

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



**“CONTROL DE CALIDAD EN UNIONES SOLDADAS POR LA
TECNICA DE RADIOGRAFIA INDUSTRIAL”**

**INFORME DE SUFICIENCIA
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE
INGENIERO MECANICO**

WILDER ROBERTO GUERRA SANTOS

PROMOCION 97 II

LIMA - PERU

2002

A mis padres, Job y Judith, por el esfuerzo dedicado durante todos estos años en desarrollo de mi educación. También a aquellas personas que estuvieron apoyándome en forma espiritualmente e incondicionalmente durante todo este tiempo.

I. INDICE

PROLOGO.....	1
1. INTRODUCCION.....	2
2. PRINCIPIOS FÍSICOS Y FUNDAMENTO TEÓRICO.....	4
2.1. ESTRUCTURA ATÓMICA Y NUCLEAR.....	4
2.2. RADIATIVIDAD.....	7
2.3. RADIACIONES IONIZANTES.....	7
2.4. TIPOS DE RADIACIONES IONIZANTES.....	7
2.5. INTERACCIONES DE LAS RADIACIONES CON LA MATERIA.....	10
2.6. MAGNITUDES Y UNIDADES DE MEDICIÓN.....	12
3. VARIABLES DEL PROCESO RADIOGRÁFICO.....	15
3.1. MATERIAL RADIOGRAFIADO.....	15
3.2. FUENTES DE RADIACIÓN.....	16
3.3. PRINCIPIOS GEOMÉTRICOS.....	21
3.4. PELÍCULAS RADIOGRÁFICAS.....	25
3.5. PANTALLAS INTENSIFICADORAS.....	29
3.6. TÉCNICAS DE EXPOSICIÓN.....	31
3.7. INDICADORES DE CALIDAD DE IMAGEN.....	36
3.8. TIEMPO DE EXPOSICIÓN.....	38
3.9. PROCESO DE REVELADO.....	40
4. PRINCIPIOS DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA.....	43
4.1. RIESGOS DEL MATERIAL RADIATIVO.....	43
4.2. EFECTOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES.....	44
4.3. EQUIPOS DE MEDIDA.....	45
4.4. MÉTODOS DE PROTECCIÓN.....	47
4.5. SEÑALIZACIÓN DE LAS ÁREAS DE TRABAJO.....	47
5. ELABORACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA.....	50
5.1. DEFINICIÓN DEL PROCEDIMIENTO.....	51
5.2. DOCUMENTACIÓN APLICABLE.....	51
5.3. RESPONSABILIDADES.....	52
5.4. SEGURIDAD Y PROTECCIÓN RADIOLÓGICA.....	53
5.5. PROCEDIMIENTO PARA EL DESARROLLO DE LA INSPECCIÓN.....	54
5.6. CRITERIOS DE EVALUACIÓN.....	58
5.7. REPORTE DE INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA.....	59
6. ESTRUCTURA DE COSTOS DE INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA.....	61
6.1. COSTOS DIRECTOS DE OPERACIÓN.....	61
6.2. COSTOS INDIRECTOS.....	62
7. CONCLUSIONES.....	64
8. MATERIAL DE REFERENCIA.....	66
8.1. BIBLIOGRAFÍA.....	67
8.2. ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	68
8.3. PROCEDIMIENTO ESPECÍFICO DE INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA.....	68

Prologo.

Por la importancia que tienen los ensayos no destructivos en el control de calidad de las uniones de soldadura, es importante conocer sus principios físicos, las variables que intervienen y la técnica de ejecución. La elaboración del presente informe esta realizado en base a la técnica de radiografía industrial; el cual se aplica como una de las técnicas validación del proceso de soldadura. La radiografía industrial tiene una particularidad, en relación con las demás técnicas, que esta relacionada con la seguridad y protección radiológica, la que será tratada en uno de los capítulos del presente informe.

Se agradece el apoyo incondicional de las siguientes empresas: HAUG S.A. quien realizó el montaje de la tubería forzada de la Central Hidroeléctrica de Yanango, BECOINSAC y ATAC; quienes han brindado su colaboración en el desarrollo del presente informe.

1.

INTRODUCCION

En la actualidad existe una variedad de END como técnicas de inspección de las uniones soldadas, tales como: tintes penetrantes, ultrasonido, corrientes inducidas y radiografía industrial. Cada una de las técnicas tiene sus ventajas y limitaciones, para identificar los diversos tipos de discontinuidades que se presentan en los cordones de soldadura. Por esta razón, es que la mayoría de proyectos, en base a los códigos y normas internacionales de fabricación (ASME, API, AWS, etc.), utilizan una o la combinación de las técnicas indicadas anteriormente.

Dentro de los END, la radiografía industrial permite una inspección mas allá de la superficie de soldadura, llegando a identificar discontinuidades internas en una amplia variedad de materiales y además, proporciona documentos permanentes del examen realizado.

La radiografía industrial emplea radiaciones electromagnéticas de longitudes de onda muy cortas y de alta energía, capaz de penetrar materiales sólidos; con lo que se logra conocer la condición interna

En el presente trabajo se analizarán los principios físicos de las radiaciones para un mejor entendimiento del proceso radiográfico, seguidamente se estudiarán las variables que intervienen en el proceso, de tal manera que sea posible seleccionar la modalidad más adecuada a las condiciones particulares del trabajo.

Otro aspecto que debe estar presente cuando se realiza un trabajo de radiografía industrial es lo relacionado con la seguridad y protección de la fuente de radiación; antes, durante y después de la inspección. Debido a que la exposición de una persona a las radiaciones puede resultar perjudicial.

Una vez conocido el principio de operación, las variables que intervienen y los principios de seguridad radiológica, procederemos a realizar un procedimiento de inspección radiográfica de acuerdo a nuestro sistema de aseguramiento de calidad, el cual considera que las actividades críticas dentro del proceso de fabricación deben ser validadas por procedimientos específicos, por lo cual, los trabajos relacionados con la soldadura son actividades críticas dentro del proceso de fabricación de la industria metalmecánica. En tal sentido, antes de llevar a cabo la operación, se debe definir el procedimiento de trabajo indicando las variables a ser controladas, las responsabilidades del personal que ejecutará la inspección y el método de aceptación que será utilizado.

Finalmente se analizarán los costos de la inspección radiografía, el cual nos permitirá conocer las variables que se deben tener presente durante una evaluación económica de una inspección por radiografía industrial.

2.

PRINCIPIOS FISICOS Y FUNDAMENTO TEORICO

Para la mejor comprensión de los fenómenos físicos involucrados en la radiografía industrial, es necesario tener presente algunos conceptos básicos sobre física atómica, además de definir las unidades que serán empleadas durante el estudio.

2.1. Estructura atómica y nuclear.

Un elemento puede ser definido como una sustancia que no puede descomponerse en otros más sencillos por procedimientos químicos.

Todos los elementos tienen, en general, la misma estructura atómica, que consiste en un núcleo pesado cargado positivamente, rodeado de electrones, partículas ligeras con carga negativa, distribuidos en orbitas alrededor del núcleo y cuyo número determina las propiedades químicas del elemento. (Ver figura 1).

El núcleo, en el cual se encuentra concentrada prácticamente toda la masa del átomo, esta constituida por la unión de un cierto número de partículas pertenecientes a dos tipos: los protones y los neutrones. El protón tiene una carga positiva igual en valor absoluto a la del electrón. El neutrón es una partícula neutra y cuya masa es aproximadamente igual a la del protón.

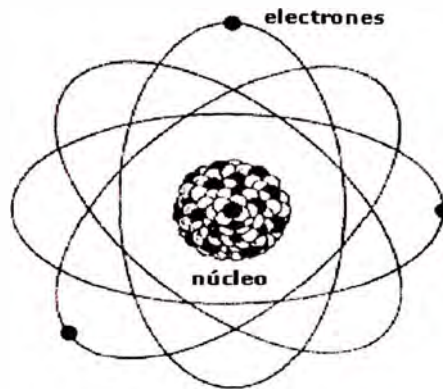


Figura 1. Estructura Atómica

Los átomos normalmente son eléctricamente neutros, pues el número de electrones orbitales es igual al número de protones en el núcleo. A este número se le denomina número atómico (Z) y distingue a los elementos químicos.

Como ya se mencionó, el núcleo está en la parte central del átomo, y consiste de protones y neutrones. Cada elemento de un Z determinado puede contener en su núcleo diferente número de neutrones sin que ello afecte su número atómico; por ejemplo, el hidrógeno, el elemento más sencillo, puede tener cero, uno, o dos neutrones. Todos ellos son hidrógeno, por ser de $Z = 1$, pero las variantes según N , el número de neutrones, se llaman isótopos del hidrógeno. La figura 2 muestra los isótopos del hidrógeno.

El número de masa A de los núcleos es igual al número total de nucleones (así se llama genéricamente a los neutrones y protones). En otras palabras, $A = N + Z$, con lo cual se define totalmente de qué núcleo se trata. Hay más de 2 000 isótopos conocidos de todos los elementos.

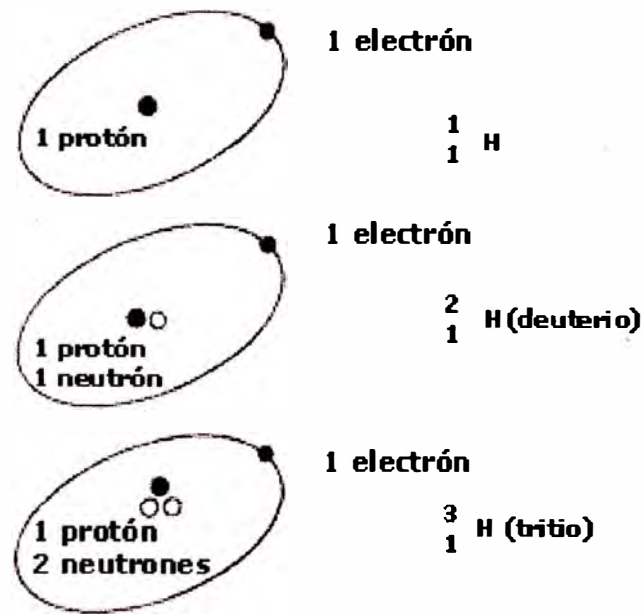


Figura 2. Los Isótopos del Hidrógeno.

Para identificar sin ambigüedad a los núcleos, se usa la siguiente notación:



En donde X representa el símbolo químico (H, He, Li, etc.). Al indicar A y Z, queda definido $N = A - Z$. Nótese, además, que se puede prescindir de escribir Z, pues ya se tiene el símbolo químico, que es equivalente. En esta notación, los isótopos del hidrógeno son ${}^1\text{H}$, ${}^2\text{H}$ y ${}^3\text{H}$. Así como, el hidrógeno que es un elemento ligero, existen elementos pesados como el Uranio:



Dándose así lugar a variedades del mismo elemento químico con igual número de protones pero distinto número de neutrones, conocidos como isótopos. En estos isótopos, debido al exceso de neutrones, existe cierta inestabilidad del núcleo, lo cual da lugar a que estos elementos sean radioactivos y se les conozca bajo la designación de radioisótopos.

2.2. Radiactividad.

Para un elemento cualquiera hay un intervalo limitado en el que el número de neutrones puede formar parte del núcleo y el átomo sigue siendo estable. Si el número de neutrones presentes en el núcleo es demasiado bajo o demasiado alto, el átomo es inestable. Un átomo inestable tratará de alcanzar la estabilidad emitiendo energía en forma de radiación, entonces se dice que es radiactivo.

La radiactividad puede definirse sencillamente como un proceso en el cual un átomo inestable trata de hacerse más estable emitiendo radiación.

2.3. Radiaciones Ionizantes.

Son radiaciones capaces de interactuar con la materia aportándole calor y formando iones. La facultad de dar calor es lo que hace que puedan quemar, de la misma forma que lo hacen las radiaciones solares.

La ionización degrada la materia. Este efecto en los seres vivos afecta especialmente a las células, ya que contienen en sus núcleos los códigos por los que se reproducen, manteniendo así el cuerpo humano. Las más sensibles por lo tanto son aquéllas que se están reproduciendo con mayor frecuencia como las de: los fetos, pelo, uñas, reproducción sexual o tumores cancerosos.

2.4. Tipos de Radiaciones Ionizantes.

Los isótopos radiactivos, se desintegran emitiendo espontáneamente radiación que se conocen como:

- Partículas Alfa.
- Partículas Beta.
- Radiación Gamma.

c) Radiación Gamma.

La radiación gamma es una radiación electromagnética, lo mismo que el radar, la TV, la luz, la radiación microondulatoria, la ultravioleta y la infrarroja. Sin embargo, la radiación gamma posee una energía más elevada, una frecuencia más elevada y una longitud de onda mas corta que todas estas radiaciones.

Dicho sea de paso, los rayos X pueden considerarse en general como rayos gamma de baja energía producidos con una máquina en lugar de proceder de un átomo radiactivo.

La radiación gamma y X son muy penetrantes y no puede ser detenida completamente, sin embargo puede ser reducida a niveles insignificante. Para protegerse de ella se necesita material de elevada densidad o una gran cantidad de material. En consecuencia, la radiación gamma y X pueden atravesar con relativa facilidad el cuerpo humano.

La figura 3. Ilustra la capacidad de penetración de las radiaciones indicadas anteriormente.

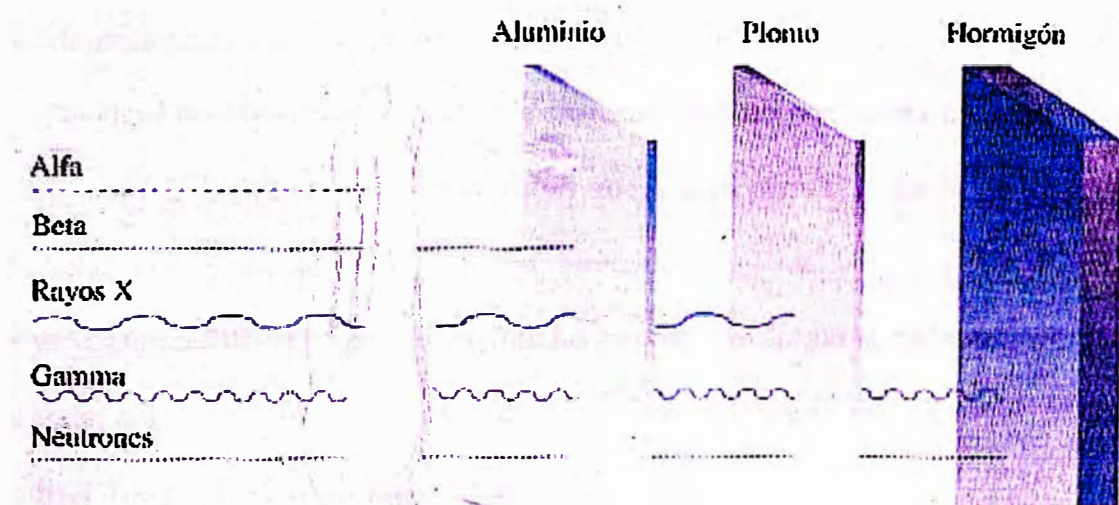


Figura 3. Radiaciones Ionizantes.

a) Partículas Alfa.

Son núcleos de helio procedentes de la desintegración de un elemento radiactivo al que abandonan a gran velocidad. Para la escala a la que nos movemos cuando hablamos de radiactividad, estamos refiriéndonos a partículas de enorme tamaño. Su capacidad de penetración es prácticamente nula (no pueden atravesar ni una hoja de papel) y en el aire solo alcanzan unos pocos centímetros.

Una partícula alfa cederá su energía en una distancia muy corta en su mayor parte por ionización. De esto se desprende que la radiación alfa no es muy penetrante, por tanto, no presenta ningún riesgo siempre que el radionucleido emisor alfa este situado fuera del cuerpo. Sin embargo, en caso de ingestión o inhalación de este radionucleido las partículas alfa pueden ionizar átomos de las células vivientes.

b) Partículas Beta.

