

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**



**“OPTIMIZACION DEL PROCEDIMIENTO DE PRUEBA  
RADIOGRAFICA EN LA INSPECCION DE TANQUES DE  
ACERO”**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO MECANICO**

***JOSE LUIS KAMIGAMI MITHUTA***

***PROMOCIÓN 1998-I***

**LIMA – PERU**

**2006**

## **TABLA DE CONTENIDO**

<b>PRÓLOGO</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>4</b>
<b>2. FUNDAMENTO TEÓRICO</b>	<b>8</b>
<b>2.1 ASPECTOS TÉCNICOS</b>	<b>8</b>
2.1.1 DEFINICIONES	8
2.1.2 NATURALEZA DE LA RADIACIÓN.	9
2.1.3 PRINCIPIOS DE RADIOGRAFÍA CON PELÍCULAS.	11
2.1.4 INTERPRETACIÓN RADIOGRÁFICA.	15
2.1.5 ARTEFACTOS RADIOGRÁFICOS.	16
2.1.6 DISCONTINUIDADES EN SOLDADURAS.	19
2.1.7 CARACTERÍSTICAS DE LAS PELÍCULAS RADIOGRÁFICAS.	21
2.1.8 CARTILLA DE EXPOSICIÓN Y CURVA CARACTERÍSTICA.	21
2.1.9 CÁLCULO DE LA EXPOSICIÓN.	22
2.1.10 CÁLCULO DEL TIEMPO DE EXPOSICIÓN.	22
2.1.11 TÉCNICA DE DESARROLLO DE LA IMAGEN RADIOGRÁFICA.	23
2.1.12 TRATAMIENTO DE LAS PELÍCULAS RADIOGRÁFICAS.	25
<b>2.2 ASPECTOS NORMATIVOS Y REGLAMENTARIOS</b>	<b>26</b>
2.2.1 CÓDIGO CONSTRUCTIVO (API 650).	26
2.2.2 CÓDIGO ASME V PARA PRUEBA RADIOGRÁFICA.	27
2.2.3 CRITERIO DE ACEPTACIÓN	29
2.2.4 CÓDIGOS DE REFERENCIA (CALIDAD RADIOGRÁFICA).	29
2.2.5 LEGISLACIÓN DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA.	30
<b>3. METODOLOGÍA DE TRABAJO</b>	<b>33</b>
<b>3.1 EQUIPO INSPECCIONADO</b>	<b>33</b>
<b>3.2 PROCEDIMIENTO DE PRUEBA RADIOGRÁFICA.</b>	<b>34</b>
<b>3.3 ESTIMACIÓN DE COSTOS</b>	<b>35</b>
<b>4. ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>37</b>
<b>4.1 DESARROLLO DEL PROCESO DE PRUEBAS RADIOGRÁFICAS.</b>	<b>37</b>
<b>4.2 RESULTADOS RESPECTO A CALIDAD DE SOLDADURA.</b>	<b>38</b>
<b>4.3 RESULTADOS RESPECTO A CALIDAD DE TÉCNICA RADIOGRÁFICA.</b>	<b>39</b>
<b>4.4 CLASIFICACIÓN DE DISCONFORMIDADES RELATIVAS A LA CALIDAD DE TÉCNICA RADIOGRÁFICA.</b>	<b>41</b>
<b>4.5 ANÁLISIS DE LAS OBSERVACIONES ENCONTRADAS.</b>	<b>43</b>

<b>5. PROCEDIMIENTO OPTIMIZADO DE PRUEBA RADIOGRÁFICA</b>	<b>47</b>
5.1 PROCEDIMIENTO GENERAL.	47
5.2 HOJAS DE CONTROL.	52
5.3 MEDICIÓN DEL DESEMPEÑO Y PLAN DE MEJORAMIENTO CONTINUO.	57
<b>6. COSTOS</b>	<b>59</b>
ESTIMACIÓN DE COSTOS	59
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>64</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>66</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>68</b>

# PRÓLOGO

Dentro del marco del V Curso de Actualización Profesional de la Facultad de Ingeniería Mecánica se dictaron dos cursos cuyo alcance ha sido fundamental para la elaboración de este informe. En primer lugar cabe mencionar al curso de Normalización Técnica e Ingeniería, ya que es la base para obtener un diseño de producto y metodología de trabajo de inspección internacionalmente aceptado.

No menos importante por su trascendencia es el curso de Gestión Integral de la Calidad, el cual ofrece las herramientas metodológicas adecuadas para poder realizar un análisis adecuado de resultados; y para la propuesta de un procedimiento de trabajo orientado a la mejora continua.

Para la elaboración de este informe se ha recurrido a información de diversas fuentes bibliográficas, las cuales en su mayoría se encuentra en idioma inglés. A su vez se ayuda de la normatividad internacional vigente respecto a la fabricación de tanques de almacenamiento, de ensayos no destructivos, en particular aquellos referentes a la prueba radiográfica de soldadura.

El segundo capítulo del informe ofrece un marco teórico necesario para poder realizar un análisis correcto de resultados. En primer término se ofrece un repaso desde el punto de vista técnico, contemplando tanto la teoría de radiación como la técnica de la prueba

radiográfica. Más adelante se especifican aspectos normativos y reglamentarios, vista la necesidad de que el producto ofrecido cumpla con estándares establecidos para el proyecto específico y que pueda ser aceptado internacionalmente como un producto de calidad.

El tercer capítulo hace una presentación general del trabajo efectuado. El equipo inspeccionado y requisitos generales de fabricación e inspección; el equipo de trabajo con el que se contó para llevar a cabo las pruebas radiográficas; los medios y recursos asignados; y finalmente el procedimiento de trabajo para la prueba radiográfica.

El cuarto capítulo está destinado a mostrar los resultados obtenidos durante el desarrollo de los trabajos. Se hace el análisis del mismo, definiendo los defectos encontrados, posibles causas, y medios por los que se pudieron evitar los mismos.

En el quinto capítulo se propone un procedimiento de trabajo con el fin de establecer un control adecuado para las operaciones radiográficas, registros de control orientados a monitorear el desempeño del trabajo radiográfico, con un doble fin: obtener una economía desde el punto de vista de costos de no calidad, y como instrumento para la búsqueda de oportunidades de mejora continua del proceso.

En el último capítulo se hace una estimación de costos para la prestación del servicio. En este cálculo se han considerado los costos de no calidad como tema de importancia para la justificación de este trabajo.

Al terminar la elaboración de este informe se puede concluir que todo trabajo adecuadamente planificado puede y debe tener como resultado una minimización de disconformidades y por lo tanto una economía del servicio. Muchas de las observaciones

aquí anotadas se pudieron evitar si se hubiese contado con el equipo organizativo y las herramientas adecuadas para llevarlas a la práctica.

Es esperanza de quien redacta este informe, que la información aquí anotada sirva para que futuros ingenieros que dediquen sus esfuerzos a este tipo de pruebas, tengan en ésta a una herramienta que ayude a ofrecer un producto de calidad, de acuerdo a lo que exige la competencia y responsabilidad del ingeniero.

# **INTRODUCCIÓN**

En el año 2004 se dio inicio al Proyecto de Modernización de la Fundición Ilo, financiada por la empresa minera Southern Perú Copper Corporation, con un monto aproximado de 350 millones de dólares.

El proyecto tuvo una doble finalidad: incrementar la producción del cobre en la fundición, así como la de reducir el nivel de contaminación ambiental que ocasionaba el funcionamiento de la antigua fundición. La viabilidad del proyecto se vio favorecida por un buen nivel en los precios internacionales del cobre y el clima de estabilidad que ofrece la economía peruana.

Se estima que el proyecto permitirá reducir en un 95% los niveles de emanaciones que se vienen registrando en la actualidad.

La ingeniería del proyecto fue asignada a la empresa contratista Fluor, filial de Chile. Éstos a su vez subcontrataron a diversas empresas para la fabricación de la infraestructura necesaria. Entre ellos tenemos a Kvaerner Metals, Air Products, Graña y

Montero, Consorcio Cosapi-SSK, Consorcio Ilo, JJC Contratistas, HAUG, REPSOL, El Portillo, etc.

La empresa peruana HAUG S. A. fue contratada para la fabricación específica de dos tanques para almacenamiento de ácido en el área denominada 420. Ambos tanques se construyeron (estructuras metálicas) entre los meses de febrero y Julio de 2006.

Con la finalidad de asegurar la calidad del producto final se especificó contractualmente la ejecución de ensayos no destructivos en diferentes fases del proceso constructivo. Se estableció que se debía inspeccionar mediante prueba radiográfica al 100% de las uniones soldadas de las paredes de los dos tanques a construir.

Con la finalidad de asegurar la calidad de los ensayos no destructivos, Fluor invitó a diferentes empresas dedicadas a estos servicios para la ejecución de dichas pruebas. Cada empresa debería presentar certificaciones y calificaciones de personal, calidad de equipamiento y en cantidad suficiente para las exigencias del proyecto. Como resultado de este proceso se eligieron a cuatro empresas, entre las cuales, los diversos fabricantes debían elegir para la ejecución de los ensayos: AH Inspectweld NDT, CESMEC Chile, Boureau Veritas Perú y SGS Perú. Posteriormente, y debido a la ausencia en campo de las últimas tres empresas, se admitieron otras empresas de ensayos no destructivos al proyecto.

Para el trabajo específico de prueba radiográfica, la empresa HAUG eligió a AH Inspectweld NDT como subcontratista de ensayos no destructivos. Se estimó inicialmente la toma de 4500 placas radiográficas distribuidas en los dos tanques, conformada por cinco anillos contenidos en un diámetro de 36 metros cada uno. Los espesores de plancha varían entre los 9 y 32 mm. de espesor.



Se programaron los trabajos de manera tal que estos culminarían en aproximadamente 75 días útiles, y de acuerdo al volumen producido se harían revisiones diarias de resultados de las pruebas. En el cálculo inicial no se hicieron estimaciones numéricas respecto a posibles defectos de soldaduras que se pudieran encontrar, las cuales se tendrían que reparar y retomar; ni en lo referente a posibles observaciones respecto a la técnica de la toma radiográfica, que requiriesen retoma de placa de acuerdo a la norma aplicable.

El principal objetivo de este informe es recopilar la información generada durante el proceso de pruebas, y específicamente se busca hacer un análisis detallado de las observaciones referentes a calidad de la técnica radiográfica. A partir de este análisis se propone un procedimiento que optimice la labor de la prueba radiográfica.

El trabajo está limitado por la metodología de ensayo empleada en el proyecto. Los resultados aquí enumerados se obtuvieron mediante prueba gammagráfica realizada con una fuente de Iridio 192, con accionamiento manual y película convencional con pantallas reforzadoras de plomo. Sistema de revelado manual, y sistemas de secado tanto manual como automático.

Al momento de la elaboración de este informe se han tomado el 100% de la producción de placas acordada y se han reparado el 100% de los defectos encontrados.

Durante el proceso de toma de placas se registró un número importante de observaciones en cuanto a la calidad de la técnica de la toma y procesamiento radiográfico. Esta información es la base sobre la cual se ha elaborado el análisis de resultados y a partir de allí se hace la propuesta de mejora. No se pretende decir que

mediante esta propuesta se van a evitar completamente los problemas de calidad, pero sí en cambio va a permitir disminuirlos y clasificarlos en cuanto se presenten, para poder tomar medidas preventivas y correctivas inmediatas.

# ***CAPITULO 2***

## **FUNDAMENTO TEÓRICO**

### **2.1 Aspectos técnicos**

#### **2.1.1 Definiciones**

- Ensayos no destructivos.

Es un examen, prueba o evaluación efectuada sobre algún tipo de objeto sin alterar el mismo de ninguna manera; con el fin de determinar la ausencia o presencia de condiciones o discontinuidades que pudieran tener algún efecto en la utilidad o integridad de tal objeto.

Es la acción de determinar la aptitud de algún material o componente para su uso establecido, utilizando técnicas que no afecten su capacidad de servicio.

- Prueba radiográfica.

Uso de energía radiante, en forma de rayos X, rayos gamma o neutrones de gran energía para la inspección no destructiva de objetos visualmente opacos; mediante esta prueba se registra la imagen del objeto en una pantalla o película sensible.

- Interpretación radiográfica.

Interpretación radiográfica es "el arte de extraer la mayor cantidad de información a partir de una imagen radiográfica". Consiste en la detección de discontinuidades, caracterización de los mismos y evaluación, par determinar si cumple con ciertos requisitos establecidos en estándares generalmente aceptados.

- Soldadura.

Es un proceso de unión de metales mediante el calentamiento de ellos a una determinada temperatura, con o sin la aplicación de presión, y con o sin la aplicación de un metal de aporte.

## 2.1.2 Naturaleza de la radiación.

Los rayos X y Gamma son emisiones de radiación que se encuentran dentro del espectro electromagnético. Su longitud de onda varía entre  $10^{-10}$  a  $10^{-7}$  cm. Tienen la propiedad de atravesar los materiales y afecta las emulsiones fotográficas de manera similar a la luz visible.

Las radiaciones electromagnéticas son emitidas en forma de paquetes de energía (fotones) que se puede calcular a partir de la ley de Planck:

$$E = h \cdot \nu = h \cdot c / \lambda$$

Donde h es la constante de Planck ( $6,626 \times 10^{-34}$  J/s).

- Rayos X

Los rayos x son una forma de radiación electromagnética cuya frecuencia oscila entre 30 y 30000 PHz. Consiste en un tubo de vacío con bulbo esférico con dos brazos opuestos (ánodo y cátodo). El cátodo está constituido por un filamento de tungsteno, el cual al ser calentado emite electrones hacia el ánodo (emisión termiónica). A mayor

temperatura, será mayor la emisión de electrones. El control del calor aplicado (y por tanto de la emisión de radiación) se hace cambiando la intensidad de corriente aplicada.

El ánodo es una placa, fabricada generalmente de tungsteno, elemento que resiste altas temperaturas, que pueden llegar hasta 2700° C. Se coloca dentro de un bloque de cobre (para disipar el calor), en un plano angular (usualmente 20° a 30°), de manera que redirigen la radiación electromagnética producida. La energía proveniente del cátodo es transformada en radiación X y calor. La eficiencia del sistema (entre 1 y 10%) es función directa del número atómico del metal y de la tensión aplicada (voltios).

- Rayos Gamma

Son una forma de radiación electromagnética producida durante el proceso de decaimiento radiactivo.

El decaimiento radiactivo es un proceso mediante el cual un elemento inestable (isótopo) emite espontáneamente partículas subatómicas, llamadas alfa (núcleo de Helio), beta (un electrón mas un antineutrino) y gamma (fotones).

En la práctica los isótopos son preparados artificialmente en un acelerador de partículas (ciclotrón).

El rango de energía en la que se produce la emisión gamma es variable, para el Iridio-192 (0.310 MeV en promedio), cesio-137 (0.661 MeV) y cobalto-60 (entre 1.17 y 1.33 MeV).

Como quiera que el número de átomos radioactivos decrece con el tiempo, se ha elaborado el concepto de vida media, que viene a ser el tiempo que tarda en decrecer el número de átomos radioactivos a la mitad. El decrecimiento consiguiente de la actividad puede expresarse como:

$$I/I_0 = (1/2)^n$$

Acomodando esta ecuación:

$$\ln [I_0/I] = \ln [2] = 0.693 \quad (E1)$$

La vida media del Iridio-192 es de 74,3 días; del cesio-137 es de 30,1 años y de 5,27 años para el cobalto-60.

La unidad de medida de la radiación aceptado por el SI es el Becquerel, que equivale a  $3.7 \times 10^{10}$  desintegraciones por segundo.

### 2.1.3 Principios de radiografía con películas.

- Factores geométricos.

El principio de formación de la imagen radiográfica es similar a la que se obtiene con luz visible. En la figura 2.1 se define la imagen  $cd$  por la acción de la fuente  $F$  sobre el objeto  $ab$ . Por semejanza de triángulos, el tamaño de la imagen así formada estará dada por:

$$cd = ab \times (d_o + t)/d_o$$

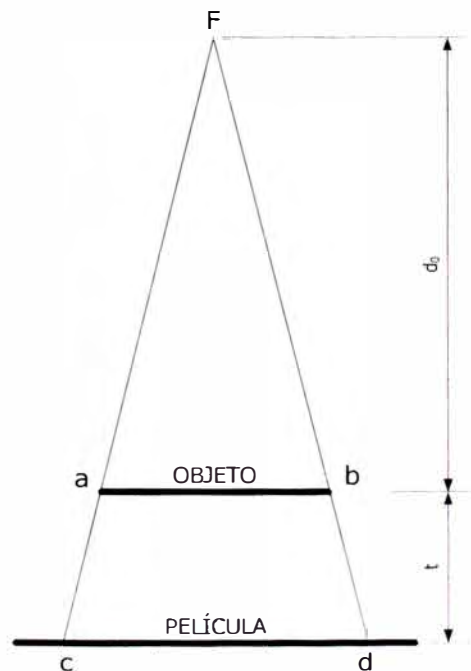


Figura 2.1 Imagen producida por una fuente F puntual

A menor distancia entre el objeto y la película, la imagen formada se asemejará más al objeto real, y no se produciría deformación en la proyección.

En realidad, la distancia entre objeto y película viene dada por el espesor  $t$  del objeto, motivo por el cual la imagen siempre tendrá un grado de deformación.

Asimismo, las fuentes de radiación tienen una dimensión conocida. En la figura 2.2, se observa que la imagen formada por los extremos de la fuente  $F$  viene dada por la incidencia de cada punto del foco sobre el objeto. Sobre la película se forma una zona  $U_g$  que recibe menor cantidad de radiación. Se la conoce como penumbra geométrica. El valor de esta penumbra se calcula como:

$$U_g = F \times t / d_o$$

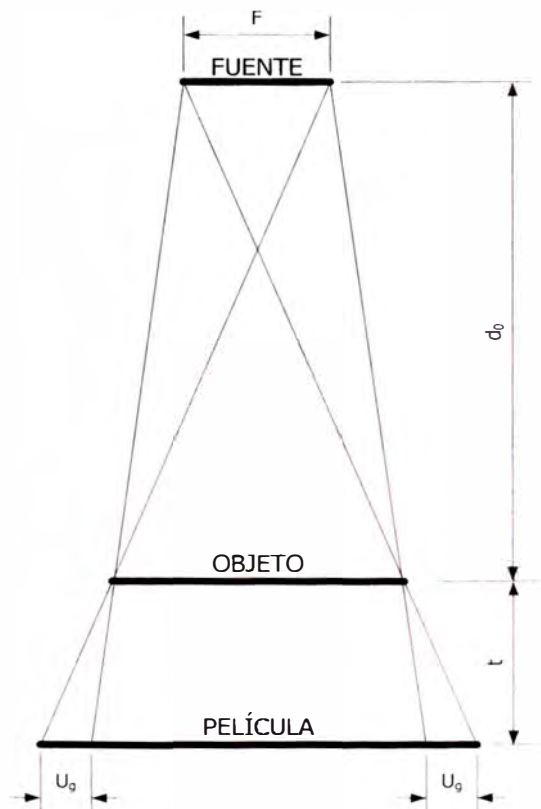
Donde:

$U_g$  = Penumbra geométrica.

$F$  = Tamaño de la fuente.

$T$  = Distancia desde el lado fuente del objeto a la película.

$d_o$  = Distancia desde la fuente hasta la película.



*Figura 2.2. Penumbra Geométrica*

En la práctica el tamaño de la fuente  $F$  es un valor conocido, por lo que el cálculo de  $U_g$  dependerá únicamente del factor  $(t/d_o)$ .  $U_g$  es un factor que afecta negativamente la nitidez de la imagen radiográfica.

Así como la radiación que ingresa a la película radiográfica activa los granos de bromuro de plata, al tratarse de una emisión de electrones, ésta afecta algunos granos que se encuentran a su alrededor. Se le conoce como penumbra inherente, y dependerá del tipo de película y de la energía irradiante.

- Factores de la exposición.

- Interacción entre radiación y materia

Al interactuar con un objeto, una parte de la radiación es absorbida por el objeto, una parte se dispersa y la restante atraviesa el objeto sin tener contacto con las partículas del material. Las proporciones dependerán de la intensidad de la radiación y de la naturaleza del objeto (densidad, número atómico, espesor). Expresamos la variación de la intensidad de radiación  $I(x)$  que logra atravesar una distancia  $dx$  de un material de densidad  $n$  (átomos por  $\text{cm}^3$ ):

$$dI(x) = -I(x) \cdot n \cdot \sigma \cdot dx$$

$\sigma$ , es una constante que indica la probabilidad que el fotón sea dispersado o absorbido.

Integrando la ecuación se tiene que para un espesor  $x$ , la intensidad viene dada por:

$$I = I_o \cdot e^{-n\sigma x} = I = I_o \cdot e^{-\mu x} \quad (E2)$$

El factor  $n$  se conoce como factor de atenuación lineal ( $\mu$ ), característico de cada material.

De (E1) y (E2) tenemos:



$$-\mu x = 0.693$$

Por ejemplo, para una fuente de cesio-137, los espesores que hacen decaer la intensidad a la mitad de su valor son:

	Plomo	Acero	Concreto
Cesio-137	<b>12.5 mm.</b>	<b>22.1 mm.</b>	<b>68.6 mm.</b>

Los principales mecanismos de atenuación de la radiación son:

- Absorción fotoeléctrica. Al interactuar con un elemento, la energía del fotón se transfiere a la capa de electrones de un átomo del material absorbente. Si la energía transferida excede a la fuerza que mantiene al electrón en su órbita, éste es desplazado con una energía igual a la diferencia igual a la energía del fotón menos la energía que mantenía al electrón en su órbita. La absorción fotoeléctrica predomina en los elementos con alto número atómico y densidad, como es el caso del plomo; o en el caso que la energía del fotón sea menor a 1 MeV.
- Dispersión Compton. Ocurre cuando el fotón colisiona con un electrón y como consecuencia le transfiere parte de su energía. La energía remanente abandona el átomo en otra dirección. Establece la mayor fuente de dispersión para energías entre 0,5 y 10 MeV, causando el efecto de nublado en las películas radiográficas.

