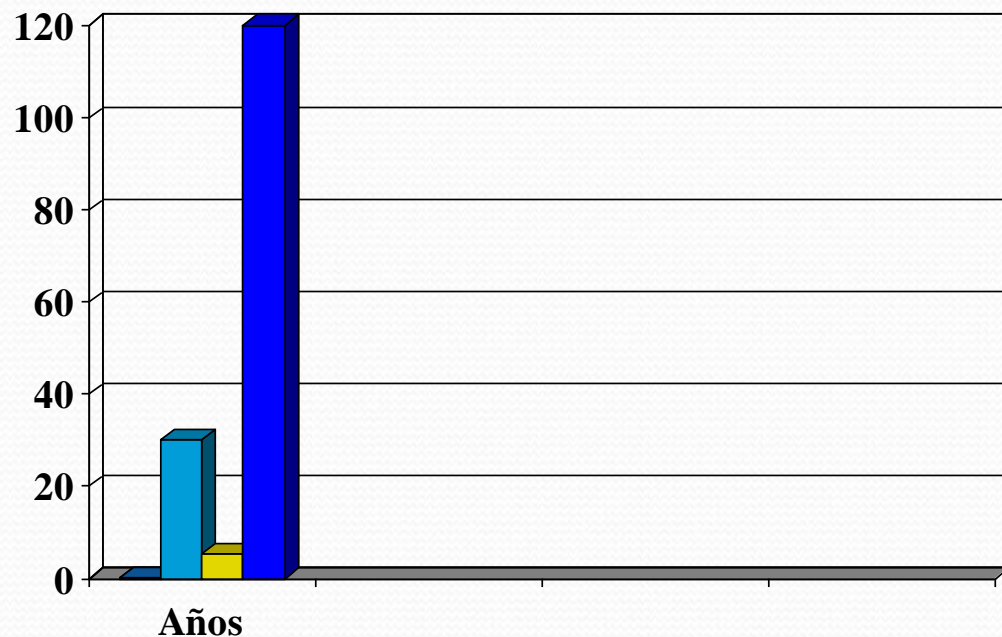
Equipos de Rayos Gamma

Contenedor de la fuente - telemando



Período o Vida Media de un elemento Radiactivo

Tiempo transcurrido para que la actividad del radioisótopo disminuya en un 50%



- Iridio-192: 75 días
- Cesio-137: 30 años
- Cobalto-60: 5.3 años
- Tulio-170: 120 años

Actividad

Es la expresión de la velocidad de desintegración de un radio isótopo. En términos generales, se dice que es el número de desintegraciones que ocurren en un material radioactivo por unidad de tiempo

$$A = A_0 \cdot e^{-\left[\frac{\ln 2}{T} \cdot t\right]}$$

Número de desintegraciones por unidad de tiempo

Unidad de Medición de la Actividad

A partir de 1975 la unidad de actividad es el Bequerel (Bq), el cual está definido como una desintegración por segundo. La unidad anteriormente utilizada era el Curie (Ci); que se define como la cantidad de un radioisótopo que produce:

$$3.7 \times 10^9 \frac{\text{desintegraciones}}{\text{segundo}}$$

$$1 \text{Ci} = 3.7 \times 10^9 \text{Bq}$$

$$1 \text{Ci} = 37 \text{GBq}$$

Actividad Específica: La actividad específica de cualquier radioisótopo o fuente radioactiva, se define como la actividad en Bq que presenta un gramo del radioisótopo, esto es Bq/g.

Ventajas del uso de Rayos X o Rayos Gamma

Rayos X

- Mejor imagen
- Es preferible para materiales de poco espesor
- Sólo irradian cuando están en servicio por lo que son más seguros

Rayos Gamma

- Equipo menos costoso
- Para materiales de mayores espesores es preferible
- Es más funcional, de manejo sencillo y menos expuesto a averías

Desventajas del uso de Rayos X o Rayos Gamma

Rayos X

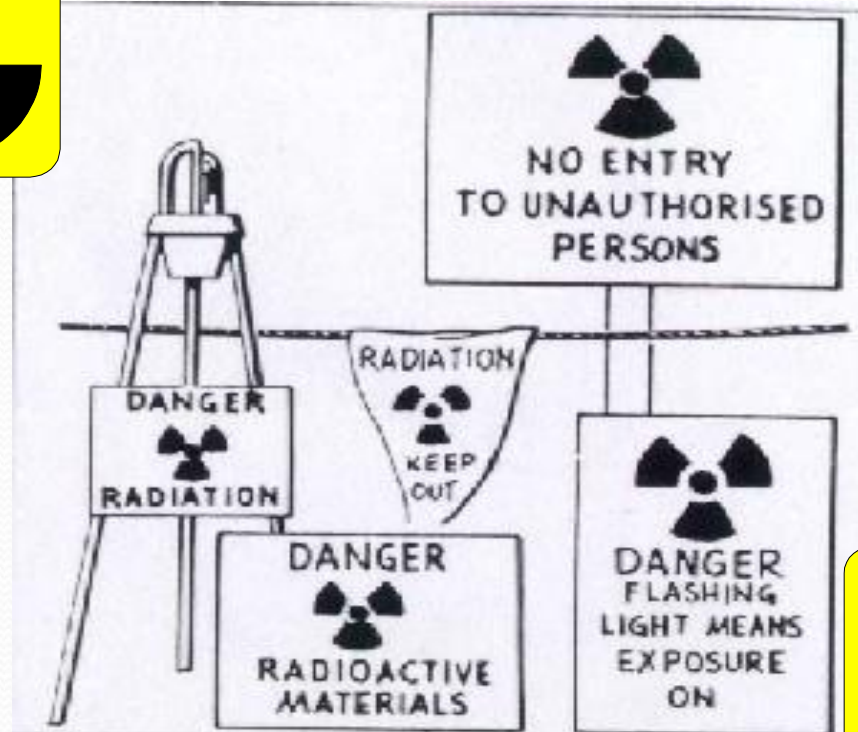
- Equipos más costosos
- Equipos delicados que no soportan trabajos en campos

Rayos Gamma

- Producen radiografías menos sensibles y más difíciles de interpretar
- Son de alto riesgo ya que irradian en todo momento
- Blindaje necesario puede ser muy pesado
- No se puede ajustar la energía de radiación de las fuentes

Equipos de Rayos Gamma

Avisos de Advertencia



Cuestionario RT Cuarta Lección

1. ¿Qué es un tubo de RX? Explique
2. ¿Cómo está formado un tubo de RX y cuántas partes forman el tubo de RX y panel de control?
3. ¿Qué es lo que emite un tubo de RX? ¿cómo energía?
4. ¿A qué efecto se debe la generación de RX?
5. ¿Qué entiende usted por KV y MA? Explique
6. ¿Qué entiende usted por un equipo de rayos gamma y cuántas partes componen el equipo?
7. ¿Qué entiende usted por vida media? ¿Cuál es la vida media del Co 60, Cs 137, Ir 192?
8. ¿Qué entiende usted por actividad de la fuente?
9. ¿Cuál es la actividad específica de emisión del cobalto 60, cesio 137 e Iridio 192?
10. ¿Cuáles son las ventajas y limitaciones de los equipos de rayos gamma?



Películas Radiográficas

Capitulo V



Dictado por: Ramón Rivero
Realizado por: Michelin Tavera

Características de la imagen y las películas radiográficas

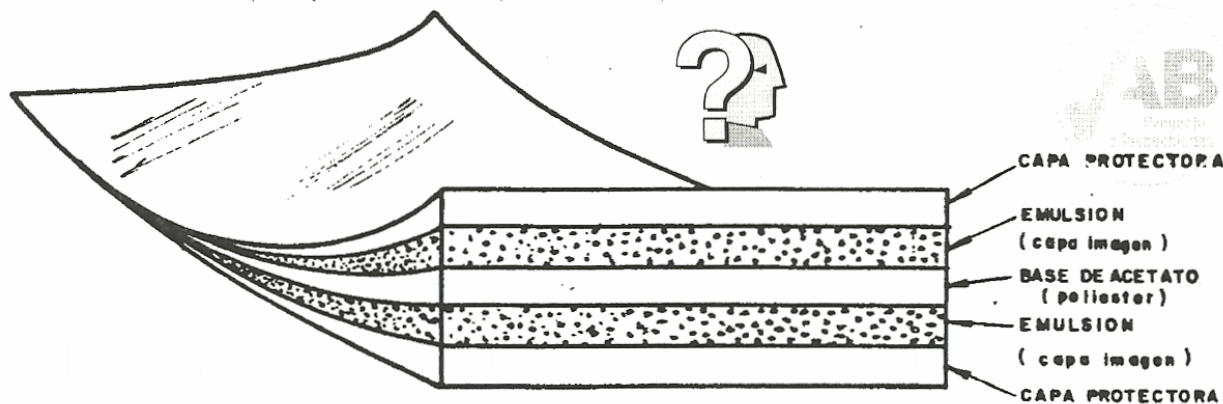
- Densidad Radiográfica
- Contraste
- Definición
- Curva Característica
- Principios Geométricos
 - Penumbra Geométrica
 - Ley de la inversa del cuadrado de la distancia

$$D = \text{Log} \frac{I_i}{I_t}$$

Estructura de la Película:

La película radiográfica consiste de una hoja delgada de plástico o acetato transparente, cubierta por uno o ambos lados de la emulsión de bromuro de plata de aproximadamente 0.0254 mm (0.001 pulgadas) de espesor.

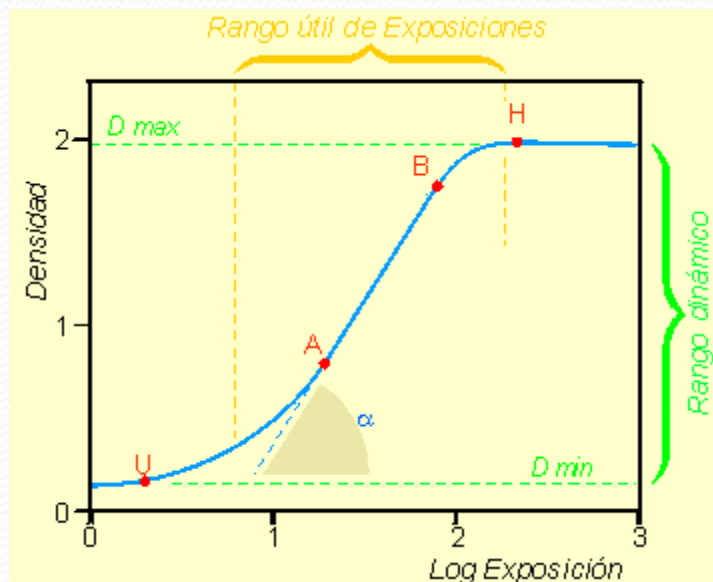
La superficie externa de la película es una capa de gelatina cuya función es proteger a la



Características Más Importantes en una Película:

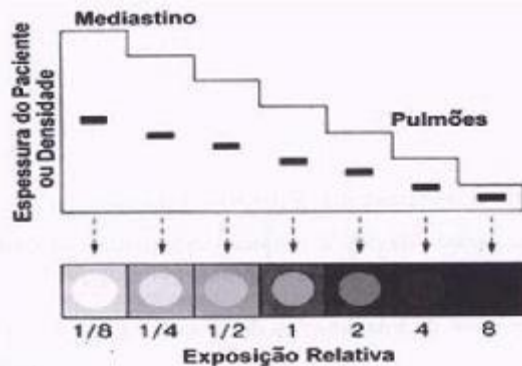
1. Velocidad de la Película
2. Tamaño de Grano
3. Gradiente o Contraste de la Película

Curva Característica: El método más común, conveniente e ilustrativo para representar la respuesta de una película a la radiación. A veces esta curva también se conoce con el nombre de curva sensitométrica o Curva H y D. Expresa la relación entre el logaritmo de exposición (representado en el eje de abscisas) y la densidad resultante (representada en el eje de ordenadas).



$$D = \text{Log} \frac{I_i}{I_t}$$

El contraste Radiográfico: Es la diferencia de densidad entre dos áreas adyacentes de una radiografía. El contraste radiográfico depende principalmente del contraste del objeto como del contraste de la película. El contraste del objeto es la relación de las intensidades de radiación en dos puntos seleccionados del mismo. En ocasiones, este contraste se define como el logaritmo de la relación de intensidades transmitidas en los dos puntos seleccionados del objeto.



El contraste de la película se refiere a la pendiente (inclinación) de la curva característica de la película. Depende del tipo de película, del proceso de revelado que recibe y del nivel de densidad observado.

Densidades de las Radiografías. Es el grado de oscurecimiento de una película radiográfica. El promedio de las películas radiográficas industriales se evalúan en una escala de densidades de 1.8 a 4 para rayos X y de 2 a 4 para rayos gamma.

Clasificación de las Películas según ASTM E-94

Tipo de película	Velocidad	Gradiente	Tamaño de grano
1	Lenta	Muy alto	Muy fino
2	Media	Alto	Fino
3	Muy alta (a)	Muy alto (a)	Grueso
4	Media	Medio	Medio

(a) Cuando se usa con pantallas fluorescentes.
(b) Sin pantallas o con pantalla de Plomo.

La Ley de Reciprocidad:

Hasta ahora se ha supuesto que la compensación exacta de una reducción en el tiempo de exposición puede calcularse simplemente como un aumento correspondiente en la intensidad de la radiación; o sea que, el efecto en la película depende únicamente del producto de la intensidad por el tiempo, que es independiente del valor absoluto de uno y otro factor. A este principio se le conoce como ley de la reciprocidad, que está representada por la siguiente ecuación:

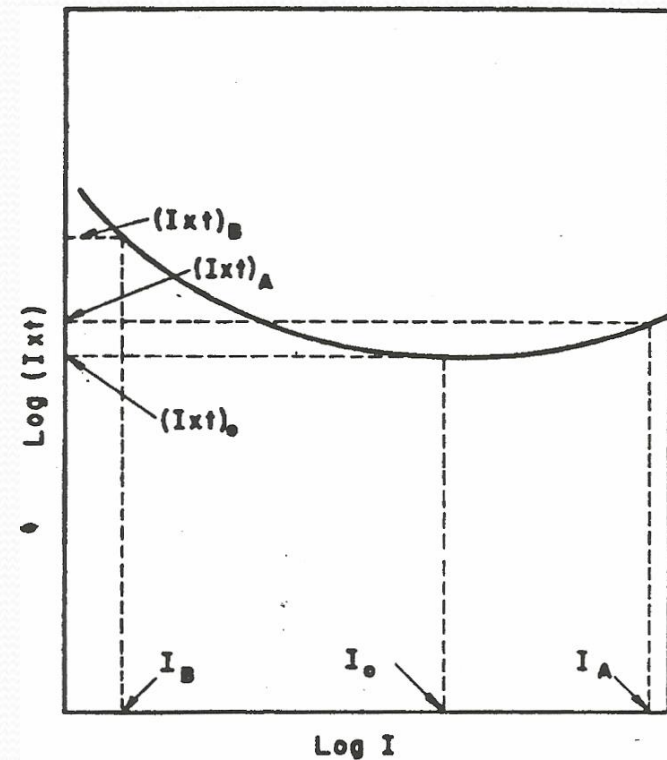
$$K = I \cdot t$$

Donde:

I = Intensidad de la luz o radiación.

t = Tiempo de exposición.

K = Constante.



Curva de Reciprocidad de Exposición a la luz visible

Pantallas Intensificadoras.

Son láminas delgadas de metal o de sustancias cristalinas, fluorescentes a los rayos X y gamma, entre las que se coloca la película radiográfica. Las pantallas intensificadoras se emplean para:

- a. Filtrar la radiación incidente y así eliminar la radiación dispersa y de baja energía.
- b. Intensificar la acción fotográfica de la radiación ionizante por la emisión de electrones libres o de luz ultravioleta o visible que imprimen la placa.
- c. Reducir el tiempo de exposición a valores prácticos.

Normalmente, la película se coloca entre dos pantallas. Cuando se emplean pantallas metálicas, el espesor de las pantallas intensificadoras, por lo general, es de 0.12 mm (0.005 pulgadas) para la frontal y de 0.25 mm (0.010 pulgadas) para la posterior.

Las funciones de la pantalla frontal son:

- a. Filtrar la radiación de baja energía.
- b. incrementar la acción fotográfica sobre la película, intensificando la radiación.

Las funciones de la pantalla posterior son:

- Absorber la radiación dispersa que llega por la parte posterior de la película (radiación retrorreflejada).
- Reforzar el efecto de intensificación fotográfica de la pantalla frontal.
- Las pantallas pueden intensificar la acción fotográfica de la radiación por mecanismos diferentes, dependiendo del tipo de pantalla.

Colimadores: Son pequeñas piezas portátiles y de fácil manejo, fabricadas de plomo, tungstenos o uranio residual que colocadas en el extremo guía, atenúan la radiación que no incide directamente sobre la pieza



Cuestionario RT Quinta Lección

1. ¿Cuál es la estructura de una película radiográfica?
2. ¿Qué conoce usted por curva característica de una película comercial?
3. ¿Qué se conoce por contraste radiográfico?
4. ¿Qué conoce usted por densidad radiográfica?
5. ¿Cuáles películas comerciales conoce usted y su equivalencia según ASTM-94?
6. ¿Cuáles son las pantallas de plomo aceptadas por código ASME anterior y posterior?
7. ¿Qué conoce usted por la Ley de Reciprocidad?
8. ¿Cuáles son los pasos para revelar una película y el tiempo en cada paso?
9. ¿Qué entiende usted por colimadores?
10. ¿Qué entiende usted por exposición radiográfica?



Proceso Radiográfico

Capitulo VI



Dictado por: Ramón Rivero
Realizado por: Michelin Tavera

Todas las imágenes radiográficas presentan una distorsión debida a varios factores que pueden ser controlados; la cual puede ser cualquiera de las siguientes:

- Distorsión natural.
- Distorsión por amplificación.
- Penumbra o distorsión por proyección.
- Distorsión o penumbra geométrica.

Distorsión Natural: Este tipo de distorsión se debe a la película que se emplea y prácticamente es imposible de eliminar, Como consecuencia de los diferentes grados de absorción que sufre la radiación al atravesar la materia, la ionización de los halogenuros de plata no será uniforme en la película y ésta registrará la forma de la pieza radiografiada.

Debido a que la mayoría de las películas radiográficas tienen emulsión por los dos lados, se forman dos imágenes idénticas superpuestas que por la posición del observador puede presentar una deformación por paralelaje.

En radiografías donde se desee una calidad y definición muy alta, deberán emplearse películas con una sola capa de emulsión, lo que evitará la deformación por del paralelaje.

Distorsión por Amplificación: El haz de radiación empleado en radiografía produce sombras similares a las producidas por un haz de luz. Si un objeto es colocado entre la fuente de radiación y una pantalla, se producirá una zona de interferencia denominada sombra y que tendrá aproximadamente el perfil del objeto radiado. Si se retira la pantalla del objeto sin moverlo, puede observarse que la sombra se amplifica por una proyección ortográfica del perfil del objeto. El grado de amplificación dependerá tanto de la distancia entre la fuente y el objeto, como de la distancia entre éste último y la película. Además, la claridad o definición de la imagen depender del tamaño de la fuente y del espesor del objeto.

$$\frac{D_o}{D_f} = \frac{L_O}{L_C}$$

Donde:

D_o = Diámetro original del objeto.

D_f = Diámetro de la imagen radiográfica.

L_O = Distancia de la fuente de radiación al objeto.

L_C = Distancia de la fuente de radiación a la película.

Es importante hacer notar que cuando se requiere reducir o eliminar la distorsión por amplificación, la película se debe colocar en contacto directo con el objeto a inspeccionar.

Distorsión o Penumbra Geométrica: Se puede afirmar que ésta es, por lo general, una consecuencia de los factores geométricos y es directamente proporcional al tamaño del punto focal, al espesor del objeto que se radiografía y a la distancia del objeto a la película, e inversamente proporcional a la distancia entre la fuente y el objeto. Esta relación se expresa matemáticamente de la siguiente forma:

$$Ug = \frac{F \cdot d}{D}$$

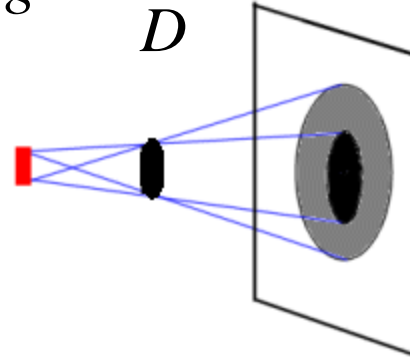
Donde:

D = Distancia fuente-objeto.

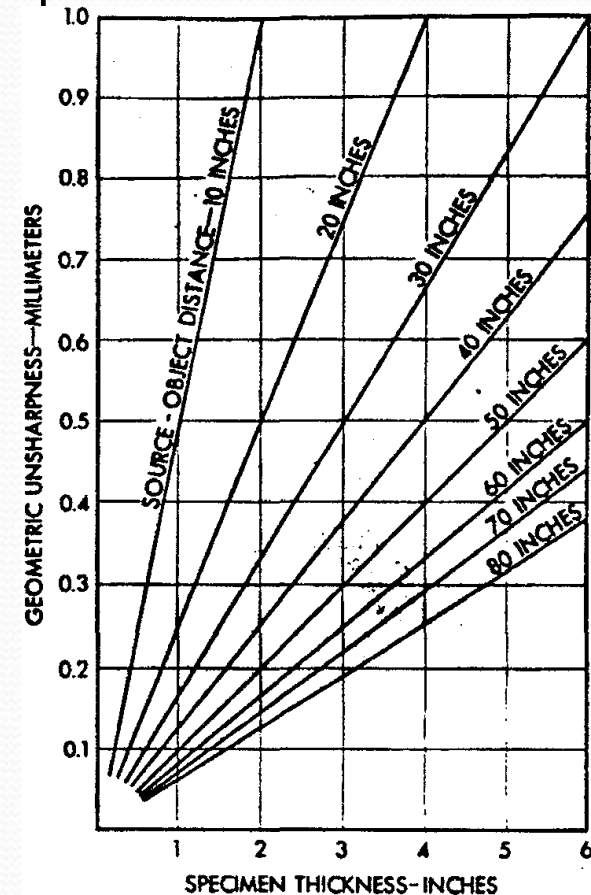
d = Distancia objeto-película.

F = Tamaño del punto focal.

Ug = Penumbra geométrica.



La penumbra geométrica mínima se obtiene cuando la fuente de la radiación es pequeña, la distancia de la fuente al objeto es relativamente grande y la separación entre el objeto y la película es reducida



Distorsión o Penumbra Geométrica:

Ejemplo: Calcular si existe Penumbra Geométrica de una plancha de acero al carbono de 1" de espesor. Asuma un ponto focal de 0.155" (3.944mm)

Source Certificate

Radionuclide: *Ir192*
 ISO/ANSI Classification: *97E64515*
 IAEA Special Form Reference Number: *USA/0335/S-96*
 Measured Equivalent Activity on *Mar-19-2012*
 111.1 Ci 4.1 TBq

Source Physical Size:

	(mm)	(in)
Diameter	2.700	0.106
Length	2.875	0.113
Diagonal	3.944	0.155

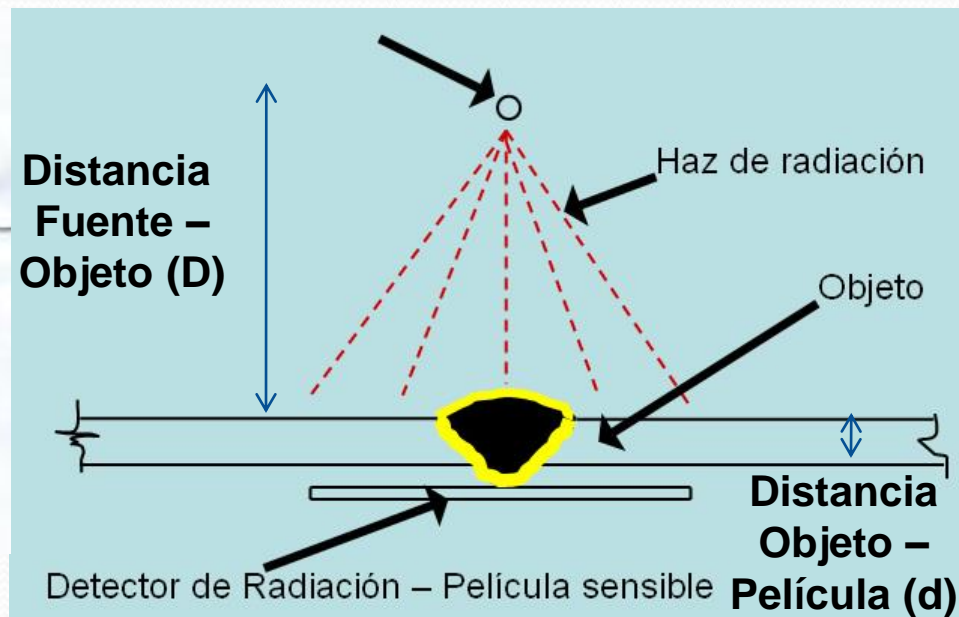
Datos:

$D = 12''$

$d = 1''$

$F = 0.155''$

Fuente Radioactiva



Distancia Fuente – Objeto (D) = 12''

Distorsión o Penumbra Geométrica:.