Son electrones de alta energía. Al igual que las radiaciones α , son producidas por la desintegración de un elemento radiactivo del que salen a gran velocidad. Como en el caso anterior, la partícula sin velocidad no representa un peligro.

La masa de un electrón es unas 7.200 veces más pequeña que la de un átomo de helio, por lo que la energía de una radiación β es mucho menor que la de una α y su capacidad de penetración mucho mayor, sin llegar a ser excesivamente grande; unos metros en el mejor de los casos. Una hoja de aluminio de unos milímetros es blindaje suficiente para pararla.

2.5. Interacciones de las radiaciones con la materia.

Las radiaciones ionizantes interactúan con la materia de acuerdo al tipo que se trate. En este sentido se tendrán las interacciones de partículas y la interacción de las radiaciones electromagnéticas.

2.5.1. Interacción de Partículas.

Las partículas pierden energía en el medio a través de colisiones directas o por interacción coulombiana. Esto ocurre debido a que poseen carga y masa. En la interacción las partículas son absorbidas completamente por el medio.

a) La interacción de las partículas Alfa produce fundamentalmente ionización y excitación de los átomos del medio, no existiendo radiación de frenado. Su alcance en aire es casi función directa de su energía.

Su riesgo como radiación externa es inexistente, pero internamente son muy peligrosas.

b) Las partículas beta pierden su energía por colisión y también por radiación de frenado. Básicamente este mecanismo de producción de radiación de frenado es la premisa para la producción de rayos X. Su alcance es mayor que la de las partículas alfa, pero poseen una ionización específica menor. En la interacción son absorbidos completamente por el medio.

2.5.2. Interacción de radiaciones electromagnéticas.

Los rayos X y gamma, al no tener carga, no pueden ser frenados lentamente por ionización al atravesar un material. Sufren otros mecanismos que al final los hacen desaparecer, transfiriendo su energía, pueden atravesar varios centímetros de un sólido, o cientos de metros de aire, sin sufrir ningún proceso

ni afectar la materia que cruzan. Luego sufren uno de los tres efectos y depositan allí gran parte de su energía. Los tres mecanismos de interacción con la materia son: el efecto fotoeléctrico, el efecto Compton y la producción de pares. Se describen en forma gráfica en la figura 4.

a) El efecto fotoeléctrico consiste en que el fotón se encuentra con un electrón del material y le transfiere toda su energía, desapareciendo el fotón original. El electrón secundario adquiere toda la energía del fotón en forma de energía cinética, y es suficiente para desligarlo de su átomo y convertirlo en proyectil. Se frena éste por ionización y excitación del material.

b) En el efecto Compton el fotón choca con un electrón como si fuera un choque entre dos esferas elásticas. El electrón secundario adquiere sólo parte de la energía del fotón y el resto se la lleva otro fotón de menor energía y desviado.

c) Producción de pares. En este caso el fotón se transforma en un par electrón-positrón. Como la suma de las masas del par es 1.02 MeV, no puede suceder si la energía del fotón es menor que esta cantidad. Si la energía del fotón original es mayor que 1.02 MeV, el excedente se lo reparten el electrón y el positrón como energía cinética, pudiendo ionizar el material.

Cada uno de los efectos predomina a diferentes energías de los fotones. A bajas energías (rayos X) predomina el fotoeléctrico; a energías medianas (alrededor de 1MeV), el Compton; a energías mayores, la producción de pares.

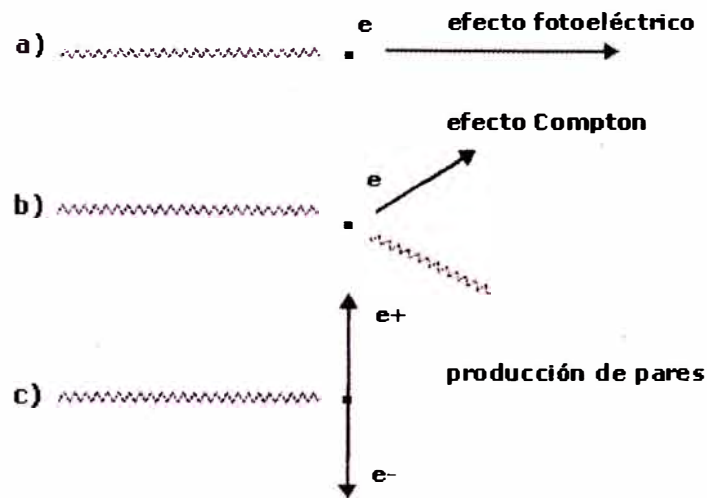


Figura 4. Interacción de los rayos gamma y X con la materia.

2.6. Magnitudes y Unidades de Medición.

A continuación se describirán las unidades con que se cuantificaran las distintas manifestaciones del fenómeno radiológico que interesan en el presente trabajo, así como el campo que involucran y para que fines se requiere su conocimiento.

a) Actividad.

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

Unidades: En el SI la actividad es: Bequerelio (Bq)

Equivalencia: La unidad antigua de la actividad es el Curie (Ci):

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

b) Exposición.

La exposición es una medida de la ionización producida por una radiación por unidad de masa de aire en condiciones estándar de presión y temperatura (CSPT).

Unidades: en el SI la exposición es: Culombio/kilogramo (C/kg)

Equivalencia: La unidad antigua de la exposición es el Roentgen ®.

$$1 \text{ Roentgen} = 1 \text{ R} = 2.58 \cdot 10^{-4} \text{ C/kg}$$

c) Tasa de Exposición.

Es la exposición por unidad de tiempo.

Unidades: en el SI la tasa de exposición es: C/kg.s

En otras unidades esta dada por: R/s, R/h.

d) Dosis Absorbida.

Es la energía depositada por unidad de masa de material (Análoga a la exposición pero para materiales).

Unidad: En el SI la dosis absorbida es el Gray (Gy), definido como:

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J / Kg.}$$

Equivalencia: La unidad antigua de dosis absorbida es el Rad:

$$1 \text{ Rad} = 0.01 \text{ J / Kg.}$$

e) Tasa de Dosis Absorbida.

Es la Dosis absorbida por unidad de tiempo.

Unidades: en el SI la tasa de exposición es: Gy / s

En otras unidades esta dada por: Rad / s, Rad / min.

f) Dosis Equivalente.

La dosis absorbida produce efectos distintos según el tipo de radiación, por eso se define la dosis equivalente que es independiente de la radiación que la haya producido.

Unidad: En el SI la dosis equivalente es el Sievert (Sv), definido como:

$$1 \text{ Sv} = 1 \text{ Gy} * Q$$

Equivalencia: La unidad antigua de la dosis equivalente es el REM:

$$1 \text{ rem} = 0.01 \text{ Sv.}$$

Donde Q, es el factor de calidad de la radiación. En la tabla 1, se muestran los factores de calidad de las distintas radiaciones.

Tabla 1. Factores de Calidad

<i>Tipo de radiación</i>	<i>Q</i>
Rayos X, γ	1
Electrones	1
Neutrones térmicos	2.3
Neutrones rápidos	10
Protones	10
Partículas α	20

Como conclusión puede decirse que, contar con parámetros para la evaluación de la radiación permite manejar la técnica con mayor eficiencia al conocer las causas de los resultados; dicho enunciado confiere al inspector una mayor certeza en el seguimiento del proceso.

En la tabla 2 se muestra un resumen de las unidades de radiación.

Tabla 2. Resumen de Unidades

<i>Concepto</i>	<i>Proceso fisico</i>	<i>S.I.</i>	<i>Unidades antiguas</i>
Actividad	Desintegración nuclear	Bq	Ci
Exposición	Ionización del aire	R	R
Dosis absorbida	Energía depositada	Gy	rad
Dosis equivalente	Efecto Biológico	Sv	rem

3.

VARIABLES DEL PROCESO RADIOGRAFICO

El número de variables de las que depende la calidad de una radiografía es considerable. Todas y cada una de ellas ejercen una influencia, a veces con carácter decisivo, razón por la cual se hace necesario considerarlas aisladamente y en conjunto para poder fijarlas con precisión y controlarlas con exactitud, si se quiere mantener el nivel de calidad que todo trabajo de inspección radiográfica requiere.

3.1. Material Radiografiado.

Si en la radiografía industrial se utilizase radiaciones monocromáticas (radiación con una sola longitud de onda) y no se produjese radiación difusa, las leyes de la absorción de la radiación por la materia que constituye el objeto radiografiado se podrían establecer con exactitud. Esto no es posible, ya que, en la práctica, la radiación utilizada contiene una gama más o menos amplia de longitudes de onda y, además, se produce una cierta cantidad de radiación difusa.

La absorción de la radiación por un objeto depende sobre todo de su espesor y de su densidad, así como del número atómico de los elementos en el presente. Es evidente que, en dos objetos del mismo material, el más grueso absorberá más

radiación que el más fino, lo que hará preciso utilizar una radiación más penetrante para conseguir el mismo efecto radiográfico. Por otra parte conviene destacar el hecho de que el peso atómico de los elementos que se encuentran presentes ejerce una influencia sobre la absorción de la radiación; superior a la motivada por el espesor y la densidad.

3.2.Fuentes de Radiación.

La calidad de la imagen radiográfica depende de la correcta selección de las variables que se apliquen durante la inspección. Una de éstas es la fuente de energía radiante que se emplee. En esta sección, se analizará las características más relevantes de los equipos de rayos X y gamma. Es conveniente hacer notar que cada una de ellas tiene sus ventajas y limitaciones, por lo que la selección de la energía a ser utilizada deberá realizarse en función del trabajo a efectuar, de las condiciones de operación y de las características de los materiales a inspeccionar.

a) Rayos X.

Son dispositivos electrónicos que convierten la energía cinética de los electrones en rayos X. según su potencia, se clasifican como de baja o alta energía. En la radiografía industrial, normalmente se manejan los tubos de rayos X como potenciales que varían de 100 a 400 Kv, los cuales se conocen como tubos de baja energía.

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. En figura 5 se muestra esquemáticamente el arreglo de un tubo de rayos X comercial.

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

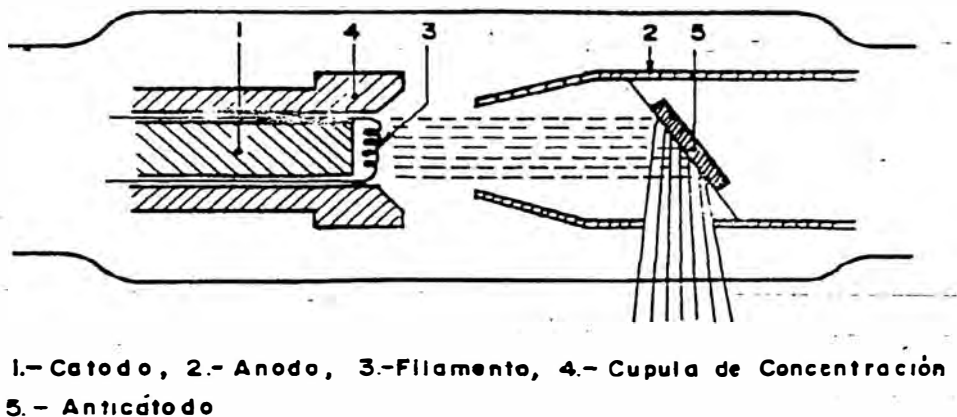


Figura 5, Tubo de Rayos X.

La cantidad total de radiación emitida por un tubo de rayos X, trabajando en unas determinadas condiciones de intensidad y tensión de excitación, es directamente proporcional al tiempo.

La tensión (kV) aplicada a un tubo afecta no solamente la calidad, sino también a la intensidad de la radiación. Al aumentar la tensión se produce una radiación de longitud de onda más corta con mayor poder de penetración y un aumento de la intensidad de la radiación. Por otra parte, si la corriente de alimentación se mantiene constante, un aumento de tensión hace que la intensidad de la radiación aumente y, al contrario, la intensidad será menor cuando la tensión descienda.

Es, por esto, de la mayor importancia que la tensión sea regulada con la mayor exactitud posible. Por esa razón, la línea de alimentación de una instalación de

rayos X debe ser independiente y nunca deberán conectarse a ellas otros aparatos que puedan dar lugar a variaciones bruscas de tensión.

La tabla 3, en la cual se encuentran clasificados una serie de equipos de rayos X de acuerdo con su tensión máxima de excitación y poder de penetración.

Tabla 3. Campo de aplicación de los Rayos X

<i>Tensión Máxima kV</i>	<i>Aplicaciones y Limites de espesor apropiados</i>
50	Secciones metálicas muy finas.
150	Aleaciones ligeras hasta 100 mm. 25 a 40 mm de acero o equivalente, según la técnica radiográfica empleada.
250	50 a 75 mm de acero o equivalente, según la técnica radiográfica empleada.
400	75 a 100 mm de acero o equivalente, según la técnica radiográfica empleada.
1000	125 a 120 mm de acero o equivalente.
2000	150 a 200 mm de acero o equivalente.

b) Rayos Gamma.

Los rayos gamma son ondas electromagnéticas de una longitud de onda relativamente cortas y son emitidas durante la desintegración de isótopos inestables naturales o producidos artificialmente. A continuación se describen brevemente algunas propiedades de las fuentes de rayos gamma:

Vida media, La vida media es el tiempo que debe transcurrir para que la cantidad de materia radioactiva se reduzca a la mitad. La vida media de un isótopo dado es siempre la misma; no depende de cuántos átomos se tengan o cuánto tiempo hayan estado allí.

A continuación, se dan las vidas medias de los radioisótopos mas empleados industrialmente.

<i>Radioisótopo</i>	<i>Vida Media</i>
Radio – 226 (Ra-226)	1620 años
Cesio – 137 (Cs-137)	10 años
Cobalto – 60 (Co-60)	5.3 años
Tulio – 170 (Tm-170)	130 días
Iridio – 192 (Ir-192)	75 días

Actividad de la fuente, La actividad de la fuente puede ser conocida empleando las graficas o tablas de decaimiento para un radioisótopo en particular y conocer así la actividad de la fuente en cualquier tiempo. Además de las graficas para estimar la actividad de un radioisótopo en un momento determinado, es posible calcularla por medio de la siguiente expresión:

$$A = A_0 (0.5)^{\frac{t}{V_m}}$$

Donde:

A: Actividad del isótopo en un tiempo t.

A_0 : Actividad inicial del radioisótopo.

T : Tiempo transcurrido desde la determinación de la actividad inicial.

V_m : Vida media del radioisótopo.

Intensidad de la radiación, Se refiere al grado de ionización que una fuente puede proporcionar en un tiempo determinado, su unidad es el roentgen/hora y puede ser calculada multiplicando la actividad de la fuente por la constante específica de emisión. La intensidad de la fuente puede variar debido a que esta característica esta en función del tamaño de la fuente, material, diseño de

encapsulamiento y del grado de concentración del radioisótopo (actividad específica) al momento en que es encapsulado.

Constante Específica de Emisión. Se refiere a la capacidad de ionización que tiene un radioisótopo a una distancia determinada; normalmente se expresa en R/h.Ci. Las constantes específicas de emisión de los diferentes radioisótopos empleados en radiografía industrial se muestran en la siguiente tabla 4:

Tabla 4. Constante Específica de Emisión.

<i>Radioisótopo</i>	<i>Constante Específica</i>		
	R/h-Ci a 1 pie	R/h-Ci a 1 metro	C/kh-Bq a 1 metro
Cesio – 137	3.4	0.32	2.23 x 10 E-15
Cobalto – 60	14	1.3	9.06 x 10 E-15
Iridio – 192	5.9	0.55	3.83 x 10 E-15

Nivel Energético. La energía emitida por cada radioisótopo es constante y no cambia aun cuando la actividad y la intensidad de emisión del radioisótopo disminuyan. Este hecho no debe pasar inadvertido, ya que influye en la calidad de la imagen que se obtenga. A mayor energía emitida, menos será el contraste en la imagen radiográfica.