#### Pantallas reforzadoras.

La radiación dispersa origina sobre la película radiográfica una pérdida en la definición y contraste, de ahí que se debe evitar que llegue a incidir sobre la película.

El uso de pantallas de plomo colocadas en contacto con la película va a tener como resultado una disminución de la radiación dispersa hasta un 50%, mejorando la definición de la imagen radiográfica. A su vez, la presencia de la pantalla va a aumentar el tiempo de exposición entre un 50% y 100%

### Ley de los inversos cuadrados

Un punto de la fuente se dispersa en todas direcciones con la misma intensidad. Por lo tanto sigue la ley de Newton de los inversos cuadrados. Así se tiene que la actividad decrece inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. Si por ejemplo la actividad fuera de 100 m $\mu$ /hr a 1 metro, a 2 metros decrecería a 25 m $\mu$ /hr.

### Factor de exposición

Es un factor que combina la actividad de la fuente, el tiempo de exposición y la distancia.

$$FE = \text{Actividad} \times \text{Tiempo} / \text{Distancia}^2$$

$$FE, \text{ en GBq-min-pulg}^2$$

## **2.1.4 Interpretación radiográfica.**

- Agudeza visual.

El proceso de interpretación radiográfica contempla tres aspectos: detección, interpretación y evaluación. En la inspección radiográfica, el objeto de interés es detectar las discontinuidades registradas en la película; de manera que es de vital importancia determinar la capacidad ocular del inspector para detectar estas discontinuidades. Un examen de agudeza visual completo debería incluir variables tales como:

- Contraste (en diferentes niveles).
- Longitud y ancho de líneas (desde 1,6 mm., luego de n minutos).
- Distancia de observación (en cm.).
- Distorsión (bordes, definición).
- Orientación de línea (horizontal, vertical, diagonal).
- Fuente de iluminación (incandescente, fluorescente).

- Densitómetro.

Es un instrumento que mide la densidad de película. Inicialmente este valor se estimaba mediante la comparación con una serie de patrones con densidad ya establecida. En la actualidad se cuenta con equipos que muestran estos valores directamente en pantalla.

El principio de operación del equipo es simple. Se determina la densidad de la película colocando la película radiográfica sobre una fuente de luz, en la zona de interés. La cantidad de luz que es capaz de transmitir a través de la película es registrada al otro lado de la fuente luminosa, la cual contiene un sensor que mediante una conversión muestra en pantalla la densidad obtenida.

Mientras mayor cantidad de luz logre atravesar la película radiográfica, menor será la densidad registrada.

### **2.1.5 Artefactos radiográficos.**

Se entiende como artefactos radiográficos a indicaciones observadas en la película radiográfica que no tienen como origen a una discontinuidad del objeto inspeccionado.

Algunos de estos artefactos pueden originar errores en la interpretación radiográfica y por lo tanto deben ser evitados de ser posible. En su mayoría, los artefactos radiográficos pueden ser detectados observando cuidadosamente ambas caras de la película, con una adecuada iluminación.

Estas indicaciones se deben registrar en el reporte de prueba radiográfica, y en algunos casos, cuando recaen sobre la zona de interés, deben ser radiografiadas nuevamente.

#### A. Artefactos causados antes del procesamiento.

Rayaduras de película. Se producen mayormente por una manipulación inadecuada al cargar o descargar las películas del sobre protector, o con las uñas al momento de

procesar la película. Se detectan al colocar la película de manera tal que refleje la luz incidente.

Marcas de doblado. Son ocasionadas por movimientos intempestivos, doblando la película al momento de cargar o descargar la película del sobre protector, o cuando se coloca la película en el rodillo durante el revelado. Se identifican como líneas claras (semejante a una uña) sobre la película.

Marcas de presión. Se forman al manipular la película con fuerza excesiva o al colocar objetos pesados sobre la película. Se identifican como zonas de menor densidad en la película.

Marcas de pantallas. Son defectos de las pantallas de plomo las cuales son reflejadas en la imagen radiográfica. Estas se pueden encontrar sucias, con material extraño, hilos de la misma pantalla, etc. Esto va a ocasionar una transmisión inadecuada de la radiación y se ven reflejadas en la película como zonas de menor densidad.

Niebla. Es un efecto de sobre exposición provocado por el uso de una luz inadecuada al momento de preparar las películas, cuando se deja expuesto a humedad excesiva o cercana a la fuente radiante al momento de exponer otra película.

Exposición a la luz. Cuando se expone la película a la luz, o cuando el sobre protector no es sellado correctamente al momento de prepararlo. En la película se notarán entonces franjas muy oscuras cercanas a la zona por donde ingresó la luz.

Marcas de dedos. Son huellas de dedos ocasionadas al colocar la película en los sobres protectores. Son fácilmente identificables en la película.

B. Artefactos causados durante el procesamiento.

Marcas al escurrir químicos. Se producen al no escurrir adecuadamente los químicos al momento de retirar las películas de los contenedores de proceso. También es ocasionado por no agitar adecuadamente los rodillos contenedores dentro del revelador. Estas marcas se ven como franjas oscuras o claras transversales a la película.

Goteo. Son ocasionadas por gotas de revelador, agua o fijador que caen sobre la película antes de ser procesadas. En la película se ve como una zona circular oscura. Se verán como zonas claras si se dejan gotas de agua sobre la película durante el secado.

Marcas de desarrollo. Son marcas orientadas en el sentido de movimiento del proceso automático. Los rodillos pueden encontrarse contaminados con solución si es que no son limpiados con frecuencia, ocasionando marcas en la película.

Contaminantes. El polvo u otros contaminantes en los contenedores de químicos, pueden ocasionar que aparezcan depósitos de éstos en la película radiográfica.

Líneas Pi. Son líneas perpendiculares a la dirección de desarrollo del proceso automático. Se marcan a intervalos regulares en la radiografía y son ocasionadas por una inadecuada limpieza de los rodillos.

Marcas de presión. En este caso la presión es ocasionada por material extraño adherido a los rodillos, o por un ajuste excesivo entre los mismos.

Besado. Es producido por el contacto directo entre dos películas, las cuales aún se encuentran en proceso. En la imagen resultante se notan como zonas con cambios abruptos de densidad.

C. Artefactos causados después del procesamiento.

Rayaduras. Causados por manipulación inadecuada de las películas, o no protegerlas adecuadamente del medio ambiente.

Marcas de dedos. Mayormente resultado de la manipulación de la película al momento de interpretar las mismas.

## **2.1.6 Discontinuidades en soldaduras.**

La finalidad de la prueba radiográfica de soldadura es la de detectar, identificar y evaluar indicaciones en la junta soldada. Si estas indicaciones exceden un nivel de aceptación establecido se tiene un defecto, el cual debe ser reparado ya que representa un riesgo de falla mayor en el equipo.

A continuación se describen los principales defectos que se encuentran en las uniones soldadas, las cuales son detectadas mediante prueba radiográfica.

Porosidad. Es un vacío que se forma en la unión soldada como consecuencia de gas atrapado en la soldadura durante el proceso de fusión y enfriamiento del material aportado. Pueden tener forma circular, alargada o de rama.

Inclusión de escoria. Es material diferente al metal de aporte, que queda atrapado en la soldadura durante el proceso de soldadura. Generalmente se produce entre pases de

soldadura debido a una limpieza inadecuada antes de efectuar el siguiente pase. Tienen por lo general forma alargada.

Penetración incompleta. Se da cuando el metal de aporte no llega a ingresar a la totalidad de la junta, quedando uno o ambos bordes de la junta sin fundir con el metal base. Es consecuencia de una técnica de soldeo indeficiente o un diseño inadecuado.

Falta de fusión. Es un área sin mezcla entre metal base con soldadura o entre pases de soldadura. Es consecuencia de una técnica de soldeo indeficiente o un diseño inadecuado.

Bajo llenado. Ocurre cuando no se llega a llenar completamente la junta, quedando por debajo del nivel del metal base. En una radiografía se detecta por una densidad mayor en la zona del defecto.

Socavación. Es una depresión creada en el metal base adyacente al cordón de soldadura, como consecuencia de una fusión excesiva del metal base durante el soldeo.

Sobremonta. Es soldadura que en exceso que se coloca sobre la zona de fusión. Es indeseable porque origina acumuladores de tensión en la zona donde se encuentra.

Penetración excesiva. Se da cuando se penetra en exceso la raíz de la junta. Resulta en un refuerzo excesivo de soldadura.

Concavidad. Es una zona cóncava que se forma en la raíz de la unión, y se puede llegar a tener un espesor de soldadura menor al espesor del metal base.

High-Low. Se refiere al desalineamiento que se produce durante el armado de la unión, que se puede presentar principalmente en tuberías.

Fisura. Son separaciones o fracturas que se producen en el metal de soldadura como consecuencia de tensiones que exceden a la resistencia última del metal.

### **2.1.7 Características de las películas radiográficas.**

La película radiográfica consiste de una base flexible y transparente cuya superficie se recubre por ambos lados con una emulsión gelatinosa a base de bromuros de plata. Esta emulsión es sensible a la luz y radiaciones ionizantes, de manera que al incidir sobre ella los rayos gamma, se produce un cambio en la estructura física de los granos que la conforman. Cuando la película es tratada con una solución química (revelador) se produce la formación de plata metálica suspendida en la gelatina, lo cual constituye la imagen radiográfica.

La emulsión es una mezcla de nitrato de plata, bromuro potásico y pequeñas cantidades de compuestos sulfurados, bajo condiciones de temperatura y tiempo estándar. Con el fin de obtener granos más finos se incorpora también yoduro potásico. La sensibilidad de una película dependerá del tamaño de grano de la emulsión. Un tamaño de grano fino tiene menor sensibilidad, obliga a un mayor tiempo de exposición, pero en cambio permite obtener una mejor calidad de imagen.

### **2.1.8 Cartilla de exposición y curva característica.**

Si se preparasen una serie de radiografías de un elemento de espesor fijo a diferentes distancias y luego se repiten estas pruebas para diferentes tiempos de exposición, se obtendría una curva logarítmica, conocida como Tabla o cartilla de exposición, el cual



permite calcular en forma aproximada el tiempo de exposición necesario para obtener una imagen con densidad planeada para objetos de espesores uniformes.

La curva característica, también conocida como curva sensitométrica o curva H & D (por Hurter y Driffield, quienes la usaron por primera vez en 1890); grafica la relación entre la exposición relativa con la densidad de película resultante. La ventaja de esta curva es que no contiene unidades absolutas y puede utilizarse para hacer cálculos prácticos. Anexo a este informe se muestran las curvas características de las películas empleadas en las pruebas radiográficas.

### **2.1.9 Cálculo de la exposición.**

Para el cálculo de la exposición se tiene que considerar una serie de factores:

- Tipo de fuente de radiación.
- Tipo de material radiografiado.
- Espesor del material.
- Tiempo de exposición.
- Pantallas reforzadoras.
- Distancia de la fuente al objeto.
- Tipo de película.
- Densidad de película.
- Condiciones de revelado.

### **2.1.10 Cálculo del tiempo de exposición.**

El factor predominante al momento de calcular el tiempo de exposición es la densidad de película que se desea obtener como resultado. Los factores que se deben tomar en cuenta al momento de realizar este cálculo son:

- Distancia de la fuente al objeto.
- Actividad de la fuente gamma.

- Densidad que se desea obtener.
- Espesor del material radiografiado.
- Tipo de película empleado.
- Pantallas reforzadoras.

Según un estudio realizado por C. Brachet, la relación entre tiempo de exposición y densidad tiene la forma:

$$T = A \cdot D^{\delta} \cdot 2^{t/t_0} \cdot F^2 / I$$

Donde:

- T = tiempo de exposición.
- D = Densidad.
- t = Espesor del material.
- F = Distancia fuente – objeto.
- I = Actividad de la fuente.
- A,  $\delta$ ,  $t_0$  = Constantes que dependen del tipo de película utilizada.

La obtención de estas constantes es un trabajo experimental a partir del cual se obtienen expresiones para el cálculo directo de tiempos de exposición en función de D, t, F e I.

### **2.1.11 Técnica de desarrollo de la imagen radiográfica.**

Como consecuencia de la interacción de la radiación sobre el elemento a inspeccionar una parte de la energía actúa sobre los granos de bromuro de plata, dejándolos en un estado latente para la formación de la imagen.

La imagen estable se logra durante la etapa del revelado. Durante este proceso, se hace reaccionar la plata molecular, resultando en plata elemental.

La pendiente de la curva característica varía a lo largo de la misma. Si se logra un cambio notorio de densidad al variar muy poco el espesor va a permitir lograr un mejor contraste en la imagen radiográfica. Se conoce como Gradiente al promedio de las pendientes obtenidas en dos puntos de densidad específica. Es un valor característico de película radiográfica.

El tiempo de revelado influye también en el contraste final. Se gana más contraste dejando más tiempo de revelado a la película. Sin embargo, un tiempo excesivo puede causar la ruptura de las moléculas de plata y causar un efecto de nublado en la imagen radiográfica.

Otro factor a considerar es la velocidad de película. Las películas rápidas son aquellas que se encuentran más a la izquierda en las curvas características. Estas películas requieren un menor tiempo de exposición, pero al tener una densidad de granos menor tienen una menor definición de imagen.

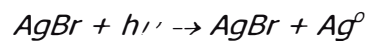
La granularidad es la sensación visual de no uniformidad en la imagen radiográfica. Está en función del grado de densidad y tamaño de granos característicos de la película. Una densidad mayor de granos pequeños evitan esta impresión, pero en cambio aumenta el tiempo de exposición necesario para desarrollar la imagen.

A partir de estas características se han establecido normas para clasificar las películas según su gradiente (medidas para densidades 2,0 y 4.0) y la relación entre gradiente y granularidad (ASTM E 1815, ISO 1699-1).

### 2.1.12 Tratamiento de las películas radiográficas.

A continuación se explican las etapas para la obtención de la imagen estable de la película radiográfica.

Durante la exposición radiográfica, la energía transmitida a la película origina la siguiente reacción química:



El  $Ag^0$  se acomoda inicialmente como plata intersticial. El exceso de electrones cargados negativamente redirigen la plata hacia zonas sensibles

- A. Revelado. El objetivo de esta etapa es obtener por reacción química, bajo ciertas condiciones de temperatura y tiempo, ión de plata  $Ag^+$  a plata metálica neutra  $Ag^0$ . Esto se logra mediante la adición de un agente reductor tipo MQ (metilaminofenol e hidroquinona) ó PQ (fenidona e hidroquinona). El primer agente produce los tonos de gris, mientras que la hidroquinona produce las áreas negras.



El revelador oxidado es causante del agotamiento del químico revelador. Para conservar las propiedades del revelador se agregan cantidades de sulfito sódico, el cual fija el oxígeno liberado según la reacción:



Es importante durante esta etapa agitar el medio para acelerar la reacción, además que asegura uniformidad en el revelado. Se controla también la temperatura y tiempo de revelado. La temperatura incrementa el grado de acidez del revelador, mientras que el tiempo aumenta la densidad de la imagen.

- B. Baño de parada. El objetivo principal es detener la acción del agente revelador, además cumple la función de preservar el agente fijador. ES una solución con 2-3% de ácido acético.
- C. Fijado. Remueve el exceso de bromuro de plata, dejando en la película la plata metálica, además endurece la película radiográfica.
- El agente fijador es el tiosulfato de amonio o sodio. Se usa agua como solvente y alumbre potásico como endurecedor. La película permanece en esta solución aproximadamente el doble del tiempo que en el revelador.
- D. Lavado y secado. Se hace en agua corriente con adición de un modificador de tensión superficial para evitar la formación de gotas. El lavado tiene la función de eliminar residuos del fijador. Una vez lavadas, las películas deben ser secadas evitando contactos que puedan afectar la película (arañazos, polvo, marcas de dedos, etc.). Otra manera es utilizando secadores por aire caliente (convección).

## **2.2 Aspectos normativos y reglamentarios**

### **2.2.1 Código constructivo (API 650).**

La sección 6 de este código especifica los requisitos para la prueba radiográfica de uniones soldadas.

Acercas de la técnica radiográfica, en el párrafo 6.1.3.1 se indica que a excepción de lo descrito en este párrafo, el método a emplear será de acuerdo a la sección V, artículo 2, del código ASME.

Asimismo, en el párrafo 6.1.3.2 se establece que el personal a cargo de la inspección radiográfica deberá cumplir con los requerimientos de certificación nivel II ó III de la práctica recomendada ASNT SNT-TC-1A. El personal nivel I trabajará bajo la supervisión de un inspector nivel II ó III.

Finalmente se indica que los requerimientos descritos en el párrafo T-285 (penumbra geométrica) serán utilizados como guía. La aceptación final de las radiografías estará basada en la visualización del indicador de calidad de imagen (hilo o agujero esencial del penetrómetro).

## **2.2.2 Código ASME V para prueba radiográfica.**

Describe el método de inspección mediante prueba radiográfica.

### (T-221) Procedimiento.

El artículo 2 establece que la prueba se hará de acuerdo a un procedimiento escrito, el cual debe incluir como mínimo la siguiente información:

- Tipo de material y rango de espesores.
- Isótopo utilizado.
- Distancia mínima fuente-objeto.
- Distancia desde el lado fuente del objeto a la película, para la distancia mínima fuente-objeto.
- Tamaño de la fuente.
- Tipo de película, marca y denominación.
- Pantallas reforzadoras.

### (T-233) Indicadores de calidad de imagen.

Se aceptan indicadores de calidad de imagen de alambre o tipo agujero, los cuales son fabricados de acuerdo al estándar SE-1025.

Para seleccionar el indicador de calidad de imagen se determina el espesor del material a inspeccionar, incluyendo el refuerzo de soldadura estimado, siempre que no exceda lo indicado en el código de construcción utilizado.

Para determinar el hilo o agujero esencial se calcula el espesor del material a inspeccionar, incluyendo el refuerzo de soldadura. Se hace uso de la tabla T-276 incluida en el código.

#### Densidad de película.

(T-262) El densitómetro se calibra al menos cada 90 días mediante la comparación con una tableta patrón calibrada.

Se aceptará el densitómetro si sus lecturas no exceden  $\pm 0.05$  unidades de los establecidos en la tableta patrón.

(T-282.1) establece que la densidad medida a través del penetrómetro en la zona adyacente al alambre o hilo esencial sobre el área de interés debe encontrarse entre 2,0 y 4,0 para radiografías hechas con una fuente gamma. Se indica además una tolerancia de  $\pm 0,05$  por una posible variación en la lectura del densitómetro.

(T-282.2) establece que la densidad en el área de interés puede variar entre -15% y +30% del valor medido en la zona adyacente al alambre o hilo esencial sobre el área de interés. El cálculo de estos porcentajes se aproximan al décimo más cercano.

#### (T-285) Penumbra geométrica.

La penumbra geométrica de la radiografía no debe exceder 0,020 mm. Para espesores menores a 2 pulgadas [50,8 mm.].

### 2.2.3 Criterio de aceptación

La sección 6.5.1 del estándar API 650 establece que la soldadura inspeccionada mediante radiografía es calificada como aceptable o inaceptable de acuerdo al párrafo UW-51 (b) de la sección VIII del código ASME.

El párrafo mencionado establece como defectos de soldadura inaceptables a:

- Cualquier indicación caracterizada como fisura o zona de fusión o penetración incompleta.
- Cualquier otra indicación alargada en la radiografía que exceda:
  - ✓ 6 mm. para espesores de hasta 19 mm.
  - ✓  $1/3 t$ , para espesores entre 19 y 57 mm ( $t$ , es el espesor más delgado a unir).
  - ✓ 19 mm. para espesores mayores a 57 mm.
- Cualquier grupo de indicaciones alineadas que tengan una longitud agregada que exceda a  $t$  en una longitud de  $12t$ .
- Indicaciones redondeadas que excedan el estándar de aceptación establecido en el apéndice 4 (anexo a este informe).

### 2.2.4 Códigos de referencia (Calidad radiográfica).

El estándar ASTM E-94 (Guía para prueba radiográfica) considera que hay tres componentes fundamentales que influyen en la calidad de la imagen radiográfica:

Contraste radiográfico	<p><u>Contraste de objeto.</u> Es la relación entre la radiación transmitida entre dos zonas del material inspeccionado.</p> <p><u>Contraste de película.</u> Diferencia de densidades entre dos áreas de la imagen radiográfica.</p>
Granularidad	Es la percepción de granulosidad producto de la diferencia de densidades en zonas muy cercanas.



Penumbra	<p><u>Penumbra inherente.</u> Es el grado de detalle visible que depende de aspectos geométricos del sistema: distancia de contacto película-pantalla, <u>Espesor de pantalla.</u> Espesor de emulsión de la película, etc.</p> <p><u>Penumbra geométrica.</u> Es el grado de detalle visible resultante del arreglo o disposición de la fuente, objeto y película radiográfica.</p>
----------	--

El estándar E 999-99 (Guía para controlar la calidad del procesamiento de películas en radiografía industrial) establece pautas para el control y mantenimiento de los materiales y equipos de proceso de películas radiográficas. Incluye:

- Mezcla de químicos para procesamiento manual o automático.
- Almacenamiento de soluciones.
- Procesamiento.
- Pruebas de actividad de soluciones.

La aplicación de los controles específicos indicados en esta guía, dependen en gran parte del grado en que las instalaciones se puedan adecuar a las prácticas aquí recomendadas.

## **2.2.5 Legislación de Seguridad Radiológica.**

### Ley de regulación de uso de fuentes gammaográficas (28028)

Está desarrollado con dos objetivos principales: establecer requisitos para la protección contra la exposición a radiación, para la seguridad de las fuentes de radiación, y para asegurar la seguridad del personal involucrado, del público y del medio ambiente.

El reglamento define dos áreas en las que se deben controlar ciertos parámetros de exposición a radiación. Área controlada, para uso exclusivo del personal de radiografía; y el área supervisada, que necesita un control menos exigente ya que representa un menor riesgo de exposición.