Ejemplo: Calcular si existe Penumbra Geométrica de una plancha de acero al carbono de 1" de espesor. Asuma un ponto focal de 0.155" (3.944mm)

$$U_g = \frac{F.d}{D} = \frac{0.155" \times 1"}{12"} = 0.0129"$$

T-274.2 Geometric Unsharpness Limitations. Recommended maximum values for geometric unsharpness are as follows:

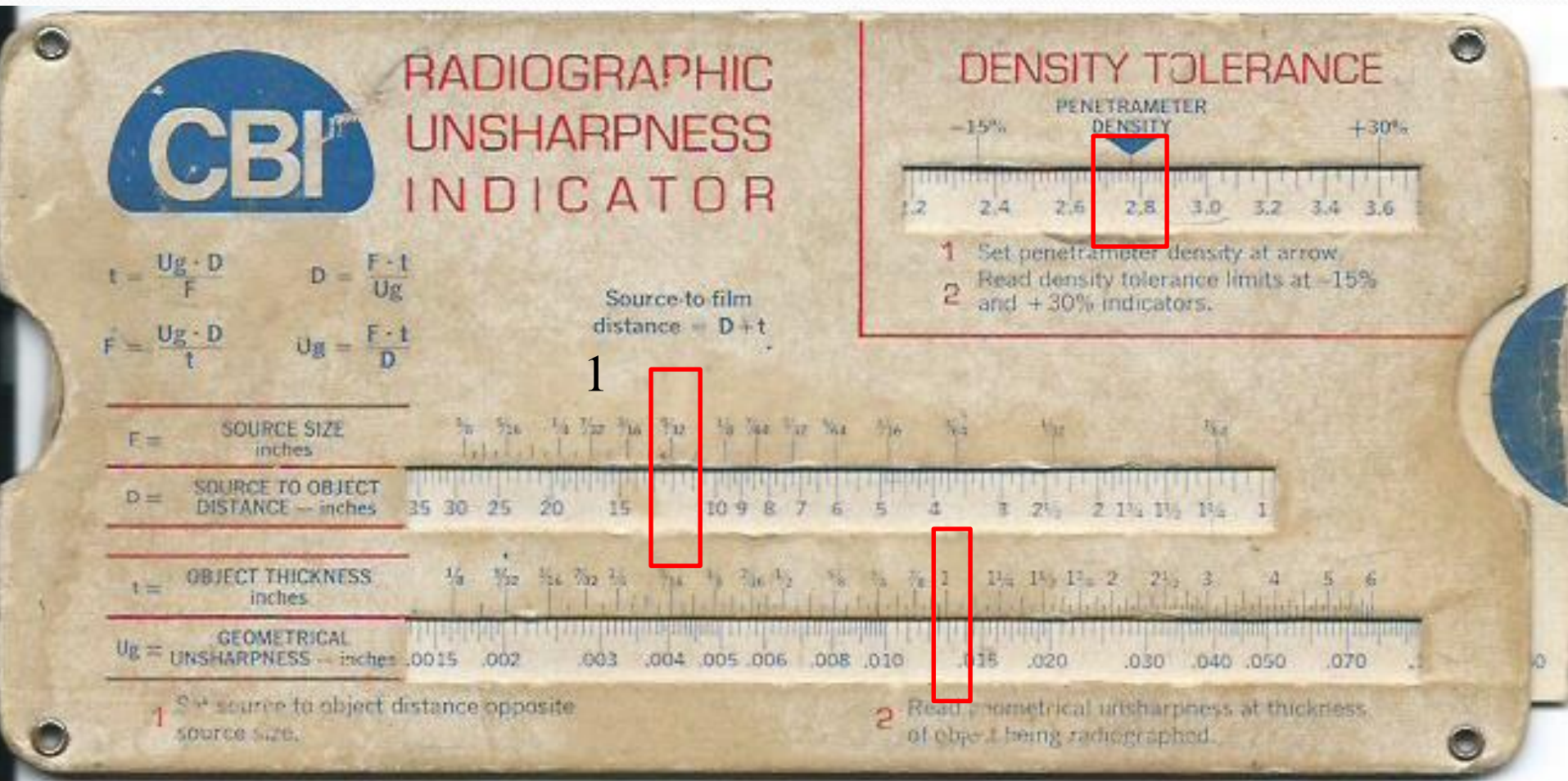
Material Thickness, in. (mm)	U_g Maximum, in. (mm)
Under 2 (50)	0.020 (0.51)
2 through 3 (50-75)	0.030 (0.76)
Over 3 through 4 (75-100)	0.040 (1.02)
Greater than 4 (100)	0.070 (1.78)

NOTE: Material thickness is the thickness on which the IQI is based.

Proceso Radiográfico

Cálculo de Penumbra Geométrica

1. Coincidir el valor del Tamaño del Foco con distancia Fuente Objeto
2. Con el valor del espesor del material, leer el valor de Ug.



Distorsión por Paralaje: La forma de la imagen puede diferir de la forma real, dependiendo del ángulo existente entre el objeto y el haz de radiación incidente. Este efecto recibe el nombre de distorsión por paralaje.

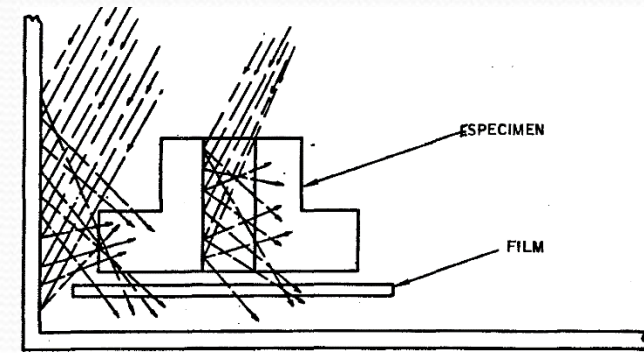
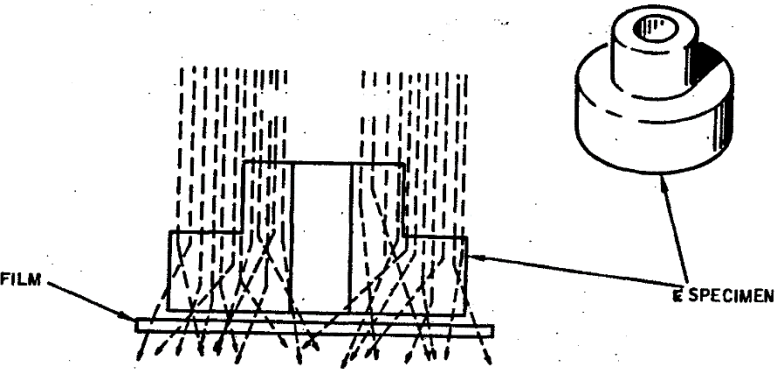
Para evitar este tipo de distorsión, el haz de radiación debe ser dirigido en forma perpendicular a la película y ésta, a su vez, debe ser paralela con el objeto a radiografiar.

Distorsión por Radiación Dispersa: Otro factor que debe contemplarse antes de iniciar una exposición radiográfica es la radiación dispersa. Existen tres posibles fuentes de radiación dispersa y son:

1. Radiación dispersada por el objeto radiografiado.
2. Radiación dispersa por reflexión lateral.
3. Radiación retrorreflejada.

Radiación Dispersada por el Objeto Radiografiado. En la figura se puede apreciar que la radiación que incide sobre un objeto, una parte es absorbida y la otra logra atravesarlo; sin embargo, existe otra parte de la radiación que es dispersada en diferentes direcciones. Esta radiación es de menor energía que la del haz principal y, por lo mismo, es menos penetrante aunque puede ser registrada por la película y reducir el contraste de la imagen.

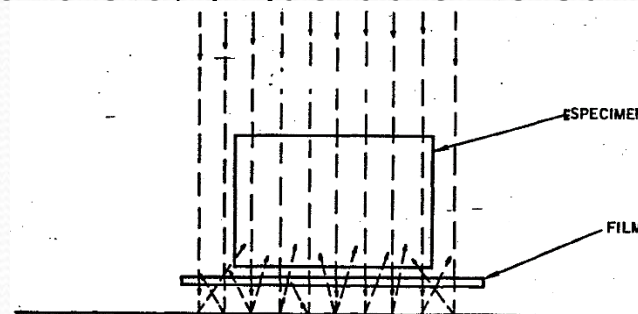
Radiación Dispensa por Reflexión Lateral: La radiación también puede ser reflejada y difractada. Esto es común cuando se efectúan radiografías en donde existen paredes de concreto o partes metálicas cercanas a la pieza que se inspecciona. Esta radiación también provoca una deformación de la imagen.



Radiación Dispensada por el Objeto Radiografiado

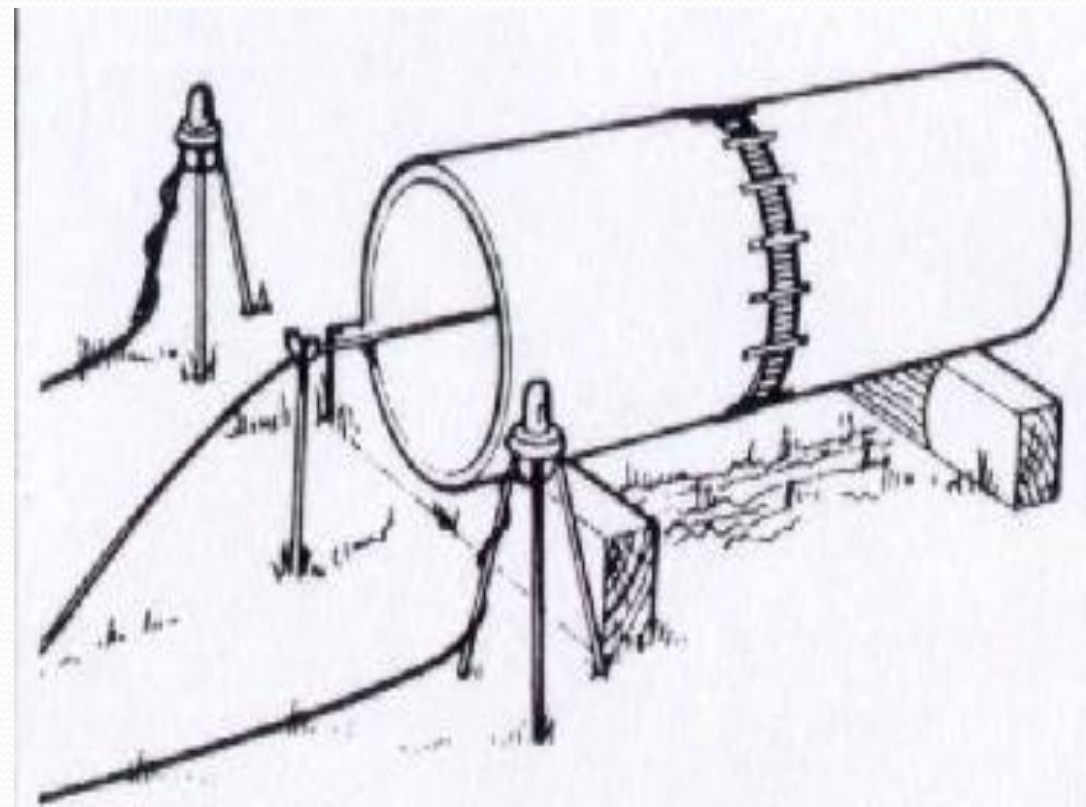
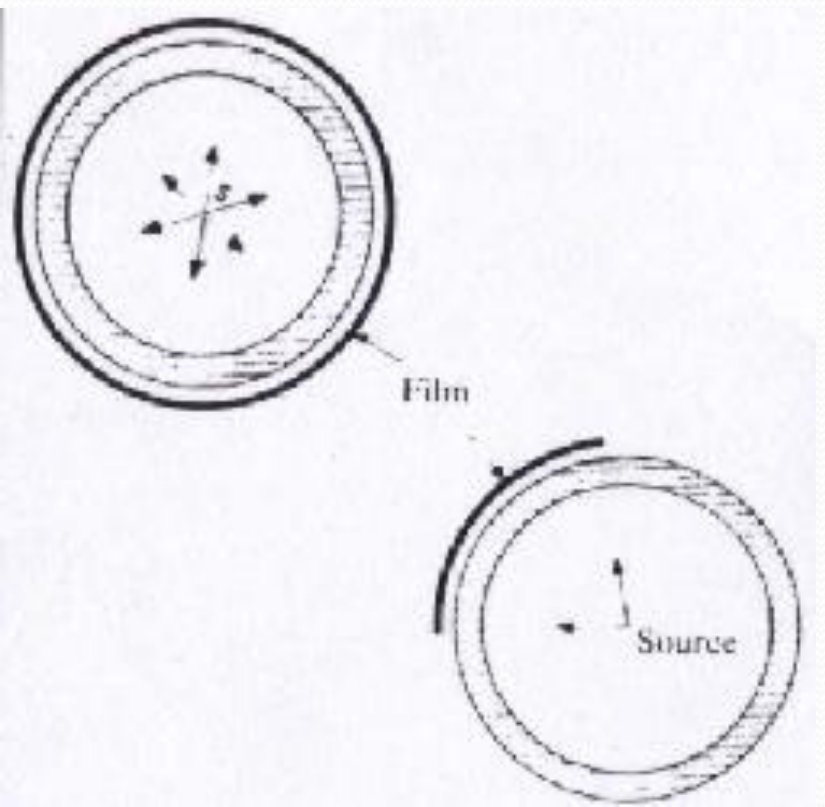
Radiación Dispensa por Reflexión Lateral

Radiación Retroreflejada: Es la radiación que después de atravesar el material e imprimir la película, continúa su trayecto hasta que es reflejada por un material denso, como el concreto, y que durante su nueva trayectoria vuelve a alcanzar la película.



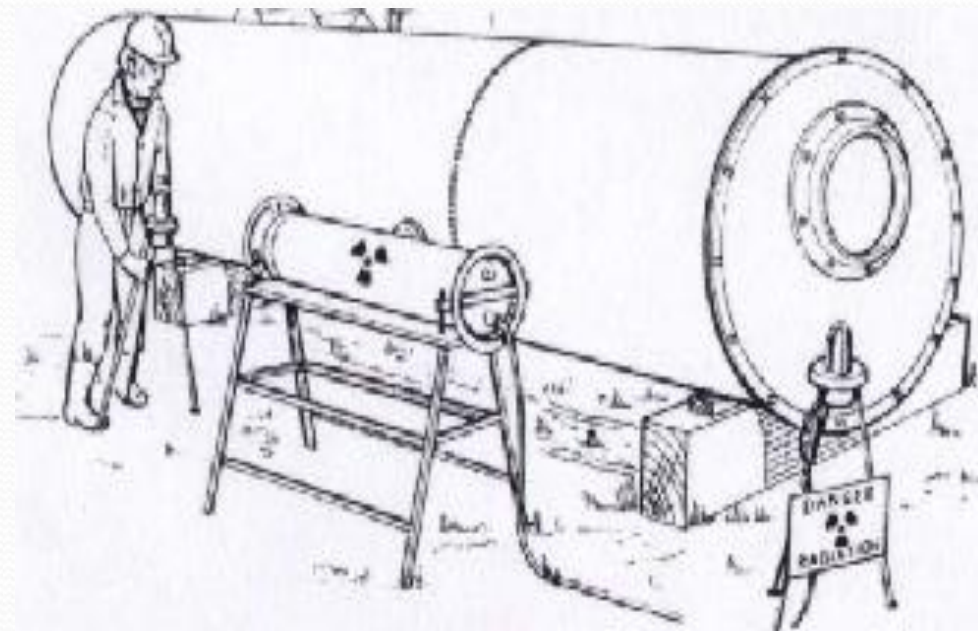
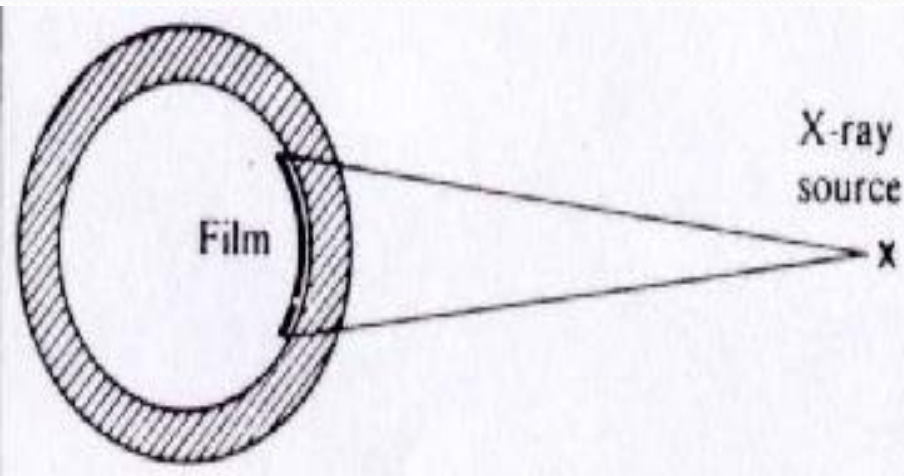
Técnicas Radiográficas

Pared Simple - Técnica de Imagen Simple



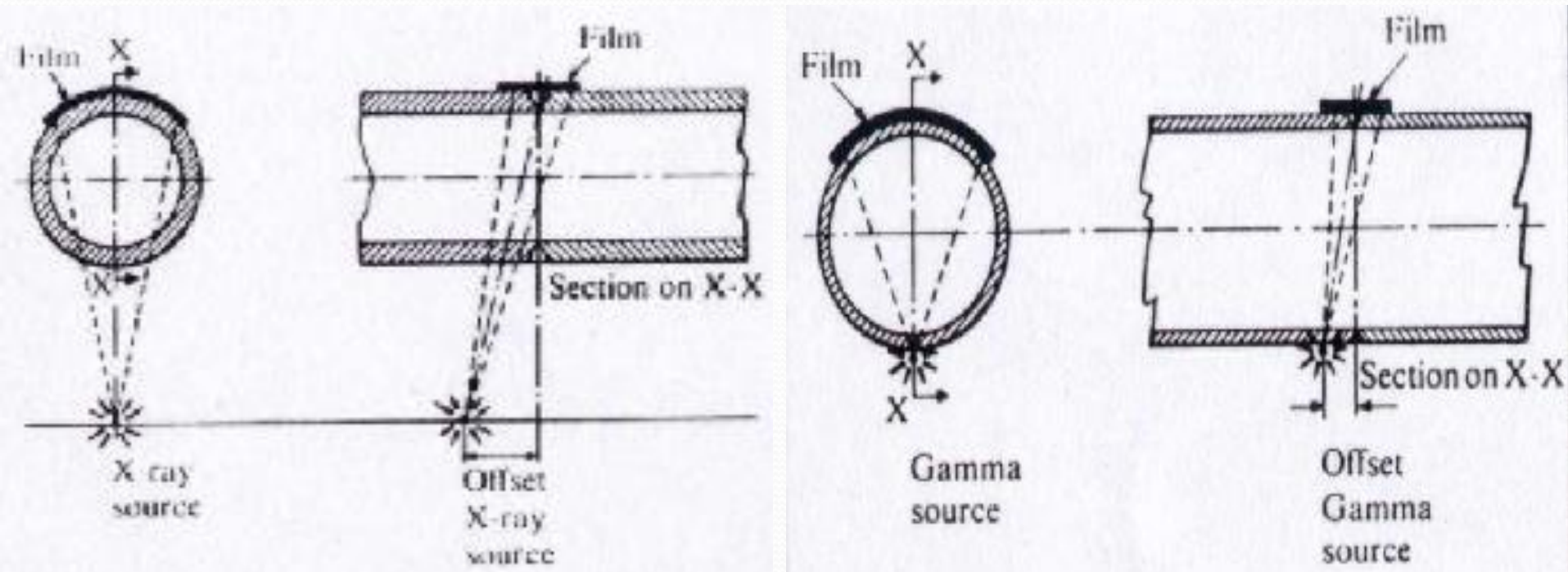
Técnicas Radiográficas

Pared Simple - Técnica de Imagen Doble



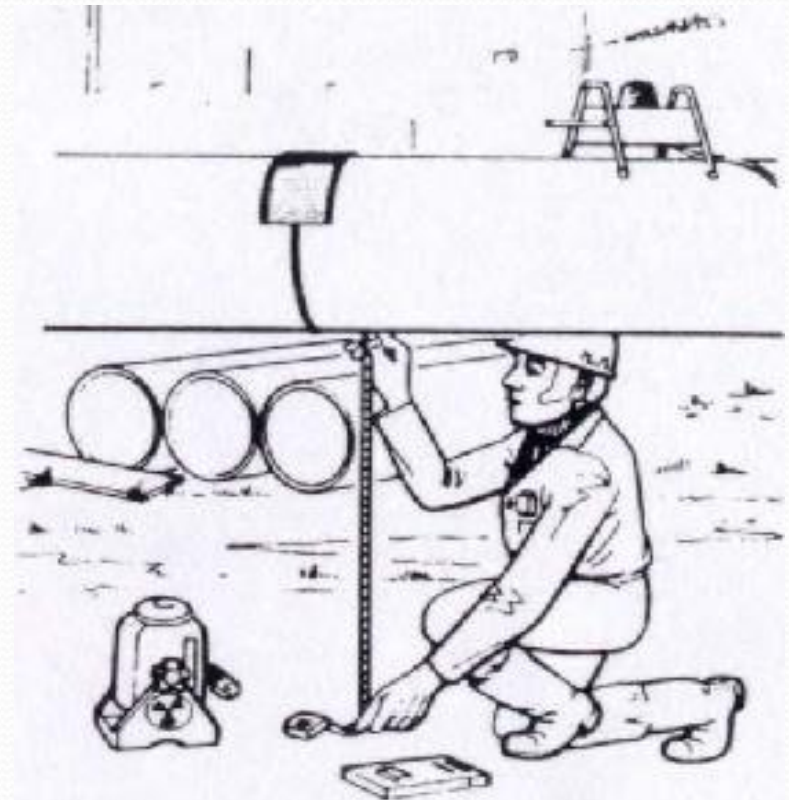
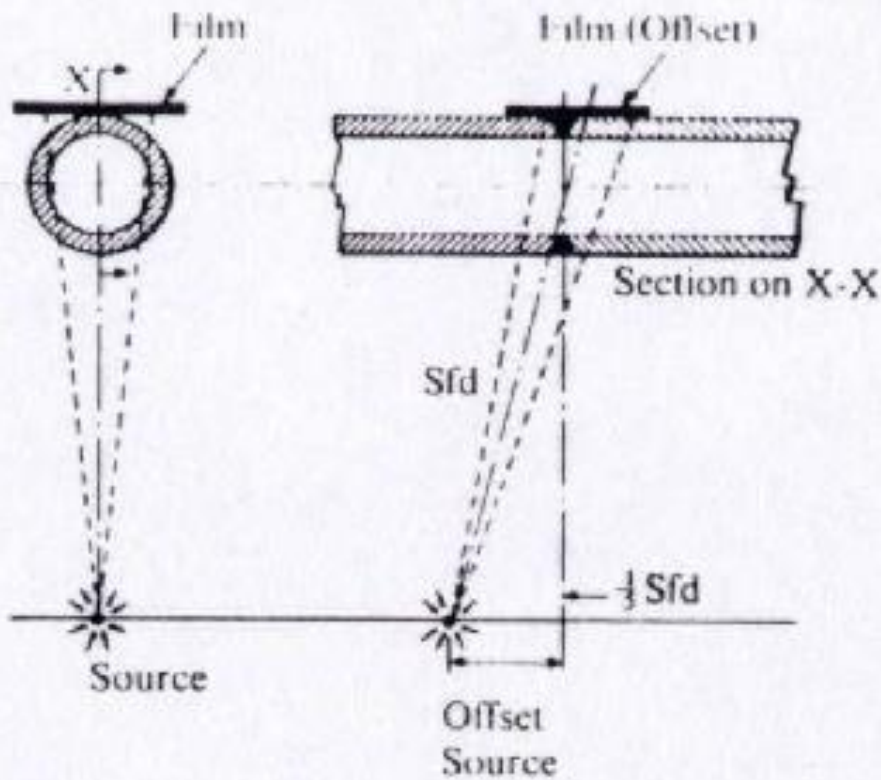
Técnicas Radiográficas

Doble Pared - Técnica de Imagen Simple



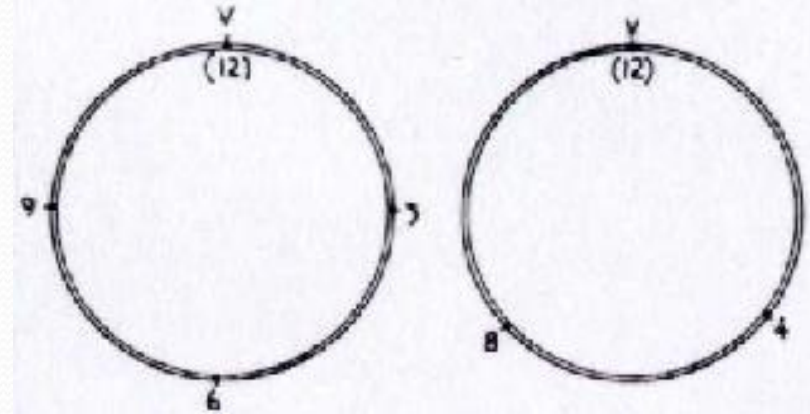
Técnicas Radiográficas

Doble Pared - Técnica de Imagen Doble

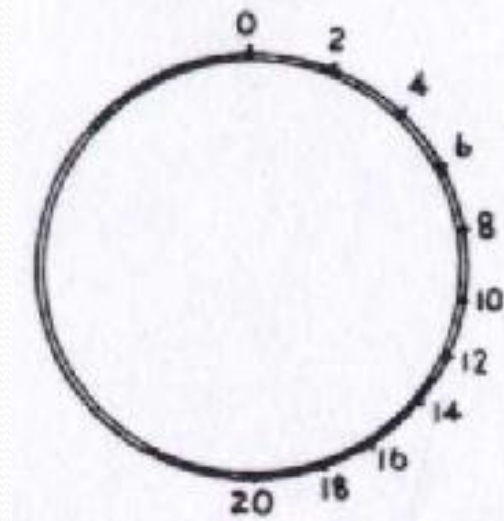


Métodos de marcado de las tuberías soldadas

- Método del reloj



- Método métrico



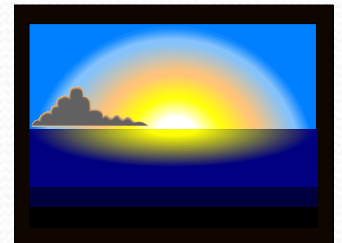
Ley del Inverso Cuadrado

“ Desde una fuente puntual de radiación, la intensidad de la energía de radiación emitida es directamente proporcional al inverso del cuadrado de la distancia a la fuente”