Los tres isótopos que se usan con más frecuencia son: Cobalto -60, Iridio -192 (Ver figura 6) y Cesio -137. Las radiaciones emitidas por estos tres elementos, en cuanto a su sensibilidad radiográfica se refiere, pueden considerarse como equivalentes a la radiación X emitida por tubos excitados por 3900, 900, 1200 kV, respectivamente. En la tabla 5 se muestra las aplicaciones de las fuentes de gammagrafía.

Tabla 5. Aplicación de las Fuentes para Gammagrafia.

<i>Radioisótopo</i> <i>Energía y MeV</i>	<i>Cobalto 60</i> <i>1.17 – 1.33</i>	<i>Iridio 192</i> <i>0.31 – 0.47 – 0.61</i>
Acero	2 – 6 pulg. 50 – 150 mm.	0.5 – 2.5 pulg. 12.5 – 62.5 mm.
Aleaciones Ligeras	6 – 18 pulg. 150 – 450 mm.	1.5 – 7 pulg. 37.5 – 175 mm.



Figura 6. Equipo de Gammagrafia Iridio 192.

3.3. Principios Geométricos.

Los rayos X y gamma obedecen los principios de la luz, por lo que la formación de la imagen en la película puede ser explicada de una manera simple en términos de la formación de imágenes ópticas o fotográficas. Con respecto a lo anterior, existen dos diferencias principales, que son:

1. La materia presenta diferentes grados de absorción de la radiación.
2. La radiación dispersa presenta problemas que no se manifiestan normalmente en la óptica o la fotografía.

Todas las imágenes radiográficas presentan una distorsión debida a varios factores que pueden ser controlados. Las cuales pueden ser:

a) Penumbra 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. El grado de amplificación dependerá tanto de la distancia entre la fuente y el objeto, como de la distancia entre éste ultimo y la película. Además, la claridad o definición de la imagen dependerá del tamaño de la fuente y del espesor del objeto. Ver figura 7.

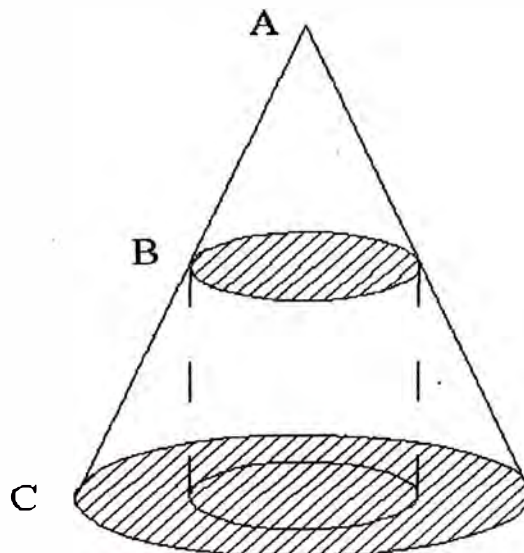


Figura 7. Penumbra por Amplificación.

b) Penumbra por Proyección.

Hasta ahora, se ha tratado la distorsión de la imagen considerando la fuente de radiación en forma puntual. Como la fuente no es puntual sino un área pequeña, por lo cual la penumbra por distorsión no puede eliminarse completamente debido a que no puede obtenerse una fuente puntual en un equipo de radiografiado. Ver figura 8.

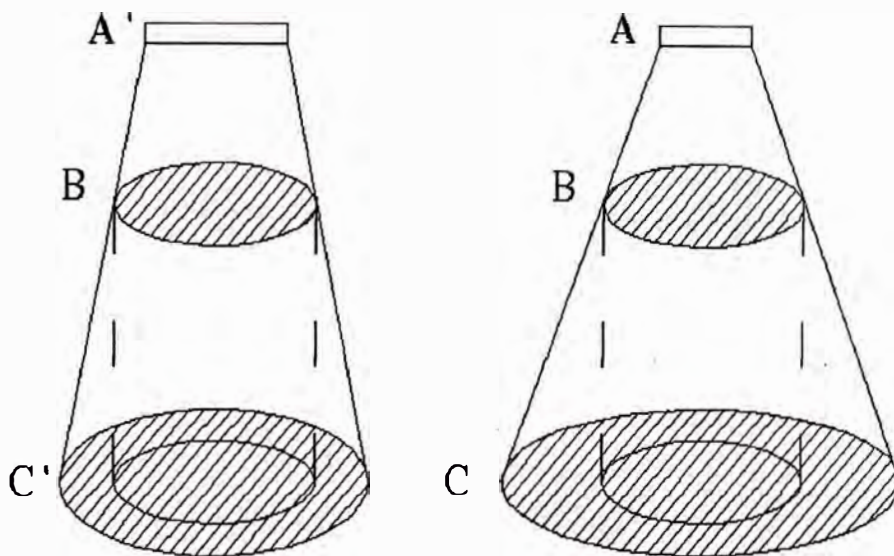


Figura 8. Penumbra por Proyección.

c) Penumbra Geométrica.

Se puede afirmar que ésta es, por lo general, una consecuencia de los factores geométricos descritos anteriormente y es directamente proporcional al tamaño del punto focal, al espesor del objeto que se radiografía y a la distancia entre la fuente y el objeto a la película, e inversamente proporcional a la distancia entre la fuente y el objeto, ver figura 9. Esta relación se expresa matemáticamente de la siguiente forma:

$$U_g = \frac{F \cdot d}{D_0}$$

Donde:

D_0 : Distancia fuente – objeto.

D : Distancia objeto – película.

F : Tamaño del punto focal.

U_g : Penumbra geométrica.

Se ha determinado que 0.020'' de penumbra geométrica puede ser definida por el ojo humano, por lo tanto, cualquier imagen con una penumbra geométrica por arriba de 0.020'' aparece como borrosa o no definida por el ojo humano. No obstante algunos documentos requieren que la penumbra geométrica se limite a 0.010'' o en ocasiones hasta 0.005''.

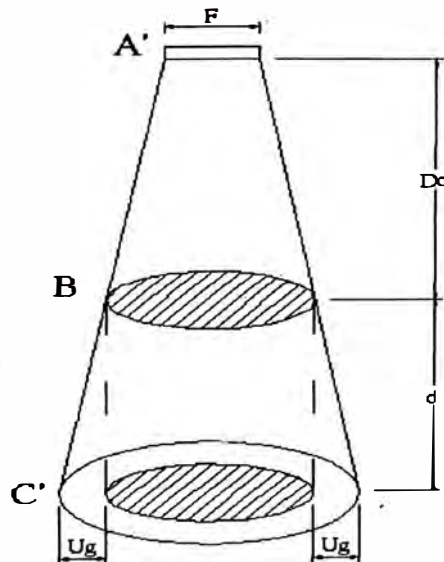


Figura 9. Penumbra Geométrica.

d) Distancia Fuente – Objeto.

penumbra geométrica se reduce cuando la distancia fuente – objeto se incrementa.

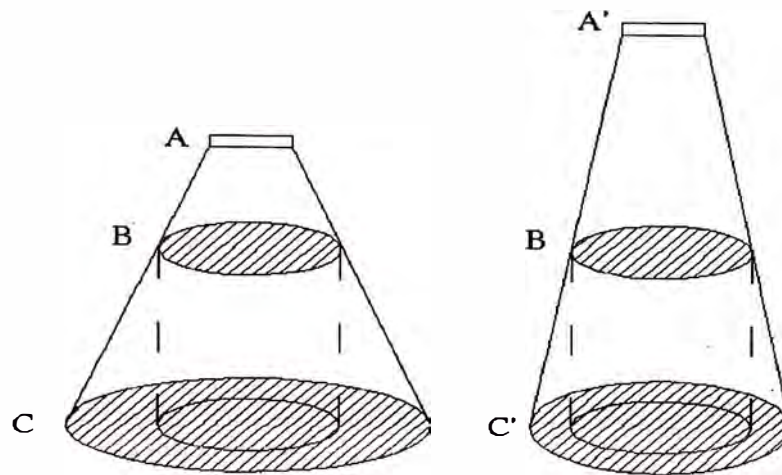


Figura 10. Distancia Fuente Objeto.

e) Distancia Objeto – Película.

Otra técnica para reducir la penumbra es mantener la película tan cerca de la pieza como sea posible.

3.4. Películas Radiográficas.

La película radiográfica consiste de una hoja delgada de plástico o acetato transparente, cubierta por uno o ambos lados de una emulsión de bromuro de plata de aproximadamente 0.0254 mm de espesor. Esta emulsión es muy sensible a la acción de la luz y de las radiaciones ionizantes, que actúan sobre los granos de bromuro de plata originando cambios en su estructura física. Estos cambios dan lugar a la imagen latente, que no puede ser puesta en manifiesto por métodos físicos. Sin embargo, cuando la película impresionada es tratada con determinados agentes químicos, que constituyen la solución o baño revelador se producen una serie de reacciones que dan lugar a que se deposite plata metálica finamente dividida, quedando estos granos de plata en suspensión en la capa de gelatina para dar lugar a la formación de la imagen; cuanto menor sea el tamaño de estos granos de plata tanto mejor será la definición de la imagen.

La capa exterior de la película radiográfica es una capa de gelatina, la cual protege a la capa de la emulsión de posibles ralladuras.

Las características más importantes de una película son:

a) **Velocidad.**

Respuesta de la película a la exposición (en Roentgen) que necesita para obtener una densidad dada. Es un término relativo que se refiere únicamente a la comparación entre películas diferentes. La velocidad está determinada por el tamaño de grano de la película.

b) **Tamaño de Grano.**

La diferencia principal en las películas radiográficas se debe a los diferentes tamaños de grano. Películas de grano fino proporcionan mejor definición de la imagen, aunque requieren de mayor tiempo de exposición. Por otro lado en las películas de grano grande se expone mas plata por grano por lo cual la imagen es expuesta rápidamente, pero los granos grandes producen una menor definición de la imagen lo que da como resultado que el detalle fino no exista en las películas de grano grueso.

c) **Gradiente o Contraste.**

Es la pendiente en un punto dado de la curva característica de la película y esta relacionada con la calidad del contraste que puede proporcionar la película a una densidad y exposición determinada. En general a mayor gradiente mayor contraste.

En general, la selección de la película se basa en:

- El tipo de material inspeccionado.
- El espesor del material.
- El tipo de energía de radiación.

Antes de continuar y para una mejor comprensión de este capítulo se revisaran algunos conceptos propios de las películas radiográficas, tales como la densidad y el contraste.

a) Densidad.

Se define como el ennegrecimiento que se produce en la película radiográfica.

El término empleado, tanto en fotografía como en radiología, para designar el grado de ennegrecimiento de una película expuesta a la acción de una radiación es el de densidad fotográfica y se define como:

$$D = \log_{10} \left(\frac{I_0}{I_t} \right)$$

Siendo I_0 la intensidad del haz luminoso que se hace incidir sobre la película para su observación e I_t la intensidad de la luz translúcida.

La relación I_0 / I_t es llamada opacidad óptica de la película y su valor recíproco, transmitancia. Para una película que transmite íntegramente la luz incidente la opacidad será igual a 1 y su densidad fotográfica $D = 0$. En la película que transmite la mitad de la luz, la opacidad será 2 y $D = 0.3$. Las películas que transmiten 1/10, 1/100, 1/1000 de la luz incidente tienen una opacidad respectiva de 10, 100 y 1000, mientras que sus correspondientes densidades serán 1, 2 y 3.

b) Contraste.

Es la diferencia o comparación entre las densidades de la película en diferentes zonas de la radiografía. El contraste radiográfico es una combinación del contraste del objeto y del contraste de la película.

El contraste del objeto, son aquellos factores en la muestra que afectan al contraste radiográfico. El contraste de la película, este se define como la habilidad inherente de la película de mostrar una diferencia de densidad para un cambio en la exposición de la película.

Todos los fabricantes de películas producen varios tipos diferentes de películas y algunas de ellas tienen la habilidad de mostrar mejor contraste de la película que otra.

Los valores del contraste de cualquier película en particular se expresan por lo general como una relación entre la exposición de la película y la densidad resultante. La relación entre la exposición de la película y la densidad resultante es expresada en forma de curvas características de la película, llamadas también curvas sensitométricas o curvas H y D.

Estas curvas (H y D) relaciona la exposición aplicada a una película radiográfica con la densidad fotográfica resultante, obtenida en condiciones de revelado y fijado previamente establecidos y normalizados. Cada curva se obtiene exponiendo la película, bien directamente o colocada entre pantallas reforzadas, de forma que una serie de bandas de la película reciban una serie de exposiciones perfectamente determinadas.

La latitud (amplitud) esta estrechamente relacionada con el contraste pero en sentido opuesto. Una radiografía con mayor contraste tiene mínima latitud y

viceversa. La latitud es el rango de espesores que puede ser adecuadamente registrado sobre la radiografía.

3.5. Pantallas Intensificadoras.

Son láminas delgadas de metal o sustancias cristalinas que se colocan en la parte frontal y posterior de la película virgen. (Sin exponer).

La pantalla frontal tiene dos funciones importantes:

- Filtrar la radiación de baja energía.
- Incrementar la acción fotográfica sobre la película, al emitir electrones libres o luz visible que imprime la película.

La pantalla posterior tiene las funciones de:

- Absorber la radiación dispersa posterior.
- Reforzar la acción fotográfica sobre la película, debido también al efecto de los electrones dispersos por ella.

Las pantallas intensificadoras reducen los tiempos de exposición a valores prácticos, entre un 20 y 40% del tiempo de exposición de películas sin pantalla.

El efecto de intensificación es más efectivo cuando se utilizan energías por arriba de 150 KeV, debajo de este valor el efecto de blindaje se sobrepone al efecto de intensificación.

Existen tres tipos de pantallas radiográficas, las cuales permiten el uso efectivo del haz de radiación.

a) Pantallas Intensificadoras de lámina de plomo.

Consiste en una hoja delgada de plomo (de 0.0127 cm a 0.0254 cm de espesor), la pantalla de plomo posterior es generalmente de un espesor de 0.0254 cm.

La pantalla de plomo intensifica principalmente los rayos de alta energía y absorbe los rayos de baja energía.

Las pantallas de plomo deben estar libres de ralladuras, raspaduras, huecos, arrugas, dobleces, etc, estos defectos pueden formar una imagen sobre la radiografía los cuales no deben tomarse como indicadores de discontinuidades en la pieza de prueba. Las pantallas que son dañadas y no pueden ser debidamente reparadas deberán ser descartadas.

b) Pantallas Intensificadoras Fluorescentes.

Estas pantallas tienen ciertos agentes químicos los cuales emiten luz visible al absorber los rayos X o gamma. El tungsteno de calcio es uno de estos agentes químicos y la emisión de la luz visible es llamada fluorescencia.

La luz visible emitida por las pantallas expone con mayor fuerza la película radiográfica.

En términos generales las pantallas de plomo proporcionan una mejor definición que las fluorescentes. La definición muy pobre se debe a la dispersión de la luz visible emitida a partir de las pantallas fluorescentes, sin embargo, las pantallas fluorescentes son usadas cuando el voltaje utilizado es limitado y se desea radiografiar un material de determinado espesor.

c) Pantallas Intensificadoras Fluorometálicas.

Las pantallas fluorometálicas combinan las ventajas de las pantallas fluorescentes y las pantallas de plomo, las pantallas absorben la radiación dispersa con la lámina de plomo y al mismo tiempo proporciona una luz visible para incrementar la intensificación.

3.6. Técnicas de Exposición.

La forma de efectuar el arreglo de la fuente, el objeto y la película se deben definir desde el principio, porque de ello dependerán las otras variables de la exposición.

Las técnicas de exposición mas usadas son:

- Pared sencilla, vista sencilla.
- Doble pared, vista sencilla.
- Doble pared, lectura de las dos paredes.

La selección de cada técnica de exposición dependerá del tipo de pieza a inspeccionar, de la posibilidad de efectuar la radiografía y del tipo de discontinuidad que se desea detectar.

Antes de detallar las técnicas de exposición, será necesario explicar brevemente la identificación que deben tener la superficie a radiografiar y las películas radiográficas.