Define la dosis como la cantidad de radiación recibida por un sujeto u objeto. Se mide en J/kg y se le da el nombre especial de Gray (Gy),

Define la dosis efectiva como el resultado de un promedio ponderado de la dosis recibida en diferentes puntos del cuerpo. Su unidad también es el J/kg y recibe el nombre especial de Sievert (Sv).

La dosis de los operadores radiológicos no debe exceder:

- 20 mSv de dosis efectiva anual promedio, en un periodo de cinco años consecutivos.
- 50 mSv en un año, siempre que no sobrepase los 100 mSv en cinco años consecutivos.
- 150 mSv de dosis en el cristalino.
- 500 mSv de dosis en un año, para piel y extremidades.

En el caso del público, la dosis permitida es mucho menor:

- Dosis efectiva anual de 1 mSv.
- Dosis en el cristalino de 15 mSv en un año.
- Dosis en la piel de 50 mSv en un año.

El reglamento exige a las empresas dedicadas a estas pruebas, a contar con un sistema de calidad que asegure que se cumplen los requisitos de seguridad, y establecer planes de contingencias y programas de eliminación de residuos químicos. Se deben tener mecanismos de control y alarma para la detección y medición de la radiación existente.

Establece también niveles de radiación permitidos durante la exposición radiográfica, tipos, características y dimensiones de las señales de seguridad a utilizar durante las pruebas. Asigna sanciones por infracciones al reglamento y determina los mecanismos para obtener la autorización para uso y transporte de fuentes ionizantes.

# ***CAPITULO 3***

## **METODOLOGÍA DE TRABAJO**

### **3.1 Equipo inspeccionado**

Tanques: Se fabricaron dos tanques de iguales dimensiones.

- Denominación: 420-TNK-001 y 420-TNK-002.
- Altura útil: 9,15 metros.
- Diámetro: 36 metros.
- Material base: ASTM A-36.
- Espesores utilizados: 9, 12, 16, 25 y 32 mm.
- Material de aporte: Electrodo de varilla de bajo hidrógeno.
- Clasificación AWS 5.1: E7018.

El procedimiento operativo se desarrolló de acuerdo a los lineamientos que especifica la norma constructiva API 650. Ahí se establece que el procedimiento para la prueba radiográfica se deberá realizar según lo estipulado en el código ASME Sección V, Ensayos No destructivos, Artículo II, Prueba radiográfica.

Los planes de contingencia y plan de manejo de residuos peligrosos se redactaron conforme a los requerimientos del reglamento de seguridad radiológica. Estos documentos se encuentran anexos en la parte final de este informe.

El objetivo de este informe es la optimización de las pruebas radiográficas en tanques de acero. En este sentido se ha desarrollado un procedimiento de prueba radiográfica optimizado y una estimación de los costos que implica su implementación en comparación con los costos de no calidad que resultaría de no implementarlo.

### **3.2 Procedimiento de prueba radiográfica.**

El enfoque que se propone en este procedimiento se basa en el concepto de función de pérdida. Este método propone que la mejor manera de mejorar la calidad es minimizando las variaciones. Para este fin se proyecta el trabajo en tres etapas:

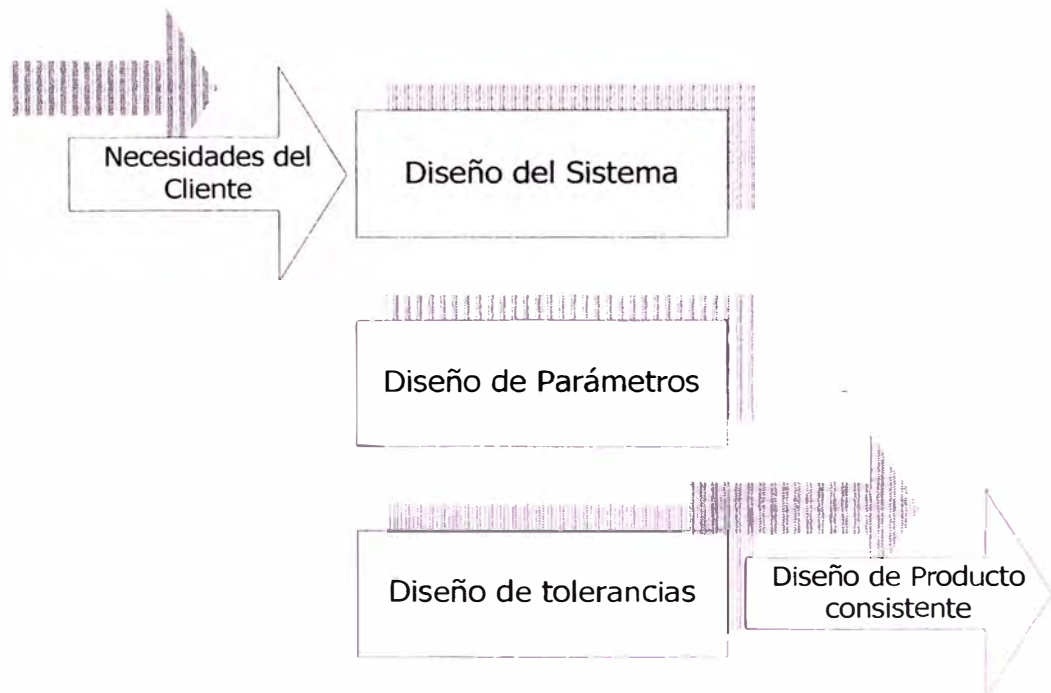


Gráfico 3.1. Modelo para el diseño de un producto o servicio consistente.

### Diseño del sistema

Se propone un diseño básico, el cual cubra las necesidades del cliente. Se hace un consolidado de los requisitos del cliente, de acuerdo a las especificaciones técnicas propias del cliente, metodología, requerimientos de calidad, de seguridad, de costos y tiempos.

### Diseño de parámetros

En esta etapa se deben identificar aquellos parámetros que puedan ocasionar variaciones en el producto final. Se deben reconocer factores físicos, climáticos, de metodología, etc. Se deben incluir métodos experimentales cuando sea necesario.

### Diseño de tolerancias

Se cuantifican tolerancias para los parámetros de diseño más importantes identificados. Manteniendo el trabajo dentro de estos límites de control darán consistencia al producto o servicio prestado.

Se debe tener en consideración que los parámetros que se identifiquen tienen características propias que hacen que su control sea viable o no técnica o económicamente. A su vez pueden ser inherentes a la técnica aplicada o externos a la misma.

## **3.3 Estimación de Costos**

Se desarrolla una aproximación de los costos de los recursos necesarios para completar las actividades de inspección.

Para calcular un estimado del costo se llevarán a cabo las siguientes actividades:

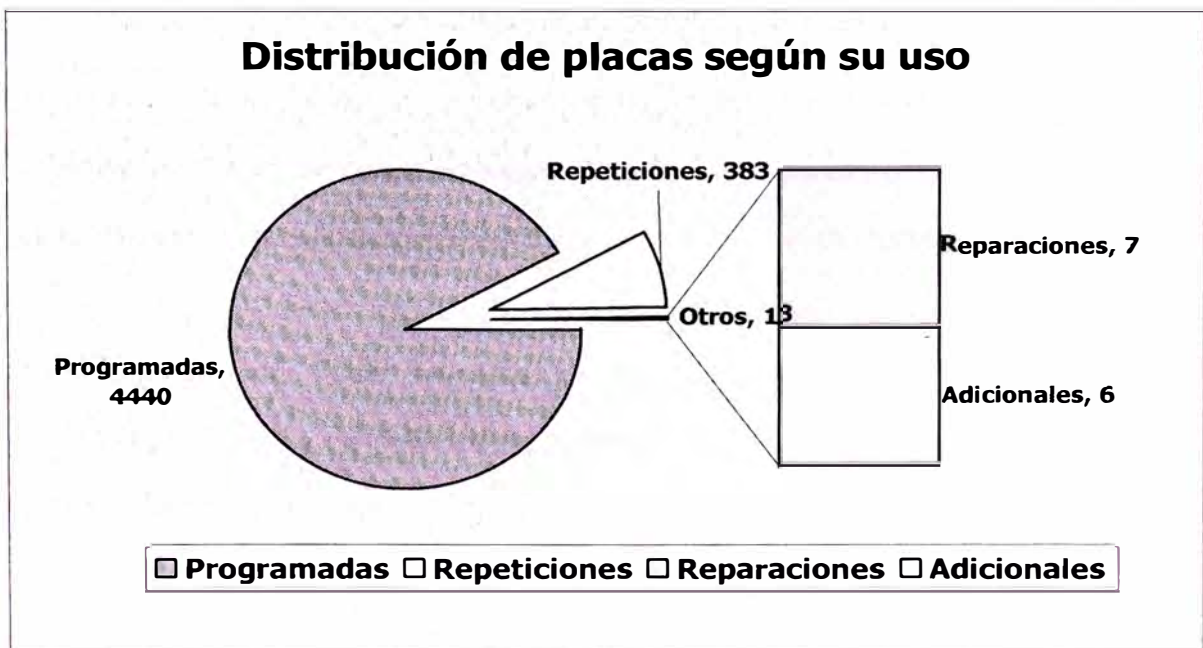
- Elaboración de una plantilla general para calcular costos del servicio.
- Utilizar información histórica de proyectos similares.
- Determinar las necesidades de recursos a lo largo del proyecto.
- Calcular tasas de costo de un recurso por unidad de tiempo.
- Estimar los costos de calidad. Estos vienen dados por la inversión necesaria para prevenir no conformidades a los requerimientos, y de esta manera evitar las repeticiones.
- Se calcula el costo de no calidad sobre la base de los resultados obtenidos del proyecto actual. Se compara este valor con el costo de calidad estimado anteriormente.

# ***CAPITULO 4***

## **ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **4.1 Desarrollo del proceso de pruebas radiográficas.**

Durante el transcurso del proyecto se tomaron en total 4780 placas radiográficas, distribuidas como se indica en el gráfico 4.1.



*Gráfico 4.1. Distribución de placas radiográficas tomadas según su utilización.*

*Empresa constructora: Haug S. A.*



*Periodo de prueba: 15-02-2006 hasta el 23-06-2006.*

*Tanques: 420-TNK-001 y 420-TNK-002; Diámetro: 36 metros; Material: Acero ASTM A36.*

*Película marca AGFA tipo D7; Longitud: 356 mm. [14 pulg.]; Procesamiento manual.*

Como se observa del gráfico, una cantidad significativa de placas se destinaron a repeticiones (aproximadamente 8%). El tiempo programado para la ejecución de las pruebas fue de 75 días calendario. En la realidad, la toma del total de placas, incluyendo repeticiones y adicionales, duró un total de 128 días, 53 días más que la estimación original. Se tomaron un promedio de 37,4 placas por día, en lugar de las 60 placas diarias programadas inicialmente.

Estos valores finales se vieron afectados por el gran número de repeticiones, habiéndose programado algunas jornadas destinadas completamente a la toma de repeticiones de placas defectuosas.

## **4.2 Resultados respecto a calidad de soldadura.**

Durante el desarrollo de las pruebas se detectaron un total de siete rechazos por calidad de soldadura, en todos los casos el defecto encontrado fue inclusión de escoria. Cuatro de ellas se encontraron en costuras verticales y tres en costuras horizontales.

El porcentaje de fallas respecto al total de placas fue del 0.08%, valor significativamente bajo de defectos, considerando que se tomó placas al 100% de las uniones soldadas del tanque.

Este valor revela un buen nivel en cuanto a habilidades del soldador, así como un adecuado control de calidad, en lo referente a inspección visual de soldadura, como paso previo a la prueba radiográfica.

### 4.3 Resultados respecto a calidad de técnica radiográfica.

A lo largo del servicio de toma de placas radiográficas se detectaron un total de 383 placas con disconformidades respecto a la técnica de toma o procesamiento de película, tres discrepancias respecto a la interpretación del resultado y dos placas que no pudieron retomarse debido a la indisponibilidad física para su ejecución.

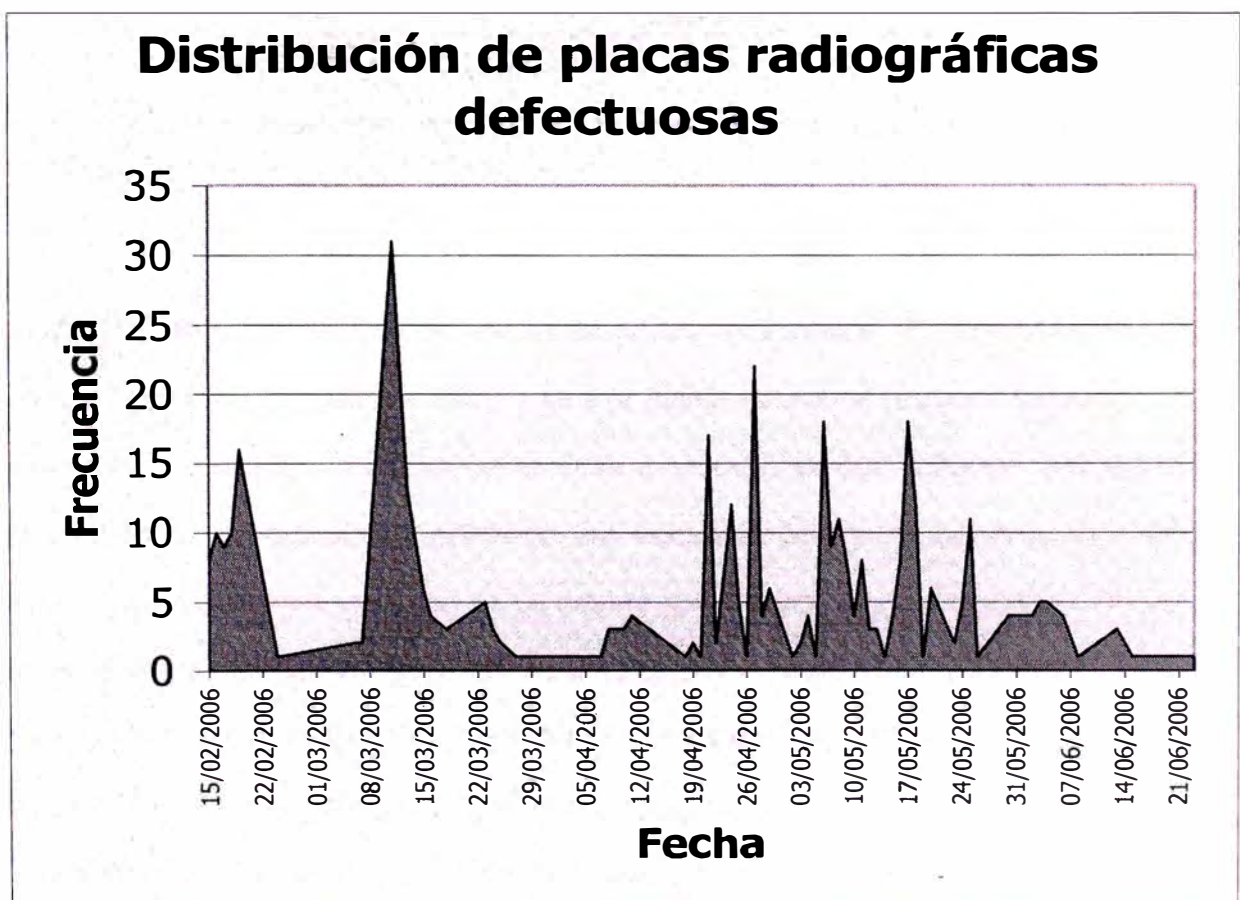


Gráfico 4.2. Distribución de placas defectuosas según la fecha de ocurrencia.

Empresa constructora: Haug S. A.

Periodo de prueba: 15-02-2006 hasta el 23-06-2006.

Tanques: 420-TNK-001 y 420-TNK-002; Diámetro: 36 metros; Material: Acero ASTM A36.

Película marca AGFA tipo D7; Longitud: 356 mm. [14 pulg.]; Procesamiento manual.

Del total de placas observadas 203 correspondieron al tanque 420-TNK-001. De este número, 107 placas pertenecieron a juntas horizontales y 96 a placas en juntas verticales.

**Tanque 420-TNK-001**

Horizontal	Frecuencia	Vertical	Frecuencia
1	40	1	30
2	25	2	3
3	2	3	6
4	40	4	4
<b>Subtotal</b>	<b>107</b>	5	53
		<b>Subtotal</b>	<b>96</b>
<b>Total</b>	<b>203</b>		

*Tabla 4.1 Distribución de placas observadas según su posición en el tanque*

*Equipo: 420-TNK-001*

Cabe destacar que del total de placas en juntas horizontales, 40 correspondieron a la primera horizontal (espesor 32 mm.) y 40 a la última horizontal (espesor 9.5 mm.). En el primer caso se explica en el espesor elevado a ensayar, ya que la fuente necesitaba un mayor tiempo de exposición, asimismo era necesario colocar la fuente a una mayor distancia para disminuir el efecto de penumbra geométrica. La alta frecuencia detectada en el anillo de la última horizontal se explica más porque estas uniones fueron las primeras en radiografiarse, y no se habían evaluado con suficiente profundidad las dificultades en la aplicación de la técnica radiográfica.

Respecto a las juntas verticales en este tanque el resultado es similar: 30 correspondieron a la primera vertical (espesor 32 mm.) y 53 placas a la última vertical (espesor 9.5 mm.).

**Tanque 420-TNK-002**

Horizontal	Frecuencia	Vertical	Frecuencia
1	22	1	29
2	74	2	10
3	22	3	1
4	21	4	0
<b>Subtotal</b>	<b>139</b>	5	1
		<b>Subtotal</b>	<b>41</b>
<b>Total</b>	<b>180</b>		

*Tabla 4.2 Distribución de placas observadas según su posición en el tanque*

*Equipo: 420-TNK-002*

En el tanque 420-TNK-002 se observaron en total 180 placas radiográficas. A juntas horizontales correspondieron 139 placas y a juntas verticales 41 placas radiográficas.

Este tanque se radiografió durante la etapa en que se requirió el mayor número de personal (8 en total), específicamente durante la inspección de la segunda horizontal, entre la segunda quincena de abril hasta finales de mayo del 2006. En esta inspección se observaron un total de 74 placas, un número muy elevado considerando que la totalidad del radiografiado de un anillo era de 395 placas (se volvieron a repetir el 19% de las placas tomadas).

El total acumulado de placas observadas (383) representa el 8% del total de placas tomadas, lo cual representa un porcentaje elevado respecto al porcentaje usual que se presentan en este tipo de pruebas (3-5%). En la sección 4.5 se ha desarrollado un análisis de acuerdo al tipo de observación encontrada.

#### **4.4 Clasificación de disconformidades relativas a la calidad de técnica radiográfica.**

En el gráfico 4.2 se muestra la distribución de defectos clasificándolos según su causa u origen principal. Desde este punto de vista se han clasificado los defectos dentro de cinco categorías principales:

- Hombre. Dentro de este grupo se han colocado aquellos defectos ocasionados por el operador radiológico: manipulación inadecuada de la película, colocación incorrecta de nomenclatura, posicionamiento de placa en la junta, posicionamiento inadecuado de fuente sobre la junta, corte inadecuado de placas, etc.

- Proceso. Se han colocado aquí a aquellos defectos que se dan durante el proceso de toma y procesamiento de película: velado, agotamiento de químicos, manchas de químicos, gotas, etc.
- Máquina. Dentro de este grupo se colocan aquellas ocasionadas por el equipo de trabajo: manchas de secado, líneas de rodillo, exposición insuficiente.
- Material. En casos aislados se presentó problemas con el material proporcionado por el proveedor: manchas de hongos y desprendimiento de emulsión.
- Externa. Factores que escapan a la responsabilidad de la empresa inspectora: placas que se repiten por un control inadecuado del avance de la inspección, ambiente de trabajo húmedo, condiciones del terreno de trabajo, iluminación inadecuada, cortes de energía repentinos, etc.

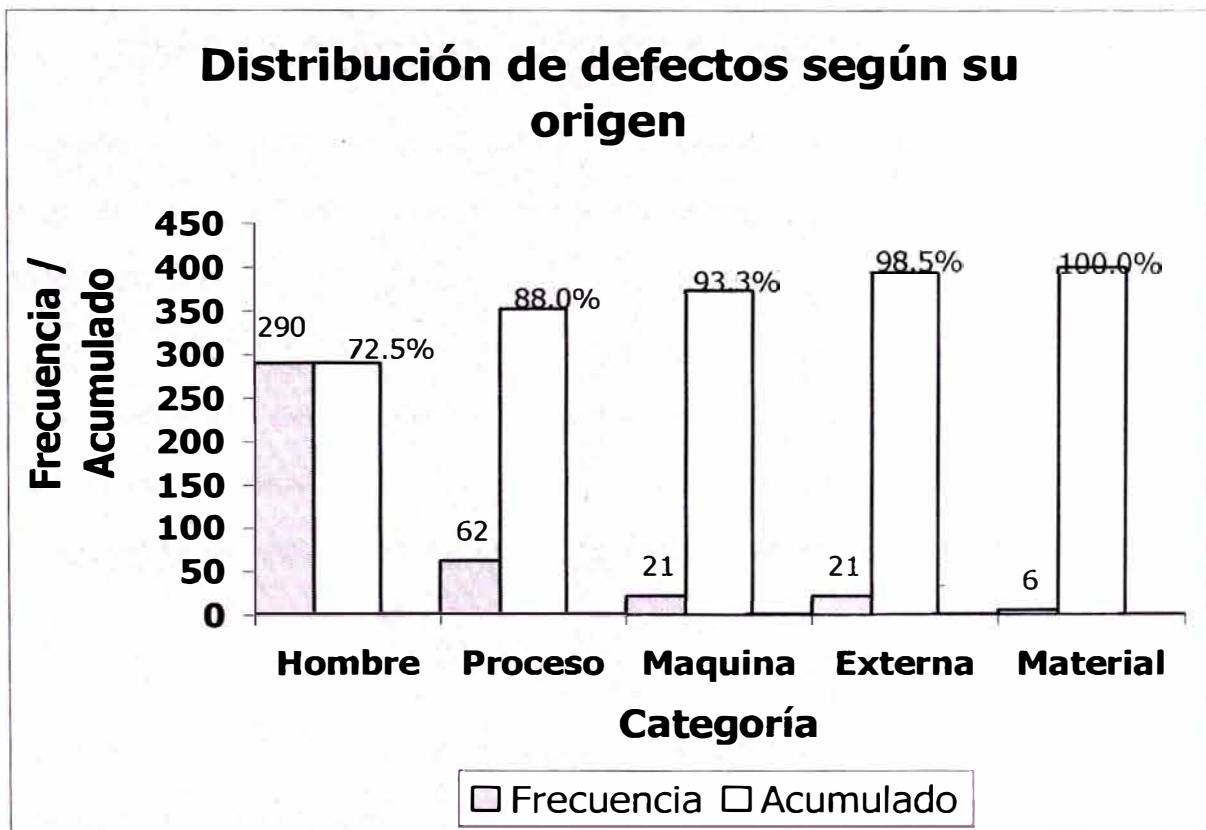


Gráfico 4.2. Distribución de placas defectuosas según su origen.