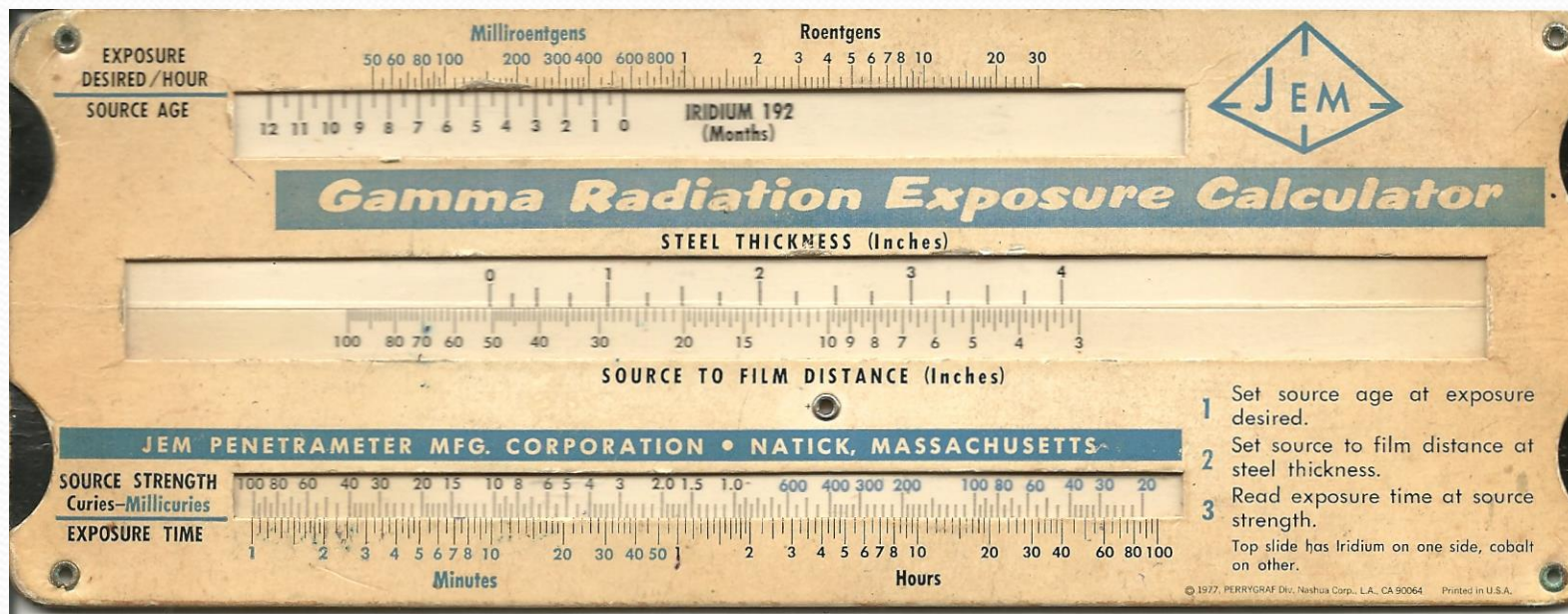
$$I_1 d_1^2 = I_2 d_2^2$$

Relación Tiempo - Distancia

$$t_2 = \frac{t_1 d_2^2}{d_1^2}$$



Regla de Cálculo de Tiempo de Exposición



Ejercicio:

Calcular el Tiempo de Exposición de una tubería de Acero al Carbono de diámetro de 12" y espesor de 0,5"

Calculo de Tiempo de Exposición

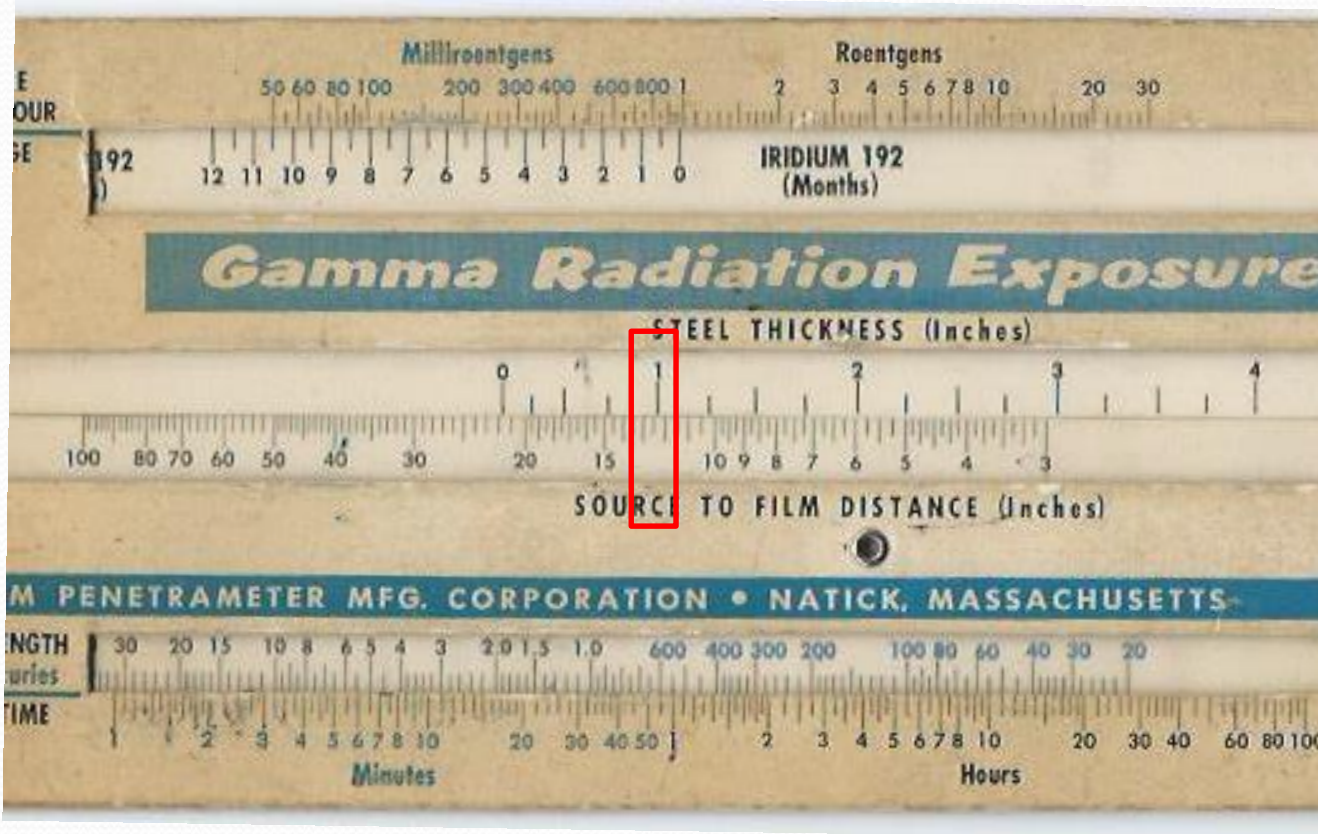
1. Seleccionar el Tipo de Película.

X-RAY FILM		EQUIVALENTS	APPROXIMATE FACTORS FOR 2.0 H & D DENSITY * SET AT EXPOSURE DESIRED			
			Cobalt 60	Cobalt 60	Iridium 192	Iridium 192
Special	Ultra Fine Grain High Resolving Power	Dupont NDT-45	10.6 R		3.95 R	
		GAF 100	19.0 R		14.0 R	
		Gevaert D-2	15.0 R		13.0 R	
		Kodak (dl) R	28.0 R		9.0 R	
I	Extra Fine Grain High Contrast	Dupont NDT-55	4.6 R		1.92 R	
		GAF 200	—		—	
		Gevaert D-4	6.0 R		3.2 R	
		Kodak M	12.9 R		4.5 R	
Inter- mediate		Dupont NDT-65	2.4 R		1.0 R	
		GAF 400	5.0 R		4.3 R	
		Gevaert D-5	3.5 R		1.5 R	
		Kodak T	5.8 R		2.34 R	
II	Fine Grain High Contrast	Dupont NDT-75	1.0 R		0.54 R	
		GAF 800	1.5 R		1.3 R	
		Gevaert D-7	2.0 R		0.9 R	
		Kodak AA	2.14 R		0.99 R	
III	High Speed	Dupont	—		—	
		GAF	—		—	
		Gevaert D-10	0.45 R		0.26 R	
		Kodak no-screen	0.34 R		0.18 R	

Película Clase II, Grano Fino Alto Contraste, Marca Kodak AA y obtenemos el Factor 0.99 R para una fuente de Iridio 192

Calculo de Tiempo de Exposición

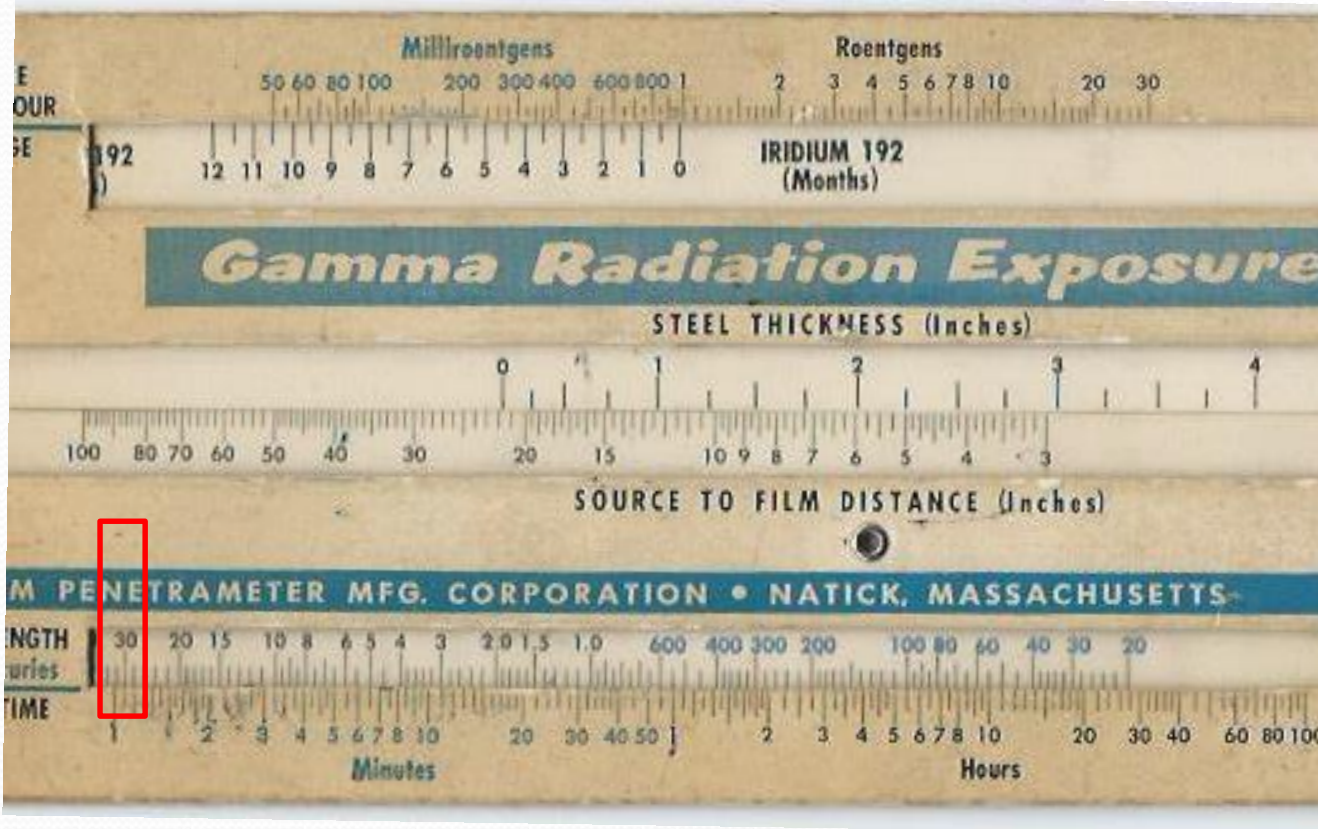
3. Seleccionamos el Espesor del Material y la distancia Fuente Película



- Empleando la técnica doble pared, el espesor del material es de 0,5” por tanto seleccionamos 1” de espesor.
- La distancia fuente película incluye diámetro externo y refuerzo de la soldadura.

Calculo de Tiempo de Exposición

4. Conociendo la Actividad de la Fuente obtenemos el tiempo de Exposición expresado en minutos.

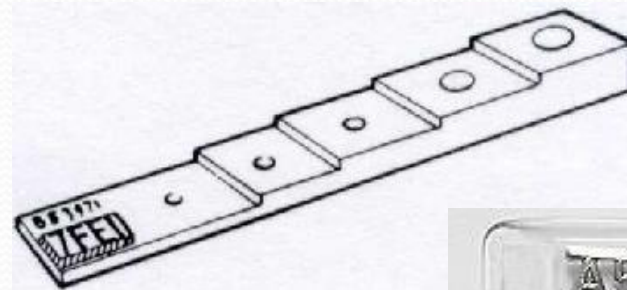


• Si contamos con una fuente de 30 Ci, tenemos un tiempo de exposición de 1 min con 5 segundos.

Indicadores de calidad de imagen o Penetrámetros

Los indicadores de Calidad de Imagen se emplean para conocer la calidad de imagen alcanzada en una radiografía en términos cuantitativos.

- Indicadores de escalerillas



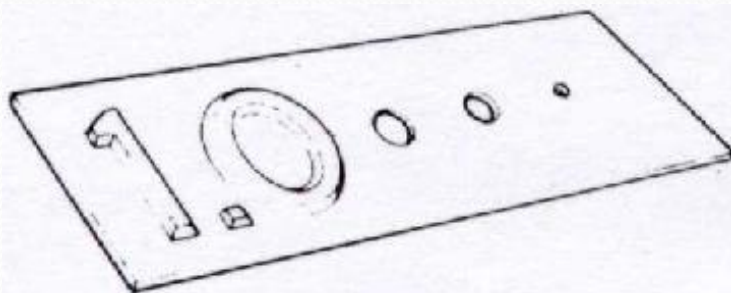
- Indicadores de hilos

Consiste en una serie de hilos delgados de diferentes diámetros. La sensibilidad de la película se evalúa por el número de hilo más delgado que todavía es visible.



Indicadores de calidad de imagen o penetrámetros

- Indicadores Americanos



Selección y Colocación de las Indicadores de Calidad de Imagen (hilos).

Los indicadores de calidad deben colocarse en la zona de interés del lado de la fuente radioactiva, de tal manera que el plano del indicador sea normal al haz de radiación. Cuando esto no es posible, el indicador se podrá colocar del lado de la película siempre y cuando se certifique mediante una prueba, que la sensibilidad de la imagen no es afectada.

La selección del indicador se hará con base en el espesor radiografiado y en la colocación del mismo, de acuerdo a la tablas:

TABLE T-276
IQI SELECTION

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

TABLE T-233.2
WIRE IQI DESIGNATION, WIRE DIAMETER,
AND WIRE IDENTITY

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

Cuestionario RT Sexta Lección

1. ¿Cuáles son los factores que afectan o presenta distorsión y que pueden ser controlados?
2. ¿Cuál es la fórmula de penumbra geométrica por el código ASME?
3. ¿Cuáles son las técnicas de exposición que usted conoce?
4. ¿Qué conoce como exposición panorámica? Explique
5. ¿Qué conoce usted por IQI o penetrómetro?
6. ¿Cómo se calcula un tiempo de exposición? Explique
7. ¿Para qué se usa la fórmula ? Explique
8. ¿Para qué se usa la fórmula ? Explique
9. En la regla de cálculo se necesita conocer varios datos previos, ¿Cuáles son?
10. ¿Cuántos tipos de ICI o IQI conoce usted?



Proceso de Revelado

Capitulo VII



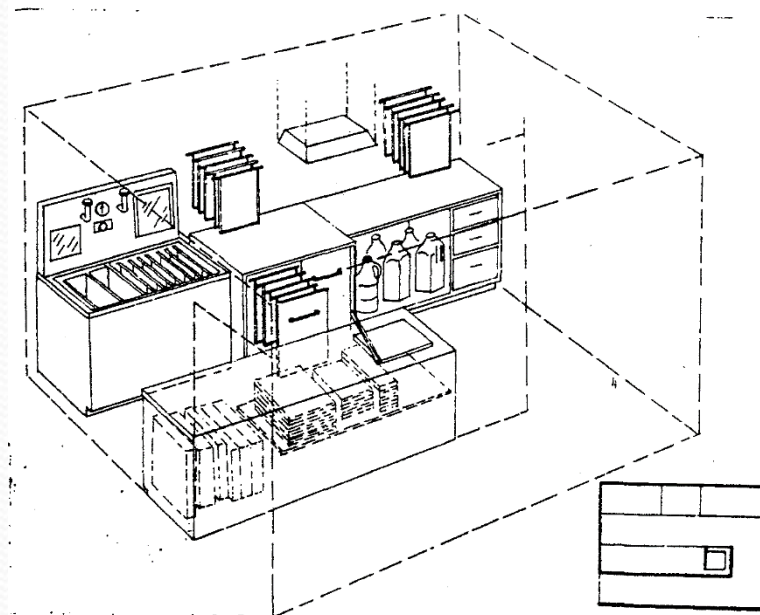
Dictado por: Ramón Rivero
Realizado por: Michelin Tavera

Proceso de Revelado

Cuarto Oscuro: Es el área destinada para el manejo y procesado de la película. Dicha zona se divide comúnmente en dos áreas; una seca, donde se realiza el manejo de la película seca y una húmeda en donde se lleva acabo el proceso de revelado. Las paredes deben estar pintadas con colores claros que reflejen la luz de seguridad y una ventilación adecuada que evite la saturación de la atmósfera con los vapores de los químicos que pueda ser perjudicial para el personal.

Equipos Mínimos de un Cuarto Oscuro

1. Luz de Seguridad: de color roja o ámbar
2. Mesa de Carga:
3. Cizalla
4. Tanques de revelado, Fijado y Enjuague
5. Cronómetro
6. Termómetro
7. Ganchos
8. Carretes de Revelado



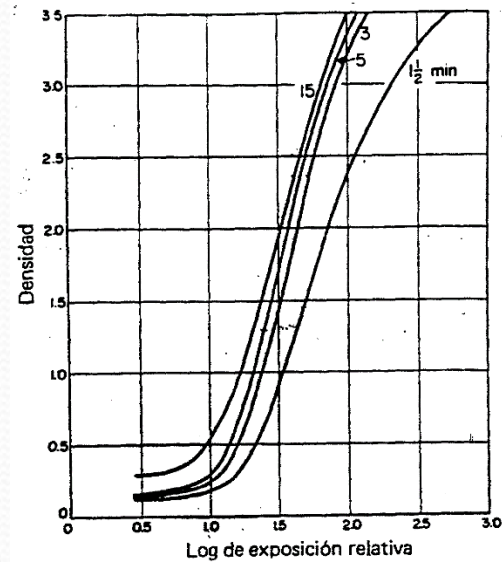
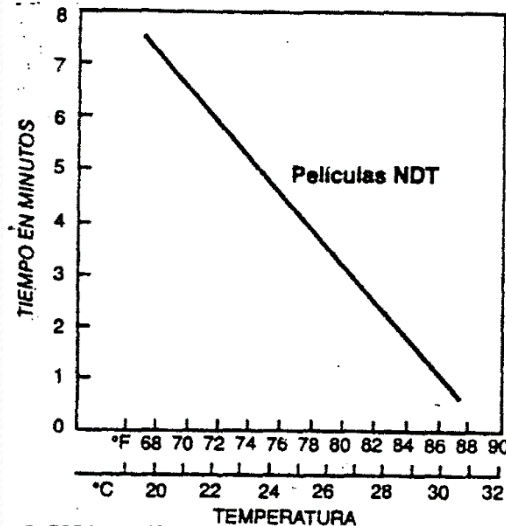
Procesado de la Película Radiográfica Industrial

- El cuarto Oscuro
- Luz de Seguridad
- Instalación del cuarto oscuro
- Armar los cassettes
- Los tanques
- Preparación de los baños
- Revelado
- Limpieza de los tanques
- Control del proceso de exposición y procesamiento de las películas
- Almacenamiento
- Apreciación
- Restauración de películas amarillentas

Proceso de Revelado

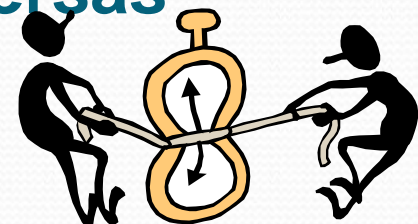
Se denomina revelado al proceso químico mediante el cual se transforma la imagen latente en visible, esto se logra por medio de la descomposición del halogenuro de plata ionizado en plata metálica.

Baño Revelador: En este paso, los haluros de plata van a reaccionar a diferentes velocidades dependiendo de la forma en que hayan sido ionizados por la radiación. Los agentes reveladores pueden ser la hidroquinona o la fenidona, los cuales tienen la propiedad de convertir en plata metálica a los haluros de plata que han sido sensibilizados por la radiación y que reacciona lentamente con los granos de haluros de plata que no hayan sido expuestos. El tiempo recomendado es de 5 a 8 minutos, para un revelador comercial, a una temperatura de 20 grados C.



Proceso de Revelado

Tiempos de Revelado para diversas Temperaturas



Temperatura (°C)	Tiempo (minutos)
18	6
20	5
22	4
24	3.1/2
26	3
28	2.1/2
30	2

Baño Acido: Al sacar la película del revelador, una pequeña cantidad de solución alcalina se conserva sobre ésta, por lo que antes de pasarla al fijador que es de carácter ácido se deberá sumergir durante 30 ó 60 segundos en un baño ácido, también conocido como baño de parada, cuya función es la neutralización química de los agentes alcalinos y detener rápidamente la acción del revelador que ha impregnado la gelatina. El baño ácido es una solución que se prepara con ácido acético glacial y agua.

Si la película no es tratada con al baño ácido, deberá ser lavada inmediatamente después del revelado durante tres minutos en agua corriente circulante. La plata que fue sensibilizada por la radiación se ha convertido en plata metálica negra, pero siguen presentes los haluros de plata no afectados por la radiación.

Baño Fijador: es una solución acuosa que tiene por función principal eliminar la plata no metálica y endurecer la gelatina. El agente fijador disuelve y elimina a los haluros de plata no revelados, lo cual ocasiona que la película pierda su aspecto lechoso quedando clara y traslucida, dejando únicamente la imagen negra producida por la plata metálica. Los agentes fijadores más empleados son el hiposulfito de sodio y el hiposulfito de amonio, a los cuales se les denomina comúnmente como “hipo”. A este paso se le conoce como aclarado de la imagen y sucede dentro de los primeros minutos del proceso de fijado de la misma.

Una regla práctica del proceso de revelado establece que la película debe permanecer en el baño fijador un tiempo igual a dos veces el tiempo de revelado, si bien algunos otros procedimientos indican que el tiempo de fijado debe ser igual a dos veces, el tiempo de “aclarado”. Lo mas conveniente es emplear la primera regla, ya que el tiempo siempre será constante y no requiere de sacar la película de los baños de fijado.

Lavado: Después del fijado, la película debe recibir un lavado para eliminar los componentes del fijador. El enjuague se efectúa de preferencia en agua corriente, debiendo cuidarse que toda la película sea perfectamente lavada durante un tiempo que dependerá de la temperatura del agua.

Temperatura	Tiempo
5 - 10 grados C	30 minutos
13 - 25 grados C	20 minutos
26 - 30 grados C	15 minutos

Solución Humectante: Debido a la tensión superficial que presenta el agua en la superficie de la película se forman gotas, las que provocaran que el secado no sea uniforme, creándose manchas sobre la película. Es por ello recomendable que después del lavado se sumerjan las películas durante dos minutos una solución acuosa con una concentración del 5 al 10% de agente humectante (5-10 ml de agente humectante por cada litro de agua).

Secado: El último paso del procesado de la película es secado, el cual debe hacerse preferentemente en una secadora; caso de no contar con ella, éste se real izara en un cuarto armario seco libre de polvo en donde exista una suave corriente aire que permita el secado uniforme de la película; ya que secado no uniforme de la misma producir. deformación del acetato.

Proceso de Revelado Automático: Cuando el volumen de películas a revelar sea muy alto, es conveniente utilizar un proceso automático en el cual el tiempo de revelado se reduce de 40 a 7 ó 14 minutos, que es comparativamente muchos ms bajo que el tiempo usado en el procesamiento manual.

Ventajas

- Mayor rapidez en el procesamiento.
- Economía debido al volumen de películas.
- Uniformidad de revelado en las películas.
- Limpieza en las películas.
- Limpieza en el cuarto oscuro.
- Ahorro de espacio.



Limitaciones

- Fallas en el sistema del control de la temperatura de los reactivos.
- Atoramiento de las películas en los rodillos.
- Fallas en la bomba que alimenta revelador nuevo al sistema.
- Adhesión de las películas a los rodillos del secador.
- Mala operación de la bomba que alimenta el fijador al sistema.
- Marcas de presión en las películas por desajustes de los rodillos.
- Requiere de energía eléctrica para su operación.