La preparación de las superficies a examinar puede no ser necesaria para la obtención de las radiografías, pero en el caso de que las irregularidades presentes en la superficie del cordón de soldadura puedan ocasionar dificultades en la detección de los defectos internos.

Para localizar la unión soldada en la radiografía se marca con hilo o flechas de plomo a lo largo de la soldadura y de forma que queden bien visibles en la radiografía.

En todas las zonas que se radiografien se colocarán marcas, letras y números de plomo para la identificación de las radiografías obtenidas. Estas marcas se

colocarán en el objeto que se radiografié, sobre el lado por el cual incide la radiación de forma que aparezcan claramente en la radiografía.

Una de las disposiciones corrientemente seguida para el marcado de las radiografías sobre uniones soldadas, y que permite la localización de los posibles defectos presentes en la soldadura, es la que se indica en la figura 11.



Figura 11, Identificación de la unión de soldadura.

a) Técnica de Pared Sencilla, Vista Sencilla.

En esta técnica la radiación atraviesa una sola pared de la pieza, la cual puede tener un espesor uniforme o puede presentar variaciones. Se aplica a piezas a las que se tiene acceso por lo dos lados de una sola pared; tal es el caso de piezas de configuración regular, uniones de planchas con soldadura y piezas o partes circulares cuyo diámetro permite colocar la fuente o la película en su interior.

Ver figura 12.

En las uniones circulares, esta técnica sólo se aplica cuando la tubería presenta un diámetro exterior mayor de 88.9 mm (3 ½"). Dependiendo de la accesibilidad del tubo pueden usarse las siguientes técnicas:

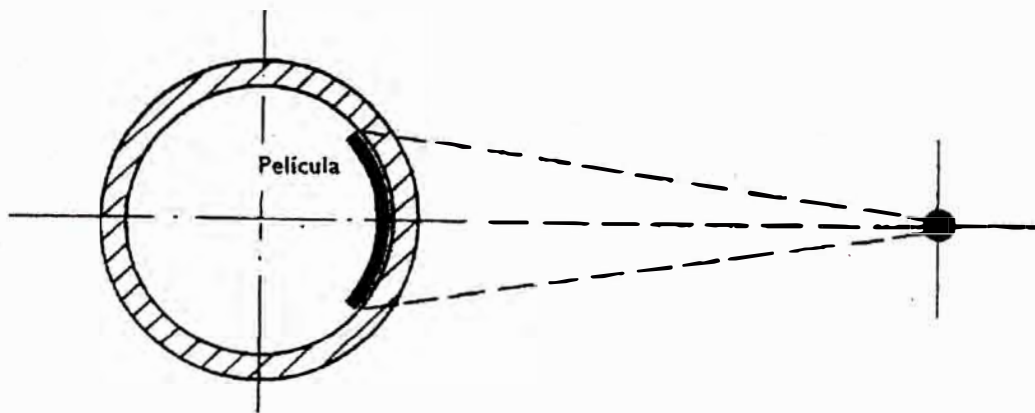


Figura 12. Radiografía de una sola pared. Interior accesible.

- Colocando la fuente en el exterior del tubo y la película en el interior.
- Colocando la fuente en el interior del tubo y la película en el exterior, en este caso se puede realizar la inspección de una (ver figura 13) o varias exposiciones (ver figura 14).

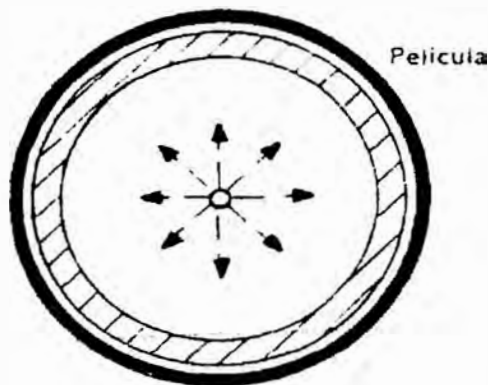


Figura 13. Exposición Panorámica.

b) Técnica de Doble Pared, Vista Sencilla.

Esta técnica se aplica principalmente a secciones tubulares y tuberías de diámetro exterior mayor a 89 mm (3 ½).

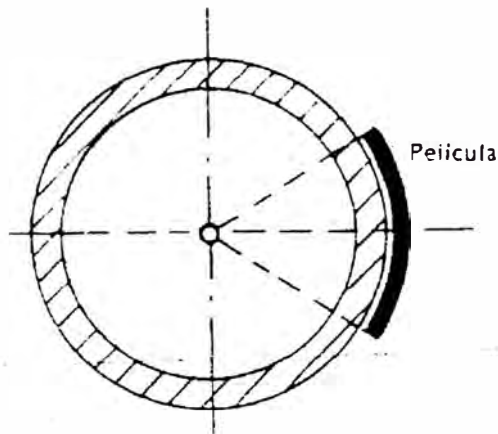


Figura 14. Exposición Interior Individual.

La técnica consiste en colocar la fuente en contacto por uno de los lados exteriores de la tubería y la película por el otro, como se muestra en la figura 15; de tal forma que la dispersión originada por la penumbra geométrica en la imagen de la pared que esta del lado de la fuente, provoque que dicha imagen sea indistinguible, quedando claramente definida la imagen de pared cercana a la película.

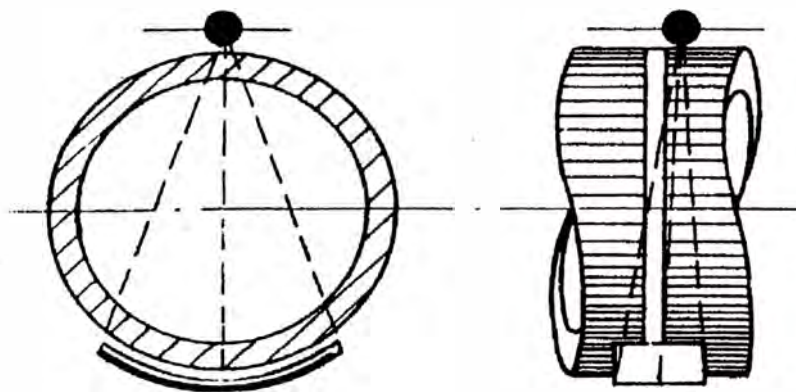


Figura 15. Técnica de Doble Pared, Vista Sencilla.

En esta técnica se debe hacer la inspección usando por lo meno 3 películas separadas 120 grados cada una. Cada película debe llevar un indicador de calidad de imagen, el cual se seleccionará con base en el espesor de la pared simple radiografiada y, el tiempo de exposición con base en el espesor de la pared doble.

El problema que se presenta en esta técnica, es que las imágenes quedarán superpuestas. El número de exposiciones necesarias dependerá de la relación de diámetros interior y exterior ya que si ésta es menor de 1:4 sólo se necesitarán dos exposiciones, estando una a 90 grados de la otra. Pero si la relación es mayor de 1:4, se debe multiplicar por 1.7 la relación resultante para obtener el número de exposiciones.

c) Técnica de Doble Pared, Lectura de Dos Paredes.

En este caso, la variante más conocida es llamada técnica de la elipse, la cual se emplea en tuberías cuyo diámetro exterior es menor de 3 ½" y que consiste en colocar la fuente por un lado exterior de la tubería y desviado cierto ángulo (15 - 30 grados) con relación a la zona de interés, de tal forma que la imagen de la unión circular se observará como una elipse, esto se puede apreciar en la figura 16.

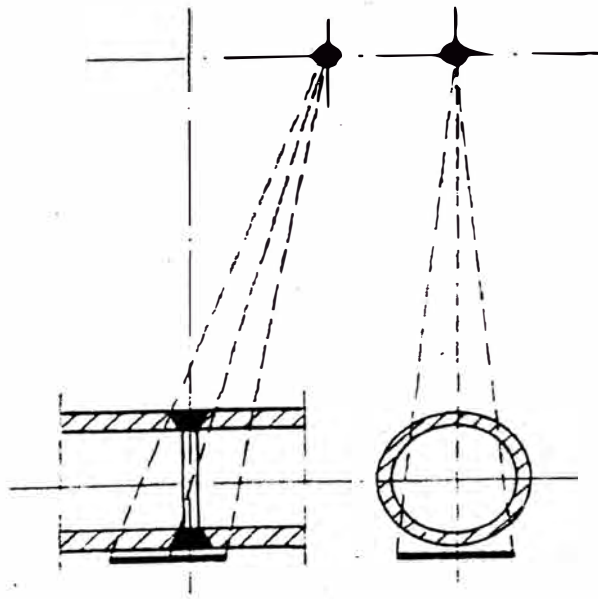


Figura 16. Técnica de Doble Pared, Lectura de dos Paredes.

Debido a que la imagen es una elipse, existirán dos zonas en donde no se puede realizar la interpretación (correspondiente a los dos lados paralelos a la radiación), por lo que se deberán tomar 2 exposiciones, encontrándose a 90 grados de la otra.

El penetrámetro se seleccionará con base en el espesor de una pared de la tubería, debiéndose colocarse siempre del lado de la fuente de radiación.

3.7. Indicadores de Calidad de Imagen.

En una pieza sometida a un examen radiográfico, la percepción de los posibles defectos que en ella se puedan presentar depende tanto de la calidad de la imagen como de la sensibilidad de la radiografía obtenida.

El indicador de calidad de imagen (ICI), conocido comúnmente como penetrámetro, es un dispositivo cuya imagen sobre la radiografía se utiliza para determinar el nivel de la calidad radiográfica y para juzgar la calidad de la técnica radiográfica. Hay muchas variables asociadas con la sensibilidad radiográfica y los efectos que ellas producen sobre la visibilidad del ICI.

El penetrámetro no se emplea para determinar tamaños o establecer límites de aceptación de discontinuidades.

Son fabricados de un material radiográficamente igual o similar a la muestra que es radiografiada.

Existen diferentes tipos de penetrámetros, entre los que encontramos:

a) Penetrámetros de Placa.

Es el penetrámetro mas comúnmente empleado, consiste de una placa delgada de metal que contiene varios agujeros (tres) de diámetros diferentes, el diámetro

de los tres agujeros en el cuerpo del penetrámetro corresponden al 4, 1 y 2 veces el espesor del penetrámetro (T). El espesor del penetrámetro de placa es generalmente el equivalente al 2% del espesor del material a inspeccionar.

El número de plomo sobre el penetrámetro de placa indica el espesor del penetrámetro en milésimas de pulgada.

La identificación varía de acuerdo del tipo de penetrámetro (ASME, ASTM, etc.). Los penetrámetros de ASME y ASTM tienen un número de identificación que representa el espesor del penetrámetro.

b) Penetrámetro de Alambre.

Otro diseño de penetrámetro, que también son ampliamente utilizados son los penetrámetros de alambres. Utilizados originalmente en Europa se ha extendido su uso a América.

Consisten de un juego de alambres de varios diámetros, montados e una envoltura de plástico con sus símbolos de identificación necesarios. La calidad de la imagen y la sensibilidad es indicada por el alambre más delgado que sea visible en la radiografía.

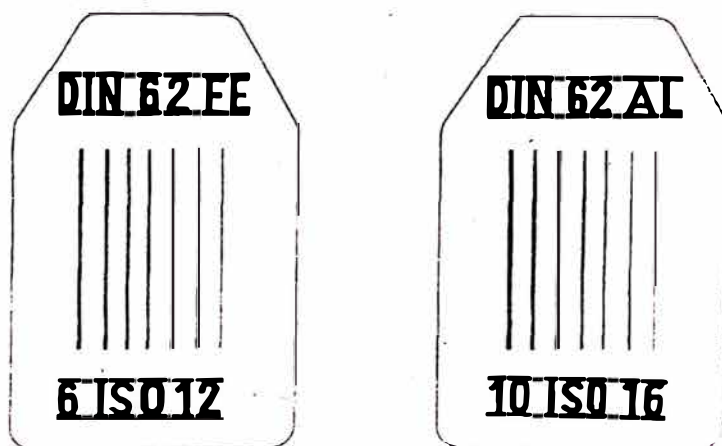


Figura 17. Indicadores de Calidad Tipo Alambre.

3.8. Tiempo de Exposición.

De las variables que se pueden cambiar durante una exposición radiográfica, el tiempo es la mas sencilla de modificar y es por ello que la mayoría de los cálculos se basan en la predicción del tiempo de exposición.

El tiempo de exposición es afectado por todas las variables radiográficas y su correcta selección determinará una buena calidad en la película radiográfica; éste puede calcularse por medio de:

- Graficas de exposición.
- Reglas de cálculo.
- Curvas sensitométricas.

a) Graficas de Exposición.

Las graficas de exposición sirven para calcular el tiempo de exposición de una radiografia usando una fuente de rayos X o gamma. La única diferencia entre ellas es el empleo de un factor de exposición para los rayos gamma, el cual relaciona la actividad de la fuente. Ambas graficas presentan inconvenientes de mantener constante las siguientes variables:

- Tipo de material a inspeccionar.
- Distancia fuente película.
- Tipo de película radiográfica.
- Densidad.
- Tipo de pantalla intensificadora.
- Tiempo y temperatura de revelado.
- Tipo de fuente.

- Proceso de revelado.

Por lo que normalmente, el tiempo obtenido en graficas es necesario corregirlo para las condiciones de la exposición real. (Ver figura 18)

El tiempo T_1 , que se obtiene de la figura 18 es para una distancia D_1 . Si la distancia es modificada a una distancia D_2 , se aplicará la relación Tiempo - Distancia, definida matemáticamente como:

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{D_1^2}{D_2^2}$$

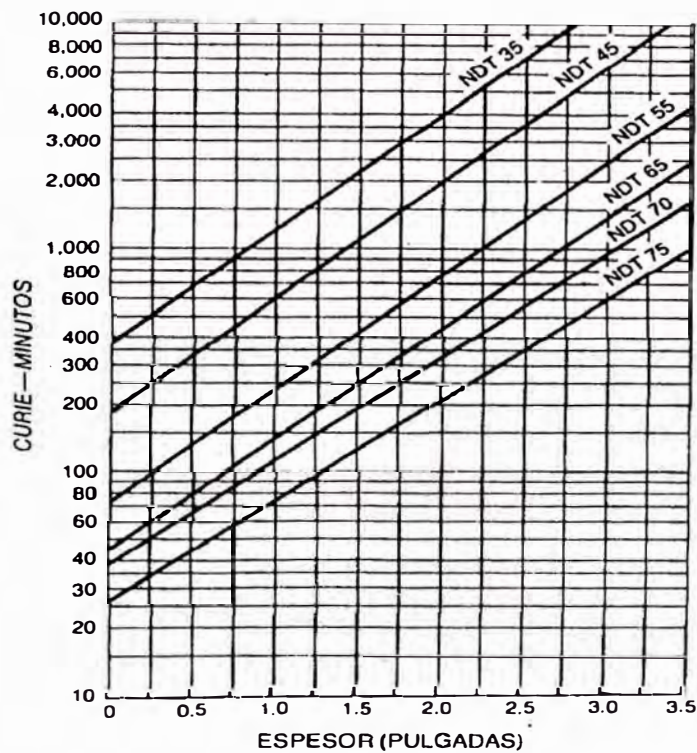


Figura 18. Grafica de Exposición para el Ir 192.

b) Reglas de Calculo.

Es una regla compuesta de seis escalas, como la que se muestra en la figura 19, cuya función es calcular el tiempo de exposición para una fuente de rayos gamma, ya sea de iridio 192 o cobalto 60. Estas reglas vienen acompañadas de

una tabla en la que están contenidas las diferentes marcas comerciales de películas radiográficas y la cantidad de radiación que necesitan para obtener una densidad determinada.

Para usar esta regla es necesario conocer lo siguiente: espesor a radiografiar, actividad de la fuente, tipo de película, densidad, distancia fuente – película y vida media de la fuente.