Empresa constructora: Haug S. A. Periodo de prueba: 15-02-2006 hasta el 23-06-2006.

Tanques: 420-TNK-001 y 420-TNK-002; Diámetro: 36 metros; Material: Acero ASTM A36.

Película marca AGFA tipo D7; Longitud: 356 mm. [14 pulg.]; Procesamiento manual.

Como se observa del gráfico, del total de placas, el 72.5% de las placas observadas tuvieron su origen en un fallo del operador. Si a esto le sumamos aquellos defectos ocasionados por el proceso propio de la prueba se llega a un 88% de placas observadas. Las demás representan un porcentaje mucho menor, 12% del total de placas observadas.

Para lograr una mejora importante en los resultados de las pruebas radiográficas es necesario atacar las dos primeras causas de falla (Hombre, Proceso). Si por ejemplo se hubiese llegado a disminuir el porcentaje de falla en 50% para ambos casos, el porcentaje de falla del proyecto hubiese disminuido al 1% del total de placas tomadas.

#### **4.5 Análisis de las observaciones encontradas.**

Durante el desarrollo de los trabajos de inspección radiográfica no se llegaron a presentar todos los tipos de artefactos radiográficos que se suelen presentar en la práctica del ensayo.

En la tabla 4.3 se detallan los artefactos radiográficos detectados durante las pruebas radiográficas, sus causas más probables y acciones correctivas sugeridas. Se han omitido algunas de estas observaciones porque pueden identificarse como un solo tipo de defecto.

Tabla 4.3. *Identificación de artefactos radiográficos, causas y acción correctiva.*

<b>Observación /Artefacto radiográfico</b>	<b>Causa más probable</b>	<b>Acción correctiva</b>
Bandas verticales	Agitación insuficiente de las películas dentro del recipiente de químicos.	Agitar el carrito dentro de la solución a intervalos fijos durante el revelado.

<b>Observación /Artefacto radiográfico</b>	<b>Causa más probable</b>	<b>Acción correctiva</b>
Nublado	Tiempo excesivo dentro del revelador. Químico agotado. Distancia Fuente-Objeto insuficiente.	Llevar un registro del número de placas reveladas. Usar placas de prueba. Aumentar distancia Fuente-Objeto
Doble (choque)	Choque de películas al momento de colocarlas en el carrete.	Mayor cuidado al momento de colocar las películas en el carrete.
Densidad < 2.0	Tiempo de exposición insuficiente.	Calcular el tiempo de exposición adecuado durante la etapa de programación del servicio.
Densidad > 4.0	Tiempo de exposición excesivo.	Calcular el tiempo de exposición adecuado durante la etapa de programación del servicio.
Densidad en extremos menor al 15% del medido sobre el IQI	Mal centrado de las placas. Distancia Fuente-objeto insuficiente.	Centrar las placas tomando una referencia cercana. Considerar la distorsión por efecto de la curvatura. Aumentar la distancia Fuente-Objeto.
Desprendimiento de emulsión	Tiempo de exposición excesivo en recipiente de revelador. Defecto de película.	Cálculo del tiempo de revelado mediante una prueba previa. Considerar la temperatura del químico.
Doble (uña)	Manipulación inadecuada de película.	Mayor cuidado al momento de colocar las películas en el carrete.
Gotas	Tiempo para escurrir insuficiente.	Considerar un mínimo de diez segundos para el escurrido completo del líquido en el recipiente.

<b>Observación /Artefacto radiográfico</b>	<b>Causa más probable</b>	<b>Acción correctiva</b>
Hilo de plomo	Preparación inadecuada del sobre porta película.	Revisar periódicamente los sobres y pantallas de plomo.
Hongos sobre placa	Defecto de película. Almacenamiento inadecuado.	Revisar la película radiográfica antes de su corte (fecha de fabricación, condiciones superficiales, condiciones de almacenamiento).
Línea de secador	Rodillos sucios.	Limpieza periódica de los rodillos del secador.
Nomenclatura incorrecta	No se constató nomenclatura con lista del cliente	Hacer una verificación de acuerdo a la lista proporcionada por el cliente.
Placa corta	Corte de placa de rollo sin medición adecuada.	Uso de guillotina en lugar de tijera. Uso de moldes con dimensiones exactas antes de efectuar el corte.
Velado	Ingreso de luz por un mal sellado del sobre. Sobre deteriorado.	Revisión periódica de los sobres porta películas. Identificar los sobres porta películas.
Rayadura	Manipulación inadecuada de la película.	Mayor cuidado al manipular las películas. No exponer las películas al ambiente ni manipularlas si no cuenta con protección adecuada.
Placa repetida	Mecanismo de seguimiento de avance de toma de placas inadecuado.	Diseñar una hoja de control que permita establecer el estado de una junta (sin tomar, para repetición, aprobada, para reparación).



<b>Observación /Artefacto radiográfico</b>	<b>Causa más probable</b>	<b>Acción correctiva</b>
Letra sobre soldadura	Manipulación inadecuada de letras de plomo. Desprendimiento de letras de cinta adhesiva.	Revisar que no haya interferencias con el cordón. Utilizar cintas adecuadas. Considerar el uso de equipo para identificación de placa.

En el siguiente capítulo se propone un procedimiento optimizado para prueba radiográfica, que represente una mejora desde el punto de vista de la calidad radiográfica y del ahorro por costos de no calidad.

# ***CAPÍTULO 5***

## **PROCEDIMIENTO OPTIMIZADO DE PRUEBA RADIOGRÁFICA**

### **5.1 *Procedimiento general.***

#### Diseño del sistema

Los requisitos del cliente se pueden especificar utilizando la siguiente tabla:

<b>Información necesaria</b>	<b>Nivel de detalle necesario</b>
Información básica para el cálculo de materiales, mano de obra, equipos y herramientas necesarios para ejecutar el servicio.	<u>Recursos del proyecto</u> Metraje a radiografiar Tamaño de placa (longitud, ancho) Número de placas Número de horas asignadas a RT Tipo de material Espesor(es) de material Diámetro del tanque Cronograma del proyecto Planos de fabricación general Cuarto oscuro Depósito para fuente in situ Energía eléctrica

<b>Información necesaria</b>	<b>Nivel de detalle necesario</b>
Información referida a requerimientos de calidad del proyecto, tanto para la técnica como para la interpretación de las placas radiográficas.	<u>Requisitos de calidad</u> Código o norma operativo aplicable Código o norma de evaluación aplicable Especificaciones técnicas del cliente Requisitos de seguridad Densidad Indicador de calidad de imagen Criterios de aceptación Código o norma aplicable Tipo de película Formatos para reportes y sobres

Tabla 5.1. *Diseño del sistema- Requisitos del Cliente*

#### Diseño de parámetros

Se identifican los parámetros que puedan afectar negativamente la calidad de la prueba radiográfica. Para esto se ha visto por conveniente dividir el servicio como una serie de actividades secuenciales.

<b>Actividad</b>	<b>Recurso</b>	<b>Parámetros de control</b>
Programación previa al servicio	Longitud de junta a examinar.	Longitud de película.
		Número de placas.
	Material a examinar. Espesor del material a examinar.	Indicador de calidad de imagen.
		Tipo de película.
	Actividad de la fuente	Tiempo de exposición. Distancia Fuente-Objeto.
Listado con identificación de juntas	Nomenclatura de plomo.	
Ejecución del servicio	Identificación de placas	Lista de verificación.
	Colocación de placas y marcado	Longitud inspeccionada.
	Ubicación de fuente	Distancia a referencia en pared opuesta.
	Disparo	Tiempo de exposición.
	Traslado de películas expuestas	Condiciones de traslado

<b>Actividad</b>	<b>Recurso</b>	<b>Parámetros de control</b>
Procesamiento de la película expuesta	Químico revelador.	Temperatura
		Tiempo de revelado.
		Tiempo de escurrido.
		Número de placas reveladas.
	Químico fijador.	Temperatura
		Tiempo de revelado.
		Tiempo de escurrido.
		Número de placas fijadas.
	Secado automático	Limpieza.
		Temperatura.
Secado al ambiente	Ambiente de secado.	
Interpretación radiográfica	Densitómetro	Calibración con filmína patrón.
	Densidad de película	Norma o código aplicable.
	Artefactos radiográficos	Norma o código aplicable.
	Negatoscopio	Iluminación.
		Oscuridad del cuarto.
	Elaboración de reporte	Identificación de junta
Tipificación de indicaciones encontradas	Aceptación o rechazo según norma o código aplicable.	

Tabla 5.2. *Diseño de parámetros.*

#### Diseño de tolerancias.

Se establecen límites de control con el fin de asegurar consistencia en las pruebas. Se entiende que no todos los parámetros tienen un límite establecido y en su lugar se dan recomendaciones para una buena práctica del ensayo.

<b>Parámetro de control</b>	<b>Límite de control</b>
Programación previa al servicio	
Longitud de película.	De acuerdo a especificaciones del cliente. Si se va a tomar placas consecutivas, considerar una pulgada adicional a cada lado para traslapes.

<b>Parámetro de control</b>	<b>Límite de control</b>
Número de placas.	De acuerdo a la lista de juntas o al metraje proporcionado por el cliente se calcula el número de películas a preparar. Considerar la preparación de un 5% adicional para películas de prueba o fallos que puedan ocurrir durante la prueba.
Indicador de calidad de imagen.	Se selecciona de acuerdo al material y espesor indicado por el cliente. Si el alambre esencial se encuentra en el límite entre dos tipos de set, preferir el que contenga alambres de mayor diámetro.
Tipo de película. <i>Nota: Se está considerando el uso de películas de marca AGFA</i>	Se selecciona el tipo de película de acuerdo al espesor a examinar. Se prefiere películas del tipo D5 ó D4 para pruebas que utilicen el set 1B. Para pruebas que utilicen set 1B o mayores utilizar películas tipo D7.
Tiempo de exposición.	Se calcula de acuerdo a la disposición de la fuente y película respecto a la junta radiografiada.
Distancia Fuente-Objeto.	Para espesores menores a 2 pulgadas considerar una penumbra geométrica Ug máxima de 0.008 pulgadas [0.2 mm.]. A partir de este valor calcular la distancia fuente-objeto según la fórmula: $D = t \times F / U_g$ .
Nomenclatura de plomo.	Se preparan antes de trasladarse al punto de inspección. Aprovisionar en cantidad suficiente para evitar retrasos.
<b>Ejecución del servicio</b>	
Lista de verificación.	Se elabora una hoja checklist para la verificación de datos de identificación de placas.
Longitud inspeccionada.	Se hacen la identificación exacta de la ubicación de placas en el objeto radiografiado.
Distancia a referencia en pared opuesta.	Esta actividad es crítica en juntas horizontales. Se debe medir la distancia a una referencia fija del tanque y luego trasladar esta medida a la pared opuesta del tanque, considerando la distorsión de la medida por efecto de la curvatura del tanque.
Tiempo de exposición.	Se calcula de acuerdo a la disposición de la fuente y película respecto a la junta radiografiada. El cálculo se debe haber efectuado previo a la ejecución del servicio.

<b>Parámetro de control</b>	<b>Límite de control</b>
Condiciones de traslado	Se destina una caja exclusiva para el traslado de películas expuestas. Debe conservar condiciones suficientes de hermeticidad y se trasladan a la mayor distancia posible de la fuente gammagráfica, en caso viajen juntos.
Procesamiento de la película expuesta	
Temperatura de revelado.	Entre 20° y 26° C.
Tiempo de revelado.	Según recomendaciones del fabricante. En su defecto el doble del tiempo de revelado.
Tiempo de escurrido.	Por lo menos 10 segundos.
Número de placas reveladas.	Se calcula el área de película expuesta por placa. Se calcula el área total a revelar. Se compara con registros históricos, de manera que cuando se aproxime a su límite de uso, se haga el cambio efectivo de químicos.
Temperatura de fijado.	
Tiempo de fijado.	Usualmente el doble del tiempo de revelado. Verificar visualmente que se haya removido todo el bromuro de plata en exceso.
Tiempo de escurrido.	Por lo menos 10 segundos.
Número de placas fijadas.	Se calcula el área de película expuesta por placa. Se calcula el área total a revelar. Se compara con registros históricos, de manera que cuando se aproxime a su límite de uso, se haga el cambio efectivo de químicos.
Limpieza de secador.	Se hace un mantenimiento diario, al finalizar el servicio, limpiando los rodillos para eliminar elementos que puedan dañar la película al momento del secado.
Temperatura.	Aumentar gradualmente si se observa que al salir del secador, la película aún se mantiene húmeda.
Ambiente de secado (manual)	No exponer las películas húmedas al viento ni polvo.
Interpretación radiográfica	
Calibración con filmina patrón.	De acuerdo al código aplicable e indicaciones del fabricante del equipo.

<b>Parámetro de control</b>	<b>Límite de control</b>
Densidad de película	De acuerdo al código aplicable. Entre 2.0 y 4.0 según ASME Sección V. La densidad en el área de interés puede variar entre -15% y +30% del valor medido en la zona adyacente al alambre esencial sobre el área de interés. El cálculo de estos porcentajes se aproxima al décimo más cercano.
Artefactos radiográficos	No deben caer en la zona de interés.
Iluminación.	Se prefiere negatoscopio con luz variable para visualizar placas en el rango de densidades de 2.0 y 3.5 H&D.
Oscuridad del cuarto.	Evitar el ingreso de luz que caiga directamente sobre la placa a interpretar.
Identificación de junta	Verificar la identificación de junta en placa de acuerdo al checklist elaborado en forma previa al servicio.
Aceptación o rechazo según norma o código aplicable.	De acuerdo al criterio de aceptación para inspecciones radiográficas de fabricación o mantenimiento según aplique.

Tabla 5.3. *Diseño de tolerancias – Límites y recomendaciones.*

Para una buena práctica de la prueba radiográfica se han elaborado hojas de control, las cuales van a permitir monitorear los parámetros arriba mencionados.

## **5.2 Hojas de control.**

El procedimiento propuesto se ha resumido en cuatro hojas de control, que se han estimado necesarios para vigilar los parámetros de la prueba.

Siempre se recomienda minimizar en lo posible el número de formatos a llenar, con el fin de hacer más amigable su aplicación por el radiólogo.

Las hojas de control se llenan en hoja de cálculo Excel, con el fin de realizar cálculos automáticos a partir de algunos datos de entrada. En algunos casos se ha colocado la vinculación a celdas u otras hojas de trabajo.

**Hoja de Control 1: Programación previa al Servicio**

ACTIVIDAD	Programación previa al servicio		Observación																																	
<u>Parámetros de control</u>																																				
Longitud de película		0	Considerar 25.4mm adicional a cada lado. Dato proporcionado por el Cliente. Dato proporcionado por el Cliente. Según $t = \text{MAX}(C5,E5)$ y tablas 1, 2 y 3. De t y tablas 2 y 3. $=\text{SI}(C7<6,"D5","D7")$  $= (C11*E6)/C13$ Se elige $D > C9$ De tabla de decaimiento Según T-285, para espesor hasta 50.8 mm. $= (C9*E6)/C11$ Cálculo empírico, para densidad = 2.5 H&D. $= C4*C15$																																	
Número de placas		0																																		
Espesor	t1	0																																		
Indicador de calidad de imagen	IQI	0																																		
Alambre esencial		0																																		
Tipo de película	D5/D7	0																																		
Tamaño Fuente	F	0																																		
Distancia Fuente-Objeto, mínima		0																																		
Distancia Fuente-Objeto, elegida	D	0																																		
Actividad de la Fuente	Ci	0																																		
Penumbra Geométrica, máxima		0.02																																		
Penumbra Geométrica, calculada	Ug	0																																		
Tiempo de exposición	T	0																																		
Tiempo estimado total		0																																		
<u>Notas generales:</u>																																				
* Para el número de placas considerar un 5% adicional.																																				
* Una distancia Fuente-Objeto elegida implica mayor tiempo de exposición.																																				
* El tiempo estimado total no considera tiempos muertos.																																				
* Es necesario llevar a campo lista de juntas a radiografiar, para comparar con nomenclatura.																																				
* Expresar medidas en unidades SI.																																				
<table border="1"> <caption>Tabla 1</caption> <thead> <tr> <th>Juego A</th> <th>Juego B</th> <th>Juego C</th> <th>Juego D</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0.08</td><td>0.25</td><td>0.81</td><td>2.54</td></tr> <tr><td>0.01</td><td>0.33</td><td>1.02</td><td>3.20</td></tr> <tr><td>0.13</td><td>0.41</td><td>1.27</td><td>4.06</td></tr> <tr><td>0.16</td><td>0.51</td><td>1.60</td><td>5.08</td></tr> <tr><td>0.20</td><td>0.64</td><td>2.03</td><td>6.35</td></tr> <tr><td>0.25</td><td>0.81</td><td>2.54</td><td>8.13</td></tr> </tbody> </table>			Juego A	Juego B	Juego C	Juego D	0.08	0.25	0.81	2.54	0.01	0.33	1.02	3.20	0.13	0.41	1.27	4.06	0.16	0.51	1.60	5.08	0.20	0.64	2.03	6.35	0.25	0.81	2.54	8.13						
Juego A	Juego B	Juego C	Juego D																																	
0.08	0.25	0.81	2.54																																	
0.01	0.33	1.02	3.20																																	
0.13	0.41	1.27	4.06																																	
0.16	0.51	1.60	5.08																																	
0.20	0.64	2.03	6.35																																	
0.25	0.81	2.54	8.13																																	
<table border="1"> <caption>Tabla 2</caption> <thead> <tr> <th rowspan="2">Mínimo</th> <th rowspan="2">Máximo</th> <th colspan="2">Alambre esencial</th> </tr> <tr> <th>L. Fuente</th> <th>L. Película</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>0</td><td>6.4</td><td>5</td><td>4</td></tr> <tr><td>6.5</td><td>9.5</td><td>6</td><td>5</td></tr> <tr><td>9.6</td><td>12.7</td><td>7</td><td>6</td></tr> <tr><td>12.8</td><td>19</td><td>8</td><td>7</td></tr> <tr><td>19.1</td><td>25.4</td><td>9</td><td>8</td></tr> <tr><td>25.5</td><td>38.1</td><td>10</td><td>9</td></tr> <tr><td>38.2</td><td>50.8</td><td>11</td><td>10</td></tr> </tbody> </table>			Mínimo	Máximo	Alambre esencial		L. Fuente	L. Película	0	6.4	5	4	6.5	9.5	6	5	9.6	12.7	7	6	12.8	19	8	7	19.1	25.4	9	8	25.5	38.1	10	9	38.2	50.8	11	10
Mínimo	Máximo	Alambre esencial																																		
		L. Fuente	L. Película																																	
0	6.4	5	4																																	
6.5	9.5	6	5																																	
9.6	12.7	7	6																																	
12.8	19	8	7																																	
19.1	25.4	9	8																																	
25.5	38.1	10	9																																	
38.2	50.8	11	10																																	
<table border="1"> <caption>Tabla 3</caption> <thead> <tr> <th>Hilo</th> <th>Diámetro</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>0.0032</td></tr> <tr><td>2</td><td>0.0040</td></tr> <tr><td>3</td><td>0.0050</td></tr> <tr><td>4</td><td>0.0063</td></tr> <tr><td>5</td><td>0.0080</td></tr> <tr><td>6</td><td>0.0100</td></tr> <tr><td>7</td><td>0.0130</td></tr> <tr><td>8</td><td>0.0160</td></tr> <tr><td>9</td><td>0.0200</td></tr> <tr><td>10</td><td>0.0250</td></tr> <tr><td>11</td><td>0.0320</td></tr> </tbody> </table>			Hilo	Diámetro	1	0.0032	2	0.0040	3	0.0050	4	0.0063	5	0.0080	6	0.0100	7	0.0130	8	0.0160	9	0.0200	10	0.0250	11	0.0320										
Hilo	Diámetro																																			
1	0.0032																																			
2	0.0040																																			
3	0.0050																																			
4	0.0063																																			
5	0.0080																																			
6	0.0100																																			
7	0.0130																																			
8	0.0160																																			
9	0.0200																																			
10	0.0250																																			
11	0.0320																																			



**Hoja de Control 2: Ejecución del Servicio**

<u>ACTIVIDAD</u>	<b>Ejecución del Servicio</b>	<u>Observación</u>
<u>Parámetros de control</u>		
Lista de verificación (SI/NO)	SI	Verificar en campo identificación de placas.
Ubicación y colocación de película		Se marca en la pared del tanque.
Diámetro de tanque	0	En milímetros.
Espesor de pared	0	=+PROG!E6
Factor de conversión EXT/INT	0	Se multiplica o divide por este valor.
Longitud inspeccionada.	0	=+PROG!E3*PROG!E4
Tiempo de exposición.	0	
<u>Notas generales:</u>		
* Se recomienda el uso de trípode imantado para la colocación de la fuente.		
* Se recomienda el uso de escuadra en caso el tanque sea de acero inoxidable.		
* El transporte de placas sin uso y placas expuestas en contenedores separados.		
* El factor de conversión se usa para calcular la distancia en la pared opuesta del tanque. Sólo para juntas horizontales.		
* Expresar medidas en unidades SI.		