Cuestionario RT Séptima Lección

1. ¿Cómo tiene que ser un cuarto oscuro o laboratorio para procesar las películas?
2. ¿Cuáles son los equipos mínimos requeridos para un cuarto oscuro?
3. ¿Cómo es el proceso de revelado manual? Explique sus pasos y tiempos
4. ¿Cómo es el proceso de revelado automático? Explique
5. ¿Qué función cumple el revelador y que tiempo se usa para revelar un film a 20°C?
6. ¿Qué función cumple el baño de parada o baño intermedio?
7. ¿Qué función cumple el fijado?
8. ¿Qué función cumple el lavado final?
9. ¿Qué solución se coloca al lavado final y para qué se usa?
10. ¿Para qué se agita una película en el proceso de revelado manual cuando pasa por el revelado?



Interpretación y Evaluación Radiográfica Capitulo VIII



Dictado por: Ramón Rivero
Realizado por: Michelin Tavera

Interpretación y Evaluación Radiográfica

Interpretación: Es la determinación del tipo de discontinuidad que ha provocado la indicación y la predicción del posible origen de la misma.

Evaluación: Es la ponderación de la severidad de la discontinuidad después de que la indicación se ha interpretado; o sea, si la pieza debe ser aceptada, reparada o rechazada. Durante el proceso de evaluación de una indicación se pueden plantear cuatro interrogantes:

- a. ¿Qué tipo de discontinuidad causa la indicación?
- b. ¿Cuál es la extensión de la discontinuidad?
- c. ¿Qué efecto tiene la discontinuidad en la calidad de la pieza?
- d. ¿Cuales son las tolerancias dimensionales establecidas por el documento para la indicación?

Con base en las respuestas a estas preguntas es posible determinar si la pieza se acepta o se rechaza.

Sensibilidad.

Para la inspección por radiografía, se puede definir que la sensibilidad es la capacidad de la imagen para definir claramente discontinuidades que tienen una cierta dimensión establecida por un código, norma o especificación.

Interpretación y Evaluación Radiográfica

Equipo de Interpretación Radiográfica.

En la actualidad existen varios métodos para la interpretación de las películas radiográficas por medios electrónicos; el mas empleado sigue siendo la observación directa de la radiografía, la cual se realiza mediante la ayuda del equipo de interpretación que esta compuesto por:

a. Densitómetro.

b. Patrón de densidades

c. Negatoscopio



Interpretación y Evaluación Radiográfica

■ Defecto – Discontinuidad (Definición).

Una indicación se puede definir como una evidencia detectada por un END.

Cualquier indicación encontrada por inspección se puede llamar “Discontinuidad”, (definida como una falta de cohesión, una interrupción en la estructura física normal de un material ó producto), hasta que se pueda caracterizar y evaluar el efecto que esta pueda tener sobre la pieza en servicio.

Si de acuerdo a esta evaluación esta discontinuidad es inaceptable con respecto un criterio a una especificación, norma o código, entonces será un “Defecto”, si por el contrario, si dicha discontinuidad no afecta el rendimiento de la pieza durante el servicio al que se destina la pieza, entonces seguirá siendo una discontinuidad.

■ Tipos de Indicaciones.

- Relevantes
- No Relevantes
- Falsas

Interpretación y Evaluación Radiográfica

■ Indicaciones Relevantes.

Indicaciones provenientes de fallas lo suficientemente serias como para afectar el servicio de la pieza.

■ Indicaciones No Relevantes.

Son indicaciones provenientes de discontinuidades que no afectarían la aptitud para el servicio de la pieza. Pueden ser provenientes de la misma geometría de la pieza ó de pequeñas fallas de calidad que no representan peligro para el buen funcionamiento de la misma.

■ Indicaciones Falsas.

Indicaciones registradas por END, causadas por interferencia eléctrica o electrónicas, superficies rugosas, sobremontas de soldadura, etc.

Interpretación y Evaluación Radiográfica

■ Tipos de Discontinuidades.

Tipos de Discontinuidades					
Inherentes a la Colada Original		De Proceso			De Servicio
Lingote	De Fundición	Primarios		Secundarios	Tensiones Fatiga Corrosión
		Forjados	Laminados	Maquinado Soldadura Trat. Térmico	
<ul style="list-style-type: none"> ■ Inclusiones No Metálicas ■ Inclusiones gaseosas ■ Contracciones ■ Segregaciones 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Pliegues en Frío ■ Cavidades ■ Rechupes ■ Porosidad ■ Inclusiones 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Pliegues ■ Laminaciones ■ Estallidos ■ Fisuras 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Cordones ■ Laminaciones ■ Costuras 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Desgarres. ■ Fisuras. ■ Grietas. ■ Porosidades. ■ Defectos de soldadura 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Fisuras ■ Agrietamiento ■ Picaduras.

Discontinuidades Inherentes a la colada

■ Discontinuidades de Primera y Segunda Fusión en Lingotera.

□ Inclusiones No Metálicas

- Inclusiones microscópicas ($\approx 300\mu$) de compuestos de desoxidación y desulfuración, mezclas de refractarios fundidos. Son inevitables en los aceros y no son consideradas defectos
- Marcas o inclusiones de Arena.

□ Inclusiones Gaseosas.

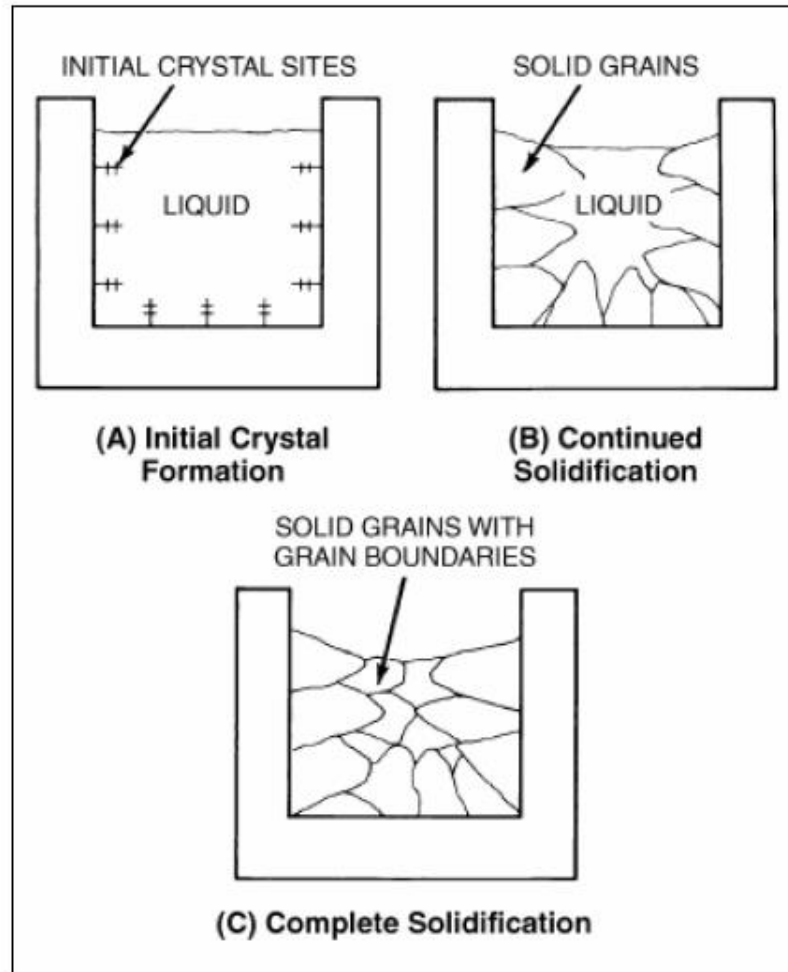
- Porosidad y Sopladuras (Gas insoluble en metal fundido + herrumbre)
- Rechupes y rechupes secundarios
- Cavidad en la línea central del lingote

□ Contracciones

□ Segregaciones.

- Distribución de uno o mas elementos de la aleación que no se han difundido uniformemente a través del lingote concentrándose en áreas determinadas.
- Fisuras por enfriamiento rápido, Fisuras Longitudinales, Fisuras Transversales, Fisura de Hanger o de Mazarota.
- Fantasmas. (Desfosforización y desulfurización insuficiente)

Discontinuidades Inherentes a la colada



Discontinuidades Inherentes al Proceso de Fundición

■ Discontinuidades Inherentes al Proceso de Fundición

□ Pliegues en Frío.

- Solapado o Pliegues en Frío. Flujo procedente de diferentes canales de alimentación tienen oxido ó se unen por debajo de la Temp. de Fusión.
- Gotas Frías. Turbulencia por rapidez excesiva en la colada.
- Desgarramiento en Caliente. Fisura por contracción desigual en secciones delgadas – gruesas.
- Segregación

□ Cavidades.

■ Cavidades de Contracción

- Rechupes y Micro-rechupes. Confinamiento de una masa de metal fundido en el interior de una pieza ya solidificada superficialmente

■ Cavidades de Gas

- Huecos. Mal diseño de moldes no permiten el escape de gases.
- Sopladuras. Producida por agua en la arena de moldeo, forma vermicular.
- Poros y Micro-poros. Enfriamiento generalizado de gas interdendritico.

□ Inclusiones.

Heterogeneidades que no se unen con el metal y que están incluidas en el.

- Hojuelas. Láminas metálicas, soldadas en otro lugar de la pieza.
- Mordeduras. Entallas superficiales.

Discontinuidades de Proceso de Fabricación

■ Discontinuidades De Proceso.

□ Rolado o Laminado.

- Cordones o Cintas. Discontinuidades alargadas, formadas por compresión de inclusiones o poros cuando se rola una palanquilla.
- Laminaciones. Alargamiento y aplanado de discontinuidades internas o externas de lingotes (inclusiones, rechupes, poros).
- Costuras. Estiramiento y deformación de grietas superficiales del planchon.

□ Maquinado

- Desgarramiento de Maquinado. Cuchillas sin afilar + posición de cuchillas.
- Imperfecciones Superficiales. Rugosidad microscópica, ↓ refrigerante.
- Herrumbre. Aceite de corte ó tratamiento anticorrosivo inadecuado

□ Amolado

- Grietas y Fisuras de Amolado. Mal uso de la herramienta, refrigeración.

□ Tratamiento Térmico

- Agrietamiento. Inmersión inadecuada de la pieza en el medio de temple.
- Fisuras de Templado. Geometría inadecuada + ↑ Vel. de enfriamiento.
- Rotura Diferida. ↑ tensiones residuales luego del Trat. térmico
- Hojuelas (Flakes). Zona de segregación + ↑ Presión de hidrógeno.

Discontinuidades de Proceso de Fabricación

■ Discontinuidades De Proceso.

□ Forjado

- **Pliegues de Forja.** Pliegue del metal (plancha) sobre la superf. de la pieza.
- **Solapado** Falla de proceso de forja (Pasos, excesiva penetración, material)
- **Ondulaciones Superficiales** Penetración excesiva, redondez inadecuada.
- **Laminaciones.** Discontinuidades aplanadas.
- **Estallidos o reventones de forja.** Ruptura por temperatura inapropiada.
- **Fisuras**
 - **De Forja.** Excesiva penetración a baja temperatura y baja plasticidad.
 - **Por Calentamiento Rápido.** Producido por tensiones + calentamiento localizado
 - **Por Corte de llama.** Material no homogéneo, manejo de calor inadecuado.
- **Sobrecalentamiento.** Fisura intergranular por oxidación y quemado.
- **Descarburización** Reducción superficial de carbono por sobrecalentamien.
- **Manchas.** Estructura o dureza desigual después del Trat. Térmico.
- **Arrollamiento.** Estiramiento y enrollado por calentamiento desigual
- **Combado.** Deformación por tensiones residuales después del trat. térmico.
- **Picado de Escamas.** Desprendimiento superficial de conchas + fisuras
- **Escarpado.** Desprendimiento por presencia de impurezas: Cu, Sb, S, etc.

Discontinuidades de Proceso de Soldadura

- Discontinuidades Superficiales (Soldadura).
 - Exceso de Penetración
 - Falta de Penetración (LOP)
 - Traslape (Overlap)
 - Concavidad Externa ó Falta de Relleno (Underfill).
 - Concavidad Interna (Underfill)
 - Socavaduras o Mordeduras de Borde (Undercut)
 - Quemadura (Burn Trough)
 - Desalineaciones (High-Low)
 - Salpicaduras (Spattering)
 - Golpes de Arco (Arc Strikes)
 - Falta de Continuidad de Cordón
 - Erosiones y Huellas
 - Exceso de Rebajado
 - Huellas de amolado
 - Huellas de mecanizado
 - Martillazos y Golpes
 - Restos de Electrodo.

Discontinuidades de Proceso de Soldadura

■ Discontinuidades Externas - Internas (Soldadura).

□ Falta de Fusión

- En el bisel
- En la raíz (Talón) \leftrightarrow (High – Low + Falta de Penetración)
- Entre pases

□ Inclusiones Gaseosas (Porosidades)

- Porosidad esférica dispersa ó aislada. (Scattered Porosity)
- Porosidad agrupada (nido de poros) (Cluster)
- Porosidad alineada (Piping Porosity)

□ Grietas Longitudinales

□ Grietas Transversales

- Agrietamiento en caliente
- Agrietamiento en frío

□ Grietas de Interrupción – Arranque (Grietas de cráter o en estrella)

□ Grietas Fuera del Cordón (ZAC)

- Agrietamiento en frío

Discontinuidades de Proceso de Soldadura

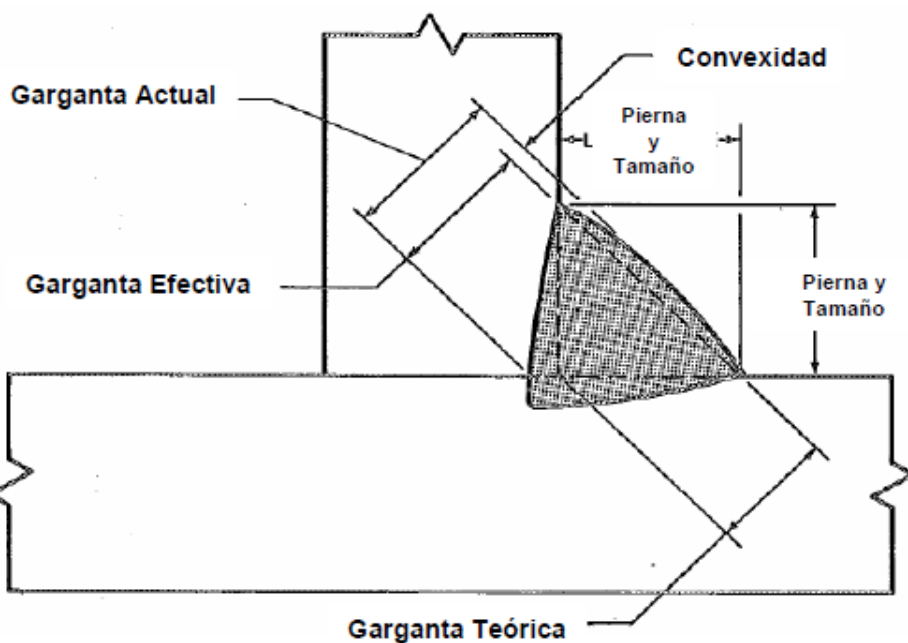
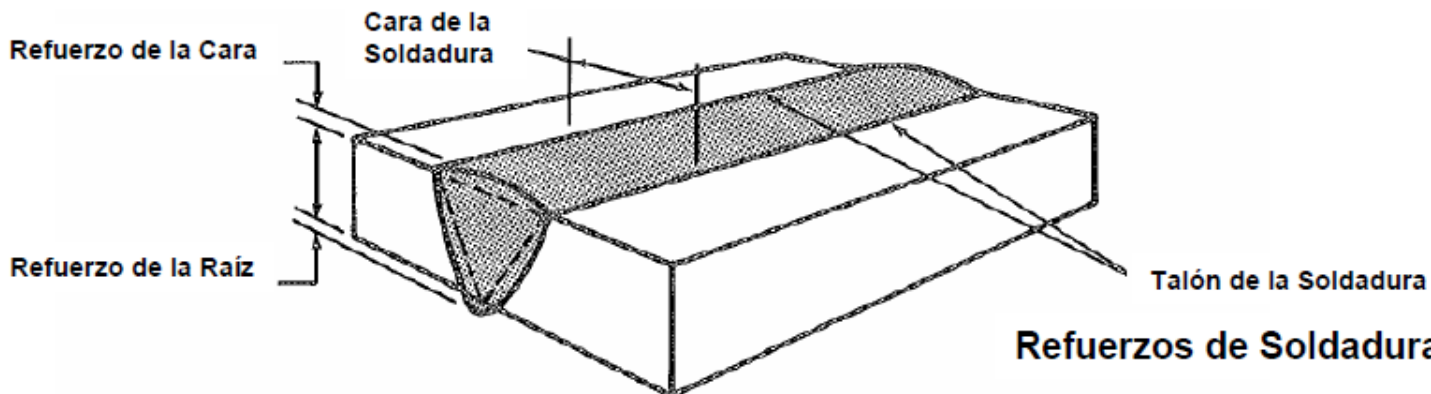
■ Discontinuidades Internas

- Grietas Fuera del Cordón de Soldadura
 - Desgarre Laminar (Lamellar Tear)
- Inclusiones Gaseosas
 - Porosidad Alargada (Vermicular)
- Inclusiones No Metálicas.
 - Escoria Aislada
 - Escoria Alineada
 - Líneas de Escoria (Huellas de Carreta)
 - Escoria en el Interior de Perforaciones
- Inclusiones Metálicas Aisladas (Inclusiones de Tungsteno).

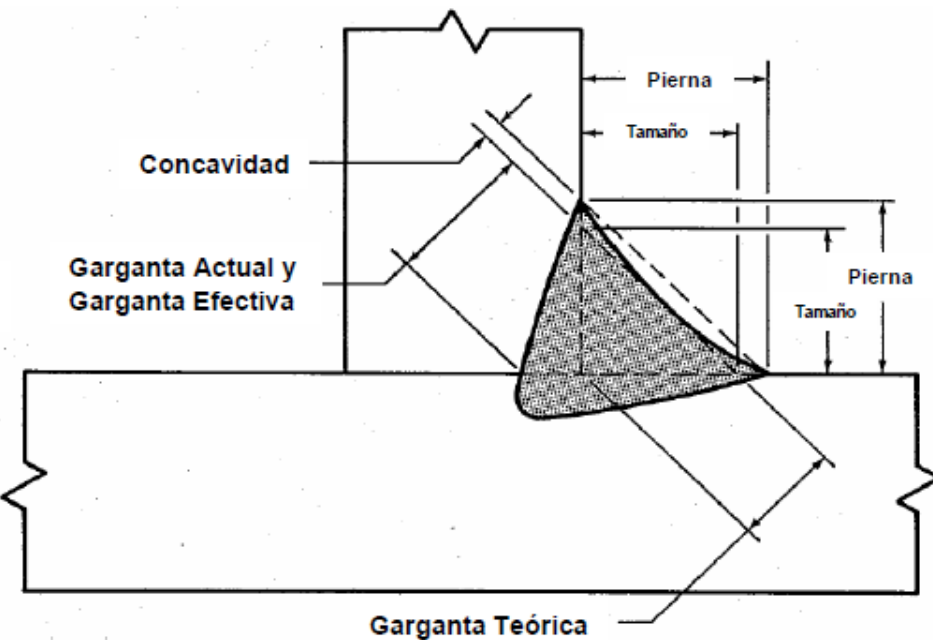
■ ASME Sección VIII. Apéndice 4. Mandatorio.

- Carta estándar de aceptación para indicaciones redondeadas, determinadas Radiográficamente en soldaduras.

Terminología de Soldadura



Soldadura a Filete - Convexa



Soldadura a Filete - Cóncava

Discontinuidades Superficiales en Soldadura

Exceso de Penetración.

Se produce por efecto de movimiento que causa la penetración del electrodo entre los biseles. Produce una chorreadura interna en el material que puede o no retener escoria en su interior.

La imagen radiográfica da una densidad mas clara en el centro del ancho de la imagen, ya sea extendida a lo largo de la soldadura o en gotas circulares aisladas, pudiendo presentar en su interior una mancha deforme negra.



ASME Sección VIII - Div 1 (UW-35,d)

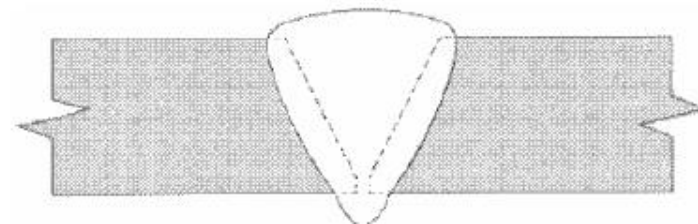
Espesor de Pared	Max. altura
1/16" a 3/32"	1/32"
>3/32" a 3/16"	1/16"
>3/16" a 1/2"	5/32"
>1/2" a 1"	3/16"
>1" a 2"	1/8"
>2" a 3"	5/32"
>3" a 4"	7/32"
>5"	5/16"

ASME B31.3 (Tabla 341.3.2)

Espesor de Pared	Altura Máxima
<1/4"	1/16"
>1/4" a 1/2"	1/8"
>1/2" a 1"	5/32"
Mayor a 1"	3/16"

API 1104

No Cubierto por la Norma

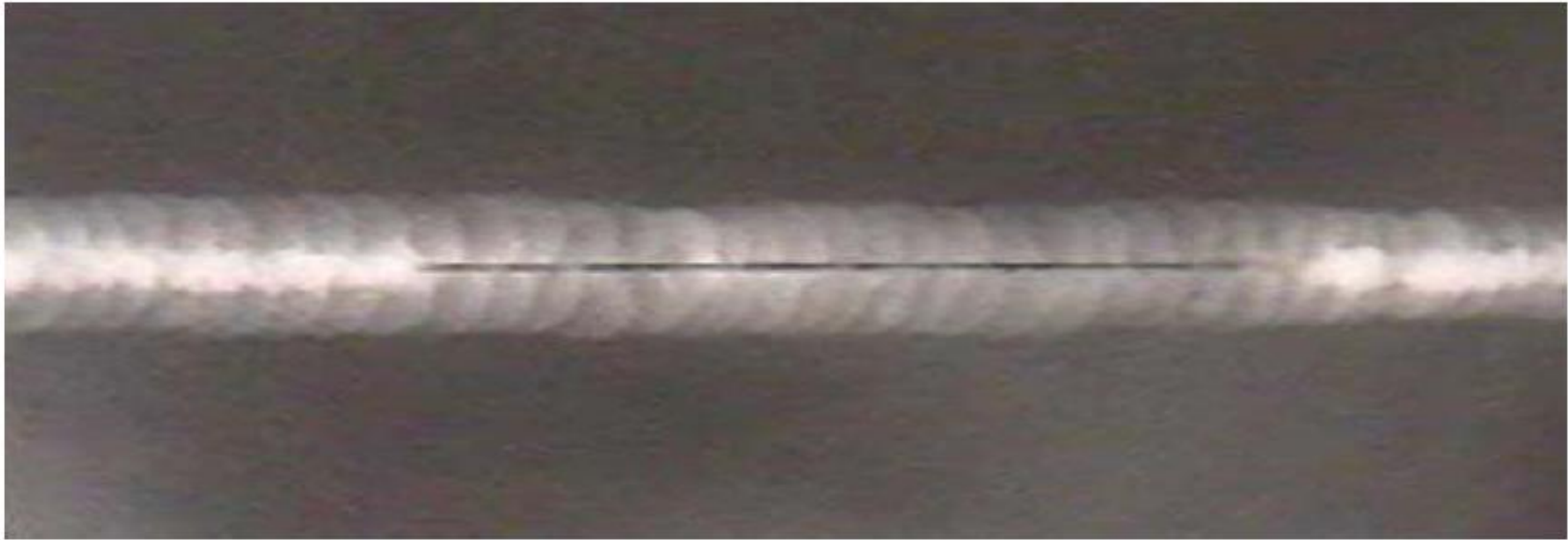


Discontinuidades Superficiales en Soldadura

Falta de Penetración.

Es una falta de relleno de la raíz con metal de aporte, por lo general se genera por una separación muy pequeña de los biseles en la raíz, uso de electrodos muy gruesos, corriente insuficiente, excesiva velocidad de pase ó penetración incorrecta de soldadura.

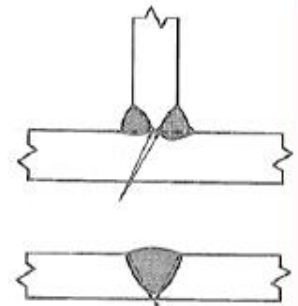
Radiográficamente se presenta como una línea oscura, firmemente cargada, gruesa y negra, continua o intermitente, interrumpiendo la continuidad del cordón del primer pase.