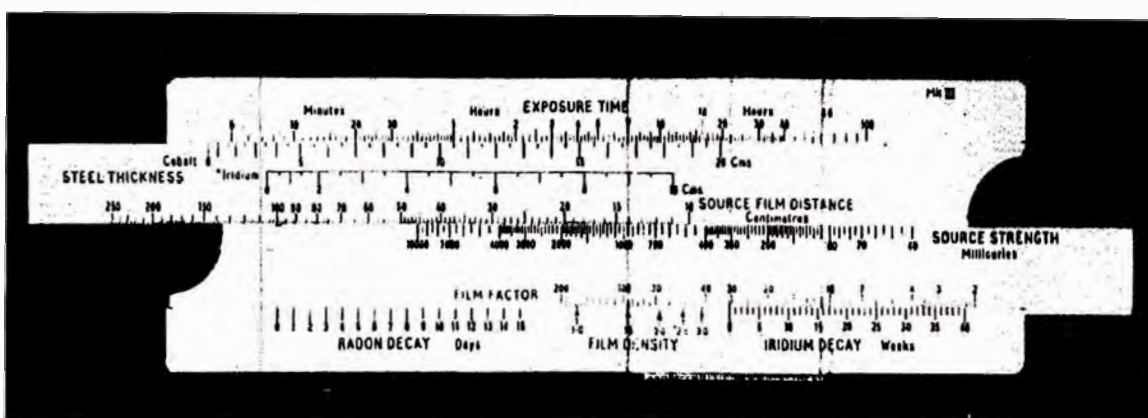


Figura 19. Regla de Calculo.

c) Curvas Sensitométricas.

Las aplicaciones prácticas más comunes de las curvas sensitométricas son:

- Corregir los tiempos de exposición.
- Cambiar la densidad en una exposición.
- Predecir el contraste de la película.

3.9. Proceso de Revelado.

Después de llevar acabo la exposición radiográfica la película debe ser revelada, de tal manera que la imagen latente producida por la radiación ionizante pueda ser visible.

Esencialmente existen tres soluciones de revelado que son utilizadas alternadamente para convertir la película expuesta en una radiografía de uso.

a) Revelador.

El revelador es una solución (combinación de agentes químicos). Uno de estos agentes químicos es un acelerador que logra que la solución sea alcalina, este acelerador elimina la capa protectora y esponja de la emulsión, de esta manera permite que el agente revelador interactúe con los granos expuestos por la radiación ionizante.

El tiempo y la temperatura son factores importantes en el revelado, típicamente se utiliza una temperatura de 20 °C, con un tiempo de revelado entre 5 y 8 minutos, lo cual siempre de ser verificado con el procedimiento o especificación utilizado.

Cuando la temperatura de la solución se incrementa, la velocidad a cual el álcali actúa también se incrementa.

b) Baño de Paro o Enjuague.

Cuando se saca una película del revelador, se mantiene una pequeña cantidad de la solución alcalina sobre la película, por lo que el baño de paro tiene dos funciones:

- Detiene la acción reveladora, neutralizando al revelador alcalino.
- El revelador alcalino es neutralizado antes de que la película sea colocada en el fijador, de esta manera se prolonga la vida del fijador.

Por lo general, como baño de paro se utiliza únicamente agua, pero puede utilizarse como agente químico ácido acético glacial diluido.

El tiempo de permanencia de las películas en el baño de paro es de:

- 30 segundos, cuando el baño ha sido preparado con ácido acético.

- 2 minutos, cuando el baño de paro contiene agua.

En ambos casos, la permanencia de las películas en el baño de paro debe complementarse con agitación constante.

c) Fijador.

La solución fijadora realiza la acción de fijar permanentemente la imagen sobre la película.

Aun cuando los granos de bromuro de plata se reducen a plata metálica en la solución reveladora, existen granos que no fueron expuestos y que se mantienen en la emulsión y aparecen de un color amarillo tenue sobre la película.

Existen dos etapas diferentes en el proceso de fijación:

- Tiempo de aclaración. En esta etapa se eliminan todos los granos de bromuro de plata no expuestos, evitando la formación de color amarillo, y la película inicia su aclaración con cierta nubosidad.
- Endurecimiento. El fijador también endurece la emulsión de la gelatina, lo cual ayuda a prevenir raspaduras o ralladuras durante su manejo posterior.

Después del proceso químico, la película radiografiada se lava y se seca.

4.

PRINCIPIOS DE SEGURIDAD RADIOLOGICA

En general, la protección y seguridad está referida a la protección de personas contra la exposición indebida a la radiación ionizante y a las sustancias radiactivas, así como a la seguridad de las fuentes de radiación, incluidos los medios para conseguir esa protección y seguridad, tales como los diversos procedimientos y dispositivos para reducir las dosis y riesgos al valor más bajo que pueda razonablemente alcanzarse y mantenerlos por debajo de las restricciones prescritas, así como los medios para prevenir los accidentes y atenuar las consecuencias de estos si ocurrieran.

4.1. Riesgos del Material Radiactivo.

Los materiales radiactivos presentan los siguientes riesgos:

- Riesgo por Contaminación.
- Riesgo por Irradiación.

b) Contaminación.

Se refiere a la presencia de material radiactivo en contacto con el cuerpo (contaminación externa), o en su interior (contaminación interna). En realidad se

denomina contaminación a toda presencia de material radiactivo en un lugar donde no es deseable; así, se puede hablar también de contaminación superficial, cuando existe material radiactivo diseminado en pisos, paredes, mesas; y de contaminación ambiental, cuando existe presencia de aerosoles y o gases radiactivos en el aire.

c) Irradiación.

Significa recibir la radiación proveniente de una fuente radiactiva que no se halla en contacto con el cuerpo humano.

4.2.Efectos de las Radiaciones Ionizantes.

Los efectos producidos por las radiaciones ionizantes se clasifican en:

- Efecto estocástico o aleatorio.
- Efecto determinista.

a) Efecto Estocástico o Aleatorio.

Cuando la probabilidad de que se presente es proporcional a la dosis recibida, no existiendo una dosis umbral, por debajo de la cual no se presente el efecto. Ejemplo: La probabilidad de que aparezca leucemia en un sujeto irradiado es tanto más grande cuanto mayor sea la dosis recibida y puede aparecer aunque la dosis recibida sea casi despreciable.

b) Efecto Determinista.

Es aquel cuya intensidad es tanto mayor cuanto mayor sea la dosis recibida, existiendo una dosis umbral para la aparición del mismo. Ejemplo: La aparición de alopecia (calvicie) radioinducida es tanto más intensa cuanto mayor es la dosis, pero no aparecerá nunca si la dosis es inferior a 2000 rads.

Efectivamente todos sabemos que diariamente recibimos radiaciones cósmicas del espacio, así como la proveniente de los componentes radiactivos de la tierra. A fin de determinar la cantidad de radiación que pueden ser tolerados por el hombre, un grupo de expertos reunidos en diferentes organizaciones, como el Comité Internacional de Protección Radiológica (ICRP), la Organización Mundial de la Salud (OMS), estudian constantemente los efectos de las radiaciones y en base a estas experiencias fijan los límites máximos de radiación que puede recibir un hombre. Actualmente estas normas recomiendan una dosis anual máxima de: 5 rem y una tasa de dosis horaria de:

2.5 mrem/h.

En la tabla 6, se muestran algunas dosis y los efectos que pueden ocasionar al ser humano.

4.3. Equipos de Medida.

Por el mismo hecho de que las radiaciones no son visibles, se necesitan de instrumentos especiales que se denominan: Detectores y Dosímetros.

a) Detectores.

Los más conocidos son los “Geiger – Muller” y las “Cámaras de Ionización”. Estos detectores consisten básicamente, en un gas confinado y sometido a un voltaje. Al pasar las radiaciones, el gas se ioniza y se produce una corriente eléctrica que es amplificada, medida y transformada generalmente a unidades de “Tasa de Dosis” como: Mr/h o mrad/h, por el mismo sistema electrónico del instrumento.

Toda entidad que utilice estos instrumentos, debe enviarlos al IPEN cada 6 meses.

Tabla 6. Efectos de las Radiaciones.

<i>DOSIS</i>	<i>EFECTO ALEATORIO</i>	<i>EFECTO DETERMINÍSTICO</i>
2 mSv fondo natural	Mutaciones genéticas naturales. Del 0.1 al 2 % de todas las enfermedades hereditarias.	
2.5 mSv; fondo natural + actividades humanas	Idem	
5 mSv; dosis promedio del personal profesionalmente expuesto. Límite legal para el público.	3 muertes/10000 personas en 50 años; 0.65 casos de efectos hereditarios graves en 2 generaciones.	
50 mSv, límite legal para el personal profesionalmente expuesto	3 muertes/1000 personas en 50 años; 6.5 casos de efectos hereditarios graves en dos generaciones.	
3 – 4 Sv, dosis local		Depilación
3 – 6 Sv, dosis local		Eritema
2 – 9 Sv, dosis local		opacificación del cristalino
2.5 – 3 Sv, dosis cuerpo entero		mortalidad 50 % en menos de 60 días
10 Sv, dosis cuerpo entero		mortalidad 100 % en menos de 10 días

b) Dosímetros.

Son personales y sirven para medir las radiaciones recibidas por cada individuo. Los dosímetros más usados son los de “película” (cuya lectura acumulada se hace mensualmente y sirven para los controles de dosis mensuales, trimestrales y anuales) y los de “lapicero” en los que la dosis puede ser leída inmediatamente después de recibida, estos últimos deben ser usados como complemento de los dosímetros de película. Recuerde siempre que:

El uso del dosímetro es obligatorio para toda persona que trabaja con fuentes y/o equipos generadores de radiaciones ionizantes de acuerdo al Capítulo X del reglamento de protección radiológica.

4.4. Métodos de Protección.

Existen tres formas: el tiempo, la distancia y el blindaje.

a) El Tiempo.

Cuanto menos tiempo permanece una persona junto a una fuente radiactiva, recibe menos dosis.

b) La Distancia.

Cuanto mayor sea la distancia a la fuente radiactiva se recibe menos dosis.

c) El Blindaje.

En cuanto al blindaje se puede decir que a más blindaje menor dosis. Para la radiación gamma es mejor utilizar blindajes de alta densidad (alto número atómico) como el plomo, concreto, hierro. La madera y los plásticos son muy fácilmente atravesados. La cantidad de rayos que pueden atravesar un blindaje depende: del material y del espesor.

4.5. Señalización de las áreas de Trabajo.

Como se indico anteriormente uno de los métodos de protección es distancia, por tal razón se procederá a la delimitación de las área de trabajo con una adecuada señalización.

Las áreas de radiación son delimitadas de acuerdo a los niveles de radiación en el perímetro de las mismas y están clasificadas como se indica a continuación:

a) Area de Alta Radiación.

Es aquella en cuyo limite o perímetro existen o probablemente existirá una exposición de 100 mrem/h.

b) Area de Radiación.

Es aquella en cuyo limite o perímetro existe o probablemente existirá una de las siguientes condiciones: 5 mrem/h o 100 mrem/ 5 días, lo que sea menor.

c) Area Restringida.

Es aquella área en cuyo limite la exposición existe o probablemente existirá en una de las siguientes condiciones: 2 mrem/h o bien 500 mrem/ año, lo que sea menor.

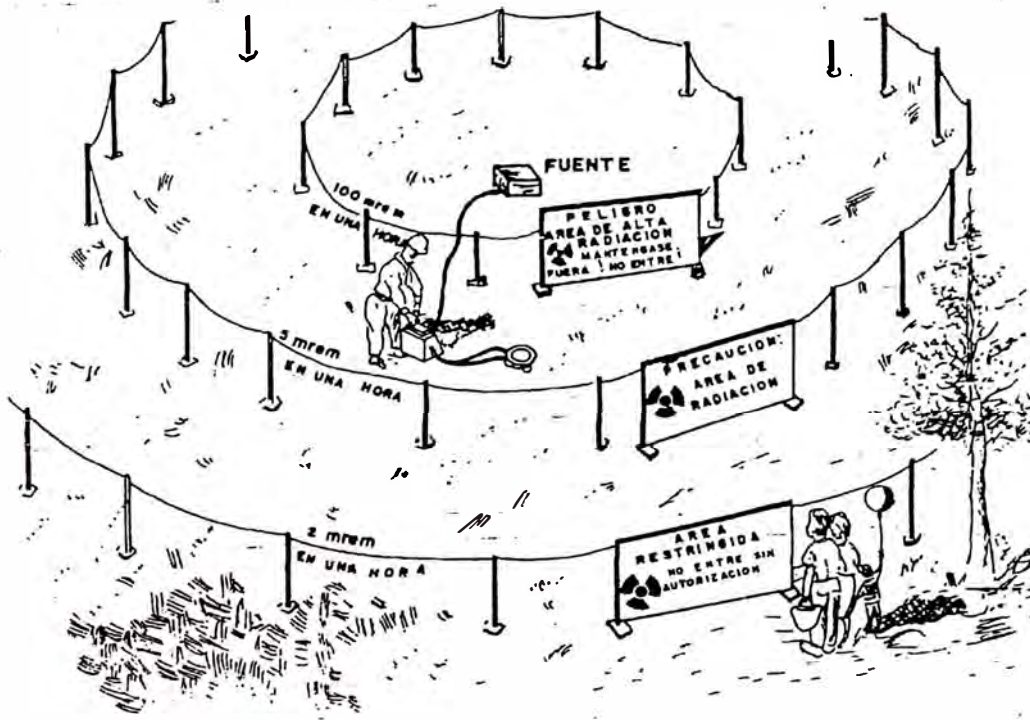


Figura 20. Áreas de trabajo delimitadas por los niveles de radiación.

Los perímetros de trabajo deben ser definidos y marcados en el trabajo de campo antes de iniciar una exposición. Se utilizarán cintas de seguridad de los siguientes colores: Amarillo y rojo, así mismo, se colocarán rótulos con el símbolo de radiación. Ver figura 21.



Figura 21. Accesorios de Señalización.

5.

ELABORACION DEL PROCEDIMIENTO DE INSPECCION RADIOGRAFICA

Dentro de la estructura del sistema de gestión de calidad de la ISO 9001:2000 establece como parte de la documentación la elaboración de procedimientos de trabajo en cada una de las áreas de la organización. Por otro lado, la misma norma, establece que se deben crear procedimientos específicos para la validación de aquellos procesos de producción que resulten o no puedan verificarse mediante actividades de seguimiento o mediciones posteriores; en la edición anterior (ISO 9001:1994) se denominaban “procesos especiales”.

En la industria metalmecánica uno de los procesos especiales de gran importancia es el proceso de soldadura; para garantizar su correcta ejecución y validación del proceso; se deben elaborar procedimientos para los distintas fases del proceso tales como: calificación del procedimiento de soldadura, calificación de soldadores, tientes penetrantes, ultrasonido y radiografía. Por esta razón en esta sección se darán las pautas para la elaboración del procedimiento de inspección radiográfica.

Como se sabe todo procedimiento, de acuerdo a la norma ISO 9001, debe responder a las siguientes preguntas: Que...?, Quien....?, Cuando ...?, Donde ...? y Como...?. en forma simple.

5.1. Definición del Procedimiento.

La definición de tipo de procedimiento esta relacionado con el tipo de proyecto y la norma o código aplicable. Dentro de esta definición se deben considerar los siguientes puntos:

- Objetivo.
- Alcance.

En el objetivo define en forma clara y precisa propósito del procedimiento y en el alcance se determinará si el procedimiento es aplicable a una parte del proyecto o es aplicable en forma integral, debido a las restricciones que puedan presentarse, tales como: tipos de materiales, dimensiones, normas o códigos aplicables, etc.

5.2. Documentación Aplicable.

Vienen a ser los documentos de referencia donde se establecen los requisitos de calidad de las variables que interviene en el proceso, así también, brindan las recomendaciones básicas que deben tenerse presente en la ejecución del ensayo y en la evaluación de los resultados. Esto documentos pueden ser:

- Especificaciones técnicas del proyecto.
- Código ASME.
- Código API. 650, 620, 1104.
- Código AWS, D.1.1, D.2.2.

- La norma ASTM.
- ASNT, SNT – TC – 1ª, Calificación Certificación del personal en ensayos no destructivos.
- Reglamento de protección radiológica del IPEN.