**Hoja de Control 3: Procesamiento de películas expuestas.**

<u>ACTIVIDAD</u>	<b>Procesamiento de Películas Expuestas</b>	
<u>Parámetros de control</u>		<u>Observación</u>
Temperatura de revelado	<input type="text" value="0"/>	Entre 20 y 26 Grados Celsius.
Tiempo de revelado	<input type="text" value="0"/>	Entre 2 y 8 minutos. Agitación vigorosa cada 30 segundos.
Baño de parada		Entre 16 y 30 Grados Celsius.
Tiempo en baño de parada		Unos 30 segundos. Agitación moderada.
Temperatura de fijado		Entre 16 y 30 Grados Celsius.
Tiempo de fijado	<input type="text" value="0"/>	=2*D4. Agitación vigorosa cada 30 segundos.
Lavado		Entre 16 y 30 Grados Celsius.
Tiempo de Lavado		Entre 10 y 20 minutos. No necesita agitación.
Temperatura secador		Se gradúa de manera que la película salga seca.
<u>Control de Uso de Químicos</u>		
<i>Película D5</i>		
Número de placas procesadas	<input type="text"/>	Igual o menor a PROG!C4.
Ancho de película	<input type="text"/>	Ancho de película utilizado.
Tamaño de película	<input type="text"/>	=PROG!C4*PROC!B16
Área total procesada	<input type="text"/>	=B17*B15
Área crítica para cambio	<input type="text" value="1"/>	Se determina en forma empírica.
<i>Película D7</i>		
Número de placas procesadas	<input type="text"/>	Igual o menor a PROG!C4.
Ancho de película	<input type="text"/>	Ancho de película utilizado.
Tamaño de película	<input type="text"/>	=PROG!C4*PROC!B21
Área total procesada	<input type="text"/>	=B24*B22
Área crítica para cambio	<input type="text" value="1"/>	Se determina en forma empírica.
Estado de uso de Químicos Anterior	<input type="text" value="0"/>	Cálculo anterior.
Estado de uso de Químicos Actual	<input type="text" value="0"/>	=(D18/D19)+(D25/D26)
Usar ó Cambiar	<input type="text" value="USAR"/>	=SI(B28+B29>1,"CAMBIAR","USAR")
<u>Notas generales:</u>		
* Al cambiar los carretes de recipiente, escurrir por lo menos 10 segundos para eliminar la solución anterior.		
* Las áreas críticas representan un área acumulada estimada en la cual el químico puede actuar correctamente sobre la película. Se calcula empíricamente para un ciclo de revelado intermedio (unos 3 minutos) a T no mayor de 24 Grados C.		
* Expresar medidas en unidades SI.		

**Hoja de Control 4: Interpretación Radiográfica.**

<b>ACTIVIDAD</b>	<b>Interpretación Radiográfica</b>			
<u>Parámetros de control</u>		<u>Observación</u>		
Calibración con filmina patrón	Tabla 1	Error no mayor a 0.05. Usar Tabla 1.		
Densidad de película	Tabla 2	Entre 2.0 y 4.0 según ASME Sección V. La densidad en el área de interés puede variar entre -15% y +30% del valor medido en la zona adyacente al alambre esencial sobre el área de interés.		
Artefactos Radiográficos.		No deben caer en la zona de interés.		
Iluminación.		Negatoscopio con luz variable para visualizar placas en el rango de densidades de 2.0 y 3.5 H&D.		
Identificación de junta.		Verificar la identificación de junta en placa de acuerdo a Lista		
Criterio de aceptación.		Según el código aplicable.		
<b>Tabla 1</b>				
Paso	Patrón	Densitómetro	Diferencia	Estado
1	<b>2</b>	2.06	-0.06	Calibrar
2	<b>2.5</b>	2.5	0	Aceptable
3	<b>3</b>	3	0	Aceptable
4	<b>3.5</b>	3.5	0	Aceptable
<b>Tabla 2</b>				
	<b>En zona de interés</b>	<b>-15%</b>	<b>+30%</b>	
	<b>2.0</b>	1.95	2.60	
	<b>2.1</b>	1.95	2.73	
	<b>2.2</b>	1.95	2.86	
	<b>2.3</b>	1.96	2.99	
	<b>2.4</b>	2.04	3.12	
	<b>2.5</b>	2.13	3.25	
	<b>2.6</b>	2.21	3.38	
	<b>2.7</b>	2.30	3.51	
	<b>2.8</b>	2.38	3.64	
	<b>2.9</b>	2.47	3.77	
	<b>3.0</b>	2.55	3.90	
	<b>3.1</b>	2.64	4.03	
	<b>3.2</b>	2.72	4.05	
	<b>3.3</b>	2.81	4.05	
	<b>3.4</b>	2.89	4.05	
	<b>3.5</b>	2.98	4.05	
	<b>3.6</b>	3.06	4.05	
	<b>3.7</b>	3.15	4.05	
	<b>3.8</b>	3.23	4.05	
	<b>3.9</b>	3.32	4.05	
	<b>4.0</b>	3.40	4.05	

### **5.3 Medición del desempeño y plan de mejoramiento continuo.**

La medición del desempeño tiene dos objetivos principales:

- i. Verificar la calidad del producto final. Se cuantifica el número de disconformidades en las pruebas realizadas y se identifican los factores que pudieran estar afectando el trabajo radiográfico.
- ii. Se cuantifica el costo de no calidad que implican estas disconformidades de producto (véase el capítulo 6).

Toda disconformidad detectada durante la prestación del servicio debe ser documentada en una solicitud de acción correctiva, con el fin de establecer las causas que lo originaron, y designar a un responsable que se encargará de proponer una medida correctiva. Finalmente se realiza una verificación de la acción tomada y de ser necesario se incorpora esta nueva medida dentro de un instructivo de trabajo.

Si se incorporasen nuevos equipos o instrumentos al servicio de radiografía, se deben promover acciones preventivas con el fin de elaborar un instructivo específico para la operación, calibración y mantenimiento del nuevo equipo.

Con el fin de cuantificar la mejora en el servicio prestado se hace uso de la data histórica de proyectos similares. Primero se hace una clasificación de disconformidades de acuerdo a lo desarrollado en la sección 4.4. A continuación se hace un análisis de resultados de acuerdo a 4.5.

La mejora en el procedimiento de prueba radiográfica se verá reflejado en dos mediciones básicas: el nuevo número de disconformidades encontradas y el cálculo del costo de no calidad del servicio.

### Medición del desempeño del procedimiento: (1) Total Proyecto.

Medio de almacenamiento: *Hoja de cálculo Excel.*

	Proyecto actual	Promedio proyectos	<b>Cambio relativo</b>
Número de observaciones	NA	NP	<b>(NP-NA)/NP</b>
Costo de no calidad	CA	CP	<b>(CP-CA)/CP</b>

### Medición del desempeño del procedimiento: (2) Avance.

Medio de almacenamiento: *Hoja de cálculo Excel.*

	Proyecto actual	Promedio proyectos	<b>Cambio relativo</b>
Frecuencia relativa de observaciones	PA = NA/NT	PNP = NP/NT	<b>(PA-PNP)/PNP</b>
Costo relativo de no calidad	CRA = CA/CT	CRP = CP/CT	<b>(CRA-CRP)/CRP</b>

NA: Número de observaciones; NT=Número de placas tomadas hasta la fecha.

CRA: Costo relativo de no calidad actual; CRP: Costo relativo de no calidad promedio. CT: Costo total del servicio.

El costo relativo de no calidad es la relación entre el costo de no calidad y el costo total del servicio.

# ***CAPÍTULO 6***

## **COSTOS**

### ***Estimación de Costos***

Los costos estimados se han colocado en dólares americanos. Se han considerado para el cálculo de costos las siguientes variables:

#### Equipos, instrumentos y herramientas.

- Fuente gammagráfica (contenedor, pastilla, mangueras). Se ha considerado una vida útil de tres años y valor de retorno del 10%. El costo total corresponde a los 128 días del proyecto. A la mitad del proyecto entran a trabajar 2 fuentes

Valor inicial	4500.00
Costo diario	3.75
Costo total	720.00

- Implementos de emergencia (pinza, contenedor plomo, plancha plomo, contenedor para transporte). Vida útil de 5 años y valor residual el 10%.

Valor inicial	1200
Costo diario	0.60

Costo total	76.80
-------------	-------

- Equipos de protección personal. Vida útil de 1 año y valor residual 0. Para 6 personas.

Valor inicial	72.00
Costo diario	0.20
Costo total	153.60

- Monitor de radiación geiger. Vida útil de 5 años y valor residual 10%. Dos unidades.

Valor inicial	900.00
Costo diario	0.45
Costo total	115.20

- Monitor de radiación audible. Vida útil de 5 años y valor residual 10%. Dos unidades.

Valor inicial	200.00
Costo diario	0.10
Costo total	25.60

- Dosímetro de lapicero. Vida útil de 5 años y valor residual 10%. Seis unidades.

Valor inicial	100.00
Costo diario	0.05
Costo total	38.40

- Otros equipos de laboratorio (Termómetro, ventilador, secador, etc). Vida útil de 5 años y valor residual 10%.

Valor inicial	870.00
Costo diario	0.44
Costo total	55.68

- Movilidad. Vida útil de 10 años y valor residual 20%.

Valor inicial	20000.00
Costo diario	4.44
Costo total	568.89

- Negatoscopio. Vida útil de 10 años y valor residual 10%. Dos unidades.

Valor inicial	1200.00
Costo diario	0.30
Costo total	76.80

- Dosímetro de película. Vida útil de 1 mes y valor residual 0. Seis unidades.

Valor inicial	7.50
Costo diario	0.25
Costo total	192.00

- Densitómetro. Vida útil de 5 años y valor residual 10%. Una unidad.

Valor inicial	600.00
Costo diario	0.30
Costo total	38.40

#### Materiales directos.

- Película radiográfica. Se utilizó película radiográfica sin sobre, marca AGFA, tipo D7.

Rollo de 305 metros. Placas de 36 cm. Mermas de 2% por corte.

Valor unidad	640.00
Número placas	4780
Costo total	3638.05

#### Insumos.

- Químicos (set de revelador + fijador). Se estimó 180 placas cada cambio.

Valor unidad	75.00
Número placas	4780
Costo total	2025.00

- Sobres para película.

Valor unidad	40.00
Número placas	4780
Costo total	191.20

- Formatos de reporte. Se emitieron 865 reportes.

Valor unidad	9.00
Número reportes	865
Costo total	162.00

- Combustible. Se consideran 4 viajes de 17.5 km por día.

Valor unidad	3.50
km/Día	70
Costo total	896.00



- Viáticos. Alimentación.

Valor diario	7.50
Número personas	6
Costo total	5760.00

- Otros insumos (hospedaje, viajes, etc.).

Valor mensual	390.00
Meses	5
Costo total	1950.00

Mano de obra directa. Esta es una parte importante del costo. El equipo de trabajo consta de un Supervisor, dos oficiales y tres Operarios.

- Supervisor

Valor mensual	1000.00
Costo diario	33.33
Costo total	4266.67

- Oficial

Valor mensual	800.00
Costo diario	26.67
Costo total	6826.67

- Operario

Valor mensual	500.00
Costo diario	16.67
Costo total	6400.00

Costos de no calidad.

Se calcula en base al número de repeticiones realizadas. Éstas fueron tomándose durante jornadas regulares, de modo que entran también dentro del promedio diario de tomas (37 placas). Para tomar 383 placas serían necesarias:

Costo diario	73.52
Costo total	808.71

Gastos indirectos y administrativos.

No se dispone de mayor información. Se estima en un 20% de los costos directos.

Costo total	5455.13
-------------	---------

Se ha elaborado una tabla con el resumen de ingresos y egresos del proyecto.

**Prueba gammagráfica a dos tanques de almacenamiento de acero**

**Cliente: HAUG S.A.**

**Fecha: 15-02-2006 al 23-06-2006**

<b>EQUIPOS</b>		<b>Costo total</b>
Fuente gammagráfica (contenedor, pastilla, mangueras).		720.00
Implementos de emergencia (pinza, contenedor).		76.80
Equipos de protección personal		153.60
Monitor de radiación geiger.		115.20
Monitor de radiación audible.		25.60
Dosímetro de lapicero		38.40
Equipos de laboratorio		55.68
Movilidad		568.89
Negatoscopio		76.80
Dosímetro de película.		192.00
Densitómetro		38.40
	<b>TOTAL</b>	<b>2061.37</b>
<b>Materiales directos</b>		<b>Costo total</b>
Película radiográfica.		3638.05
	<b>TOTAL</b>	<b>3638.05</b>
<b>Insumos.</b>		<b>Costo total</b>
Químicos (set de revelador + fijador).		2025.00
Sobres para película.		191.20
Formatos de reporte.		162.00
Combustible		896.00
Viáticos		5760.00
Otros insumos		1950.00
	<b>TOTAL</b>	<b>3274.20</b>
<b>Mano de obra directa</b>		<b>Costo total</b>
Supervisor		4266.67
Oficial		6826.67
Operario		6400.00
	<b>TOTAL</b>	<b>17493.33</b>
<b>Costos de no calidad</b>		<b>Costo total</b>
Equipo		62.99
Materiales directos		111.16
Insumos.		100.05
Mano de obra directa		534.52
		808.71
<b>SUMA DE COSTOS DIRECTOS</b>	<b>TOTAL</b>	<b>27275.67</b>
<b>Gastos indirectos y administrativos</b>		
No se dispone de mayor información. Se estima en un 20.0%	<b>TOTAL</b>	5455.13
<b>SUMA DE COSTOS INDIRECTOS</b>		<b>5455.13</b>
<b>COSTO TOTAL</b>		<b>32730.80</b>

<b>INGRESOS</b>		
<b>INGRESOS TOTALES</b>	<b>TOTAL</b>	<b>39237.00</b>
<b>UTILIDAD</b>	<b>TOTAL</b>	<b>6506.20</b>
Relación Costo de no calidad/ Costo total	%	<b>2.47%</b>

Se ha estimado que el porcentaje del costo total representado por los costos de no calidad ascienden al 2.47%. La utilidad neta del proyecto es de 6506.20 dólares, lo cual implica una relación beneficio-costos de 19.88%.

## **CONCLUSIONES**

Desde el punto de vista de calidad, la aplicación del nuevo procedimiento ofrece ventajas significativas para todos los involucrados en el servicio:

- Para el constructor o fabricante: se minimizan los tiempos perdidos para la retoma de placas defectuosas, empleándose las horas asignadas a la toma de placas de avance constructivo.
- Para el operador: el uso de instructivos le va a brindar confiabilidad al momento de efectuar las operaciones de toma de placas y procesamiento de películas radiográficas. El control de las operaciones va a permitir prever la logística necesaria con la debida anticipación e identificar cambios necesarios en alguno de los subprocesos del servicio.
- Para la empresa: permite asegurar el mantenimiento adecuado de equipos e instrumentos. El control de los insumos va a permitir calcular datos de mermas y necesidades futuras de recursos materiales o de mano de obra. El principal valor agregado para la empresa en realidad es un intangible: se trata del prestigio que puede ganar la empresa al dar a conocer al cliente que se preocupa por la mejora continua de sus procesos, la reputación de verse como una empresa que ofrece servicios con un número muy reducido de observaciones.

Desde el punto de vista de costos, la implementación de instructivos y registros de control representan un costo mínimo, ya que no implica la compra directa de equipos sofisticados ni materiales e insumos de alto costo. Sí va a ser necesario designar a una persona que maneje el sistema computarizado y haga acopio de la información proporcionada por los operadores. El éxito de su gestión se va asegurar en la medida que los datos proporcionados por estos últimos sean veraces y entregados oportunamente.

Los parámetros que se deben considerar para asegurar un buen producto final (la placa radiográfica) son numerosos y con frecuencia se va a tener que proceder a la experimentación con el fin de establecer límites de control adecuados. La metodología de ensayo más común consiste en realizar sucesivas pruebas variando un parámetro, y manteniendo fijo a los demás. En este informe no se ha contemplado el costo de realizar dichos ensayos adicionales, pero es recomendable establecer un conjunto básico de pruebas modelo, a fin de determinar empíricamente los límites de control en ausencia de datos mayores. Es una práctica común del radiólogo realizar placas de prueba con el fin de definir condiciones óptimas de trabajo.

Es importante anotar que los fabricantes de insumos componen una parte substancial en el control adecuado de la calidad del proceso radiográfico. Ofrecen instrucciones generales acerca del modo de manipular, disponer y almacenar los productos. Especifican además aspectos de seguridad (MSDS) que generalmente son omitidos por las normas de fabricación y ensayo.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Para este informe se hizo uso de la bibliografía indicada más adelante. Se enumeran en primer orden aquellos que fueron utilizados para establecer el aspecto técnico del informe, así como para la interpretación de los resultados encontrados. Más adelante se enumera la normatividad utilizada para el proceso de fabricación, ensayos no destructivos y legales empleados en el proyecto.

1. Nondestructive Testing Handbook, Volume 4, Radiographic Testing; por la American Society for Nondestructive Testing, Tercera Edición, 2002.
2. Metals Handbook, Volume 17, Nondestructive Evaluation and Quality Control; por la American Society for Metals; Octava edición; 1989.
3. Metals Handbook, Volume 6, Welding, Brazing, and Soldering; por la American Society for Metals; Novena edición; 1993.
4. Radiography in Modern Industry; Eastman Kodak Company; Cuarta edición; 1980.
5. Inspección radiográfica de las uniones soldadas; Alfonso Ruiz Rubio; 1970.
6. Handbook of nondestructive evaluation; Charles J. Hellier; 2001.
7. Nondestructive testing handbook, Section 8, Radiographic interpretation; Charles Hellier and Sam Wenk; 1997.
8. Practical Guide Book Series, Volume 2, ASME Section IX Welding Qualifications; por Michael J. Joule; 2<sup>nd</sup> Edition; 1996.

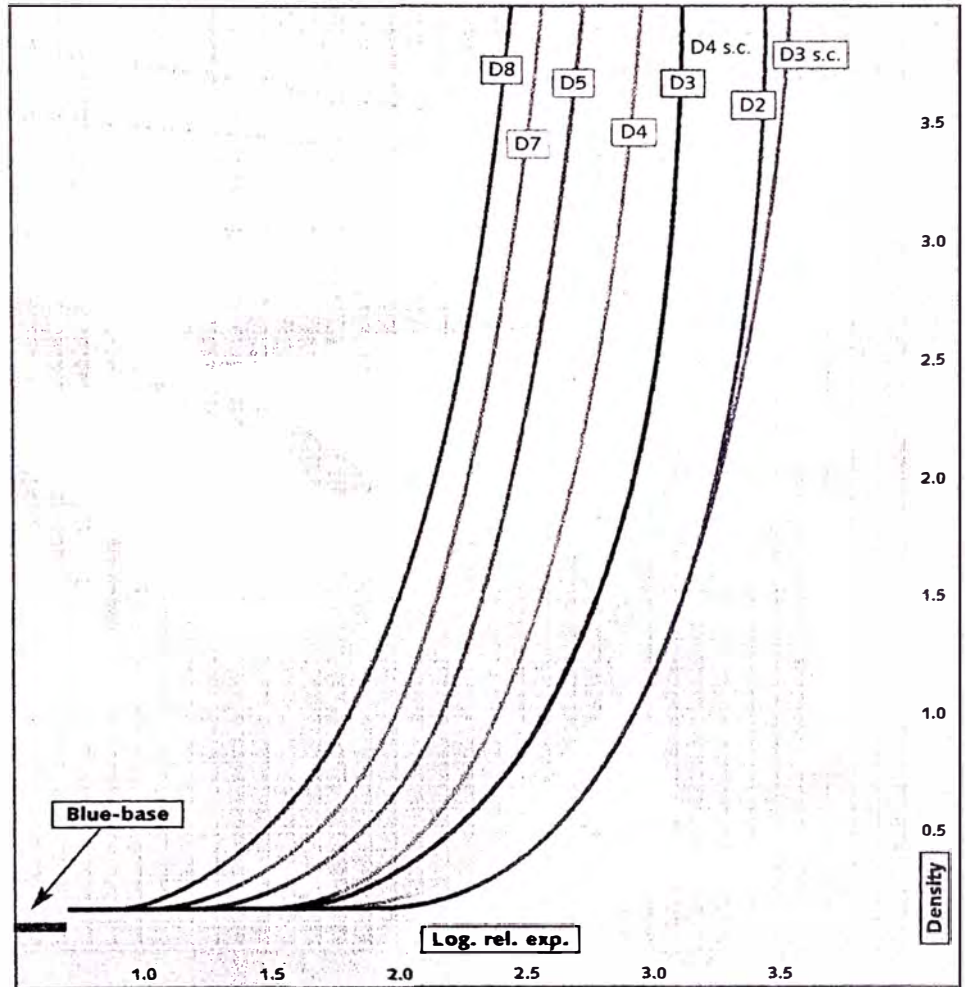
9. ANSI/AWS A3.0-94, Standard Welding Terms and Definitions; por la American Welding Society; 1994 Revision; 1998.
10. Jefferson's Welding Encyclopedia; por la American Welding Society; 18<sup>th</sup> Edition; 1997.
11. API Standard 650, Welded steel tanks for oil storage; por la American Petroleum Institute; Décima edición; 1998, addenda 2003.
12. 2004 ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Section V, Nondestructive Examination; 25a Revisión; 2004.
13. 2004 ASME Boiler & Pressure Vessel Code, Section VIII, Rules for Construction of Pressure Vessels; por la American Society of Mechanical Engineers; 25a Revisión; 2004.
14. E 999-99 Standard Guide for controlling the quality of industrial radiographic film processing; Annual Book of ASTM Standards, Volume 03.03; 2004.
15. E 94 Guide for Radiographic Testing; Annual Book of ASTM Standards, Volume 03.03; 2004.
16. E 543 Practice for agencies performing nondestructive testing; Annual Book of ASTM Standards, Volume 03.03; 2004.
17. E 1079 Practice for calibration of transmission densitometers; Annual Book of ASTM Standards, Volume 03.03; 2004.
18. E 1254 Guide for storage of radiographs and unexposed industrial radiographic films; Annual Book of ASTM Standards, Volume 03.03; 2004.
19. E 1316 Terminology for nondestructive examinations; Annual Book of ASTM Standards, Volume 03.03; 2004.
20. E 1742 Standard Practice for Radiographic Examination; Annual Book of ASTM Standards, Volume 03.03; 2004.
21. Ley No. 28028, Ley de regulación del uso de Fuentes de radiación ionizante.
22. Recommended Practice SNT-TC-1A-1996, Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing, por la American Society for Nondestructive Testing; 1996.