ASME Sección VIII - Div 1
No Permitido (UW-51,b,1)

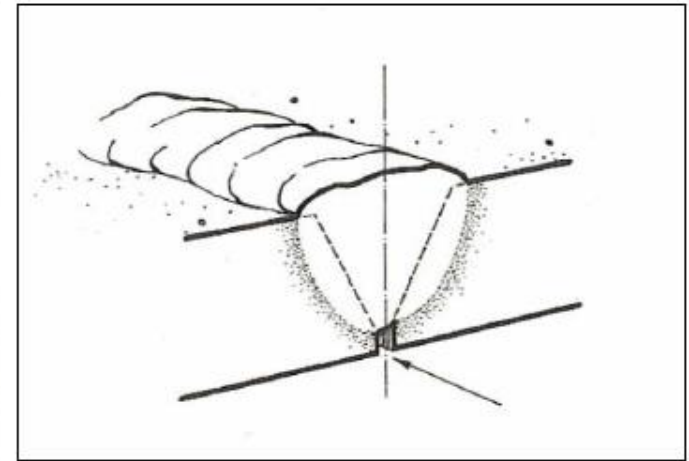
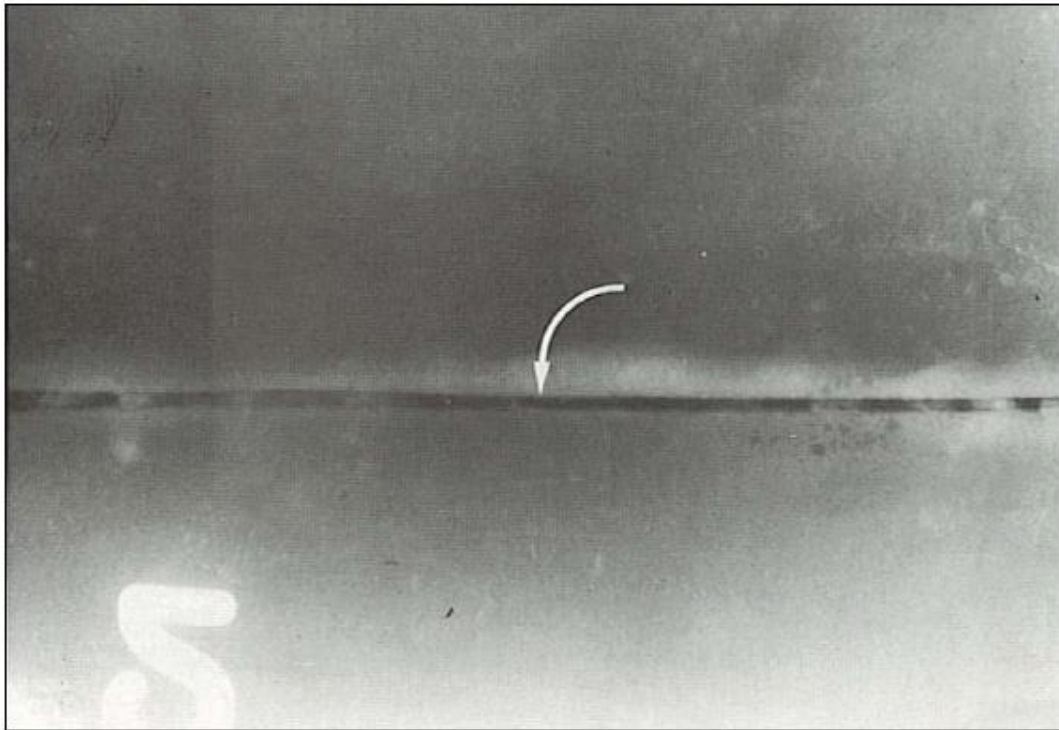
ASME B31.3 Condiciones Cíclicas Severas
No Permitido (Tabla 341.3.2)

ASME B31.3 Servicio Normal de Fluido
Profundidad Máxima de 1/32" o 20% del espesor de pared, cualquiera que sea menor. Máxima longitud de 1 1/2" en 6" de soldadura. No Permitido para Juntas longitudinales (Ver Nota 2 Tabla 341.3.2)(Tabla 341.3.2)



Discontinuidades Superficiales en Soldadura

Falta de Penetración



API 1104

Máximo 1" en 12" de soldadura o el 8% de la longitud de soldadura si es menor de 12" (9.3.1)

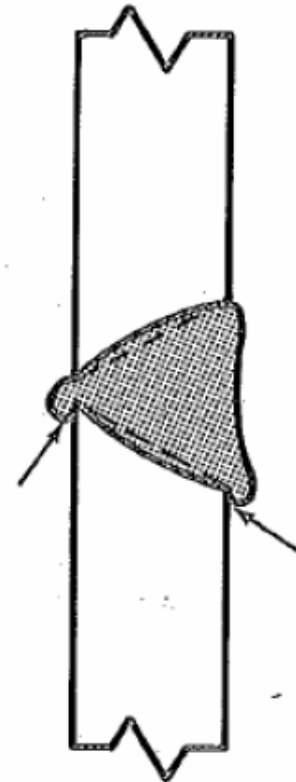
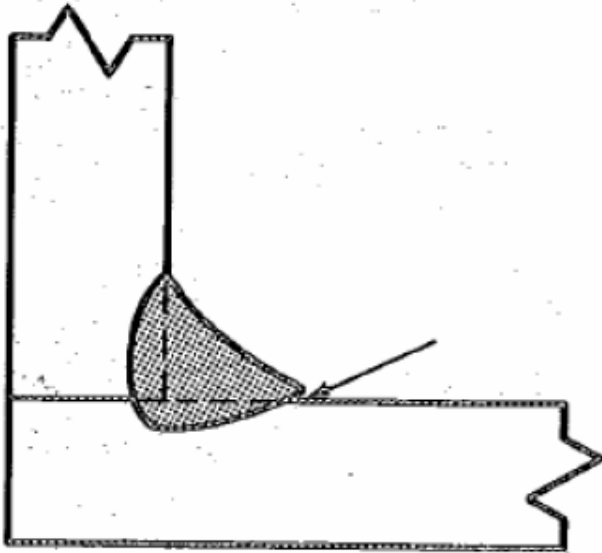
Para penetración inadecuada entre pases: Máximo 2". Acumulado: 2" en 12" de soldadura continua (9.3.3)

Discontinuidades Superficiales en Soldadura

Traslape (Overlap).

Es la proyección del metal de aporte mas allá del talón, de la raíz de la soldadura o de los bordes del bisel. Ocurre por falta de control de los parámetros de soldadura, mala selección del metal de aporte ó por preparación impropia de los materiales antes de la soldadura.

Si hay capas de oxido firmemente adheridos al metal base, estas pueden interferir con la fusión, produciéndose el traslape en la soldadura.



Discontinuidades Superficiales en Soldadura

Concavidad Externa ó Falta de Relleno (Underfill).

Posee una disminución de refuerzo externo, ocasionado por la falta de deposición de material de aporte en el refuerzo del cordón.

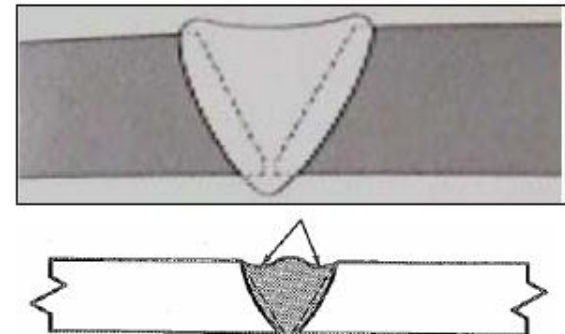
La imagen radiografía muestra una densidad de la soldadura mas oscura, que la densidad de las piezas a soldarse, la cual se extiende a través del ancho completo de la imagen



ASME Sección VIII - Div 1 (UW-35.d)
Concavidad suave y contorneada es permitida si igual refuerzo es provisto.

ASME B31.3 (Tabla 341.3.2)
No debe reducir el espesor total de la junta, incluyendo el refuerzo, a menos del menor espesor de los materiales unidos. Total espesor de la Junta incluyendo el refuerzo $\geq t$

API 1104 (Secc. 9.3.6)
La densidad de la película de cualquier área excediendo la densidad del menor espesor del metal base adyacente es inaceptable.



Discontinuidades Superficiales en Soldadura

Concavidad Interna (Underfill).

Es insuficiente refuerzo interno de la soldadura en el cordón del primer pase, el cual al enfriarse disminuye su espesor pasando a ser menor que el del material base.



ASME Sección VIII - Div 1

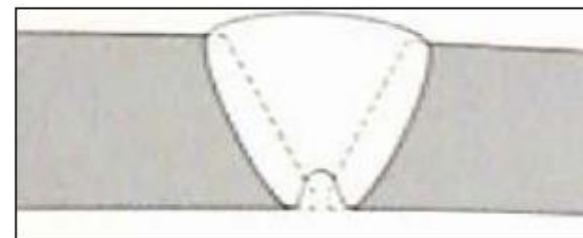
Concavidades con contorno suave son permitida si se provee un refuerzo igual. (UW-35.d)

ASME B31.3 (Tabla 341.3.2)

El espesor total de la junta incluyendo el refuerzo, no debe ser menor al menor espesor de los componentes que se estén uniendo. El espesor Total de la junta incluido el refuerzo $\geq t$

API 1104 (Secc. 9.3.6)

La densidad de cualquier área que exceda la densidad del metal base adyacente mas delgado es inaceptable.



Discontinuidades Superficiales en Soldadura

Socavadura Interna o Mordeduras de Borde Interna (Internal Root Undercut).

Es una ranura fundida en el metal base, adyacente a la raíz de la soldadura o a la sobremonta, que no fue rellenada por el metal de aporte.

Son provocadas por la generación de un arco incorrecto (Exceso de corriente o exceso de longitud), puede producirse del lado de la raíz o primer pase. Otras causas probables del defecto son: el uso de electrodos húmedos.

La imagen radiográfica muestra una imagen continua no muy oscura circundante al cordón del primer pase.



ASME Sección VIII - Div 1.

(UW-35(a) y (b)(1) y (2))

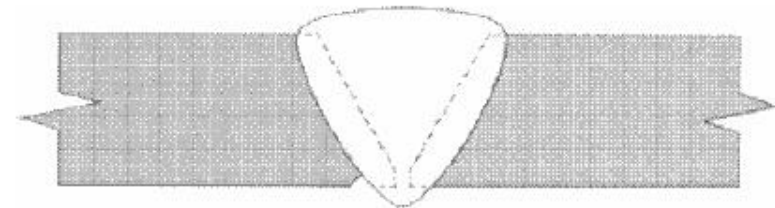
La soldadura debe estar libre de ondas toscas, ranuras, sobrepases abruptos valles etc. Cualquier reducción de espesor debido a la soldadura no debe exceder el menor de 1/32" o 10% del espesor de pared adjunto.

ASME B31.3 Condiciones Cíclicas Severas

No permitido. (Tabla 341.3.2)

ASME B31.3 Servicio Normal de Fluido

Máxima Profundidad de 1/32" o 25% del espesor de pared, cualquiera que sea menor. No permitido en Juntas longitudinales. (Tabla 341.3.2)



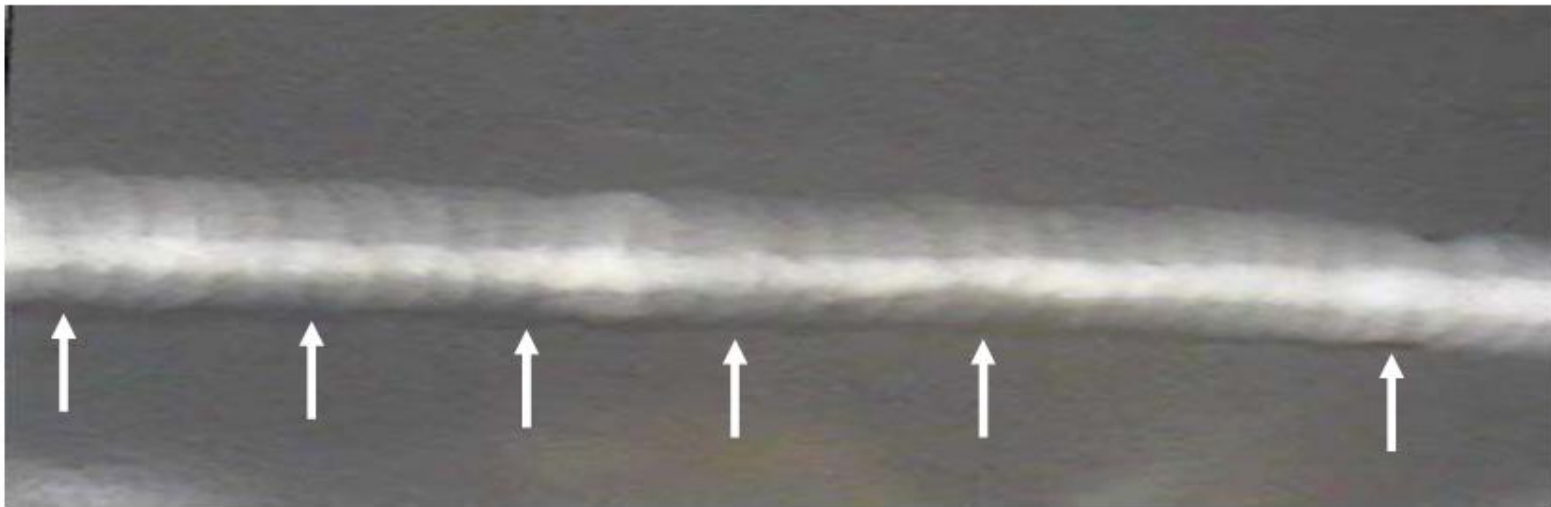
Discontinuidades Superficiales en Soldadura

Socavadura Exterior o Mordeduras de Borde Externa (Undercut).

Es una ranura fundida en el metal base, adyacente a la raíz de la soldadura o a la sobremonta, que no fue rellenada por el metal de aporte.

Son provocadas por la generación de un arco incorrecto (exceso de corriente o exceso de separación del arco), puede producirse del lado de la sobremonta. Otra causa probable es la rápida velocidad de traslación del arco.

La imagen radiográfica mostrará una línea gruesa, de densidad homogénea, que bordea al cordón soldado.



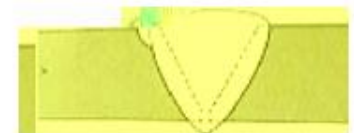
API 1104

La longitud total del socavado no debe exceder 2" en 12" de soldadura.

La longitud total acumulada no debe exceder 1/6 de la longitud de soldadura (9.3.11)

Para mediciones mecánicas, cuando es posible, una profundidad $> 1/32"$ o $> 12.5\%$ del espesor de pared, cualquiera que sea menor, el socavado no es permitido.

Profundidad $> 1/64"$ o entre 6% y 12.5% del espesor de pared, se acepta una longitud máxima de 2" en cualquier 12" continuas de soldadura o 1/6 de la longitud total de soldadura, cualquiera que sea menor. Profundidades $\leq 1/64"$ o $\leq 6\%$ del espesor de pared, cualquiera que sea menor, el socavado es aceptable indistintamente de la longitud. (9.7.1) Cuando se puede realizar ambas inspecciones, mecánica y por radiografía la medición mecánica tiene prioridad.



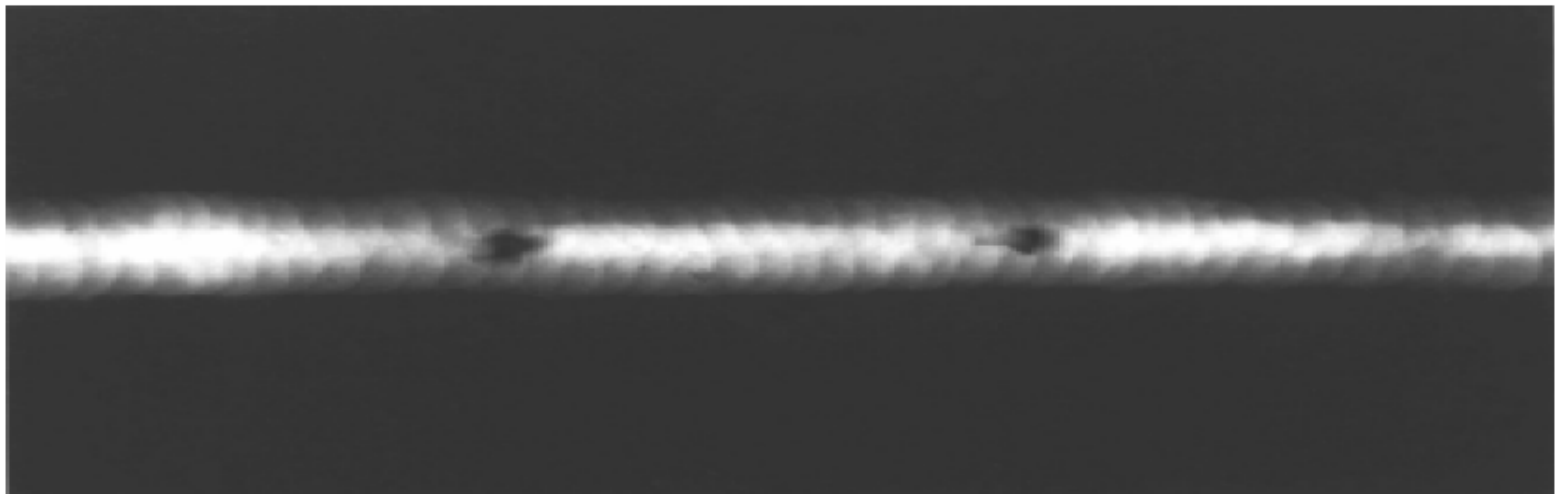
Discontinuidades Superficiales en Soldadura

Quemadura (Burn – Trough)

Ocurre en el pase de raíz, en una zona donde la penetración excesiva causa que el material de aporte de la soldadura penetre dentro de la misma ocurriendo una sopladura.

Es el resultado de factores que producen un calor puntual excesivo, tales como: alto amperaje, baja velocidad de deposición, manejo incorrecto del electrodo. Ocasiona una destrucción completa de los biseles.

La imagen radiográfica muestra una densidad localizada mas oscura con los bordes borroso en el centro del ancho de la imagen. Suele ser mas ancha que la imagen del cordón de raíz.



ASME Sección VIII - Div 1

No Cubierto por la Norma, ver Penetración

Incompleta

ASME B31.3

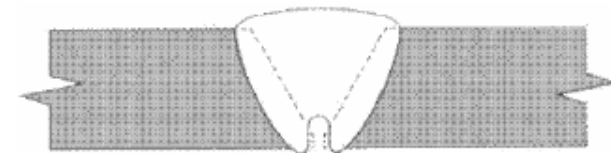
No Cubierto por la Norma, ver Penetración

Incompleta

API 1104 (Secc. 9.3.7.2)

Para diámetros mayores a 2 3/8" La máxima dimensión no debe exceder 1/4" y la densidad del defecto no debe ser mayor que la del material adyacente mas delgado.

La suma total de las dimensiones máximas de los defectos cuya densidad de imagen sea mayor al material adyacente no debe ser mayor de 1/2" en cualquier 12" de soldadura o la longitud total de soldadura, cualquiera que sea menor.

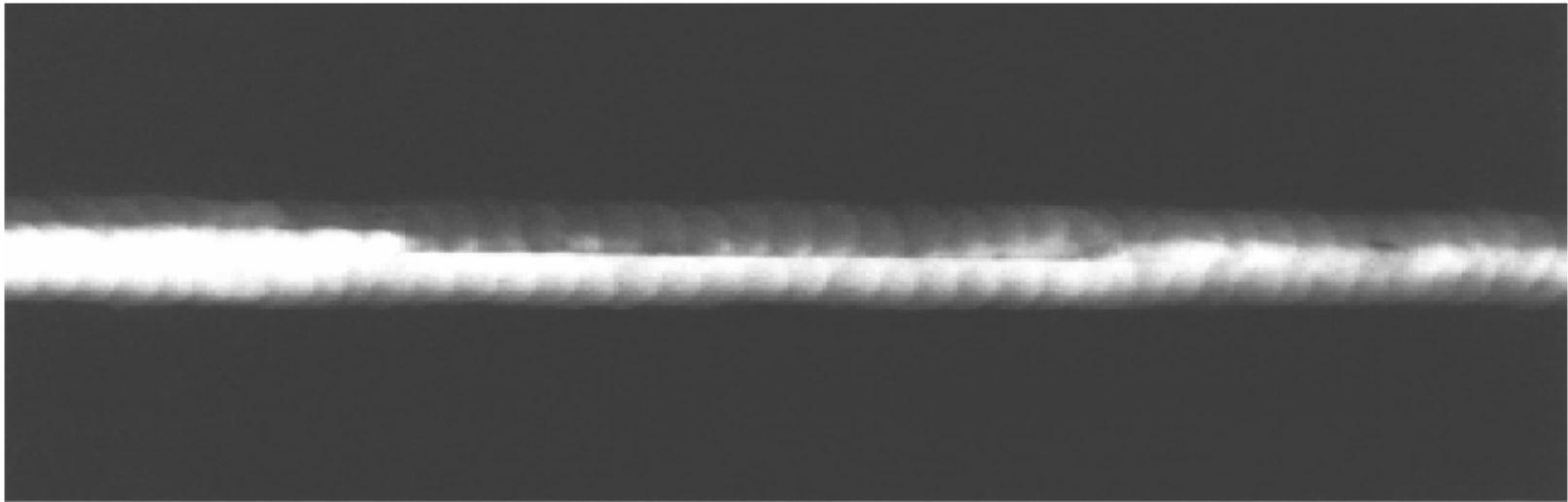


Discontinuidades Superficiales en Soldadura

Desalineaciones (High – Low) + Falta de Penetración

Aporte de material en piezas desalineadas con un llenado insuficiente en el área de la raíz.

La imagen radiográfica muestra un cambio abrupto en la densidad del film a través del ancho de la soldadura con una línea recta de densidad oscura, en el centro del ancho de la imagen a lo largo del borde del cambio de densidad.



ASME Sección VIII - Div 1 (UW-33a)

Espesor Mat.	Long. Max.	Circ. Max.
<1/2"	1/4t	1/4 t
>1/2" a 3/4"	1/8"	1/4 t
>3/4" a 1-1/2"	1/8"	3/16"
>1-1/2" a 2"	1/8"	1/8 t
>2". El menor entre 3/8" o 1/16 t 1/8 t o 3/4"		

High-Low + Falta de Penetración

ASME Sección VIII - Div 1

No Permitido (UW-51,b,1)

ASME B31.3 (328.4.3)

Los diámetros internos de los componentes a ser unidos, en sus puntas, deben ser alineados dentro de las tolerancias de diseño de ingeniería y del procedimiento de soldadura (WPS). se recomienda el menor entre 1/4 t o 3/16". Si las superficies externas de los dos componentes no están alineadas, la soldadura debe ser adelgazada entre las superficies.

ASME B31.3 (HL + LOP)

No Permitido (Tabla 341.3.2)

API 1104 (Secc. 7.2)

El desplazamiento no debe exceder 1/8".

Desplazamientos mayores causados por variaciones dimensionales deben ser equitativamente distribuidas alrededor de la circunferencia de la tubería.

API 1104 (Secc. 9.3.2) (HL + LOP)

Máxima longitud individual: 1"

Máxima Longitud acumulada:

3" en 12" de soldadura continua.



Discontinuidades Superficiales en Soldadura

Salpicaduras.

Esferas de metal fundido depositadas aleatoriamente sobre el cordón y sus alrededores, que no forman parte de la soldadura. Son provocadas por humedad en el revestimiento del electrodo. Generalmente no tienen importancia con respecto a la calidad de la soldadura, pero suelen ser interferencias serias para inspecciones no destructivas y para revestimientos.

En la imagen radiográfica aparecen como manchitas blancas, redondeadas, aisladas o en colonias. En el proceso de electrodos de Tungsteno (TIG - GTAW), las salpicaduras de este metal se muestran como circulito claros muy nítidos, entonces conviene cerciorarse de que se tratan de salpicaduras y no de inclusiones.

Golpes de Arco (Arc Strikes)

Son el resultado del inicio del arco de soldadura en una zona alejada de la junta a soldar, bien sea intencional o accidentalmente. Cuando esto ocurre, en la zona localizada en el metal base es fundida y enfriada instantáneamente. Esta discontinuidad, generalmente es no deseable y a veces no aceptada, porque causar agrietamiento durante el proceso de enfriamiento o bajo condiciones de fatiga.

Falta de Continuidad del Cordón.

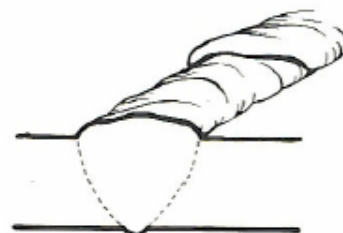
Se origina al soldador interrumpir el cordón y no empalmar bien en la reanudación del trabajo.

Su severidad es variable, en los casos mas graves se consideran como autenticas faltas de fusión superficiales, en los casos menos severos, son simples surcos perpendiculares al eje del cordón.

Su aspecto radiográfico se muestra como una línea oscura u oblicua, relativamente nítida.



Salpicaduras



Falta de Continuidad del Cordón

Discontinuidades Superficiales en Soldadura

Erosiones y Huellas.

Grupo de discontinuidades que tiene origen mecánico de abrasión, deformación o arranque de material:

Exceso de Rebajado

Producido en el amolado o mecanizado excesivo del cordón quedando este cóncavo.

Apariencia radiográfica en áreas ligeramente mas oscura que el campo adyacente, con contornos difusos, difíciles de percibir que siguen la trayectoria del cordón,

Huellas de Amolado o Burilado.

Surcos en el metal base o el cordón, marcados por el rotamil o el buril manejados inadecuadamente. Radiográficamente aparecen como sombras ligeramente oscuras, rectilíneas y paralelas.

Huellas de Mecanizado

Erosiones producidas por herramientas de acondicionamiento de la soldadura o por mal mecanizado de las mismas. Radiográficamente aparecen como líneas oscuras, dibujadas nítidas y paralelas.