Dentro un procedimiento se puede considerar uno de los documentos o la combinación de estos, esto dependerá del tipo de proyecto.

5.3.Responsabilidades.

Una correcta ejecución de proceso de radiografiado, implica contar con un grupo de persona debidamente preparadas y calificadas para la ejecución del ensayo no destructivo.

La norma SNT – TC – 1ª de la American Society for Nondestructive Testing (A.S.N.T.) da algunas recomendaciones para la calificación y certificación de personal en ensayos no destructivos, puede ser considerado como documento base, ya que en ella se establecen los programas básicos para la enseñanza de las distintas técnicas, los cuestionarios tipo para los exámenes y la forma en que ha de llevarse a cabo la calificación de los mismos, así como los conocimientos y experiencias que deben tener los aspirantes a cada uno de los niveles que se establecen.

a) Nivel I RT (Asistente de Radiólogo)

Este nivel es el encargado de ejecutar los procedimientos de las exposiciones radiográficas, bajo la supervisión e instrucción de un radiólogo. Además debe tener conocimiento de ambas técnicas: rayos X y rayos gamma. Adicionalmente se debe contar con la licencia de operación de equipos de radiación emitido por el organismo regulador.

b) Nivel II RT (Radiólogo)

Este nivel es el encargado de la sección de técnicas de exposición de rayos X y gamma, selección del equipo requerido, interpretación de radiografías de acuerdo a código o norma aplicable y la emisión de los reportes de resultados. Además, tendrá a su cargo la preparación de instrucciones escritas para el nivel I RT y la coordinación con el cliente de las inspecciones a ejecutarse y establecer el cronograma respectivo.

c) Nivel III RT (Señor Radiólogo)

Este nivel abarca los requerimientos de un nivel 1 y 2 RT. Un nivel 3 además debe tener una función gerencial y un mayor conocimiento de los procesos de radiografía, soldadura, aseguramiento de calidad, conocimientos de otros métodos de NDT, interpretación de códigos y ser capaz de organizar capacitaciones para los niveles 1 y 2.

5.4. Seguridad y Protección Radiológica.

Teniendo en cuenta que la mayor parte de los efectos que la radiación produce en el cuerpo humano son conocidos y pueden predecirse. Los métodos de protección y medidas de seguridad están concebidos para que la exposición a la radiación quede limitada a niveles estimados como seguros o no peligrosos y en proporcionar la protección adecuada a las personas.

A continuación se brindan las recomendaciones básicas, de seguridad, a tener en cuenta durante la ejecución de los trabajos de inspección radiográfica.

- Indicar los instrumentos para la detección de radiaciones, los cuales pueden ser de mediciones directas o audibles.

- Indicar los instrumentos de protección personal que serán usados por los ejecutores de la inspección radiográfica. Los mas utilizados son: Dosímetro tipo lapicero y de película.
- Realizar charlas de seguridad radiológica. Estas charlas estarán dirigidas a todo el personal; donde se indicará: el peligro de las radiaciones, sus efectos, una descripción del equipo y los métodos de protección.
- Coordinar con el Ing. de Seguridad Industrial, la señalización de las áreas de trabajo y la respectiva programación de las actividades.

5.5. Procedimiento para el Desarrollo de la Inspección.

Una vez definido el objetivo, el alcance, las responsabilidades y la seguridad radiológica, se procederá a determinar las variables radiográficas, las cuales fueron estudiadas en el capítulo 3, aplicables al proyecto con las que se obtendrán radiografías aceptables, de acuerdo a los requisitos de calidad y normas de aceptación. Además serán utilizadas como parámetros de control durante su ejecución.

La selección o determinación de las variables se hará en forma ordenada siguiendo los siguientes pasos:

a) Material.

Se indicará el tipo de material a ser radiografiado; de acuerdo a las normas aplicables, ASTM, API, etc. Además se indicará la forma de dicho material (planchas, tubos, etc.) y el rango de espesores para los cuales es aplicable el procedimiento.

b) Fuentes de Radiación.

La selección del tipo de fuente, Rayos X o Isótopo, será de acuerdo al tipo de material y al espesor a ser radiografiado o a solicitud del cliente. Otro factor primordial para la elección de la fuente son las condiciones de trabajo, tales como: accesibilidad y energía eléctrica.

Una vez seleccionada la fuente de radiación, se indicara las características del equipo: Tipo de fuente, fabricante, año de fabricación, capacidad, tamaño de la fuente y el número de licencia de operación, la cual es emitida por el Instituto Peruano de Energía Nuclear.

c) Película.

En esta sección se indicará el tipo de película, a ser utilizada durante la inspección, para la selección de la película se debe seguir las recomendaciones indicadas en la sección 3.4. Además deben ser clasificadas de acuerdo a la norma ASTM E-94.

Se deben considerar las siguientes características: las dimensiones de las películas, la longitud de traslape en el caso de ser aplicable, el rango de densidades y la forma de medir la radiación de rebote.

Para la identificación de la películas se utilizara un sistema permanente la cual quedara grabada en la película, para ello se utilizara caracteres de plomo sobre la película. En ningún caso ésta identificación deberá oscurecer el área de interés.

Esta identificación incluirá pero no estará limitada a:

- Fecha de radiografía.
- Número de proyecto.

- Identificación de la junta de soldadura o número de pieza.
- Tipo de película: En el caso de ser una reparación se utilizara la letra "R".

Se debe mencionar los equipos o instrumentos necesarios que permitan controlar la densidad y la evaluación de la películas. Tales equipos pueden ser:

- Un densitometro.
- Un negoscopio, de acuerdo a la sección V del ASME.

d) Pantallas Intensificadoras.

Se debe indicar el tipo de pantalla intensificadora que será utilizado, los tipos de pantallas pueden ser:

- Pantallas intensificadoras de plomo.
- Pantallas intensificadoras fluorescentes.
- Pantallas intensificadoras fluorometalicas.

Otra característica que debe ser mencionada es el espesor de las pantallas frontales y posteriores.

e) Distancia Mínima Foco -- Objeto.

La distancia mínima foco – objeto dependerá de la penumbra geométrica, la cual es definida matemáticamente como:

$$U_g = \frac{F \cdot d}{D_0}$$

Donde:

- D_0 : Distancia fuente – objeto.
- D : Distancia objeto – película.
- F : Tamaño del punto focal.
- U_g : Penumbra geométrica.

Una consideración que se debe tener presente es, hasta un espesor de 2'' de material la penumbra geométrica máxima aceptable es de 0.02''.

f) Técnica de Exposición.

En la sección 3.6 se ha descrito las técnicas de exposición más usadas, la selección de la técnica será seleccionada por el radiólogo, en base a su experiencia, el material a radiografiar, la distancia mínima foco objeto; el cual está relacionado con las condiciones de trabajo tales como la accesibilidad y maniobras necesarias para efectuar las inspecciones, además tiene que ver con el tipo de discontinuidad que desee detectar.

g) Indicadores de Calidad.

Se debe indicar que tipo de penetrómetro: tipo alambre o de placa, el número de penetrómetros que serán utilizados y su ubicación.

h) Tiempo de Exposición.

Los tiempos de exposición serán calculados de acuerdo a los métodos indicados en la sección 3.8. Es muy importante indicar el tiempo de exposición ya que es una de las variables que se pueden controlar para obtener películas de buena calidad.

i) Proceso de Revelado.

Para el procesado de revelado de las películas se usará como guía la práctica recomendada E-94 de ASTM sección III para proveer películas terminadas libres de defectos mecánicos, químicos, etc., que pudieran interferir con la interpretación apropiada de las radiografías Art. 2 T – 281. Se debe indicar los

tiempos para cada etapa del proceso. A continuación se indican los tiempos recomendados para el proceso:

- 8 minutos de revelado
- 1 minuto de lavado
- 5 minutos de fijado
- 5 minutos de lavado

La temperatura de procesado deberá ser en el rango de 20 a 28 grados centígrados.

Además se debe indicar el método que se utilizara para el secado de las películas.

5.6. Criterios de Evaluación.

Durante la evaluación de las placas radiográficas, la cual será realizada por un inspector nivel II, se encontrará una serie de discontinuidades, la cual es definida por la AWS como “Una interrupción de la estructura tipo de el deposito de soldadura tales como una falta de homogeneidad en las características mecánicas, metalúrgicas o físicas del material base o del deposito de soldadura”.

El inspector determinara si las discontinuidades encontradas son consideradas como defectos, según la AWS: “Un defecto es una discontinuidad la cual por naturaleza, tamaño, forma, orientación, localización, o efecto acumulativo va en detrimento de el uso en servicio de la parte en la cual ocurre pudiendo afectar el conjunto o estructura a la que pertenece inhabilitándola para su operación y servicio”.

Las normas más usadas en el campo de la inspección radiográfica, en las que se encuentran los criterios de evaluación, son:

- ASME (Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos)
- API (Instituto Americano del Petróleo)
- AWS (Sociedad Americana de Soldadura)

Por esta razón, en esta sección se indicará el Código o Norma que permitirá la evaluación de las discontinuidades.

5.7. Reporte de Inspección Radiográfica.

Cada radiografía o serie de radiografías deberá ser entregado con un informe en el que se indique con precisión la técnica seguida, así como cualquier otra particularidad que contribuya a la mejor interpretación de los resultados. Los resultados de la inspección por radiografía serán indicados en el formato de inspección radiográfica.

En el formato de inspección radiográfica se indicará en particular los siguientes datos:

- El nombre del cliente y nombre del proyecto.
- Número de reporte.
- Descripción del objeto, tipo de material y espesor.
- Tipo de fuente e intensidad.
- Tamaño efectivo del foco o fuente.
- Distancia fuente – objeto.
- Tiempo de exposición.
- Tipo de película.
- Tipo y espesor de pantalla utilizada.
- Descripción de las placas y sus respectivos resultados.

- Norma de evaluación.
- Nombre del inspector.
- Total de radiografías.
- Fecha de inspección.

El reporte de inspección radiográfica será entrega al cliente con las respectivas placas, las cuales servirán como evidencia de que la inspección radiográfica fue realizada. Además, las placas estarán a disposición de la supervisión para cualquier validación que deseen realizar.

6.

ESTRUCTURA DE COSTOS DE LA INSPECCION RADIOGRAFICA

Actualmente un ingeniero tiene que tener los conocimientos básicos de gestión o administración, que le permitan realizar una adecuada distribución y programación de los recursos que intervienen en un proyecto o proceso, con la finalidad de minimizar los costos, cumplir los plazos establecidos y garantizar la calidad del producto o servicio.

En esta sección se analizarán los costos que interviene en proceso radiográfico, identificando los recursos que intervienen en el proceso; de esta manera tener una idea del costo total para un determinado proyecto. Los costos están clasificados en: Costos directos de operación e indirectos.

6.1. Costos Directos de Operación.

Durante la inspección radiográfica se deben considerar los siguientes costos directos de operación:

- Mano de obra directa.
- Equipos directos.
- Costo de la Película.

A continuación se realizará el análisis de los costos directo de operación para la inspección de los cordones de soldadura transversales de un tramo de la tubería forzada de la Central Hidroeléctrica Yanango.

ANALISIS DEL COSTO DIRECTO DE OPERACION						
CLIENTE : EDEGEL						
PROYECTO: CENTRAL HIDROELECTRICA YANANGO						
1.0 Mano de Obra Directa						
Descripción	Cant.	US\$/día	Días	Incidencia	Sub Total US\$	Total US\$
Nivel II - Inspector	1	61.00	8.00	100%	488.00	
Nivel I / Asistente de QC	1	29.00	8.00	100%	232.00	
Asistente laboratorio	0	23.00	8.00	0%	-	
Ayudantes	1	13.00	8.00	100%	104.00	
Chofer	0	20.00	8.00	0%	-	
Total Mano de Obra Directa US\$ =						824.00
2.0 Equipos Directos						
Descripción	Cant.	US\$/día	Días		Sub Total US\$	Total US\$
Equipo de gammagrafía	1	80.00	8.00		640.00	
Laboratorio	0	35.00	8.00		-	
Equipos de laboratorio	1	50.00	8.00		400.00	
Equipos de seguridad - personal	3	1.50	8.00		36.00	
Equipos de seguridad - detectores	1	5.00	8.00		40.00	
Camioneta	0	70.00	8.00		-	
Combustible, mantenimiento	0	60.00	8.00		-	
Total Mano de Obra Directa US\$ =						1,116.00
3.0 Películas						
Descripción	Unidad	Cantidad	US\$/Unid.		Sub Total US\$	Total US\$
Películas	pza	161.00	0.69		110.613	
Total Mano de Obra Directa US\$ =						110.61
Costo Directo de Operación US\$ =						2,050.61

6.2. Costos Indirectos.

Los costos indirectos, son los gastos que guardan una relación con el trabajo de inspección que se está ejecutando, tales como: apoyo logístico, coordinación y

supervisión. Durante la inspección radiográfica se deben considerar los siguientes costos indirectos:

- Mano de obra indirecta.
- Gastos Generales.

A continuación se realizará el análisis de costos indirectos para la inspección de los cordones de soldadura transversales de un tramo de la tubería forzada de la Central Hidroeléctrica Yanango.

ANALISIS DEL COSTO INDIRECTO						
CLIENTE : EDEGEL						
PROYECTO: CENTRAL HIDROELECTRICA YANANGO						
1.0 Mano de Obra Indirecta						
Descripción	Cant.	US\$/dia	Días	Incidencia	Total US\$	Total US\$
Gerente	1	104.00	8.00	10%	83.20	
Administrador	1	32.00	8.00	20%	51.20	
Nivel III	1	86.00	8.00	0%		
Ing. de Control de Calidad / Nivel	1	61.00	8.00	15%	73.20	
Ing. de Seguridad	1	42.00	8.00	15%	50.40	
Ing. Asistente/ Nivel I	1	29.00	8.00	10%	23.20	
Secretaria	1	16.00	8.00	20%	25.60	
Total Mano de Obra Indirecta US\$ =					306.80	
2.0 Gastos Generales						
Descripción	Unidad	Cantidad	US\$/Unid	Sub Total US\$		Total US\$
Utiles de oficina	glb	1.00	50.00	50.00		
Comunicación	glb	1.00	50.00	50.00		
Movilización de personal	glb	1.00	125.00	125.00		
Movilización de equipos	glb	1.00	125.00	125.00		
Alimentación	glb	0.00	0.00	0.00		
Alojamiento	glb	0.00	0.00	0.00		
Seguro del personal	glb	1.00	150.00	150.00		
Seguro de equipos	glb	1.00	150.00	150.00		
Accesorios de seguridad	glb	1.00	150.00	150.00		
Mantenimiento de local central	%	4.00	3,157.41	126.30		
Costo Indirecto US\$ =					926.30	
Costo Indirecto US\$ =					1,233.10	
Costo Total US\$ =					3,283.71	
Utilidad 10% =					328.4	
Precio Total US\$ =					3,612.08	
* No incluye el IGV						

7.

CONCLUSIONES

- Antes de elaborar un procedimiento de trabajo, se debe conocer el principio físico y de operación, para identificar y controlar las variables que influyen en la calidad del producto o servicio.
- En comparación con los otros ensayos no destructivos, la radiografía industrial requiere un mayor grado de conocimientos y experiencia por parte del operador, debido que existen diversos parámetros que se tienen que controlar; sino también, por la seguridad de las personas por los efectos de las radiaciones ionizantes.
- La elaboración del procedimiento se debe realizar en base a la experiencia de la persona encargada (Nivel I) y de acuerdo a las normas y códigos nacionales o internacionales que sean aplicables al proyecto.
- Es muy importante contar con un sistema de gestión de calidad, reflejados en un manual de calidad de la organización y manual de procedimientos, reflejando de esta manera un trabajo organizado y planificado que permitirá cumplir con los requisitos de calidad del cliente.

- Muchas los ensayos no destructivos no son considerados como debería ser, debido a que el costo que representa del total proyecto es relativamente bajo, alrededor de 0.5 % - 2 %.

8.