## **ANEXOS**

- Hojas técnicas de películas AGFA: Curvas Características, clasificación y almacenamiento.
- Hojas técnicas de químicos Kodak.
- Procedimiento de operaciones.
- Plan de contingencias.

# OPTIMIZED PERFORMANCE CHARACTERISTICS

Sensitometric curves



STRUCTURIX D2 D3 s.c. D4 s.c. D3 D4  
 D5 D7 D8 Exposure and processing  
 parameters: 200 kV, Pb screens, autom.  
 proc.,  
 8 min. cycle, devel G 135, 28°C - 82°F

- 1) In accordance with ANSI PH 2.8, ISO 7004 without lead screens.
- 2) In accordance with ANSI PH 2.8, ISO 7004 and EN 584-1 with lead screens 0.027 mm.
- 3) 8 mm Cu filtration, 0.1/0.2 mm lead screens.
- 4) Exposure with lead screens 0.1/0.2 mm.
- 5) Exposure with Fe screens front: 1 mm, back: 1 mm. Object Fe 160 mm. FFD = 2 m.

(\*) CONTRAST. The average gradient of the section of the characteristic curve between densities 1.5 and 3.5 (obtained at 200 kV in accordance with ISO 7004).

	Relative exposure factors					CONTRAST(*)
	100 kV (1)	200 kV (2)	Ir 192 (3)	Co 60 (4)	LINAC/8 MeV(5)	
STRUCTURIX D2	9.0	7.0	8.0	9.0	9.0	6.0
STRUCTURIX D3 s.c.	9.5	8.0	-	-	-	5.3
STRUCTURIX D4 s.c.	5.4	4.8	-	-	-	4.6
STRUCTURIX D5	4.1	4.3	5.0	5.0	5.1	5.5
STRUCTURIX D7	3.0	2.7	3.0	3.0	3.1	5.4
STRUCTURIX D8	1.7	1.5	1.5	1.5	1.5	5.4
STRUCTURIX D7	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	5.4
STRUCTURIX D8	0.6	0.65	0.6	0.6	0.6	4.3



### Image Quality & Film System Classes

FILM TYPE STRUCTURIX	CEN EN 584-1	ASTM E 1815-96	ISO 11699-1	JIS-K7627
D2	C1	special	T1	T1
D3 s.c.			T1	T1
D4 s.c.			T1	T1
D3	C2	I	T1	T1
D4	C3	I	T2	T2
D5	C4	I	T2	T2
D7	C5	II	T3	T3
D8	C6	III	T4	T4

### A/Automatic

Chemicals G 135/G 335 - development Immersion time : 100 sec.  
Developing temperature: 28°C - (82°F)

FILM TYPE	CEN	ISO	ASTM	GRADIENT G		$\sigma D$	G/ $\sigma d$	ISO SPEED S	DOSE m Gy D=2
				DENS=2	DENS=4				
D2	C1	T1	special	5.2	9.1	0.014	371	32	22.3
D3	C2	T1	I	4.7	8.6	0.016	294	64	14.0
D4	C3	T2	I	4.6	7.6	0.020	232	100	8.7
D5	C4	T2	I	4.4	7.6	0.026	169	200	4.6
D7	C5	T3	II	4.4	7.6	0.031	142	320	3.2
D8	C6	T4	III	4.1	5.2	0.035	114	400	2.2

### B/Manual

Chemicals G 128/G 328 - development Immersion time : 300 sec.  
Developing temperature: 20°C - (68°F)

FILM TYPE	CEN	ISO	ASTM	GRADIENT G		$\sigma D$	G/ $\sigma d$	ISO SPEED S	DOSE m Gy D=2
				DENS=2	DENS=4				
D2	C1	T1	special	5.1	9.0	0.013	392	32	23.5
D3	C2	T1	I	4.8	8.4	0.016	303	64	14.0
D4	C3	T2	I	4.6	8.0	0.020	232	100	8.7
D5	C4	T2	I	4.6	8.0	0.026	177	160	4.4
D7	C5	T3	II	4.6	8.0	0.032	144	320	3.2
D8	C6	T4	III	4.1	6.8	0.035	117	400	2.2

## CHARACTERISTICS

### STRUCTURIX D2

Extremely fine grain film with very high contrast. Ideal for exposures requiring the finest possible detail rendering.

### STRUCTURIX D3 s.c. — STRUCTURIX D4 s.c.

Single coated films with very high image quality, (accurate interpretability,) high contrast and pleasant image tint. The ideal films for optical enlargements. The colorless back coating prevents film curl under all conditions.

### STRUCTURIX D4

Ultra fine grain film with very high contrast. This film obtains a very high detail perceptability which meets the requirements of the most critical NDT applications. For exposure with lead screens using either X-ray, gamma rays or radiation from megavolt equipment.

### STRUCTURIX D4

Extra fine grain film with very high contrast. Suitable for a wide variety of critical applications. For exposure with lead screens using either X-ray, gamma rays or radiation from megavolt equipment.

### STRUCTURIX D5

Very fine grain film with high contrast. Excellent for visualization of discontinuities. This film is intended for use with lead screens using either X-ray or gamma rays.

### STRUCTURIX D7

Fine grain film with high contrast and high speed. Designed for direct exposure or with lead screens. For exposure with lead screens using either X-ray or gamma rays.

### STRUCTURIX D8

Medium grain film with high contrast and very high speed. Suitable for a variety of applications. This film can be used for direct exposure, or with lead screens. It gives good image quality with short exposure times. If even higher speed is required, fluorescent screens, in combination with Structurix F8 (not D8) should be used.



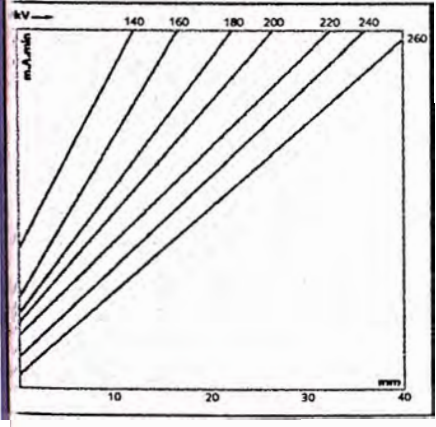
# XPOSURE DIAGRAMS

posure diagrams can be very useful for setting the correct exposure. The diagrams shown here are meant only as a guide, as the correct exposure will mainly depend on the variations of the object, the exposure equipment used and on the processing conditions.

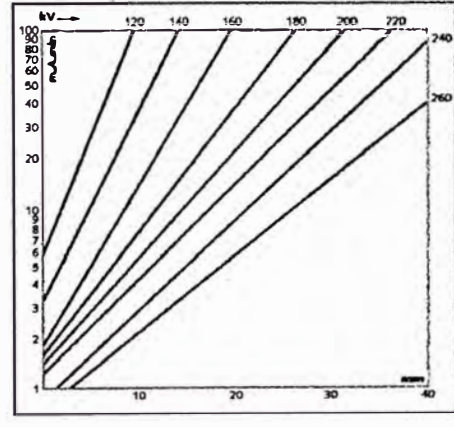
**Steel (Fe)**

- Type of X-ray tube: constant potential
- Pb-screens
- Density: 2
- FFD: 1m
- Autom. proc.: 8 min. cycle G 135, 28°C (82.4°F).

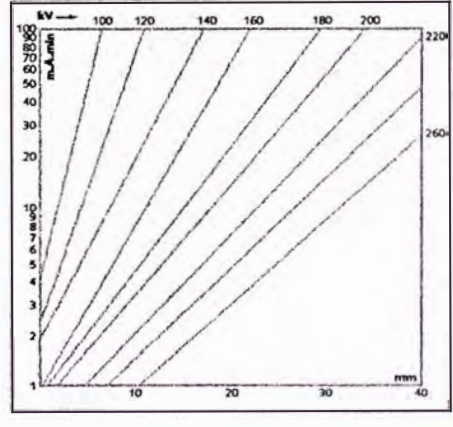
**STRUCTURIX D2**



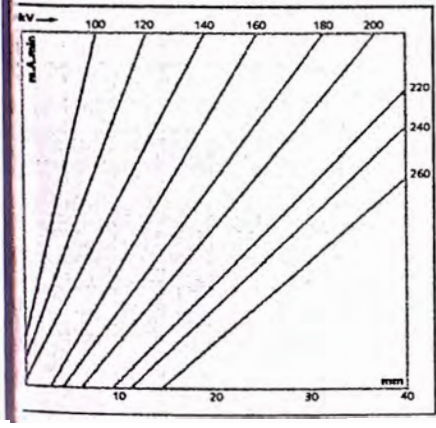
**STRUCTURIX D3**



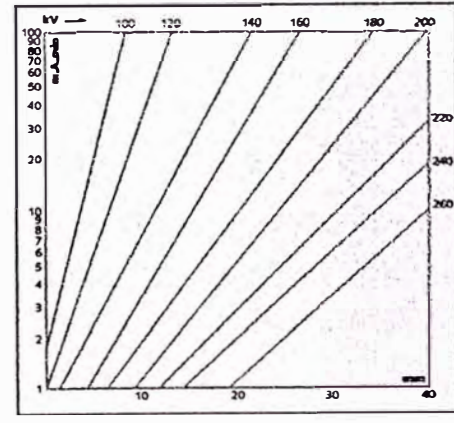
**STRUCTURIX D4**



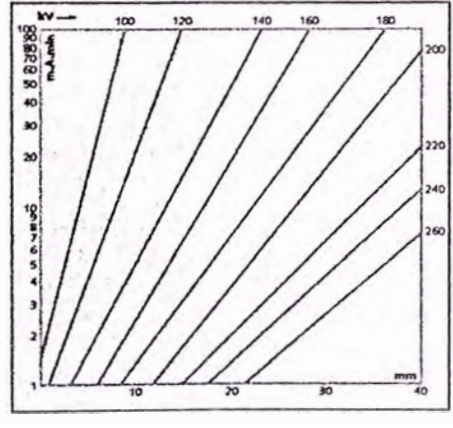
**STRUCTURIX D5**



**STRUCTURIX D7**



**STRUCTURIX D8**



## OPTIMAL STORAGE OF STRUCTURIX FILMS

Handling and storage of X-ray film is a very important aspect of the radiographic process. Guidelines are given in several international standards e.g. ASTM E1254-98. The recommendations for unexposed X-ray film are described in the paragraphs below.

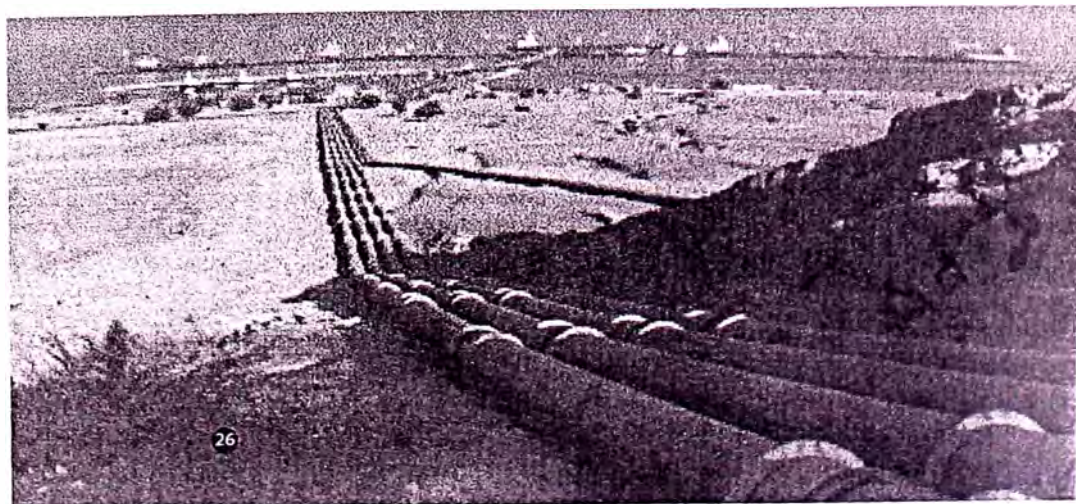
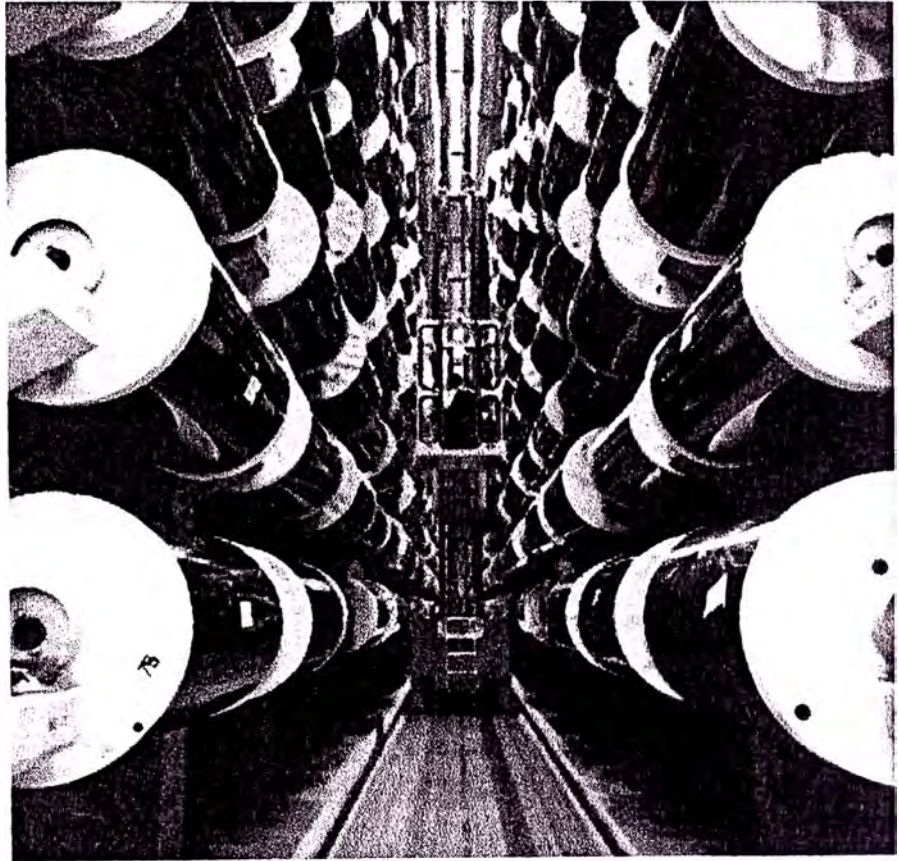
First of all, storage facilities for unexposed X-ray films should provide adequate protection from any penetrating radiation. If the films are stored for longer than 3 months, background radiation may not exceed 90 nGy/h ( $18 \times 10^{-10}$  r/Kg/h). Films in containers sealed by the manufacturer should be stored with the films on edge, whenever possible. Storage temperature should be between 40°F (4.4°C) and 75°F (23.8°C) at a relative humidity range of 30 to 60 %.

At higher temperatures accelerate certain physicochemical processes in the emulsion, STRUCTURIX films should always be stored in a cool place (within the above mentioned temperature range).

While films in opened packages are also affected by humidity, it is advisable to ensure that the relative humidity in the storage room remains under 60 %.

It is also recommended that the films are not stored in the immediate vicinity of X-ray chemicals.

STRUCTURIX films are handled and stored in accordance with the directions given above, Agfa guarantees their good quality at least until the expiry date on the box.



## Hoja técnica

Marca: KODAK/ [www.kodak.com.br](http://www.kodak.com.br)

Código: KP 125675

Especificación: GBX Revelador y Reforzador.

Capacidad: 2,08 litros.

Lote: 896 9735.

País de fabricación: Brasil.

## Contenido

Agua	60-65%
Sulfito de potasio	5-10%
Dietilenoglicol	5-10%
Sulfito de sodio	5-10%
Hidroquinona	6%
Carbonato de potasio	1-5%

## Indicaciones

Diluya el contenido de la botella con agua entre 18-30° C, hasta completar 9,5 litros de solución. Agite hasta que la solución se vuelva uniforme.

## Primeros auxilios

Si se traga, solamente induzca vómito como ordenado por el personal médico. Nunca administre nada por la boca a una persona inconsciente. Llame inmediatamente a un médico o centro de control de intoxicaciones. En caso de contacto, lave inmediatamente los ojos y la piel con agua abundante por un periodo de no menos de 15 minutos mientras se quita la ropa y los zapatos contaminados. Busque auxilio médico. Lave la ropa contaminada antes de volverla a usar. Elimine o limpie a fondo todo zapato contaminado.

## Medidas preventivas

Evitar respirar los vapores y el contacto con la piel y los ojos. La manipulación de los productos debe ser hecha siempre en local con ventilación forzada (10 cambios por hora). No ingerir. Utilizar delantal y guantes impermeables. Utilizar gafas de seguridad.

Hoja técnica

Marca: KODAK/ [www.kodak.com.br](http://www.kodak.com.br)

Código: KP 125676

Especificación: GBX Fijador y Reforzador.

Capacidad: 2,08 litros.

Lote: 172 5662.

País de fabricación: Brasil.

### Contenido

Agua	50-55%
Tiosulfato de amonio	32%
Acetato de sodio	1-5%
Bisulfito de sodio	1-5%
Sulfito de amonio	1-5%
Ácido acético	1-5%
Ácido bórico	1-5%
Sulfato de aluminio	1-5%

### Indicaciones


Diluya el contenido de la botella con agua entre 18-30° C, hasta completar 9,5 litros de solución. Agite hasta que la solución se vuelva uniforme.

### Primeros auxilios

Si se traga, solamente induzca vómito como ordenado por el personal médico. Nunca administre nada por la boca a una persona inconsciente. Llame inmediatamente a un médico o centro de control de intoxicaciones. En caso de contacto, lave inmediatamente los ojos y la piel con agua abundante por un periodo de no menos de 15 minutos mientras se quita la ropa y los zapatos contaminados. Busque auxilio médico. Lave la ropa contaminada antes de volverla a usar. Elimine o limpie a fondo todo zapato contaminado.

### Medidas preventivas

Evitar respirar los vapores y el contacto con la piel y los ojos. La manipulación de los productos debe ser hecha siempre en local con ventilación forzada (10 cambios por hora). No ingerir. Utilizar delantal y guantes impermeables. Utilizar gafas de seguridad.

	<b>PROCEDIMIENTO DE OPERACIONES.</b> <b>AH – PO - 01</b>		Versión / Fecha: 01 / 05.07.04
			Revisado: RED      Aprobado: GG

## 1. OBJETIVO

Establecer los parámetros de operación y manejo del equipo gammagrafico, tanto en las actividades previas, durante y posterior a la inspección.

Así como lo concerniente al transporte y almacenamiento de fuentes radiactivas, plan de emergencia y seguridad radiológica.

## 2. ALCANCES

Se aplicara para todos las actividades relacionadas a la inspección de soldaduras, utilizando la técnica de Gammagrafia Industrial, sobre la base del empleo de fuentes selladas del radioisótopo Iridio192 ( Máximo=7,400 Gbq).

## 3. RESPONSABILIDADES.

**3.1. Gerente Técnico.-** Revisar, aprobar y hacer cumplir el presente procedimiento.

**3.2. Oficial de Protección Radiológica.-** Supervisar la ejecución del presente procedimiento, responsable de la instalación del equipo gammagrafico en el lugar de operaciones.

**3.3. Operadores.-** Responsables de la ejecución del presente procedimiento, tanto en la operación del equipo gammagrafico, su transporte y almacenamiento.

## 4. DEFINICIONES.

**4.1. Incidentes.-** Suceso observado durante la operación, manejo, traslado o almacenamiento del equipo gammagrafico. Pudiendo convertirse en un riesgo.

**4.2. Riesgo.-** Se define como una serie de incidentes que sucede en forma consecutiva, las cuales pueden dar origen a un accidente.

**4.3. Accidente.-** Suceso inesperado en obra, con efectos a los operadores, personal externo y la población, por una exposición intensa a la radiación.

## 5. ACTIVIDADES DE LA INSPECCION.

5.1. El oficial de protección radiológica, impartirá una charla sobre seguridad radiológica al empezar las actividades diarias como mínimo de 5 minutos.

5.2. El oficial de protección radiológica verificara que los Operadores cuenten con lo siguiente:

- Licencia Individual para manipular fuentes ionizantes.
- Dosímetro personal de película (Film).
- Dosímetro personal de lapicero
- Detector de Radiación Geiger, verificando su funcionamiento.
- Detector de Radiación de Alarma (auditivo).
- Implementos de seguridad (chalecos reflectores, botas con punta de acero, cascos, lentes, guantes).

	<b>PROCEDIMIENTO DE OPERACIONES.</b> <b>AH – PO - 01</b>		Versión / Fecha: 01 / 05.07.04	
			Revisado:RED	Aprobado:GG

5.3. El Oficial de protección radiológica verificara que el equipo cuente con lo siguiente:

- Certificado de la Fuente del Radioisótopo Iridio-192.
- Tapones de seguridad y chapa en buen estado.
- Mangueras con tubo guía, cable telecomando y manivela impulsora, en funcionamiento correcto.
- Colimador de Tungsteno.
- Tenaza de Emergencia.
- Contenedor de Emergencia

5.4. El operador del equipo tendrá el control del mismo en todo momento. En ningún momento deberá dejar el equipo en manos de una persona no autorizada.

5.5. Además del oficial de protección radiológica y operadores deberá contarse con la asistencia del área de seguridad y de personal de apoyo de parte del cliente (vigías) quienes impedirán el ingreso de cualquier persona o vehículos al área supervisada.

5.6. Además de realizar las exposiciones el oficial de protección radiológica y operadores verificaran la evacuación de toda persona ajena al trabajo, dando como lectura en el detector de radiación Geiger una dosis máxima de 7.5 uSv/hora fuera del área supervisada.