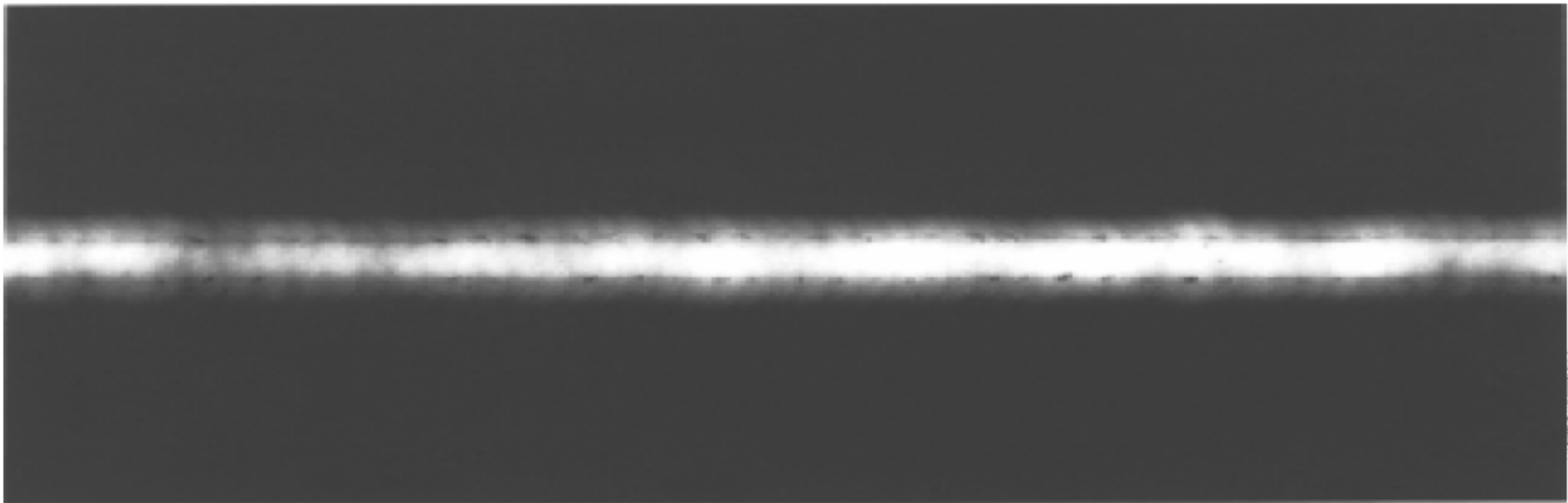
Martillazos y Golpes

Deformaciones locales producidas por choques con objetos contra el metal base o contra el cordón. Radiográficamente aparecen como arcos ligeramente oscuros, con un borde bien marcado, mas denso, a partir del cual se difumina la mancha, los granetazos son como puntos a manera de poros.

Falta de Fusión con las Caras de los Biseles. (LOF)

Se observan como vacíos alargados entre las capas de soldadura y la superficie de la junta.

La imagen radiográfica muestra elongaciones paralelas o simples, líneas de densidad oscura en ocasiones con pequeñas áreas mas oscuras, dispersas en la línea de "Falta de Fusión", las mismas están alineadas a lo largo del cordón y no se acumulan como las inclusiones de escoria.



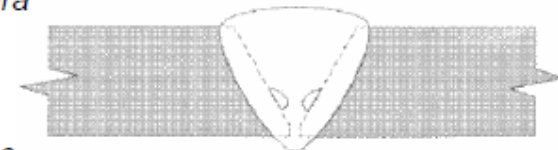
ASME Sección VIII – Div. 1
No Permitido (UW-51,b,1)

ASME B31.3
No Permitido (Tabla 341.3.2)

API 1104

Pase de Raíz: Máxima Longitud 1" en 12" de soldadura o 8% de la longitud total de soldadura (Secc. 9.3.4)

Entre pases (cold-lap): Máxima longitud por indicación < 2", 2" en 12" de soldadura. La longitud total de todas las indicaciones no debe exceder el 8% de la longitud total de soldadura (Secc. 9.3.5)



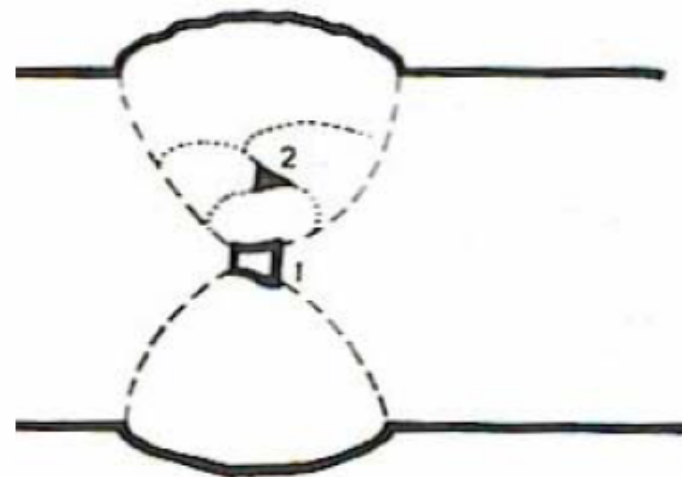
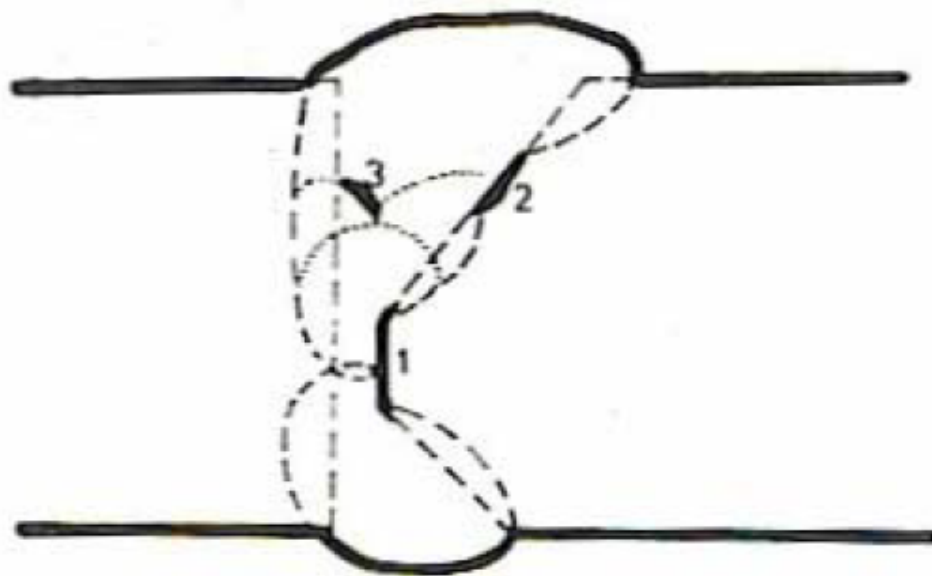
Falta de Fusión entre Pases (LOF)

Se produce en las interfaces de la soldadura, donde las capas adyacentes o cordones de soldadura, no se fusionan debido a una muy fina capa de óxido, que se forma en la superficie y no permite la unión de las capas del metal a fundir.

Esta puede deberse a la falta de precalentamiento, otras causas pueden ser la falta de amperaje o la mala ubicación del arco eléctrico, que se posiciona más sobre una capa que sobre otra, dejando esta última sin fundir.

Radiográficamente se observa una zona oscura con disminución de la densidad, desde el borde al centro, los bordes laterales se observan rectos.

A veces es difícil de interpretar sobre todo cuando la falta de fusión es entre el metal base con el metal de aporte, conviene radiografiar el cordón según direcciones comprendidas, en la prolongación del plano formado por los bordes del bisel (frecuentemente a 45°)

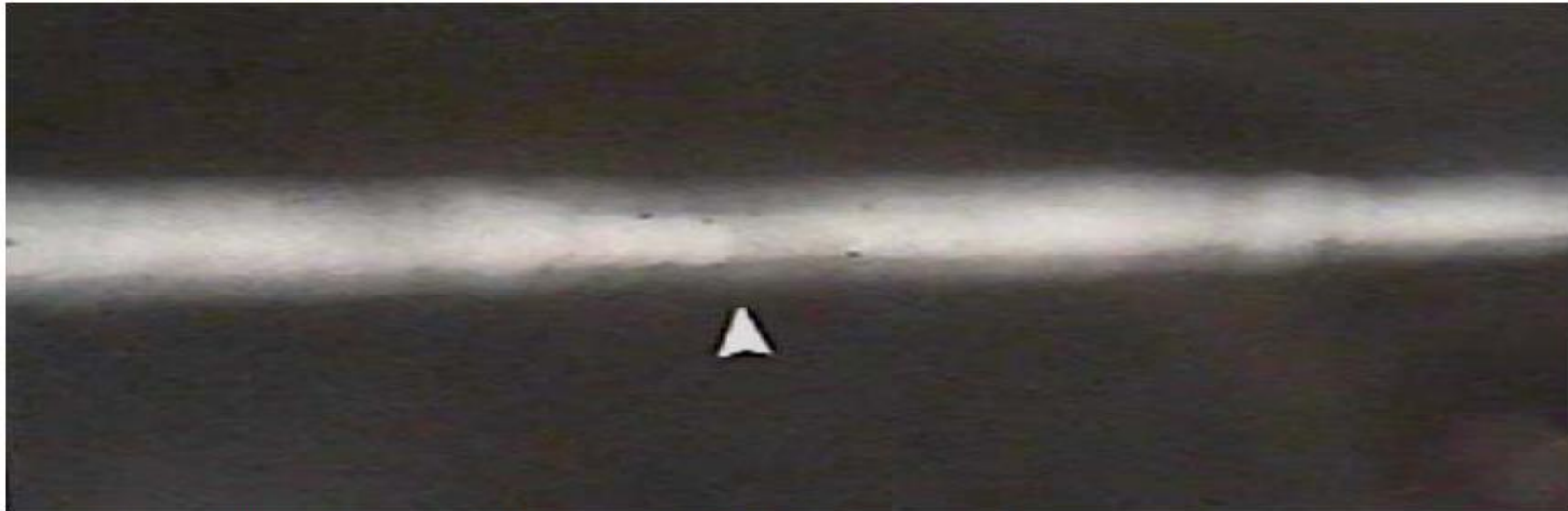


Falta de Penetración

Inclusiones Gaseosas. Porosidad Esférica Aislada (Scattered Porosity)

Bolsas de gas esféricas producidas por una alteración del arco, una oxidación en el revestimiento del electrodo, un electrodo húmedo u oxidado ó una variación en la relación Amperaje-Voltaje-Velocidad en la soldadura automática (Heat Input).

La imagen radiográfica indica unos puntos negros esféricos ubicados aleatoriamente.



ASME Sección VIII-Div 1 Radiografía 100%

El máximo tamaño de cualquier indicación debe ser el menor entre $1/4t$ o $5/32"$. Indicaciones aisladas separadas por al menos $1"$ se acepta el menor entre $1/3t$ o $1/4"$. Para $t > 2"$ el tamaño máximo aceptable es $3/8"$ (Apéndice 4)

ASME Sección VIII-Div 1 Spot Radiográfico

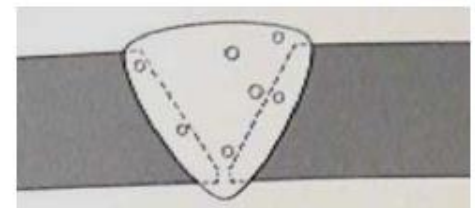
Indicaciones Redondeadas no son un factor en la aceptabilidad de soldadura si estas soldaduras no requieren ser totalmente radiografiadas. (UW-52,(c),(3))

ASME B31.3 Condiciones Cíclicas Severas

El tamaño máximo de cualquier indicación debe ser el menor de $1/4t$ o $5/32"$. Indicaciones aisladas separadas por al menos $1"$ es el menor de $1/3t$ o $1/4"$. Para $t > 2"$ el tamaño máximo aceptable es $3/8"$. No se aceptan poros superficiales. (Tabla 341.3.2)

ASME B31.3 Servicio Normal de Fluido

Para $t < 1/4"$, los requerimientos son los mismos que para las Condiciones Cíclicas Severas. Para $t > 1/4"$ los requerimientos son 1.5 veces los de las Condiciones Cíclicas Severas. No se aceptan poros superficiales. (Tabla 341.3.2)



DEFECTOLOGIA. Discontinuidades Internas - Externas

Inclusiones Gaseosas. Porosidad Agrupada. (Clusters)

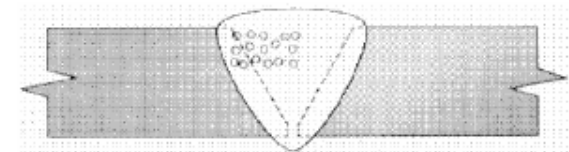
Producidos por un agente oxidante o excesiva humedad en el revestimiento . Pueden formarse por soldar sobre capas de oxido sobre los biseles, las que al fundirse producen gases. El tamaño de los poros es aproximadamente igual en toda la zona.

La imagen radiográfica muestra puntos redondeados y ligeramente alargados de una densidad mas oscura, agrupados pero irregularmente espaciados.



API 1104 (Secc. 9.3.9.4)

Aislado: Máxima dimensión el menor entre 1/8" o 25% del espesor de soldadura, (9.3.9.2) Agrupados: Máxima área de 1/2"; diámetro máximo poro individual 1/16". Máximo 1/2" de longitud en 12" de soldadura. (9.3.9.3). Porosidad elongada en pase de raíz (Hollow bead): Máxima longitud de 1/2". Max Longitud acumulada 2" en 12" de soldadura. Las indicaciones individuales mayores a 1/4" deben estar separadas por mas de 2". La longitud total acumulada no debe exceder 8% de la longitud de soldadura.



DEFECTOLOGIA. Discontinuidades Internas - Externas

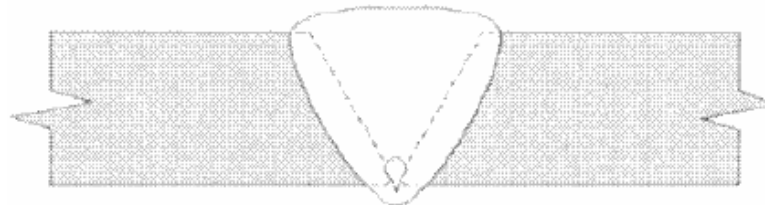
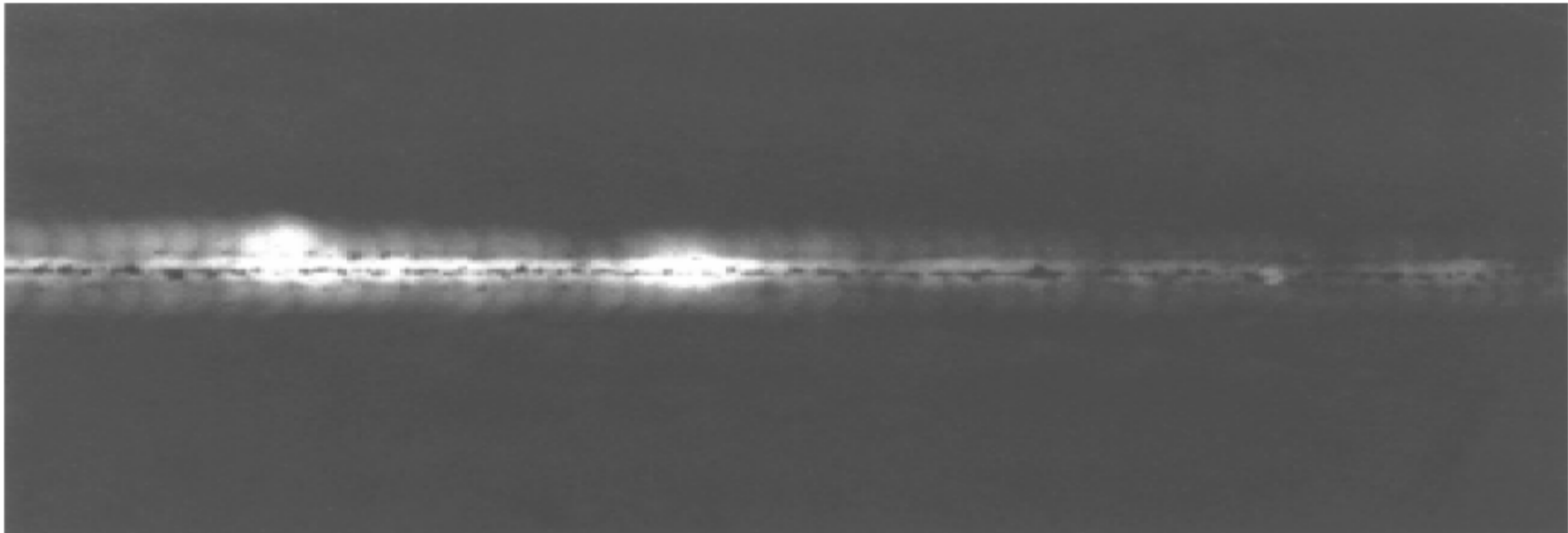
Inclusiones Gaseosas. Porosidad Alineada.

(Piping Porosity → Pases de Relleno // Hollow Bead → Pase Raiz)

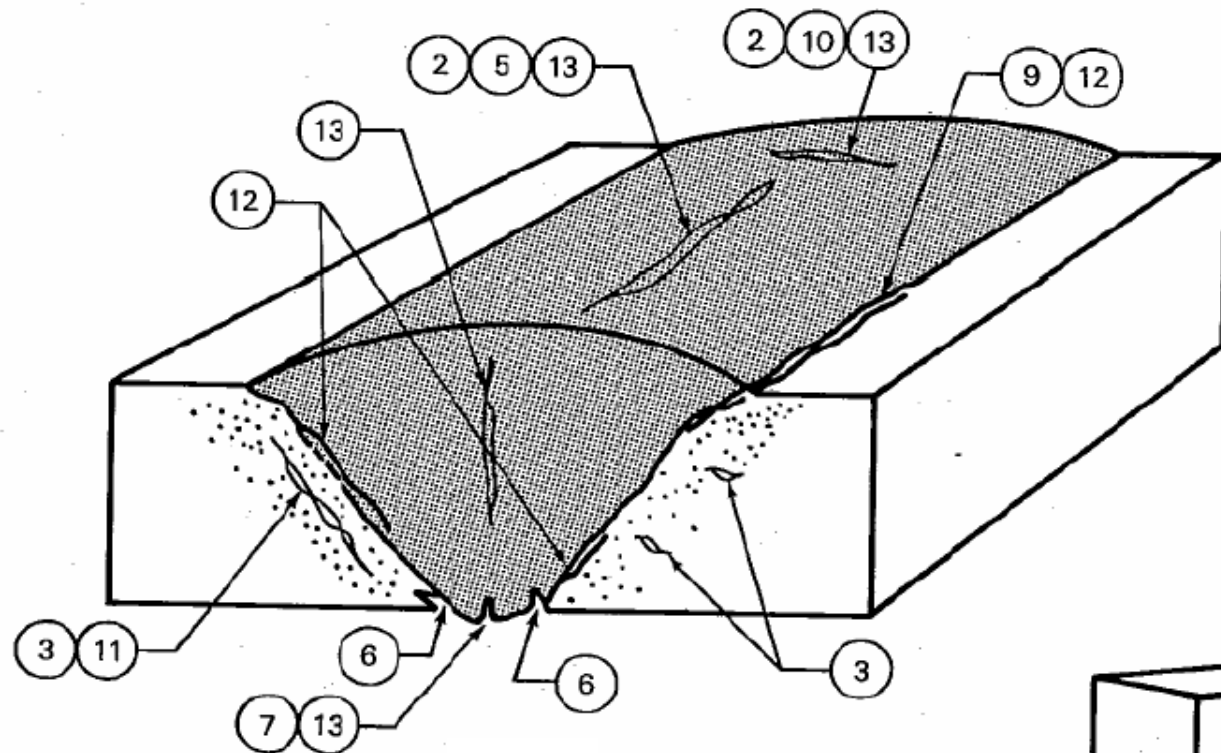
Surgen en el pase sub-siguiente a un cordón soldado, por efecto de la dificultad de penetrar con el electrodo ó por mala regulación eléctrica en relación con el fundente.

En el pase de raíz (Cordón Hueco), surgen por la imposibilidad de hidrógeno, producidos en electrodos de alta velocidad, de escapar, generalmente por insuficiente separación de biseles.

La imagen radiográfica se observan como círculos alineados, oscuros que pueden ir decreciendo o permanecer de igual diámetro. Si la alineación esta en el pase de raíz, la imagen da formas grises inclinadas, semejantes al espinazo de un pez, confluyendo al centro, pudiendo llegar a crear un nervio central.

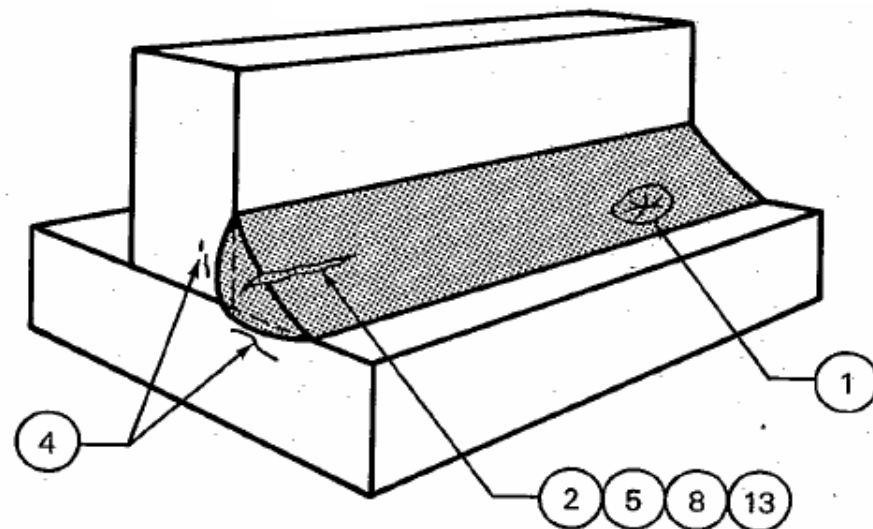


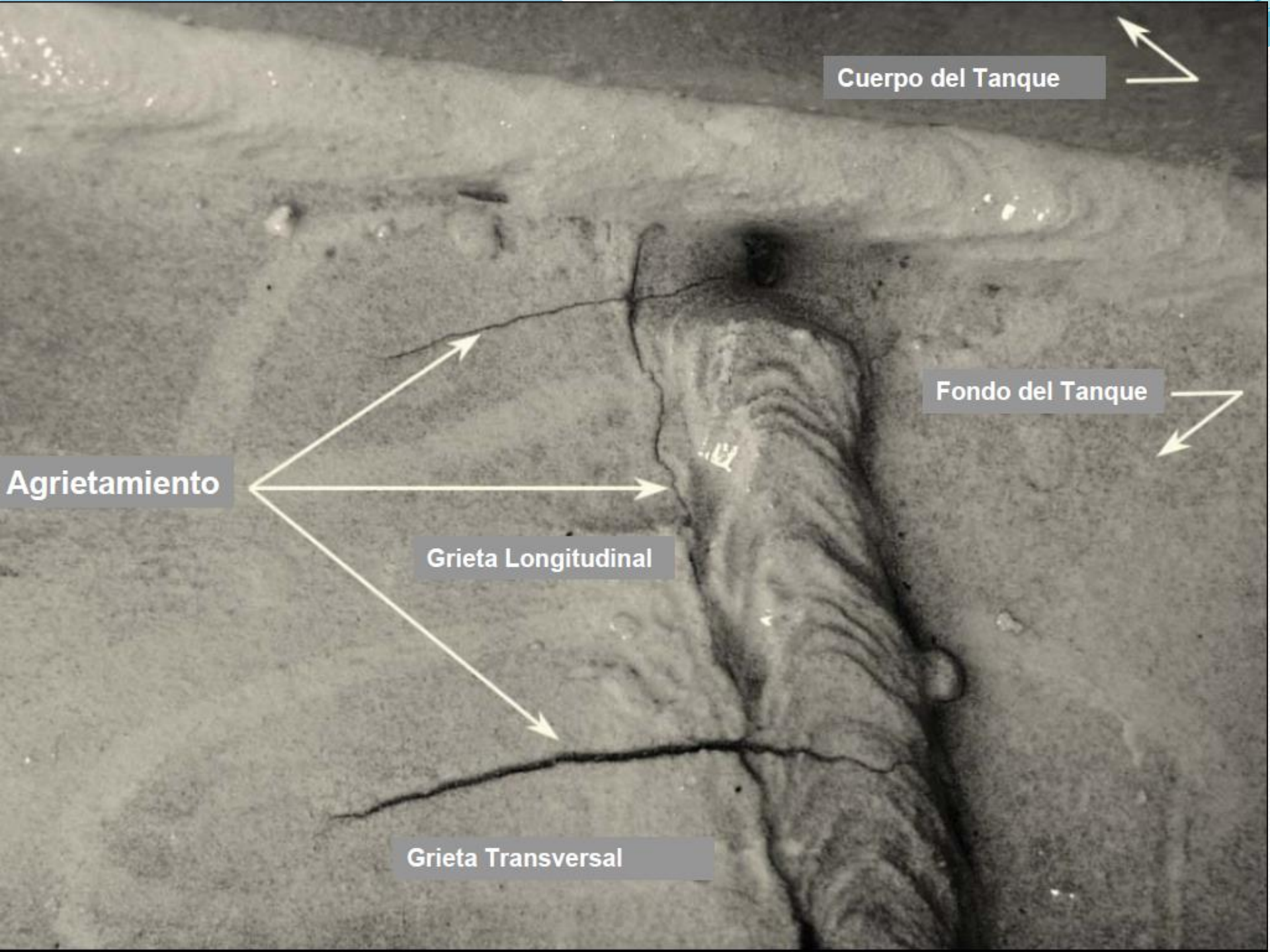
Tipos de Agrietamiento Interno y Externo



Legenda:

- 1.- Tipo Cráter
- 2.- En la Cara de la Soldadura
- 3.- Grieta en ZAC
- 4.- Desgarre Laminar
- 5.- Longitudinal
- 6.- De Raíz
- 7.- En la superficie de la Rías
- 8.- Garganta
- 9.- Talón
- 10.- Transversal
- 11.- Entre cordones
- 12.- Interfase de la soldadura
- 13.- En el metal de aporte





Cuerpo del Tanque

Fondo del Tanque

Agrietamiento

Grieta Longitudinal

Grieta Transversal

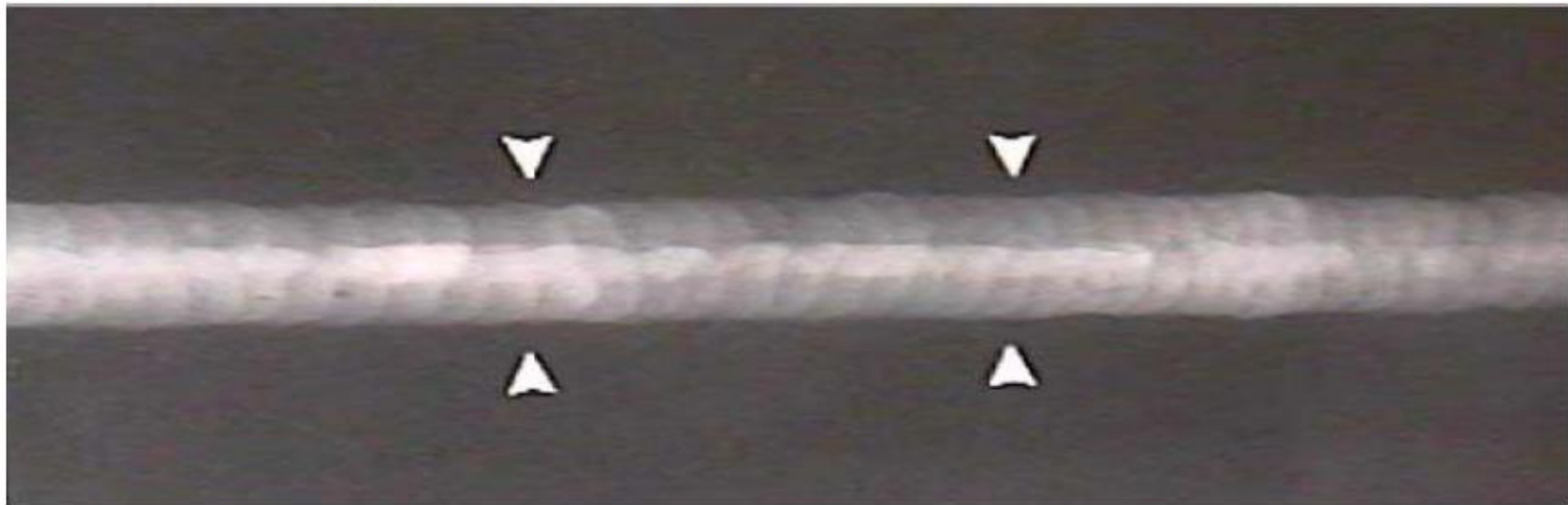
Agrietamiento. Grietas Longitudinales.