MATERIAL DE REFERENCIA

8.1. Bibliografía.

- Código ASME, Sección V y VIII.
Año: 1992
- “Ensayos No Destructivos: Radiografía Industrial”
Autor: Alonso R. García Cueto.
Curso para Inspectores – México.
Año: 1990.
- “Interpretación de Imágenes Radiográficas”
Autor: Llog S. A.
Curso para Nivel II – Biko Inspecciones S.A.
- “Inspecciones Radiográficas de las Uniones Soldadas”
Autor: Alfonso Ruiz Rubio.
Ediciones Urmo.
Año: 1970.
- “Principios Básicos de Protección Radiológica”
Autor: Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN)
- “Pressure Vessels – The ASME Code Simplified”
Autor: Robert Chuse
Ediciones McGraw Hill
Año: 1993
- “Standard Guide for Radiographic Testing”
ASTM E 94 – 93
Año: 1994.
- “Standard Method for Controlling Quality of Radiographic Testing”
ASTM E 142 – 92
Año: 1994
- “Standard Test Method for Controlling Quality of Radiographic Examination Using Wire Penetremeters”
ASTM E 747 – 90
Año: 1994

8.2. Indice de Abreviaturas.

- API : American Petroleum Institute.
- ASNT : American Society for Nondestructive Testing.
- ASME : American Society of Mechanical Engineers.
- ASTM : American Society for Testing Materials
- AWS : American Welding Society.
- END : Ensayos No Destructivos.
- IPEN : Instituto Peruano de Energía Nuclear.
- ISO : International Organization for Standardización

8.3. Procedimiento Especifico de Inspección Radiográfica

A continuación se adjunta el procedimiento específico de inspección radiográfica para la inspección de una tubería forzada de Ø 2.00 m. Este procedimiento representa la aplicación práctica del presente trabajo y puede ser considerado como modelo para otros proyectos.

	PROCEDIMIENTO ESPECIFICO DE INSPECCION RADIOGRAFICA	PE-RT-001
	PROYECTO: CENTRAL HIDROELECTRICA YANANGO	Rev. A 29/11/02
	TUBERIA FORZADA DIAM. 2.00 m.	1 de 20

PROCEDIMIENTO ESPECIFICO DE INSPECCION RADIOGRAFICA

TUBERIA FORZADA DIAM. 2.00 m.

<i>Elaborado por</i>		<i>Revisado por</i>		<i>Aprobado por</i>	
<i>Fecha</i>		<i>Fecha</i>		<i>Fecha</i>	

	PROCEDIMIENTO ESPECIFICO DE INSPECCION RADIOGRAFICA	PE-RT-001
	PROYECTO: CENTRAL HIDROELECTRICA YANANGO	Rev. A
	TUBERIA FORZADA DIAM. 2.00 m.	29/11/02
		2 de 20

INDICE

1.	Objetivo.....	3
2.	Alcance.....	3
3.	Documentos Aplicables.....	3
4.	Responsabilidades.....	4
5.	Seguridad radiológica.....	5
6.	Desarrollo del procedimiento.....	5
6.1.	Material.....	5
6.2.	Fuente radiográfica.....	5
6.3.	Película.....	6
6.4.	Pantalla Intensificadora.....	8
6.5.	Distancia Mínima Foco – Objeto.....	8
6.6.	Técnica de Exposición.....	9
6.7.	Tiempo de Exposición.....	11
6.8.	Indicador de Calidad.....	11
6.9.	Proceso de Revelado.....	12
7.	Criterio de Evaluación.....	13
8.	Registro.....	15
9.	Anexos.....	16

	PROCEDIMIENTO ESPECIFICO DE INSPECCION RADIOGRAFICA	PE-RT-001
	PROYECTO: CENTRAL HIDROELECTRICA YANANGO	Rev. A
	TUBERIA FORZADA DIAM. 2.00 m.	29/11/02
		3 de 20

1. Objetivo.

Establecer un procedimiento radiográfico, para detectar discontinuidades sub-superficiales en las uniones soldadas de la tubería forzada..

2. Alcance.

El presente procedimiento será aplicado para la inspección de las uniones soldadas transversales de la tubería forzada de Ø 2.00 m del tramo enterrado, correspondiente al proyecto de la Central Hidráulica de Yanango.

3. Documentos Aplicables.

- ASME Sección V – “Non destructive Examination”
- ASME Sección VIII – “Pressure Vessels”
- ASTM E 94 – 93. “Standard Guide for Radiographic Testing”
- ASTM E 142 – 92 “Standard Method for Controlling Quality of Radiographic Testing”
- ASTM E 747 – 90 “Standard Test Method for Controlling Quality of Radiographic Examination Using Wire Penetremeters”
- ASTN – SNT – TC – 1A. “Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing”.

	PROCEDIMIENTO ESPECIFICO DE INSPECCION RADIOGRAFICA	PE-RT-001
	PROYECTO: CENTRAL HIDROELECTRICA YANANGO	Rev. A 29/11/02
	TUBERIA FORZADA DIAM. 2.00 m.	4 de 20

4. Responsabilidades.

La ejecución del procedimiento radiográfico estará a cargo de nuestro personal debidamente calificado y certificado de acuerdo a la norma ASNT – SNT – TC – 1A.

El personal designado para la ejecución del presente procedimiento contarán con la siguiente calificación: Nivel I y II de acuerdo a la norma indicada anteriormente. Las responsabilidades del personal son:

NIVEL I

- Poner a punto los equipos.
- Ejecución del ensayo.
- Registrar los resultados.
- Identificación del material defectuoso.
- Desarrollar sus tareas bajo la supervisión de un Nivel II y de acuerdo al procedimiento escrito.

NIVEL II

- Elaboración del procedimiento escrito.
- Supervisión del trabajo de inspección.
- Evaluación e interpretación de las radiografías.
- Programación de los trabajos.
- Coordinación con el cliente en obra.

	PROCEDIMIENTO ESPECIFICO DE INSPECCION RADIOGRAFICA	PE-RT-001
	PROYECTO: CENTRAL HIDROELECTRICA YANANGO	Rev. A 29/11/02
	TUBERIA FORZADA DIAM. 2.00 m.	5 de 20

- Cumplir con los requerimientos de seguridad radiológica.

5. Seguridad radiológica.

El personal que labora con equipos de radiografía, cumplirá con las normas nacionales de seguridad radiológica. Para el control de exposiciones se contarán con los instrumentos y accesorios:

- Detectores de radiación con medición directa de niveles y audibles.
- Dosímetros tipo lapicero y/o película.
- Letreros y cintas con el símbolo de radiación.

Antes de dar inicio a la ejecución del procedimiento, se realizará una charla de seguridad radiología a los trabajadores del contratista, donde se indicará: el peligro de las radiaciones, sus efectos, una descripción del equipo y los métodos de protección. Esta charla estará a cargo del Nivel II.

La programación de las actividades de inspección será comunicada, como mínimo, con un día de anticipación.

6. Desarrollo del procedimiento.

6.1. Material.

- Acero estructural ASTM A36.
- Tubería de Forzada de Ø 2.00 m, espesor de 32 mm (1 ¼")

6.2. Fuente radiográfica.

- Rayos gama, pastilla radiactiva de Ir – 192.

	PROCEDIMIENTO ESPECIFICO DE INSPECCION RADIOGRAFICA	PE-RT-001
	PROYECTO: CENTRAL HIDROELECTRICA YANANGO	Rev. A
	TUBERIA FORZADA DIAM. 2.00 m.	29/11/02
		6 de 20

- Marca y Modelo: Amershan 520 .
- Actividad para el momento de la prueba: 40 Curies.
- Tamaño de la fuente: 5.68 mm.
- Número de Licencia IPEN: 1760. A 1, emitida el 15 de Marzo del 2002 con vigencia hasta el 15 de marzo del 2003.

6.3. Película.

Las películas utilizadas serán clasificadas por ASTM SE -94 como clase II, siendo AGFA D7 (recomendada para estos espesores) en el siguiente formato:

Película de 12” de largo x 70 mm de ancho

Las mismas consideran 01” de traslape a cada lado.

Para identificar la continuidad de las películas se usara una cinta métrica con identificadores de plomo.

Para este diámetro de tubería se utilizarán 23 radiografías, en una vista panorámica, para cubrir el perímetro de soldadura incluyendo los traslapes.

Densidad.

La densidad transmitida a través de la imagen radiográfica del penetrámetro apropiado y del área de interés será un mínimo de 1.5 por observación simple para radiografía, hechas con una fuente de rayos gamma. siendo la densidad máxima de 4.0.

	PROCEDIMIENTO ESPECIFICO DE INSPECCION RADIOGRAFICA	PE-RT-001
	PROYECTO: CENTRAL HIDROELECTRICA YANANGO	Rev. A
	TUBERIA FORZADA DIAM. 2.00 m.	29/11/02
		7 de 20

Radiación de Rebote.

Como chequeo de la radiación de rebote , un simbolo “B” de plomo, con dimensiones mínimas de ½”de altura con 1/16” de espesor se colocará detrás de cada cassette.

Si la imagen del simbolo “B” es claramente visible sobre el simbolo oscuro de la placa, la protección contra la radiación de rebote, es insuficiente y la radiografía inaceptable. Una imagen oscura de la “B” sobre un fondo más claro no será causa de rechazo de la radiografía.

Identificación de las Placas.

Para la identificación de las placas se utilizara caracteres de plomo, los cuales se colocarán sobre el cassette que aloja a la película.

En ningún caso ésta identificación deberá oscurecer el área de interés. Esta identificación incluirá pero no estará limitada a:

- Fecha de la radiografía.
- Número del contrato.
- Identificación de la junta de soldadura.
- Marcadores de posición como los anotados en éste procedimiento.
- “R” si es soldadura de reparación. R1, R2, R3, etc, para indicar si es primera, segunda o tercera reparación, cuando éste es permitido.

	PROCEDIMIENTO ESPECIFICO DE INSPECCION RADIOGRAFICA	PE-RT-001
	PROYECTO: CENTRAL HIDROELECTRICA YANANGO	Rev. A
	TUBERIA FORZADA DIAM. 2.00 m.	29/11/02
		8 de 20

Instrumentos y Equipos.

Un densitómetro Konica modelo PDA85 será utilizado para asegurar el cumplimiento de los requisitos de la densidad.

La interpretación de las placas se realizará en un sitio semioscuro, que no produzca reflejos sobre la placa. el equipo usado para la interpretación de películas será negatoscopio de acuerdo a la sección V del ASME y provee una fuente de luz de alta intensidad variable, siendo la marca SEMAT SE – 27 y/o VERLUX 550.

6.4. Pantalla Intensificadora.

El tipo de pantalla será de plomo y sus espesores son:

Pantallas frontales de 0.005” de espesor y pantallas traseras de 0.010” .

Estas pantallas deberán estar libres de rasguños, arrugas o marcas graves que proyecten imagen sobre la película, sobre todo en la zona de interés

6.5. Distancia Mínima Foco – Objeto.

Para el cálculo de la distancia mínima fuente – objeto, se emplea la siguiente formula:

$$D.F.O._{min} = \frac{F \times t}{Ug_{max}}$$

Donde:

F : Dimensiones de la fuente.

t : Espesor del material.

	PROCEDIMIENTO ESPECIFICO DE INSPECCION RADIOGRAFICA	PE-RT-001
	PROYECTO: CENTRAL HIDROELECTRICA YANANGO	Rev. A
	TUBERIA FORZADA DIAM. 2.00 m.	29/11/02
		9 de 20

$U_{g_{max}}$: Penumbra geométrica máxima según el código ASME.

La penumbra geométrica, según el código ASME, no debe exceder los siguientes valores:

<i>Espesor del Material Pulg.</i>	<i>Ug máximo. Pulg.</i>
Menos de 2"	0.020
De 2" hasta 3"	0.030
De 3" hasta 4"	0.040
Superior a 4"	0.070

La distancia mínima para nuestro procedimiento es:

$$D.F.O._{min} = \frac{0.224 \times 1.25}{0.020}$$

$$\Leftrightarrow D.F.O._{min} = 14'' = 355.6 \text{ mm.}$$

Por lo tanto la distancia fuente – objeto será de 1.00 m, para la técnica de exposición panorámica.

6.6. Técnica de Exposición.

Técnica seleccionada: Pared simple (Single Wall) exposición panorámica.

La aplicación de la exposición panorámica en la tubería forzada de \varnothing 2.00 m. requiere de 23 películas de 12" colocados con un traslape de 1". Para identificar la continuidad de las películas se usara una cinta métrica con

	PROCEDIMIENTO ESPECIFICO DE INSPECCION RADIOGRAFICA	PE-RT-001
	PROYECTO: CENTRAL HIDROELECTRICA YANANGO	Rev. A 29/11/02
	TUBERIA FORZADA DIAM. 2.00 m.	10 de 20

números de plomo, la ubicación del cero (0) será en el cruce de soldaduras en la parte superior y continuara en sentido horario mirando aguas abajo.

Antes de ejecutar la técnica seleccionada se debe realizar las siguientes actividades:

Preparación de la superficie

a) Materiales.

Las superficies a radiografiar, deberán satisfacer los requerimientos de las especificaciones aplicables a materiales, con algún acondicionamiento adicional, si es necesario, de tal manera que irregularidades superficiales no puedan esconder o ser confundidas con discontinuidades.

b) Soldaduras.

Las irregularidades en la soldadura externas, deberán ser reducidas por cualquier medio mecánico, de tal manera que la imagen radiográfica resultante de estas irregularidades no pueda esconder o ser confundida con discontinuidades dentro de la soldadura, esta inspección visual preliminar para hacer las correcciones necesarias serán efectuadas por los inspectores de calidad del cliente.

c) Acabado de las superficie.

La superficie de las soldaduras a tope de penetración completa, puede ser plano con el material base o tener una corona razonablemente

	PROCEDIMIENTO ESPECIFICO DE INSPECCION RADIOGRAFICA	PE-RT-001
	PROYECTO: CENTRAL HIDROELECTRICA YANANGO	Rev. A
	TUBERIA FORZADA DIAM. 2.00 m.	29/11/02
		11 de 20

uniforme, siempre y cuando el refuerzo no exceda las especificaciones del código en referencia.

6.7. Tiempo de Exposición.

El tiempo requerido para la exposición panorámica a los cordones de soldadura transversales de 32 mm de espesor es: 10 min con 5 seg.

6.8. Indicador de Calidad.

El indicador de calidad a ser utilizado será el penetrómetro de alambres, de acuerdo a los requerimientos de la norma ASTM E 747.

La selección del diámetro de alambre está en función del espesor del material a radiografiar, ver tabla T – 276.

La identificación del penetrómetro ASTM será el indicado en la tabla T – 233.2 (para tipo alambre).

El penetrómetro seleccionado según tabla T – 233.2 es:

ASTM I Set B , siendo el diámetro de alambre esencial 0.025”

- Ubicación del penetrómetro.

Penetrómetros serán colocados al lado de la película y se ubicaran en el área de interés.

- Número de penetrómetros.

Se utilizará 3 penetrómetros, ubicados a 120° .

	PROCEDIMIENTO ESPECIFICO DE INSPECCION RADIOGRAFICA	PE-RT-001
	PROYECTO: CENTRAL HIDROELECTRICA YANANGO	Rev. A
	TUBERIA FORZADA DIAM. 2.00 m.	29/11/02
		12 de 20

6.9. Proceso de Revelado

Los parámetros empleados en el proceso de revelado son:

- Revelador.
 - Tipo de revelador: AGFA.
 - Temperatura: 20 °C.
 - Tiempo: 8 min.
- Baño de Frenado.
 - Solución: H₂O.
 - Temperatura: 20 °C.
 - Tiempo: 3 min.
- Fijador.
 - Tipo de fijador: AGFA.
 - Temperatura: 20 °C.
 - Tiempo: 5 min.
- Lavado.
 - Solución: H₂O.
 - Temperatura: 20 °C. (ambiente)

El secado de las mismas será en forma automática en secadora electrónica

AGFA modelo DR-700

	PROCEDIMIENTO ESPECIFICO DE	PE-RT-001
	INSPECCION RADIOGRAFICA	
	PROYECTO: CENTRAL HIDROELECTRICA YANANGO	Rev. A 29/11/02
	TUBERIA FORZADA DIAM. 2.00 m.	13 de 20

7. Criterio de Evaluación.

Todas las radiografías serán evaluadas por Nivel II para asegurar el fiel cumplimiento de los anexos a este procedimiento. Los criterios de aceptación serán de acuerdo al Código ASME Sección VIII, División I Párrafo UW 51.