5.7. Verificar que la ruta de abandono del área controlada para el operador del equipo se encuentre suficientemente libre.

5.8. Concluida cada exposición y al retraer la fuente dentro del contenedor, verificar con el detector Geiger que la fuente se encuentre dentro del contenedor, utilizando conjuntamente el detector auditivo.

5.9. Luego de culminar el trabajo en la obra, el operador del equipo procederá a colocar los tapones en el equipo, y asegurar con llave el mismo, previo a su traslado.

5.10. Si los trabajos se realizaran en horarios nocturnos, serán coordinados previamente, y se evacuara a todo personal no autorizado en dicha área y que no este involucrado en el trabajo. Se contara con iluminación adecuada en el área de trabajo.

## 6. PLAN DE TRABAJO.

6.1. Acordonado de las áreas controladas y supervisadas hasta una distancia adecuada para conseguir 7.5 uSv/hora, en caso de superar la dosis indicada se usaran planchas de plomo.

6.2. Instalación de carteles de seguridad para restringir el acceso y evitar el paso de personas ajenas a las exposiciones.

6.3. Traslado del equipo Gammagrafico hacia la zona de trabajo.

6.4. Armado del equipo, manteniendo siempre el seguro puesto, colocar el telecomando y tubo guía en posición recta. Hasta el momento de iniciar la exposición el equipo debe permanecer con llave.



6.5. Focalizar, colocando la punta del tubo guía con el colimador sobre en el punto de focalización.

6.6. Controlar con cronometro digital el tiempo calculado de exposición, luego del cual se debe retraer la fuente al interior del contenedor.

6.7. Verificar con la lectura del detector geiger que la fuente haya ingresado al interior del contenedor.

6.8. Cuando se realice el traslado del Equipo Gammagrafico hacia una próxima exposición, se debe asegurar la fuente con llave y colocar el tapón de seguridad a la salida del contenedor.

6.9. Luego de finalizar la labor de inspección radiográfica, colocar primero el seguro o llave a la fuente radiactiva, finalmente colocar los taponés a la entrada y salida del equipo. Así mismo realizar la comprobación con el detector Geiger que la fuente se encuentre debidamente almacenada dentro del contenedor.

6.10. Preparar el equipo para su traslado y almacenamiento en el Bunker.

## **7. TRANSPORTE DEL EQUIPO GAMMAGRAFICO.**

7.1. Asegurarse que el equipo gammagrafico se encuentre bloqueado con sus taponés y chapa de seguridad.

7.2. El transporte de los equipos fuera de la ciudad de Lima (provincia) se realiza previa comunicación a la OTAN – IPEN indicando fecha de salida, fecha de retorno, lugar de destino, medio de transporte y personal responsable.

7.3. Los equipos serán fijados a la máxima distancia posible del conductor del vehículo, dentro del almacén portátil, Si los niveles de radiación al exterior del vehículo ó en el compartimiento del personal, excediera los 0.02 mSv/h, se empleara un blindaje adicional para la fuente radiactiva.

## **8. ALMACENAMIENTO DEL EQUIPO GAMMAGRAFICO.**

8.1. El almacenamiento del equipo Gammagrafico, se hará en el bunker de la Empresa (Cliente), construido según procedimiento de almacenaje aprobado por el IPEN, después de terminada la labor diaria.

8.2. Este ambiente estará vigilado por el personal de Seguridad del cliente, y se colocara en la puerta de este un letrero que indique la presencia de equipos radiactivos y solo tendrán acceso al ambiente las personas autorizadas.

8.3. Se hará el registro inicial de la fuente, con el nombre, fecha de calibración, actividad, tasa de exposición y fecha de ingreso, Posteriormente se llevara una contabilidad periódica.

	<b>PROCEDIMIENTO DE OPERACIONES.</b> <b>AH – PO - 01</b>	Versión / Fecha: 01 / 05.07.04	
		Revisado: RED	Aprobado: GG

8.4. El nivel de exposición a observarse para el recinto de almacenamiento será menor a 0.02 mSv/h.

8.5. Las llaves del recinto, estarán exclusivamente en poder del Oficial de protección radiológica o del Jefe de la Unidad,

## 9. PLAN DE EMERGENCIA.

En todos los casos debe utilizarse las Tenazas de Emergencia para manipular la fuente radiactiva, nunca tocar directamente la fuente con los dedos.

De acuerdo a los niveles de emergencia la empresa tratara de solucionar el caso, llevando el procedimiento descrito más adelante en coordinación con el IPEN.

Cuando se produce un accidente en operación se estudia la forma de solucionarlo, en lo posible repartir la dosis entre dos o más trabajadores.

### 9.1. Identificación de Riesgos Potenciales.

La identificación de los riesgos potenciales durante la operación de un equipo gammagrafico tipo lanzamiento, ayudara a prever los accidentes:

#### Incidentes posibles:

- a) Trabamiento del cable de telecomando de la fuente del radioisótopo, que no esta totalmente recto.

Acciones a ejecutarse:

Trasladarse desde el punto de seguridad hacia el equipo en forma rápida y tirar del cable hacia atrás logrando que la manguera este recta, luego con la manija de control dar hacia delante y hacia atrás hasta que retorne el isótopo e introducirlo en su contenedor.

#### Posible dosis recibida:

Actividad: 3,700 GBq.

Tiempo Exposición: 3 minutos.

Distancia: 8 metros.

$$\frac{r \times A_0}{d^2} = \frac{0.13 \times 3700}{64} = 7.5 \text{ mSv/hora.}$$

$$\frac{7.5 \times 3}{60} = 0.375 \text{ mSv}$$

Dosis recibida a cuerpo entero: 0.375 mSv.

- b) Rotura de cable de conducción del Isótopo.

Acciones a ejecutase:



# PROCEDIMIENTO DE OPERACIONES.

## AH – PO - 01

Versión / Fecha: 01 / 05.07.04

Revisado:RED

Aprobado:GG

Trasladarse hasta el punto crítico, desconectar la manguera de salida, tomar el cable de conducción e intentar tirarlo hacia atrás, si no es posible hacer esto, entonces sacar el alojamiento roscante de la punta y sacar el cable residual con el isótopo e introducirlo en el acoplamiento, finalmente asegurar todas las conexiones.

### Posible dosis recibida:

Actividad: 3,700 GBq.  
Tiempo Exposición: 3 minutos.  
Distancia: 4 metros.

$$\frac{r \times A_0}{d^2} = \frac{0.13 \times 3700}{16} = 30.06 \text{ mSv/hora.}$$

$$\frac{30.06 \times 3}{60} = 1.503 \text{ mSv}$$

Dosis recibida a cuerpo entero: 1.503 mSv.

### c) Perdida o robo del isótopo radiactivo.

Se debe dar parte inmediatamente a la Autoridad Policial más cercana, a la Autoridad Nacional del IPEN e iniciar la búsqueda del equipo en forma inmediata.

## 9.2. Plan de Emergencia a seguir.

- Delimitar la zona del accidente y no permitir el ingreso de personas, cercar la zona y colocar avisos de radiactividad.
- Reportar el accidente al Oficial de Protección Radiológica encargado del área de exposiciones. El Oficial de Protección Radiológica reportara el accidente al responsable de la empresa (cliente) y al Gerente General de su empresa, los cuales harán las coordinaciones del plan de emergencia con el IPEN.
- Al mismo tiempo se procederá a evacuar el área inmediatamente, en tanto que simultáneamente se asegure que el campo de radiación y el alcance de la dosis se mantenga en un mínimo absoluto (7.5 uSv/h).
- El responsable de la instalación u Oficial de Protección Radiológica procederá a controlar los efectos que produce el accidente, logrando la recuperación del funcionamiento del equipo o recuperando el radioisótopo.
- Identificar inmediatamente a todo personal que haya estado cerca del accidente para realizar sus respectivos exámenes posteriores.
- Notificar al Instituto Peruano de Energía Nuclear, a la Oficina Técnica de la Autoridad Nacional. Contactar con el Ing. Santiago Regalado C. al teléfono 463 1170, para coordinar las acciones a tomar: evacuación de personal afectado, recuperación del radioisótopo y acciones de seguridad.
- Redacción de un informe completo sobre el accidente, para su posterior remisión al IPEN. Si hubiera personal afectado este será trasladado a una clínica en coordinación con el IPEN, para ser sometidos a los análisis y tratamiento respectivo.

## 9.3. Datos Fundamentales a Recoger Durante la Emergencia.

Estos son para efectos de registro y comunicaciones a las autoridades, los datos a ser tomados en campo:

	<b>PROCEDIMIENTO DE OPERACIONES.</b> <b>AH – PO - 01</b>		Versión / Fecha: 01 / 05.07.04	
			Revisado:RED	Aprobado:GG

- a) Tipo de fuente y actividad del isótopo radiactivo.
- b) Tiempo de irradiación libre del isótopo radiactivo.
- c) Personal profesional expuesto, presente en el área controlada y supervisada.
- d) Tiempo de exposición del personal profesional expuesto en esta área.
- e) Tipo de instrumento usado para medición y control de la radiación.
- f) Tipo y características de blindaje usados.
- g) Persona o personas que solucionaron el accidente.
- h) Calculo de la dosis absorbida por cada P.P.E, método de solución del accidente.

## 10. SEGURIDAD RADIOLOGICA.

Se diseñara un sistema para la protección contra la radiación para el trabajo en zonas urbanas. De esta manera proteger de exposiciones elevadas al personal que labora en el área, así como el publico y transeúntes.

- Acordonado del área, instalación de letreros de seguridad hasta una distancia adecuada para conseguir 7.5 uSv/h.
- Instalación de un colimador de Tungsteno.

### 10.1. Limites de Dosis:

Los limites permisibles para operadores y demás personal circundante, son los siguientes:

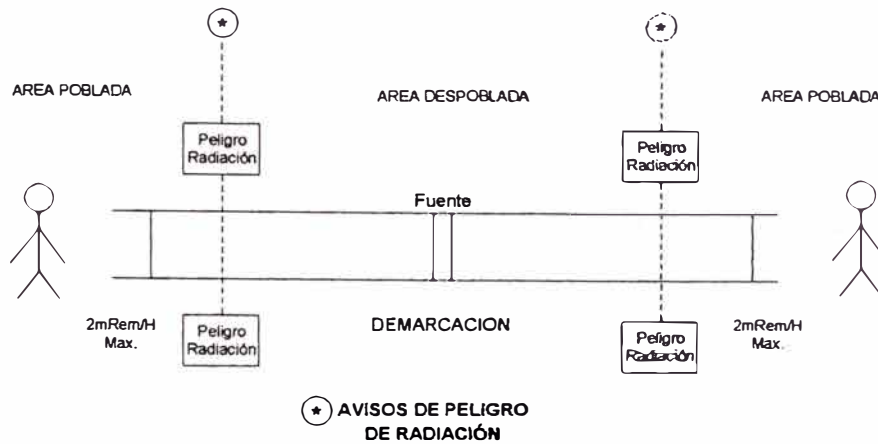
Categoría	Limite Anual
Personal Ocupacional Expuesto (POE)	20 mSv
Publico	1 mSv

### 10.2. Delimitación de áreas:

- Esta zona será demarcada con los letreros de precaución.
- Las radiografías en lo posible serán expuestas cuando no haya personal laborando.
- Se emplearan colimadores (material de tungsteno). Para disminuir la radiación.
- Cuando sea necesario se contara con personal (vigías) para parar el transito vehicular al momento de realizar la exposición.
- El personal de apoyo del Cliente apoyara al momento de la exposición para que no pase persona alguna en el momento de la exposición.

### 10.3. Esquema de aislamiento y señalización de áreas.

	<b>PROCEDIMIENTO DE OPERACIONES.</b> <b>AH – PO – 01</b>		Versión / Fecha: 01 / 05.07.04
	Revisado: RED	Aprobado: GG	



Se aislara el área y se colocara señales de aviso de radiación.

#### 10.4. Condiciones del contenedor.

Contenedor. Por ejemplo, 4 TBq de Iridio 192, el cumplimiento del contenedor garantiza cuando no se excedan de los siguientes límites:

- A 1 metro en cualquier superficie externa del contenedor, 20 uSv/h (2 mR/h).
- En cualquier superficie del contenedor, 2000 uSv/h (200 mR/h).

#### 10.5. Manejo y Disposición de Residuos.

- Los residuos químicos se almacenaran en galoneras plásticas, teniendo cuidado de no derramar ni dejar caer sobre el piso ni suelo. No se verterá en los ductos de desagües ni en los silos. Estas serán retiradas de la obra hacia nuestras instalaciones.
- Estos residuos serán procesados de acuerdo a nuestro Procedimiento para el Manejo, Tratamiento y Monitoreo de Residuos Peligrosos (AH-PTRP- 01) y/o se entregaran a una empresa para su posterior tratamiento.


### 11 MANTENIMIENTO PREVENTIVO DE EQUIPOS

Se desarrollara un programa de mantenimiento preventivo y correctivo de los equipos, con una frecuencia trimestral cuando los equipos no están en uso, mensuales cuando estén en uso, caso contrario, el mantenimiento preventivo se lo hace al termino de cada tarea.

Este mantenimiento preventivo consistirá, en que después de cada tarea se verificara el estado del contenedor y los cables de entrada y salida.

En el contenedor se chequeara que se encuentren en perfectas condiciones los tapones de entrada y salida así como la chapa de seguridad.

En los cables se chequeara de que estos se encuentren libres de abolladuras para permitir la libre circulación de la fuente, se verificara de que el cable interior entre y salga

	<b>PROCEDIMIENTO DE OPERACIONES.</b> <b>AH – PO - 01</b>		Versión / Fecha: 01 / 05.07.04	
			Revisado:RED	Aprobado:GG

fácilmente, así como sus acoples se encuentren en perfectas condiciones y la manivela trabaje con soltura.

El mantenimiento correctivo consistirá en :

- Desarme la chapa del contenedor para su limpieza y lubricación y/o cambio.
- Desarme el cable de entrada y la manivela para chequear el desgaste de los dientes del cable interior y del engranaje.
- Chequear el rodaje, para lubricarlo y/o cambiarlo.
- Si los equipos han estado sometidos a situaciones extremas de trabajo estos mantenimientos preventivos y correctivos se realizaran al termino de cada jornada y/o dispondrá de un juego adicional de cables de entrada y salida.

## 12. MANTENIMIENTO DEL PROGRAMA DE PROTECCION RADIOLOGICA

Cada seis meses, se hace una revisión general de todos los procedimientos tanto para operación normal como para emergencias.

Se procederá a revisarlos conjuntamente con el personal involucrado, poniendo énfasis en los simulacros de emergencias.

Se mantiene un curso anual de reentrenamiento del personal con el siguiente temario :

- Principios Generales de Radiaciones Ionizantes sus peligros y precauciones.
- Detectores de Radiación ( personal y de área )
- Reglamentos y normas nacionales.

## **1. OBJETIVO**

Establecer las acciones y responsabilidades durante una emergencia en las operaciones radiológicas.

## **2. ALCANCES**

Se aplicará a todas las operaciones de inspección de radiografía industrial

## **3. RESPONSABILIDADES.**

**3.1. Gerente Técnico.-** Revisar, aprobar y hacer cumplir el presente plan.

**3.2. Oficial de Protección Radiológica.-** Supervisar la ejecución del presente plan.

**3.3. Operadores.-** Responsables de la ejecución del presente plan.

## **4. PLAN DE EMERGENCIA.**

En todos los casos debe utilizarse las Tenazas de Emergencia para manipular la fuente radiactiva, nunca tocar directamente la fuente con los dedos o cualquier parte del cuerpo.

De acuerdo a los niveles de emergencia la empresa tratara de solucionar el caso, llevando el procedimiento descrito más adelante en coordinación con el IPEN.

Cuando se produce un accidente en operación se estudia la forma de solucionarlo, en lo posible repartir la dosis entre dos o más trabajadores.

### **4.1 Plan de Emergencia a seguir.**

- Delimitar la zona del accidente y no permitir el ingreso de personas, cercar la zona y colocar avisos de radiactividad.
- Reportar el accidente al Oficial de Protección Radiológica encargado del área de exposiciones. El Oficial de Protección Radiológica reportara el accidente al responsable de la empresa (cliente) y al Gerente General de su empresa, los cuales harán las coordinaciones del plan de emergencia con el IPEN.
- Al mismo tiempo se procederá a evacuar el área inmediatamente, en tanto que simultáneamente se asegure que el campo de radiación y el alcance de la dosis se mantenga en un mínimo absoluto (7.5 uSv/h).
- El responsable de la instalación u Oficial de Protección Radiológica procederá a controlar los efectos que produce el accidente, logrando la recuperación del funcionamiento del equipo o recuperando el radioisótopo.
- Identificar inmediatamente a todo personal que haya estado cerca del accidente para realizar sus respectivos exámenes posteriores.
- Notificar al Instituto Peruano de Energía Nuclear, a la Oficina Técnica de la Autoridad Nacional. Contactar con el Ing. Santiago Regalado C. al teléfono 463 1170, para coordinar las acciones a tomar: evacuación de personal afectado, recuperación del radioisótopo y acciones de seguridad.

- Redacción de un informe completo sobre el accidente, para su posterior remisión al IPEN. Si hubiera personal afectado este será trasladado a una clínica en coordinación con el IPEN, para ser sometidos a los análisis y tratamiento respectivo.

#### 4.2 Identificación de Riesgos Potenciales.

La identificación de los riesgos potenciales durante la operación de un equipo gammagrafico tipo lanzamiento, ayudara a prever los accidentes:

##### Incidentes posibles:

- a) Trabamiento del cable de telecomando de la fuente del radioisótopo, que no esta totalmente recto.

Acciones a ejecutarse:

Trasladarse desde el punto de seguridad hacia el equipo en forma rápida y tirar del cable hacia atrás logrando que la manguera este recta, luego con la manija de control dar hacia delante y hacia atrás hasta que retorne el isótopo e introducirlo en su contenedor.

##### Posible dosis recibida:

Actividad: 3,700 GBq.

Tiempo Exposición: 3 minutos.

Distancia: 8 metros.

$$\frac{r \times A_0}{d^2} = \frac{0.13 \times 3700}{64} = 7.5 \text{ mSv/hora.}$$

$$\frac{7.5 \times 3}{60} = 0.375 \text{ mSv}$$

Dosis recibida a cuerpo entero: 0.375 mSv.

- b) Rotura de cable de conducción del Isótopo.

Acciones a ejecutarse:

Trasladarse hasta el punto crítico, desconectar la manguera de salida, tomar el cable de conducción e intentar tirarlo hacia atrás, si no es posible hacer esto, entonces sacar el alojamiento roscante de la punta y sacar el cable residual con el isótopo e introducirlo en el acoplamiento, finalmente asegurar todas las conexiones.

##### Posible dosis recibida:

Actividad: 3,700 GBq.

Tiempo Exposición: 3 minutos.

Distancia: 4 metros.

$$\frac{r \times A_0}{d^2} = \frac{0.13 \times 3700}{16} = 30.06 \text{ mSv/hora.}$$



$$\frac{30.06 \times 3}{60} = 1.503 \text{ mSv}$$

Dosis recibida a cuerpo entero: 1.503 mSv.

**c) Perdida o robo del isótopo radiactivo.**

Se debe dar parte inmediatamente a la Autoridad Policial más cercana, a la Autoridad Nacional del IPEN e iniciar la búsqueda del equipo en forma inmediata.

**4.3 Datos Fundamentales a Recoger Durante la Emergencia.**

Estos son para efectos de registro y comunicaciones a las autoridades, los datos a ser tomados en campo:

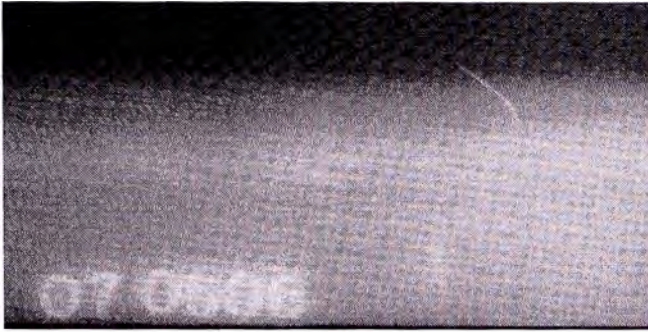
- a) Tipo de fuente y actividad del isótopo radiactivo.
- b) Tiempo de irradiación libre del isótopo radiactivo.
- c) Personal profesional expuesto, presente en el área controlada y supervisada.
- d) Tiempo de exposición del personal profesional expuesto en esta área.
- e) Tipo de instrumento usado para medición y control de la radiación.
- f) Tipo y características de blindaje usados.
- g) Persona o personas que solucionaron el accidente.
- h) Calculo de la dosis absorbida por cada P.P.E, método de solución del accidente.

## Placas Radiográficas Defectuosas

Equipo: Tanques 420-TNK-001 y 420-TNK-002.

Fecha de prueba: febrero-junio de 2006.