Se pueden producir tanto en el centro del cordón (generalmente por movimientos durante o posterior a la soldadura) o en la interfase del metal base con el de aporte (por causa de un enfriamiento brusco o por falta de precalentamiento en espesores grandes).

Cuando el defecto aparece en el metal de aporte se le llama "Grieta de Solidificación" mientras que si se produce en la ZAC se denomina "Grieta de licuación" (Intergranular).

La única protección posible es soldar con bajo aporte de calor.

La imagen radiográfica es una línea ondulante muy negra y fina en el centro del cordón o en la base del mismo (similar al espesor de un cabello).



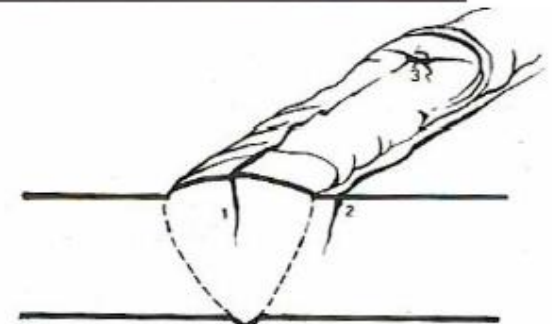
ASME Sección VIII – Div. 1
No Permitido (UW-51,b,1)

ASME B31.3
No Permitido (Tabla 341.3.2)

API 1104

Cráter poco profundo o Grieta estrella no mayor a 5/32". Este tipo de cráter o grieta está localizado en el punto de parada de la soldadura y es ocasionado por la contracción del metal durante la solidificación.

Grietas de cualquier tamaño y localización en la soldadura no están permitidas.



Agrietamiento. Grietas Transversales

Producidas principalmente en aceros duros, por combinación de elementos que al enfriarse a la temperatura ambiente producen la grieta, que podría o no afectar o prolongarse al metal base. Estas pueden ser:

□ Grietas en Caliente.

Se producen durante la solidificación de la junta, la causa principal de este defecto en aceros al carbono y de baja aleación son:

- Medio o alto tenor de carbono en el metal base
- Alto tenor de impurezas (S y P) en el metal base.
- Altas tensiones de contracción (depende de la plasticidad del metal en la junta).

Estas grietas son intergranulares y pueden tener una orientación diversa.

□ Grietas en Frío

Se forman cuando la temperatura alcanza la temperatura ambiente.

Se originan por un alto contenido de hidrógeno en la zona fundida, una elevada velocidad de enfriamiento y las tensiones producidas sobre el cordón por el enfriamiento.

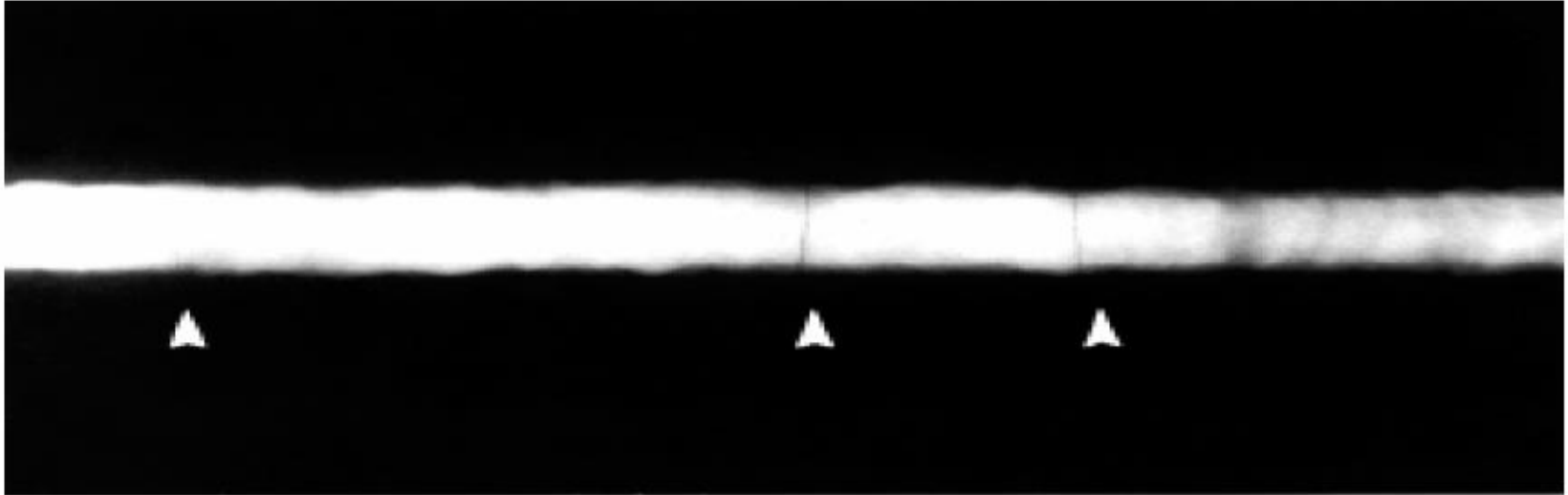
En soldadura de aceros dulces y de baja aleación y microaleados las grietas son muy pequeñas (llamadas microfisuras o microgrietas de hidrógeno) y frecuentemente se reagrupan en un cierto número en la misma zona fundida de la junta; en aceros bonificados las grietas son mas grandes pudiendo atravesar el cordón.

La indicación se observa radiográficamente como una línea muy fina negra recortada, de poca ondulación y transversal al cordón soldado.

Agrietamiento. Grietas Transversales



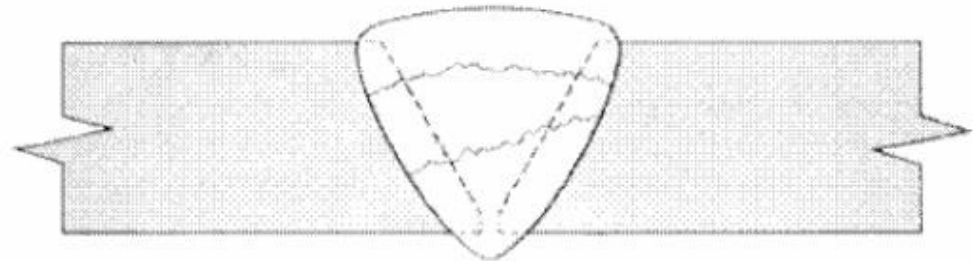
Agrietamiento. Grietas Transversales



ASME Sección VIII – Div. 1
No Permitido (UW-51,b,1)

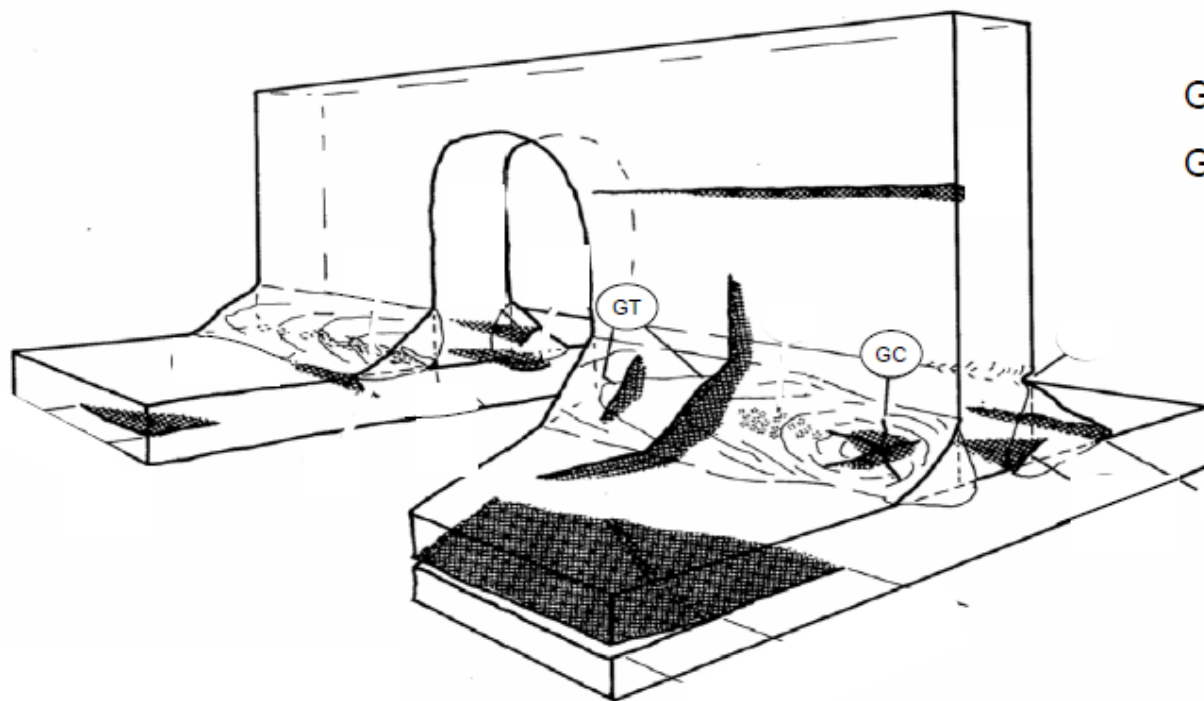
ASME B31.3
No Permitido (Tabla 341.3.2)

API 1104
*Cráter poco profundo o Grieta estrella no mayor a 5/32". Este tipo de cráter o grieta está localizado en el punto de parada de la soldadura y es ocasionado por la contracción del metal durante la solidificación.
Grietas de cualquier tamaño y localización en la soldadura no están permitidas.*



Agrietamiento. Grietas de Interrupción – Arranque (Grietas de cráter o estrella).
Ocurren durante el cambio de electrodo y se producen por el efecto del enfriamiento brusco y / calentamiento del material (Grietas en caliente).
Cuando el arco es interrumpido se forma un cráter de contracción si la cavidad del arco no está suficientemente llena de material fundido.

La imagen radiográfica se observa como varias líneas finas confluyentes y la del sentido del cordón soldado es mucho más larga.



GT = Grieta Transversal

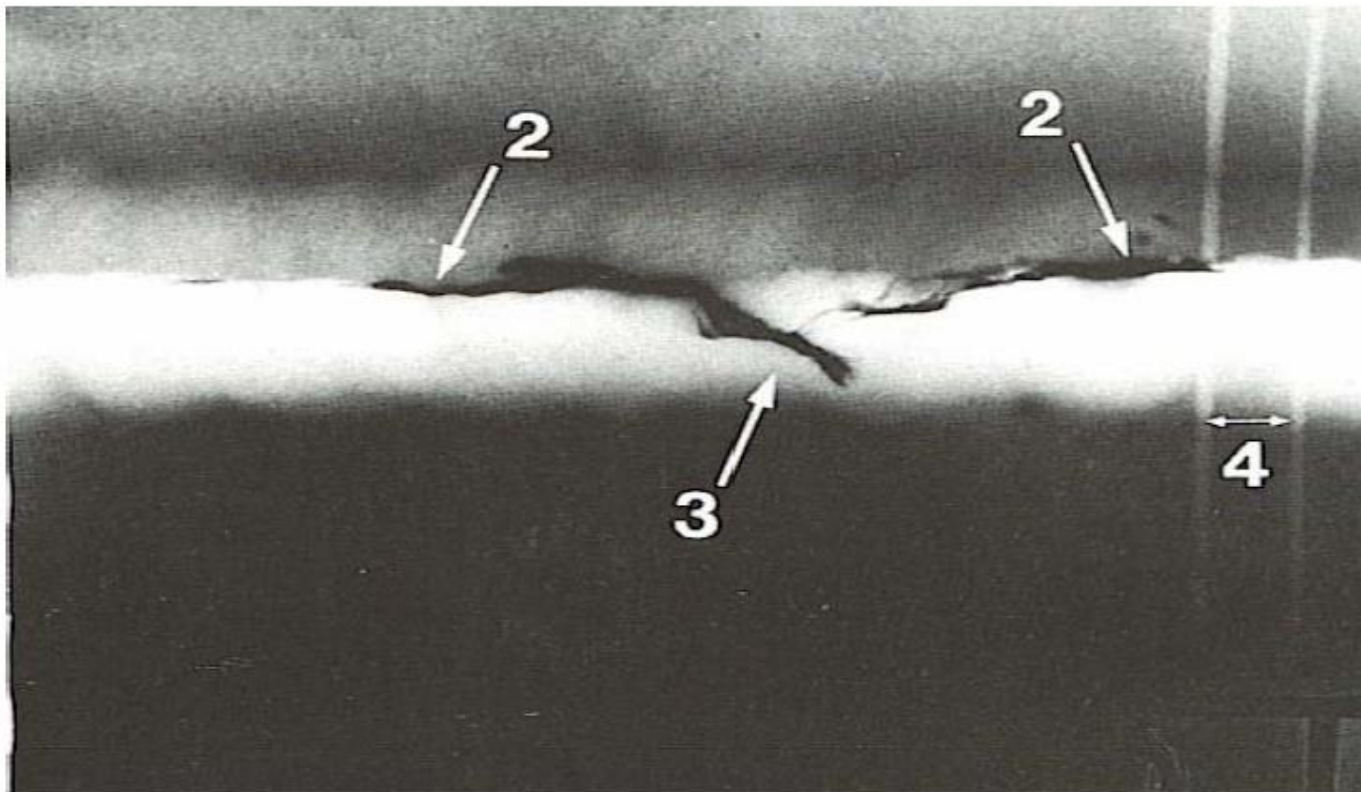
GC = Grieta de Cráter

Agrietamiento. Grietas Fuera del Cordón de Soldadura (ZAC).

Agrietamiento en frío, producido generalmente por falta de precalentamiento en aceros duros (por formación de microestructuras duras como martensita y como resultado del ciclo térmico) o de mucho espesor. La grieta tiene su origen en los granos mas grandes de la ZAC. El agrietamiento también puede atribuirse a las tensiones alcanzadas como resultado de la contracción de la junta o por geometrías con entallas.

Tienen generalmente una dirección longitudinal, aunque a veces son transversales, pueden ser internas o aflorar al lado del cordón.

La imagen radiográfica es de líneas negras de poca ondulación un poco mas gruesas que un cabello, ubicadas en la zona adyacente al cordón soldado.

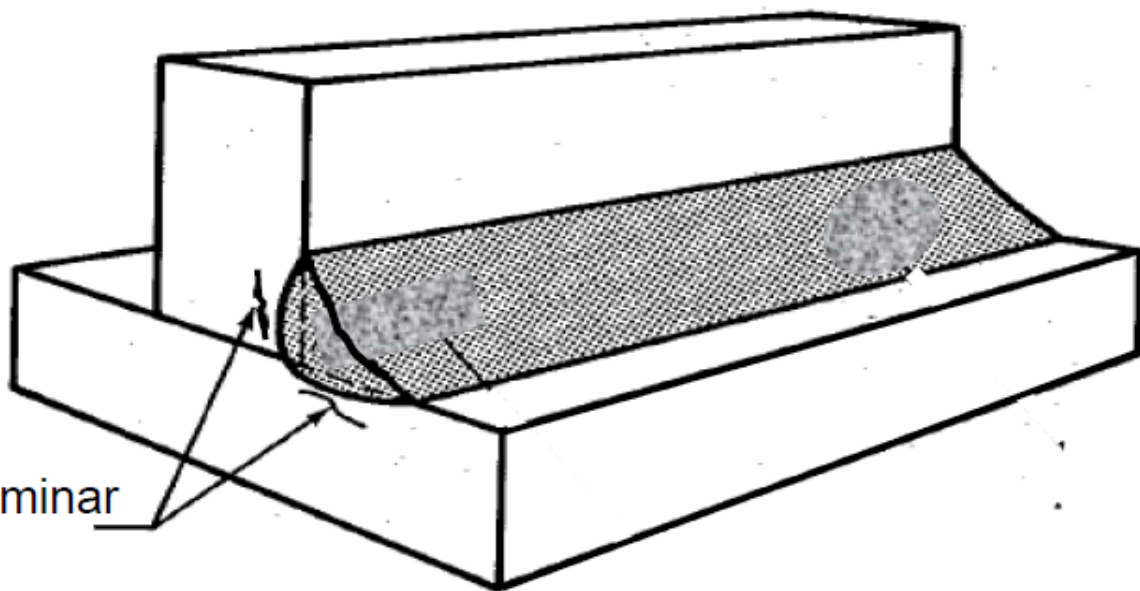


Agrietamiento. Desgarre Laminar. (Lamellar Tear).

Son grietas internas que pueden aparecer en los aceros dulces y de baja aleación, generalmente asociadas a soldaduras muy tensionadas, cuya geometría produce tensiones perpendiculares al plano de laminación sobre el metal base. Aparecen frecuentemente debajo de la ZAC y son típicas en juntas en "T" o en "L".

Los factores que producen este defecto son :

- Tensiones de enfriamiento mas o menos intensas, en función de la rigidez de la estructura.
- Geometría de la junta tal que la sollicitación actúe desfavorablemente sobre el metal base.
- Espesores mayores a los 9 mm.



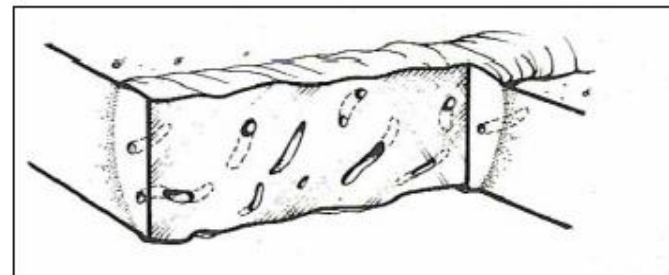
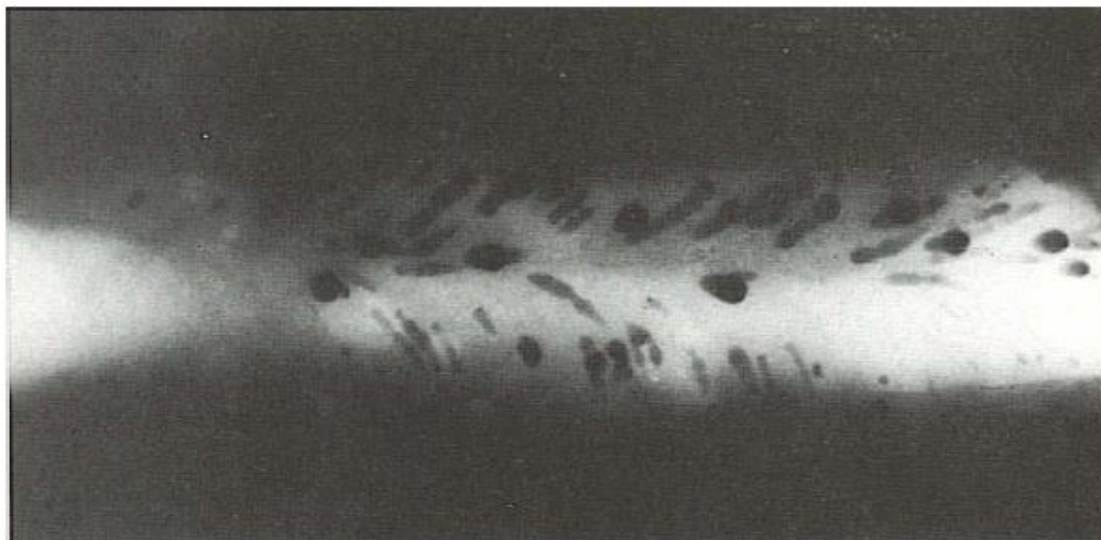
Grietas por Desgarre Laminar

Inclusiones Gaseosas. Porosidad Alargada (Vermicular).

Producida al enfriarse el material a medida que la burbuja de gas esta tratando de salir del baño metálico. Su morfología es alargada, a manera de tubitos curvados, como bastones o sinuosos, suele tener una tendencia a tener un recorrido vertical pudiendo llegar a dejar perforado todo un pase de soldadura.

Lo corriente es que formen colonias, este es común en aceros inoxidables. En general son mas peligrosos que los esféricos debido al efecto de entalla que producen.

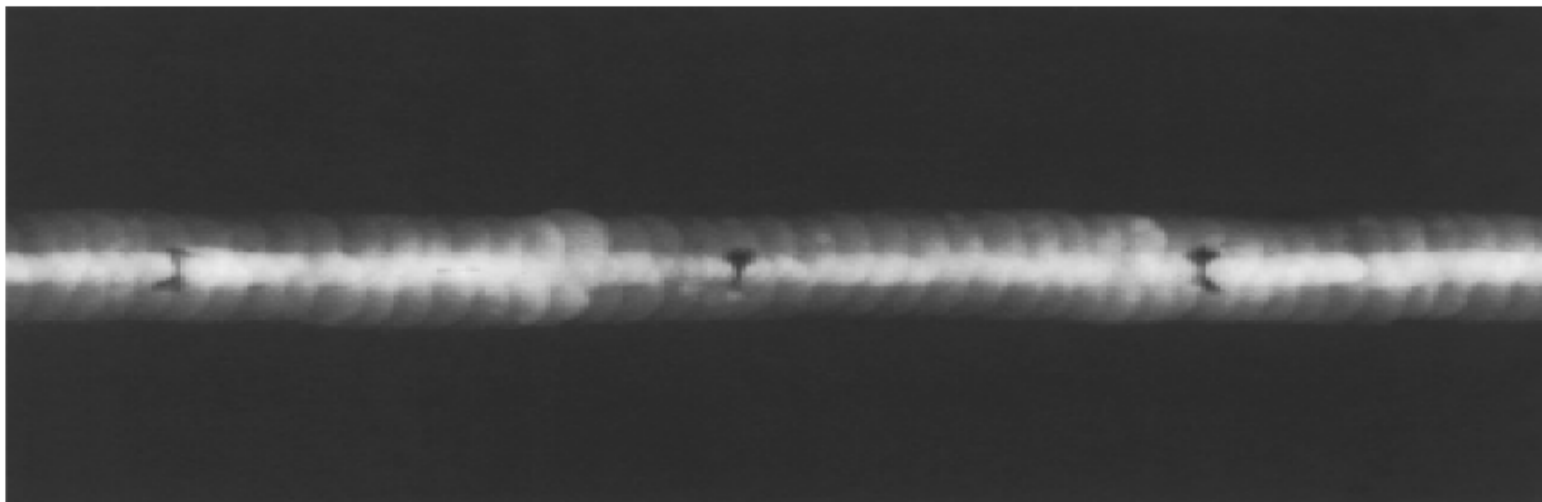
La imagen radiográfica es de marcas alargadas y de color gris, generalmente terminando en círculos.



Inclusiones No Metálicas. Escoria Aislada.

Son depósitos de carbón u óxidos metálicos y silicatos pertenecientes a los revestimientos de los electrodos o de los fundentes empleados y que fueron atrapados en el baño metálico durante su solidificación. Las superficies sucias o los contornos irregulares contribuyen con el atrapado de la escoria.

La imagen radiográfica es de manchas negras irregulares sobre el cordón de soldadura.