Las secciones de uniones soldadas, cuyas radiografías muestren algunos de los siguientes defectos no serán aceptadas.

- a) Cualquier tipo de grieta, falta de penetración o fisión.
- b) Inclusiones alargadas, de escoria o tungsteno, cuya longitud sea mayor que: $1/4$ de pulgada para valores de t de hasta $3/4$ de pulgada; $1/3 t$ para t comprendido entre $3/4$ y $2 1/4$; $3/4$ de pulgada cuando t sea mayor de $2 1/4$ de pulgada, siendo t el espesor de la parte más delgada de la soldadura.
- c) Cualquier grupo de inclusiones alineadas cuya agrupación presente una longitud superior a t , en una longitud igual a $12 t$, excepto cuando la separación entre dos imperfecciones sucesivas exceda el valor de $6 L$, siendo L la longitud del mayor defecto del grupo.
- d) Porosidad, cuando sea superior a la establecida como aceptable en las cartas de porosidad que se dan en los correspondientes anexos.

Cartas de Porosidad.

Para la admisión o rechazo de las uniones soldadas sobre materiales ferríticos, austeníticos y los no ferrosos, cuyas radiografías muestran porosidad, se tendrá en cuenta:

	PROCEDIMIENTO ESPECIFICO DE INSPECCION RADIOGRAFICA	PE-RT-001
	PROYECTO: CENTRAL HIDROELECTRICA YANANGO	Rev. A
	TUBERIA FORZADA DIAM. 2.00 m.	29/11/02
		14 de 20

- El área total de la porosidad determinada mediante la radiografía no deberá ser superior a $0,06 t$ pulgadas cuadradas ($0,4 t \text{ cm}^2$) en una longitud total de 6 pulgadas (152 mm), siendo t el espesor de la soldadura. Como tamaño máximo de los poros el menor de los valores: 20 % de t o 1/8 de pulgada (3,1 mm), excepto cuando se trate de un poro aislado o separado del mas próximo una distancia igual o superior a 1 pulgada, en cuyo caso su tamaño máximo será 30 % de t o 1/4 de pulgada (6,4 mm).

Las imágenes oscuras de forma redondeada u oval serán interpretadas como porosidad a los fines de esta norma.

- Las cartas de porosidad que se dan en las figuras 1 y 2 que se muestran en el anexo; muestran diversos tipos de indicaciones de porosidad, variadas, uniformes y dispersas regularmente. Estas cartas representan, para cada espesor, el máximo de porosidad aceptable, y corresponden a radiografías de 6 pulgadas de longitud a tamaño natural y no deberán ser ampliadas o reducidas. La distribución mostrada no es necesariamente la imagen real que puede aparecer en la radiografía, sino que es una indicación sobre el número y tamaño de la porosidad admisible.

Cuando la porosidad difiera de forma significativa de la mostrada en las cartas, el número y tamaño de los poros podrán ser determinados y medidos y con estos datos calcular el área total de porosidad.

	PROCEDIMIENTO ESPECIFICO DE INSPECCION RADIOGRAFICA	PE-RT-001
	PROYECTO: CENTRAL HIDROELECTRICA YANANGO	Rev. A
	TUBERIA FORZADA DIAM. 2.00 m.	29/11/02
		15 de 20

- En cualquier unión soldada, cuya longitud sea el menor de los valores 1 pulgada o 2 t, la porosidad puede agruparse hasta alcanzar una concentración de cuatro veces la admitida por 0,06 t. Esta agrupación de porosidad se deberá incluir en la porosidad de cualquier longitud de soldadura de 6 pulgadas que contenga dicha agrupación.
- La porosidad alineada se debería aceptar siempre que la suma de los diámetros de los poros no sea mayor que t en una longitud cuya magnitud sea el menor de los valores 12 t o 6 pulgadas, siempre que cada poro este separado por una distancia no inferior a 6 veces el diámetro del poro mas próximo de mayor tamaño.

Esta porosidad alineada deberá contarse en el área total de porosidad admisible en cualquier longitud de 6 pulgadas de unión soldada.
- La porosidad admisible para espesores de unión soldada intermedios a los representados en las cartas, pueden valorarse bien sea por comparación con el material de menor espesor mas próximo.

8. Registro.

Se adjunto formato.

	PROCEDIMIENTO ESPECIFICO DE INSPECCION RADIOGRAFICA	PE-RT-001
	PROYECTO: CENTRAL HIDROELECTRICA YANANGO	Rev. A
	TUBERIA FORZADA DIAM. 2.00 m.	29/11/02
		16 de 20

9. Anexos.



TABLA T-276 Espesor del Material, Designación de Penetrámetro y Agujero Esencial

Rango de Espesor Nominal para una pared. en pulgadas	Lado Fuente			Lado Película		
	Designación	Agujero Esencial	Diám. del Alambre	Designación	Agujero Esencial	Diám. del Alambre
Hasta 0.25 incl.	12	2T	0.008	10	2T	0.006
mas de 0.25 a 0.375	15	2T	0.010	12	2T	0.008
mas de 0.375 a 0.50	17	2T	0.013	15	2T	0.010
mas de 0.50 a 0.75	20	2T	0.016	17	2T	0.013
mas de 0.75 a 1.00	25	2T	0.020	20	2T	0.016
mas de 1.00 a 1.50	30	2T	0.025	25	2T	0.020
mas de 1.50 a 2.00	35	2T	0.032	30	2T	0.025
mas de 2.00 a 2.50	40	2T	0.040	35	2T	0.032
mas de 2.50 a 4.00	50	2T	0.050	40	2T	0.040
mas de 4.00 a 6.00	60	2T	0.063	50	2T	0.050
mas de 6.00 a 8.00	80	2T	0.100	60	2T	0.063
mas de 8.00 a 10.00	100	2T	0.126	80	2T	0.100
mas de 10.00 a 12.00	120	2T	0.160	100	2T	0.126
mas de 12.00 a 16.00	160	2T	0.250	120	2T	0.160
mas de 16.00 a 20.00	200	2T	0.320	160	2T	0.250

PROCEDIMIENTO ESPECIFICO DE INSPECCION RADIOGRAFICA		PE-RT-001
PROYECTO: CENTRAL HIDROELECTRICA		
YANANGO		
TUBERIA FORZADA DIAM. 2.00 m.		
	Rev. A	
	29/11/02	
	17 de 20	



**PROCEDIMIENTO ESPECIFICO DE
INSPECCION RADIOGRAFICA**

PE-RT-001

**PROYECTO: CENTRAL HIDROELECTRICA
YANANGO**

Rev. A

29/11/02

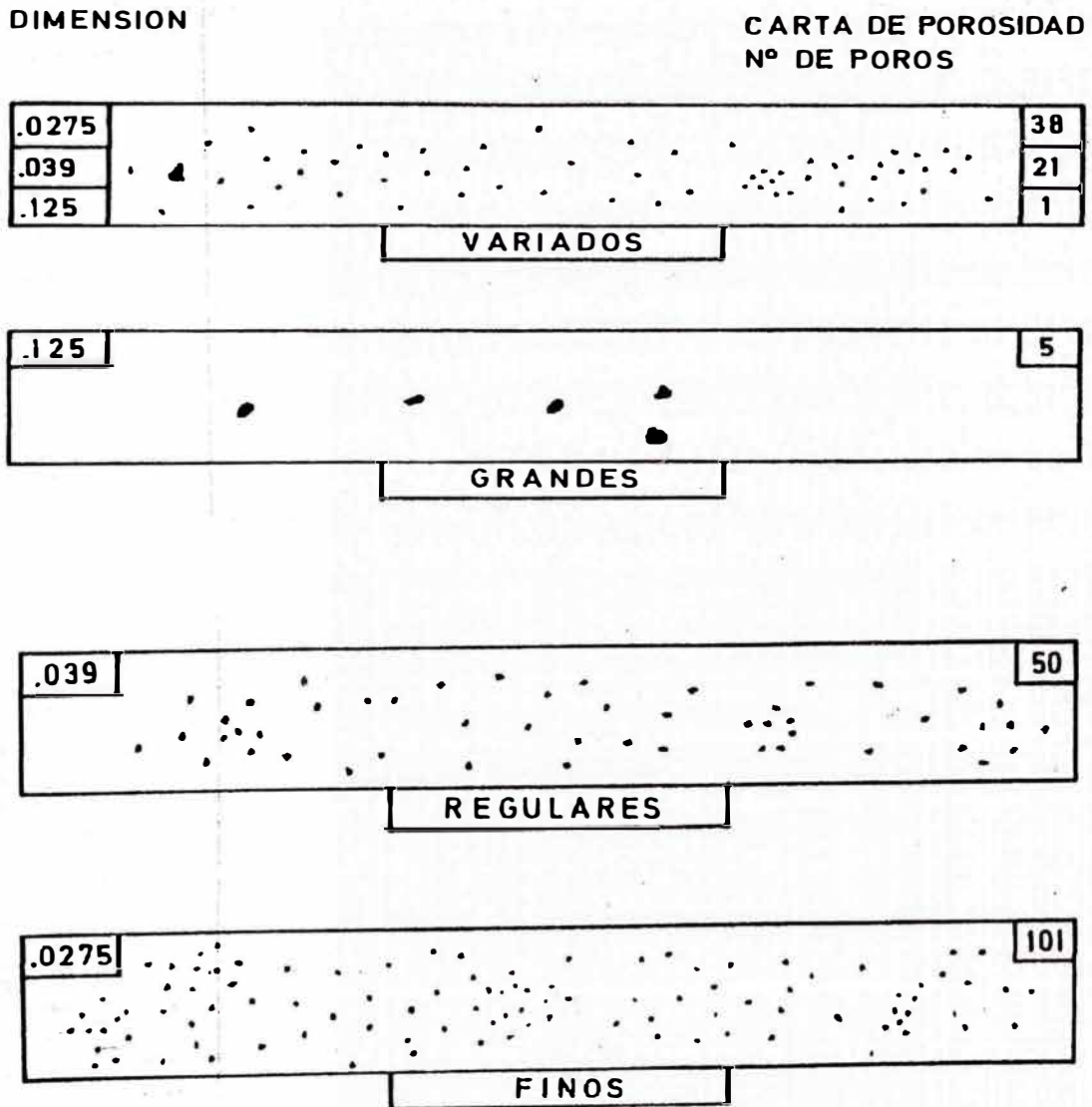
TUBERIA FORZADA DIAM. 2.00 m.

18 de 20

TABLA T-233.2 Designación de Penetrámetro de Alambres
y Diámetro del Alambre

No. ASTM	Diám. del Alambre
A	0.0032
	0.004
	0.005
	0.0063
B	0.010
	0.013
	0.016
	0.020
C	0.025
	0.032
	0.040
	0.050
D	0.063
	0.080
	0.100
	0.126
	0.160
	0.200
	0.250
	0.320

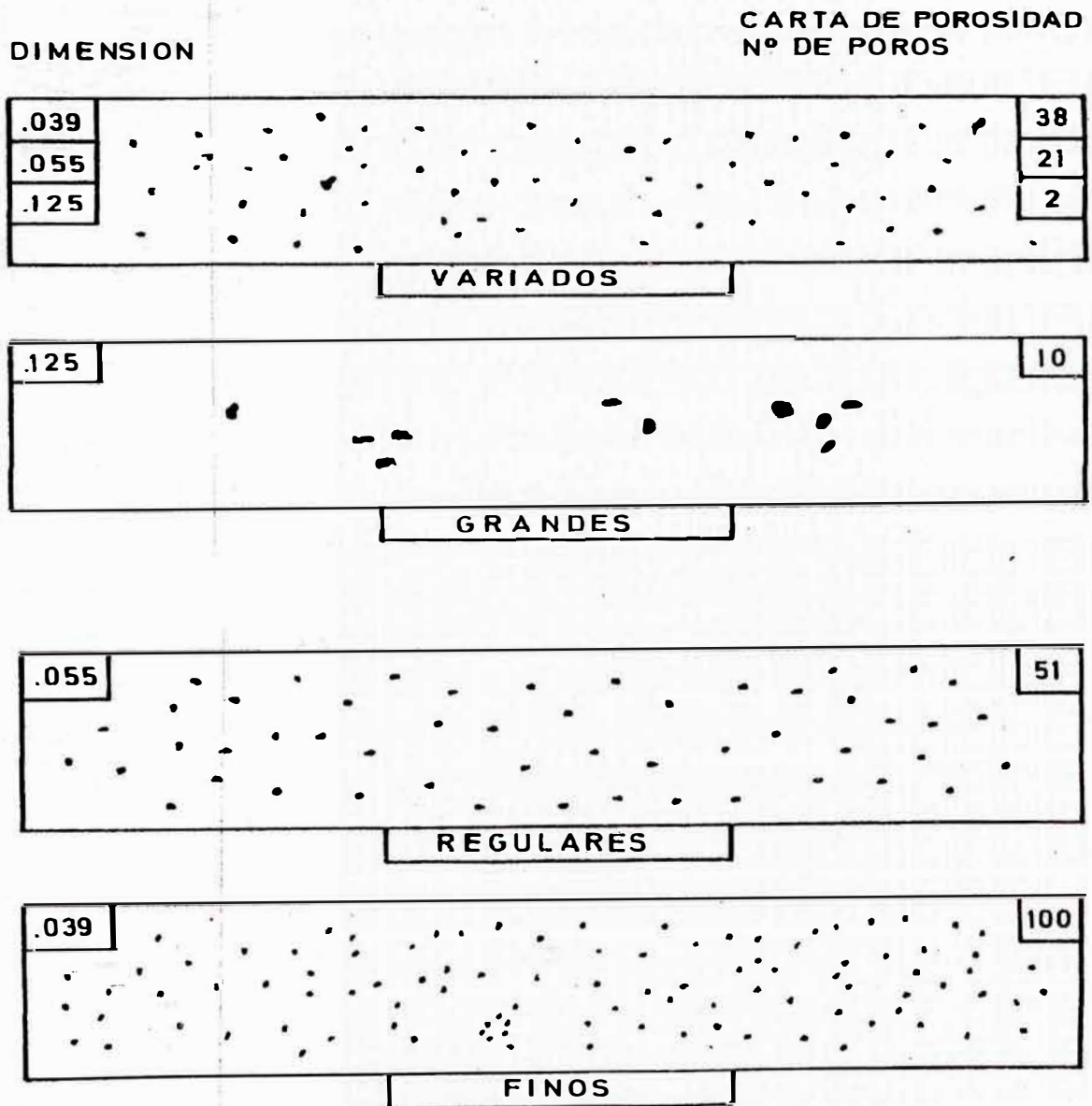
	PROCEDIMIENTO ESPECIFICO DE INSPECCION RADIOGRAFICA	PE-RT-001
	PROYECTO: CENTRAL HIDROELECTRICA YANANGO	Rev. A 29/11/02
	TUBERIA FORZADA DIAM. 2.00 m.	19 de 20



Número y tamaño de los poros permitidos en una longitud de soldadura de 6".

Figura 1. Carta de porosidad ASME; espesor de soldadura = 1", área total de la porosidad admisible = 0.06 pulgadas cuadradas.

	PROCEDIMIENTO ESPECIFICO DE INSPECCION RADIOGRAFICA	PE-RT-001
	PROYECTO: CENTRAL HIDROELECTRICA YANANGO	Rev. A
	TUBERIA FORZADA DIAM. 2.00 m.	29/11/02
		20 de 20



Número y tamaño de los poros permitidos en una longitud de soldadura de 6".

Figura 2. Carta de porosidad ASME; espesor de soldadura = 2", área total de la porosidad admisible = 0.12 pulgadas cuadradas.