ASME Sección VIII - Div 1 100% Radiografía

Espesor de pared	Max. Longitud
< 3/4"	1/4"
3/4" to 2 1/4"	1/3 t
> 2 1/4"	3/4"

Longitud Total Máxima = t en 12t
(UW-51.b.2 y b.3)

ASME Sección VIII - Div 1 Spot Radiográfico

Máxima longitud de 2/3t
Longitud Total Máxima t en 12t de Soldadura
Ancho máximo de 3/32" o 1/3t (UW-52.c.2)

ASME B31.3 Condiciones Cíclicas Severas

Máxima longitud de 1/3t
Longitud Total Máxima t en 12t de soldadura
Ancho máximo de 3/32" o 1/3t (El menor)
(Tabla 341.3.2)

ASME B31.3 Servicio Normal de Fluido

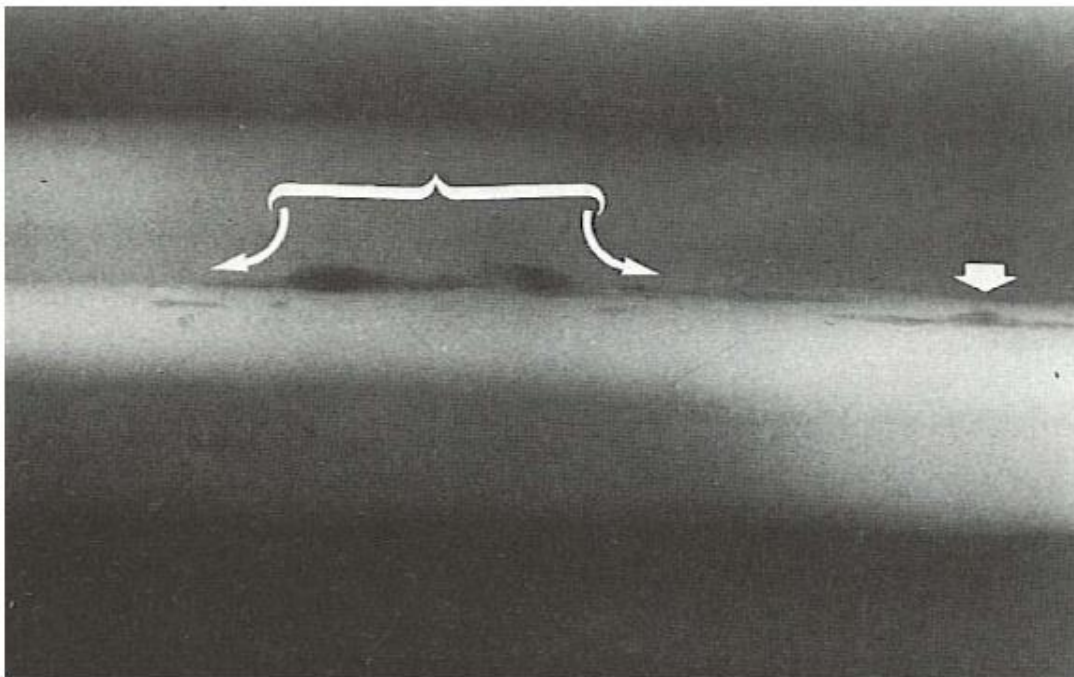
Máxima longitud de 2t
Longitud Total Máxima 4t en 6" de soldadura
Ancho máximo de 1/8" o 1/2t (El menor)
(Tabla 341.3.2)



Inclusiones No Metálicas. Escoria Alineada.

Producida por movimientos inadecuados del electrodo por parte del soldador, quedan alineadas sobre el costado del cordón soldado. En soldadura automática el fundente suele quedar atrapado por una mala regulación de la maquina, o por falta de limpieza, pero en este caso estará en el centro del cordón.

La imagen radiográfica muestra sobre uno de los laterales una línea ancha con un borde casi recto y otro disperejo, color negro, pero de densidad homogénea. Para soldadura automática, se observará en el centro del cordón un triangulo alargado en el sentido de giro de color negro.



API 1104

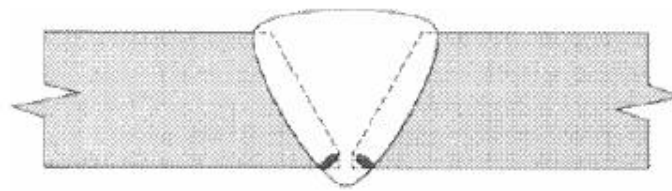
Ancho máximo 1/13", La longitud total acumulada no debe exceder el 8% de la longitud de soldadura.

Inclusiones aisladas no exceder de 2" en 12", para tubos de 2 3/8" O.D. y mayores. Para tubos de O.D. menor que 2 3/8" las inclusiones están limitadas a 3 veces el menor espesor de los tubos a ser unidos. (9.3.8)

Inclusiones No Metálicas. Líneas de Escoria. (Huellas de Carreta).

Se ubican en el cordón entre el pase de raíz y el segundo pase. Por efecto de mala limpieza en la zona de mordeduras que se forman sobre el bisel a ejecutar el pase de raíz, las escorias se depositan a ambos lados de este cordón.

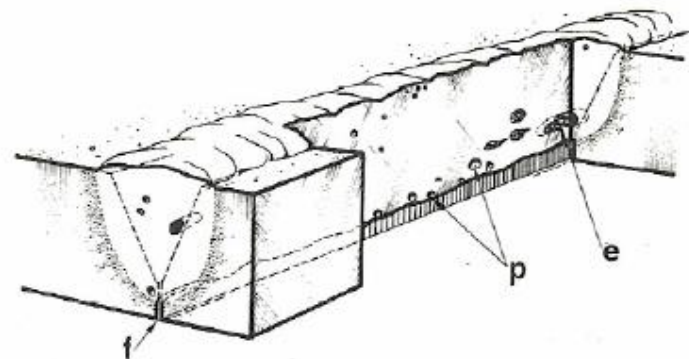
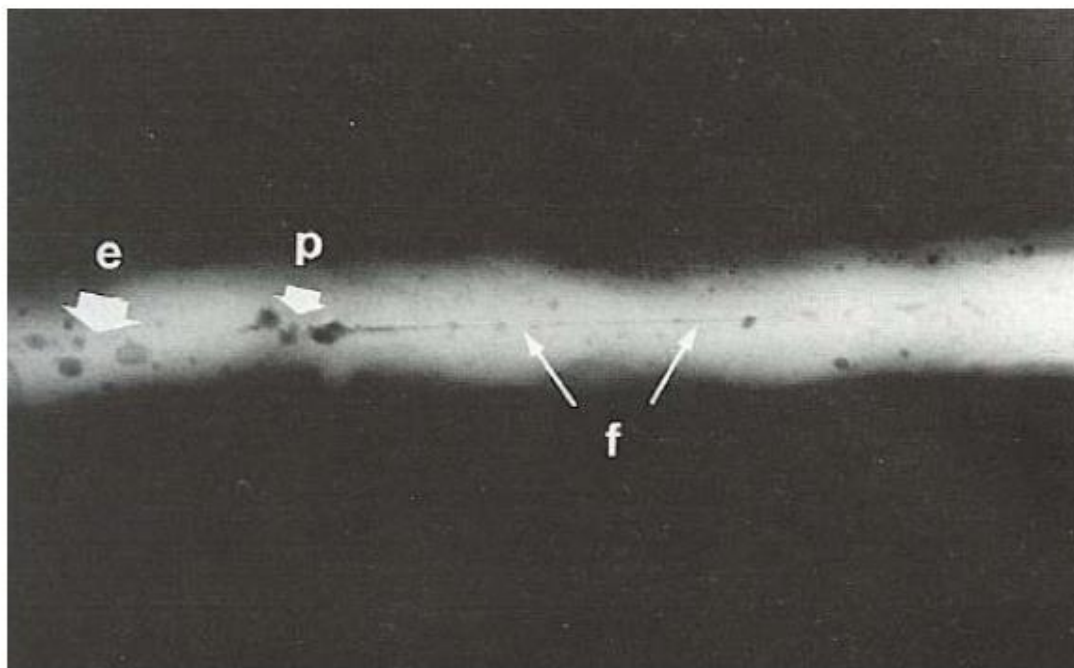
La imagen radiográfica muestra líneas paralelas ininterrumpidas de ancho variable, pero bastante parejas.



Inclusiones No Metálicas. Escoria en el interior de Perforaciones.

Dentro del material soldado, por efecto de una perforación, se suele producir un rechupe del material, incorporándose materiales extraños, provenientes por lo general del revestimiento de los electrodos.

La imagen radiográfica muestra una mancha irregular negra, en el centro de la indicación clara de una perforación, semejando un anillo luminoso.



e = Escoria

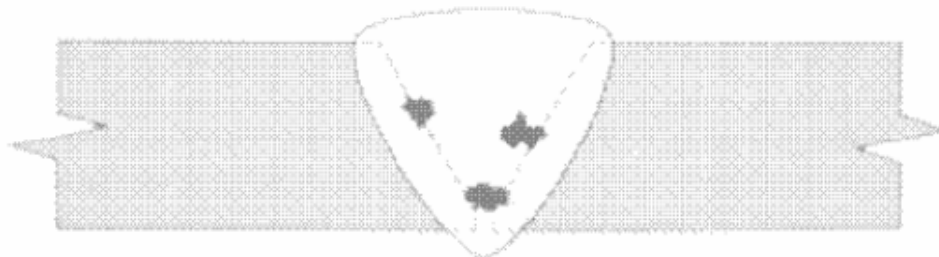
p = Poros

f = Falta de Fusión

Inclusiones Metálicas. Inclusiones de Tungsteno.

Son depósitos de carbón u óxidos metálicos y silicatos pertenecientes a los revestimientos de los electrodos o de los fundentes empleados y que fueron atrapados en el baño metálico durante su solidificación. Las superficies sucias o los contornos irregulares contribuyen con el atrapado de la escoria.

La imagen radiográfica es de manchas negras irregulares sobre el cordón de soldadura.



Interpretación y Evaluación Radiográfica

Defectos de Manipulación y Proceso

- Contraste insuficiente
- Contraste excesivo
- Baja densidad
- Densidad general excesiva
- Nitidez insuficiente
- Velo gris
- Velo Amarillo
- Velo dicroico
- Velo moteado
- Depósito blanquecino
- Manchas claras
- Líneas o barras claras
- Figuras claras
- Manchas oscuras
- Líneas o barras oscuras
- Figuras oscuras



Normas y Códigos de Radiografía Industrial

- ASME: American Society of Mechanical Engineers
- ANSI: American National Standard Institute
- AWS: American Welding Society
- IIW: International Institute of Welding
- ASTM: American Society for Testing Materials
- API: American Petroleum Institute
- NFPA: National Fire Protection Association
- AWWA: American Water Workers Association

Interpretación y Evaluación Radiográfica

Normas y **Códigos** de Radiografía Industrial

- Código ASME, Sección I, II, IV, V, VIII...
- Código ANSI/ASME, B31.1, B31.2, B31.3, ...
- Código AWS D1.1, D1.2, D1.3, ...
- Código NFPA 51, 13A
- API STD 620
- API SPEC 12D
- API STD 1104
-

Cuestionario RT Octava Lección

1. ¿Qué es el término interpretación?
2. ¿Qué es el término evaluación?
3. ¿Qué es sensibilidad?
4. ¿Qué es una indicación y cómo se clasifican?
5. ¿Qué es una discontinuidad y defecto?
6. ¿Cuáles son los equipos de interpretación radiográfica?
7. ¿Qué es un contraste radiográfico?
8. ¿Qué es definición?
9. ¿Una radiografía debe estar identificada permanentemente? ¿Qué debe llevar como mínimo?
10. ¿Cuáles normas aplicables en la evaluación radiográfica conoce usted?

Ejercicios de Cálculo

Cálculo de distancias de acordonamiento

1-. Calcular la distancia a la cual una fuente de Ir-192 de 20 Ci tiene una tasa de exposición de 10.56mrem/hr?

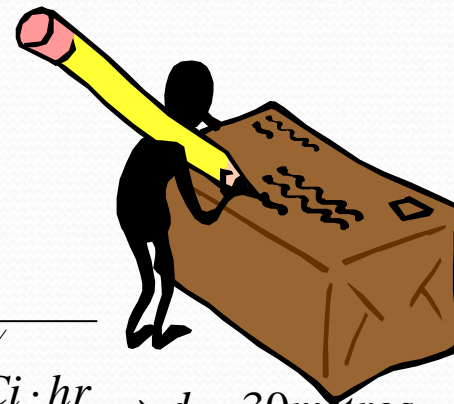
Datos:

$$A=20\text{Ci}$$

$$\dot{X} = 10.56\text{mrem/hr}$$

$$d=?$$

$$\dot{X} = \frac{A \cdot \Gamma}{d^2} \rightarrow d = \sqrt{\frac{A \cdot \Gamma}{\dot{X}}} \rightarrow d = \sqrt{\frac{20\text{Ci} \cdot 480\text{mrem} \cdot \text{m}^2 / \text{Ci} \cdot \text{hr}}{10.56\text{mrem} / \text{hr}}} \rightarrow d = 30\text{metros}$$



2-. Para una fuente de 100 Ci de Ir-192, a qué distancia la tasa de exposición será 100mrem/hr?

Datos:

$$A=100\text{Ci}$$

$$\dot{X} = 100\text{mrem/hr}$$

$$d=?$$

$$\dot{X} = \frac{A \cdot \Gamma}{d^2} \rightarrow d = \sqrt{\frac{A \cdot \Gamma}{\dot{X}}} \rightarrow d = \sqrt{\frac{100\text{Ci} \cdot 480\text{mrem} \cdot \text{m}^2 / \text{Ci} \cdot \text{hr}}{100\text{mrem} / \text{hr}}} \rightarrow d = 21.90\text{metros}$$



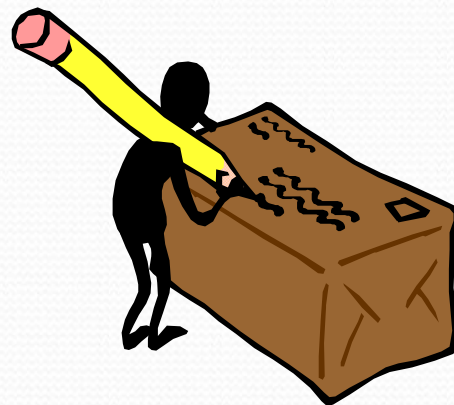
3-. En un campo abierto se tiene una fuente de 40 Ci. Se desea saber a que distancia se deben colocar los avisos de peligro para que la tasa de exposición sea de 1mrem/h?

Datos:

$A=40\text{Ci}$

$\dot{X} = 1\text{mrem/hr}$

$d=?$



$$\dot{X} = \frac{A \cdot \Gamma}{d^2} \rightarrow d = \sqrt{\frac{A \cdot \Gamma}{\dot{X}}} \rightarrow d = \sqrt{\frac{40\text{Ci} \cdot 480\text{mrem} \cdot \text{m}^2 / \text{Ci} \cdot \text{hr}}{1\text{mrem} / \text{hr}}} \rightarrow d = 138.56\text{metros}$$

4-. Si la tasa de exposición de una fuente es de 100mrem/hr a una distancia de 70pies, ¿Cuál sería la actividad de dicha fuente?

Datos:

$$\dot{X} = 100 \text{mrem/hr}$$

$$d = 70 \text{pies}$$

$$A = ?$$

En primer lugar se debe pasar los pies a metros

$$70 \text{pies} \rightarrow \text{metros} \Rightarrow 70 \text{pies} \cdot 0.304 = 21.28 \text{metros}$$

$$\dot{X} = \frac{A \cdot \Gamma}{d^2} \rightarrow A = \frac{\dot{X} \cdot d^2}{\Gamma} \rightarrow A = \frac{100 \text{mrem / hr} \cdot (21.28 \text{metros})^2}{480 \text{mrem} \cdot \text{m}^2 / \text{Ci} \cdot \text{hr}} \rightarrow A = 94.34 \text{Ci}$$



5-. Una fuente de Ir-192 tiene hoy una actividad de 87Ci, ¿qué actividad tendrá la fuente dentro de tres meses (90 días)?

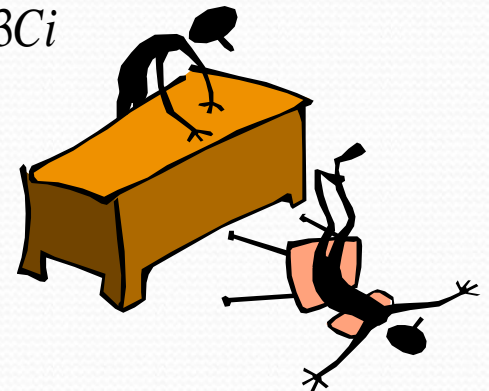
Datos:

$$A_0 = 87\text{Ci}$$

$$t = 90 \text{ días}$$

$$A = ?$$

$$A = A_0 e^{-\left[\frac{0.693}{T} t\right]} \rightarrow A = 87\text{Ci} \cdot e^{-\left[\frac{0.693}{74.2\text{días}} \cdot 90\text{días}\right]} \rightarrow A = 37.53\text{Ci}$$



6-. Se utiliza una fuente de 3,7 TBq de Ir-192. ¿Cuál será la tasa de dosis a una distancia de 100 pies?

Datos:

$d=100$ pies

$A= 3,7$ TBq

$\dot{X} = ?$

En primer lugar se debe pasar los TBq a Ci

$$1TBq \rightarrow 1 \times 10^{12} Bq \quad X = 3.7 \times 10^{12} Bq$$

$$3.7TBq \rightarrow X$$

$$1Bq \rightarrow 2.7 \times 10^{-11} Ci \quad X = 100Ci$$

$$3.7 \times 10^{12} Bq \rightarrow X$$

Ahora hay que pasar los pies a metros

$$100pies \rightarrow metros \Rightarrow 100pies \cdot 0.304 = 30.4metros$$

$$\dot{X} = \frac{A \cdot \Gamma}{d^2} \rightarrow \dot{X} = \frac{100Ci \cdot 480 mrem \cdot m^2}{(30.4m)^2} \frac{Ci \cdot hr}{Ci \cdot hr} \rightarrow \dot{X} = 51.93 mrem / hr$$

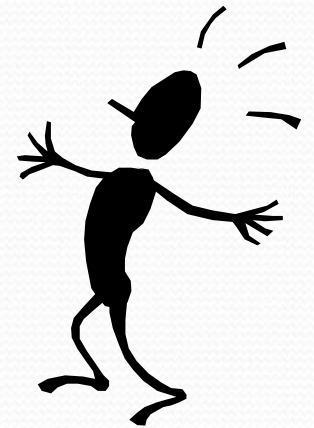
7-. ¿Cuál es la tasa de dosis de una fuente de 20Ci a una distancia de 10 metros?

$d=10$ metros

$A= 20\text{Ci}$

$\dot{X} = ?$

$$\dot{X} = \frac{A \cdot \Gamma}{d^2} \rightarrow \dot{X} = \frac{20\text{Ci} \cdot 480 \text{mrem} \cdot \text{m}^2 / \text{Ci} \cdot \text{hr}}{(10\text{m})^2} \rightarrow \dot{X} = 96 \text{mrem} / \text{hr}$$



8-. Se utiliza una fuente de 3,7 TBq de Ir-192. ¿Cuál será la tasa de dosis a una distancia de 100 pies si se le coloca un colimador de 5HVL?

Datos:

$d=100$ pies

$A= 3,7$ TBq

$\dot{X} = ?$

En primer lugar se debe pasar los TBq a Ci

$$\begin{aligned} 1TBq &\rightarrow 1 \times 10^{12} Bq & X &= 3.7 \times 10^{12} Bq \\ 3.7TBq &\rightarrow X \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 1Bq &\rightarrow 2.7 \times 10^{-11} Ci & X &= 100Ci \\ 3.7 \times 10^{12} Bq &\rightarrow X \end{aligned}$$

Ahora hay que pasar los pies a metros

$$100 \text{ pies} \rightarrow \text{metros} \Rightarrow 100 \text{ pies} \cdot 0.304 = 30.4 \text{ metros}$$

$$\dot{X} = \frac{A \cdot \Gamma}{d^2} \rightarrow \dot{X} = \frac{100Ci \cdot 480 \text{ mrem} \cdot m^2 / Ci \cdot hr}{(30.4m)^2} \rightarrow \dot{X} = 51.93 \text{ mrem} / hr$$

Para calcular la tasa de dosis utilizando un colimador se aplica la siguiente ecuación:

$$\dot{X} = \frac{\dot{X}_o}{2^n} \rightarrow \dot{X} = \frac{51.93 \text{ mrem} / hr}{2^5} \rightarrow \dot{X} = 1.62 \text{ mrem} / hr$$

9-. Se desea hacer una radiografía utilizando una fuente de ^{45}Ci , pero no se sabe dónde colocar la señalización de peligro para que el público no pase. ¿A qué distancia se debe colocar dicha barrera, si se trabaja con un colimador de 8HVL?

Datos:

$$A=45\text{Ci}$$

$$\dot{X}=0.05\text{mrem/hr}$$

$$\dot{X} = \frac{A \cdot \Gamma}{d^2} \rightarrow d = \sqrt{\frac{A \cdot \Gamma}{\dot{X}}} \rightarrow d = \sqrt{\frac{45\text{Ci} \cdot 480\text{mrem} \cdot \text{m}^2 / \text{Ci} \cdot \text{hr}}{0.05\text{mrem/hr}}} \rightarrow d = 657.26\text{metros}$$

$$d = \frac{d_o}{\sqrt{2^n}} \rightarrow d = \frac{657.26\text{mrem/hr}}{\sqrt{2^8}} \rightarrow d = 41.08\text{m}$$

10-. Se tiene una fuente de 100Ci y se desea acordonar para impedir el acceso al público. Calcular a cuánto se reduce la distancia de acordonamiento al colocar un colimador de 5HVL y de 8HVL.

Datos:

$$A=100\text{Ci}$$

$$\dot{X}=0.05\text{mrem/hr}$$

$$\dot{X} = \frac{A \cdot \Gamma}{d^2} \rightarrow d = \sqrt{\frac{A \cdot \Gamma}{\dot{X}}} \rightarrow d = \sqrt{\frac{100\text{Ci} \cdot 480\text{mrem} \cdot \text{m}^2 / \text{Ci} \cdot \text{hr}}{0.05\text{mrem/hr}}} \rightarrow d = 979.79\text{metros}$$

Con colimador de 5HVL:

$$d = \frac{d_o}{\sqrt{2^n}} \rightarrow d = \frac{979.97\text{mrem/hr}}{\sqrt{2^5}} \rightarrow d = 173.23\text{m}$$

Con colimador de 8HVL:

$$d = \frac{d_o}{\sqrt{2^n}} \rightarrow d = \frac{979.97\text{mrem/hr}}{\sqrt{2^8}} \rightarrow d = 61.25\text{m}$$



11-. Se obtiene una radiografía correcta a 40cm de distancia con 2 minutos de exposición. Si se incrementa la distancia a 90cm. ¿Cuál será el nuevo tiempo de exposición para mantener correctos los resultados?

Datos:

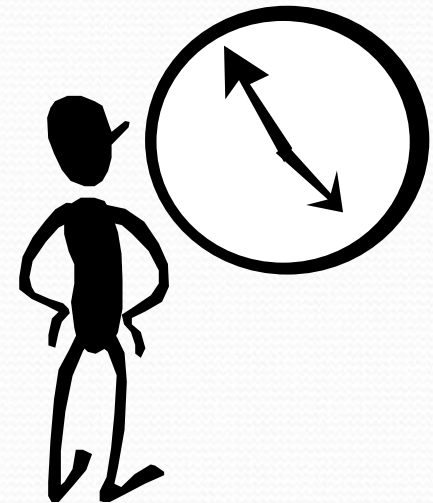
$d_1=40\text{cm}$

$t_1=2\text{minutos}$

$d_2=90\text{cm}$

$t_2=?$

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{d_1^2}{d_2^2} \rightarrow t_2 = \frac{t_1 \cdot d_2^2}{d_1^2} \rightarrow t_2 = \frac{2\text{min} \cdot (90\text{cm})^2}{(40\text{cm})^2} \rightarrow t_2 = 10.12\text{min}$$



12-. Si un tiempo de exposición de 60 segundos y una distancia fuente – película de 4 pies es necesaria para una exposición particular. ¿Qué tiempo de exposición será necesario para una exposición equivalente si la distancia fuente – película es cambiada a 5 pies?

Datos:

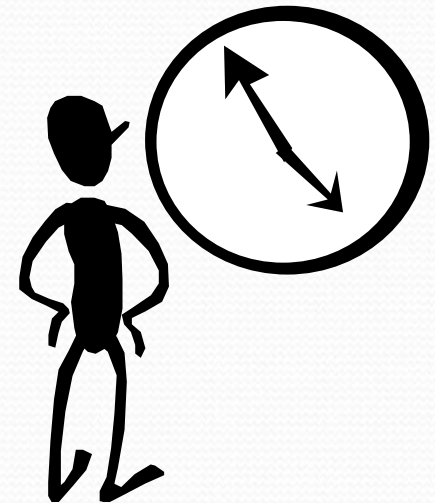
$$t_1 = 60 \text{ seg}$$

$$d_1 = 4 \text{ pies}$$

$$d_2 = 5 \text{ pies}$$

$$t_2 = ?$$

$$\frac{t_1}{t_2} = \frac{d_1^2}{d_2^2} \rightarrow t_2 = \frac{t_1 \cdot d_2^2}{d_1^2} \rightarrow t_2 = \frac{60 \text{ seg} \cdot (5 \text{ pies})^2}{(4 \text{ pies})^2} \rightarrow t_2 = 93.75 \text{ seg}$$



CONTACTANOS

Dirección: Av. 4 Bella Vista, Edif. Ferley, Sótano Nro. 2 Oficina Nro. 69-104, Sector Bella Vista, Parroquia Olegario Villalobos, Municipio Maracaibo, Edo. Zulia.

Teléfonos: 0261-7978339 04146594881, 0416-6662794, 0412-5806487, 0416-8679248

Página Web: <https://www.rotarica.com.ve/>

E-mail: contacto@rotarica.com.ve rotarica01@gmail.com
rotarica2021@gmail.com rotaricara@hotmail.com
rotaricard@gmail.com
Skype rotarica01