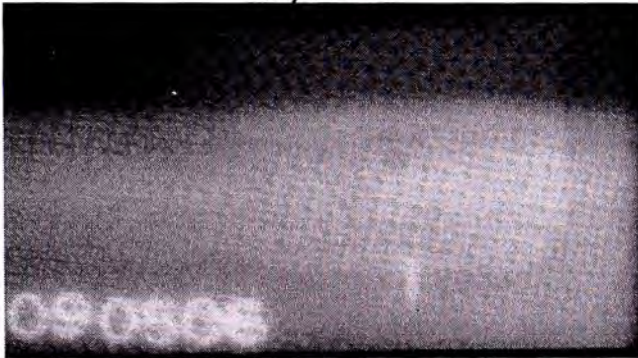
Fuente: Iridio 192, Película: AGFA Structurix D7



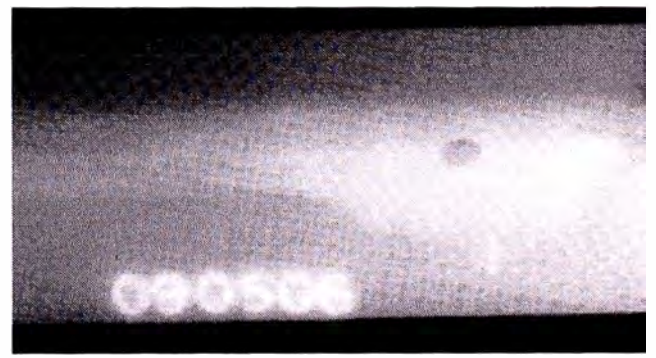
Rayadura



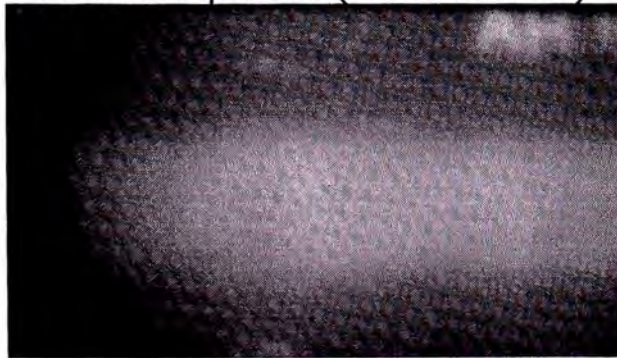
Velado



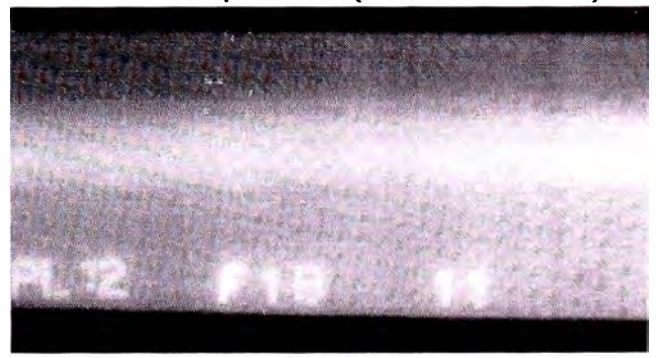
Manchas químico (escurrimiento)



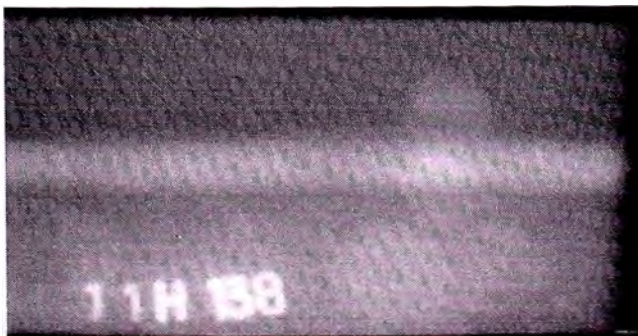
Manchas químico (escurrimiento)



Dedo



Mancha químico (agitación)



Gotas



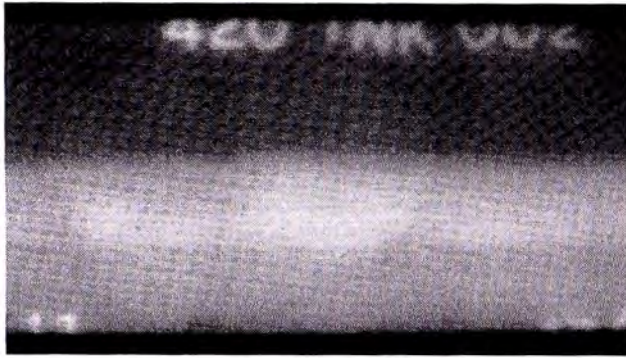
Marcas posterior a revelado

## Placas Radiográficas Defectuosas

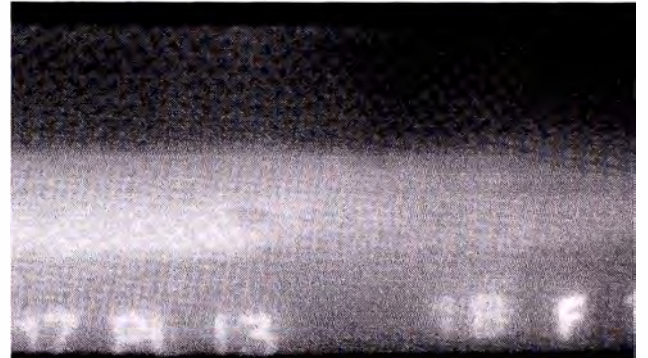
Equipo: Tanques 420-TNK-001 y 420-TNK-002.

Fecha de prueba: febrero-junio de 2006.

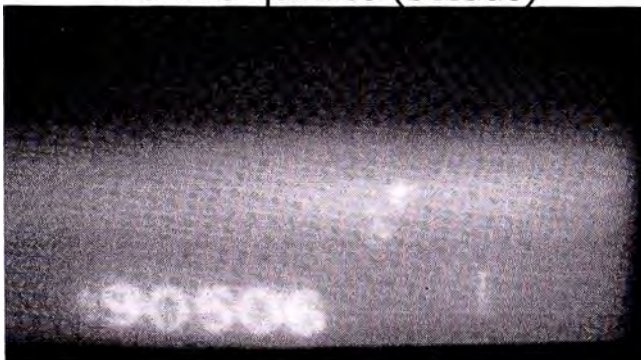
Fuente: Iridio 192, Película: AGFA Structurix D7



Mancha químico (besado)



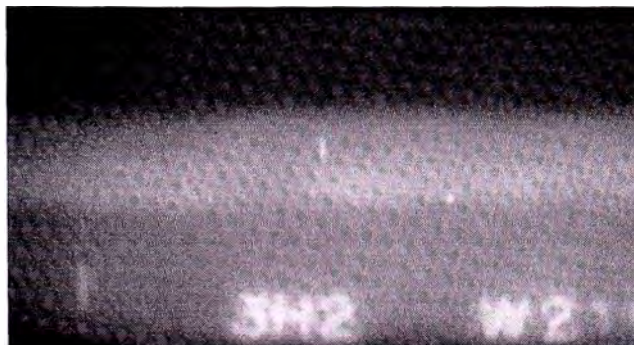
Gota, Mancha



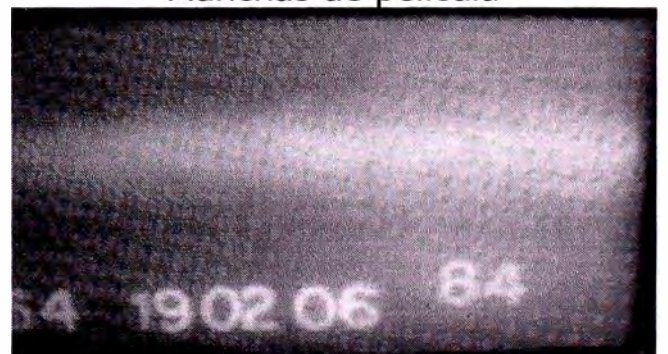
Gotas



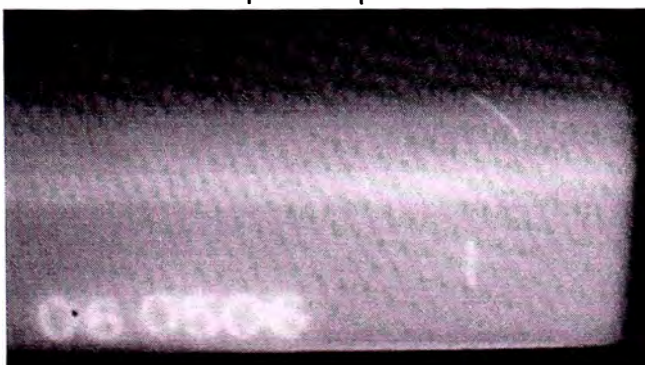
Manchas de película



Choque de película



Químico agotado



Rayadura



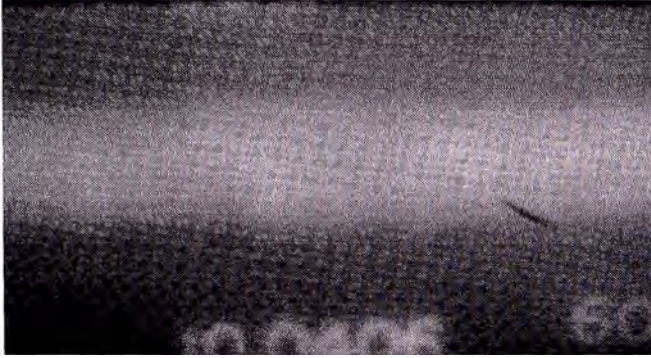
Uña

## Placas Radiográficas Defectuosas

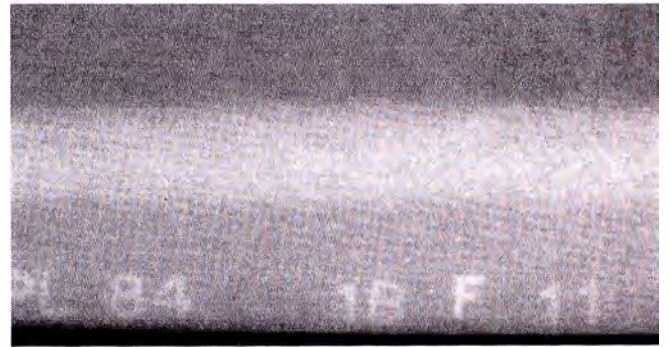
Equipo: Tanques 420-TNK-001 y 420-TNK-002.

Fecha de prueba: febrero-junio de 2006.

Fuente: Iridio 192, Película: AGFA Structurix D7



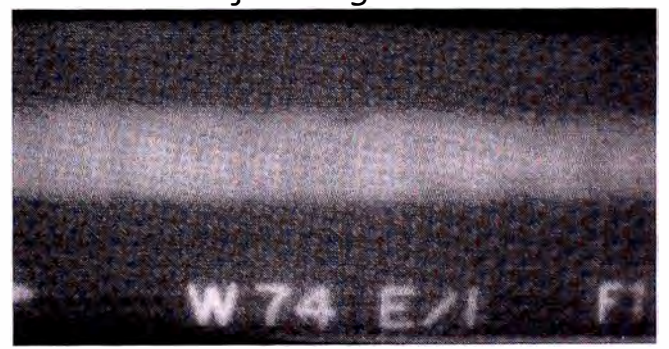
Uña



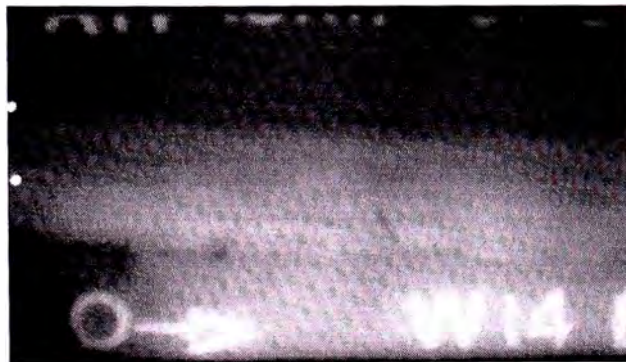
Fijador agotado



Película manchada



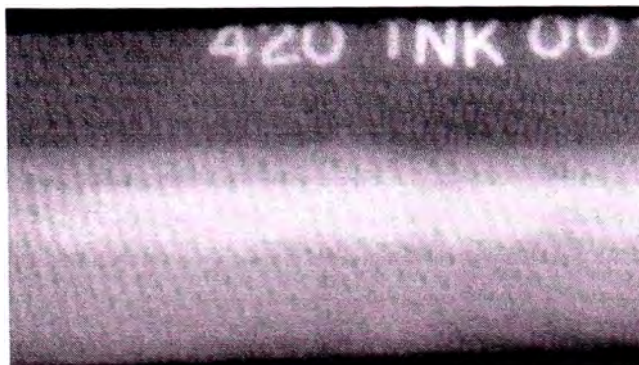
Uña



Velado



Velado



Choque películas



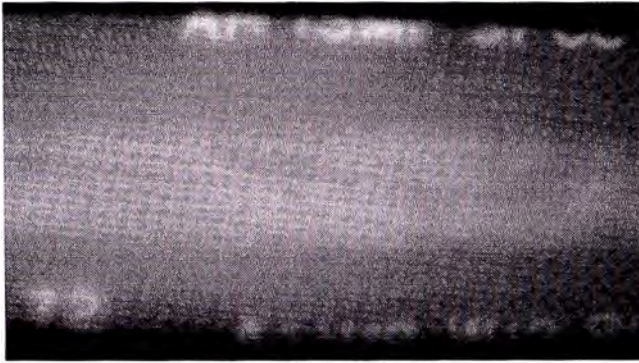
Desprendimiento emulsión

## Placas Radiográficas Defectuosas

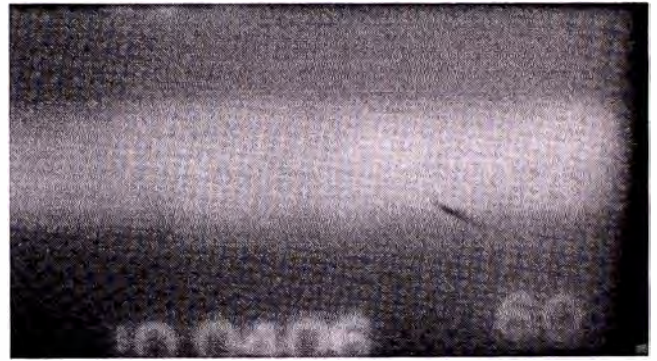
Equipo: Tanques 420-TNK-001 y 420-TNK-002.

Fecha de prueba: febrero-junio de 2006.

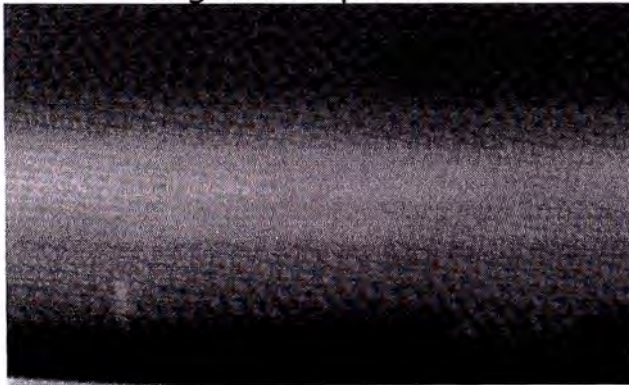
Fuente: Iridio 192, Película: AGFA Structurix D7



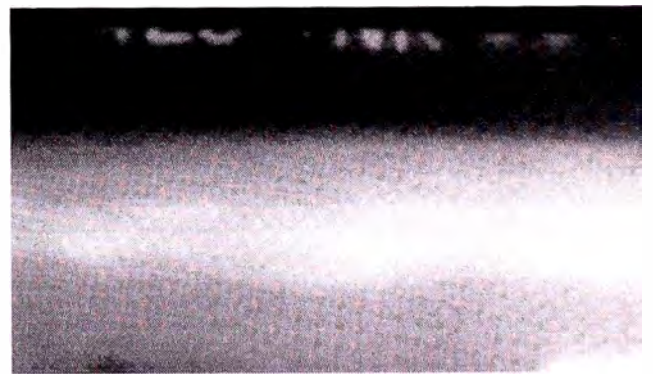
Agitación químicos



Uña



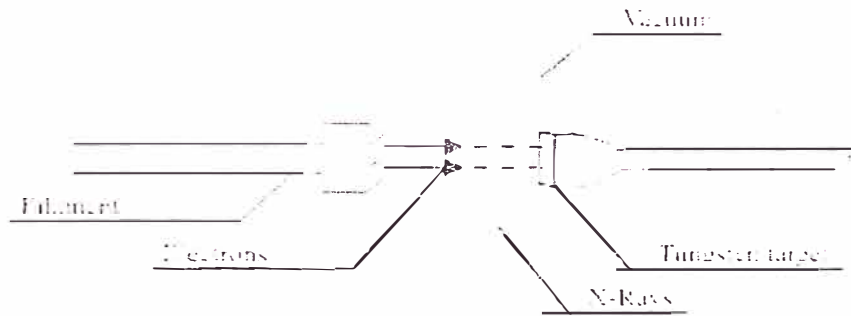
Película manchada (hongos)



Línea de secador

# Equipamiento Radiográfico

Aplicación: Radiografía industrial



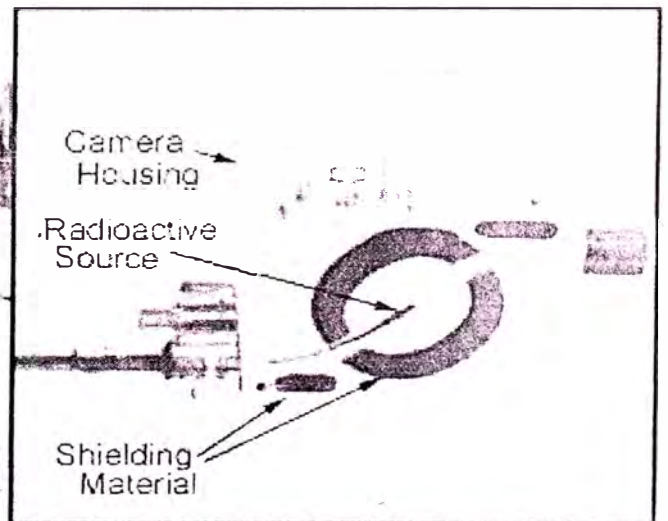
Generador de rayos X



Radioactive Isotope Material

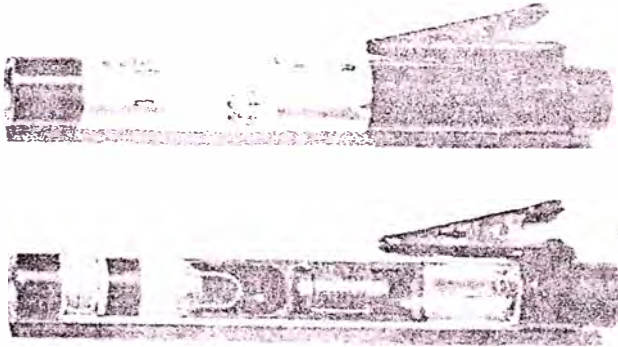


Técnica de disparo

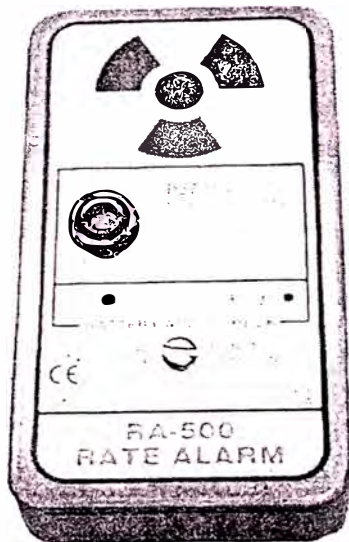


## Equipamiento Radiográfico

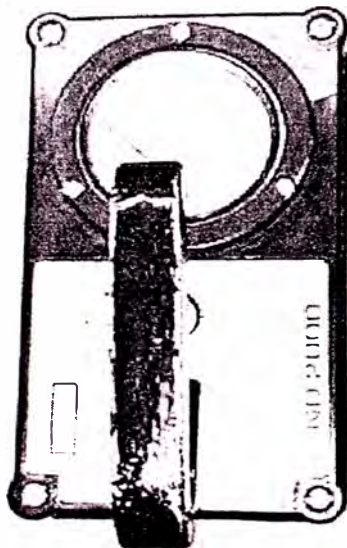
Aplicación: Radiografía industrial



Dosímetro tipo lapicero



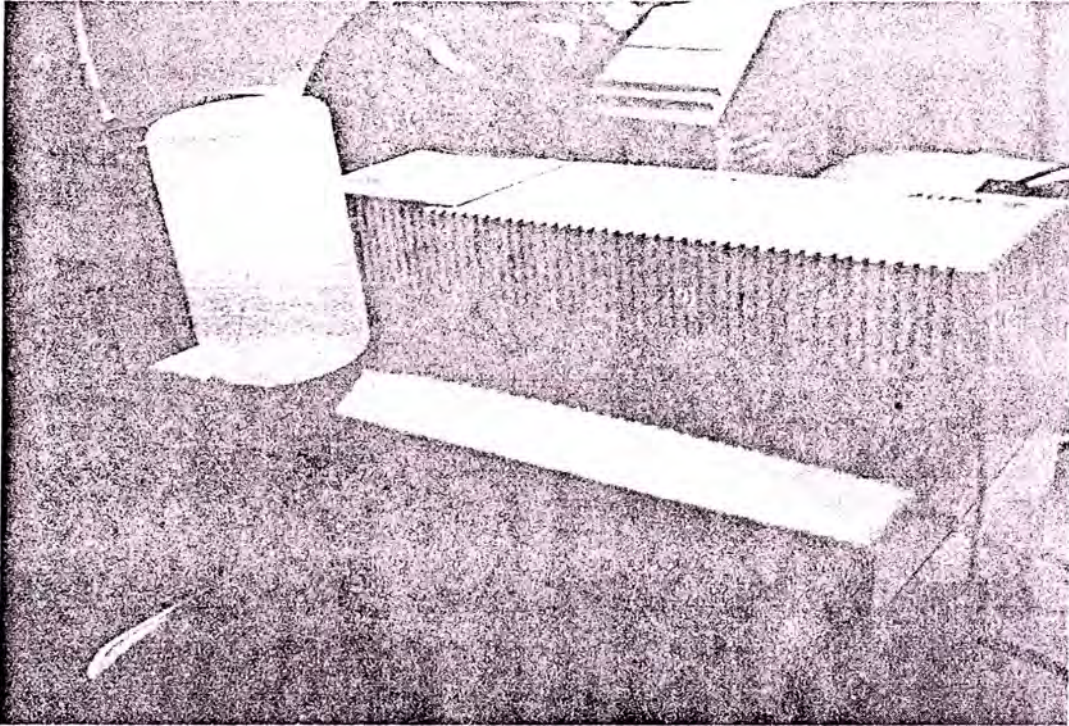
Detector de radiación audible



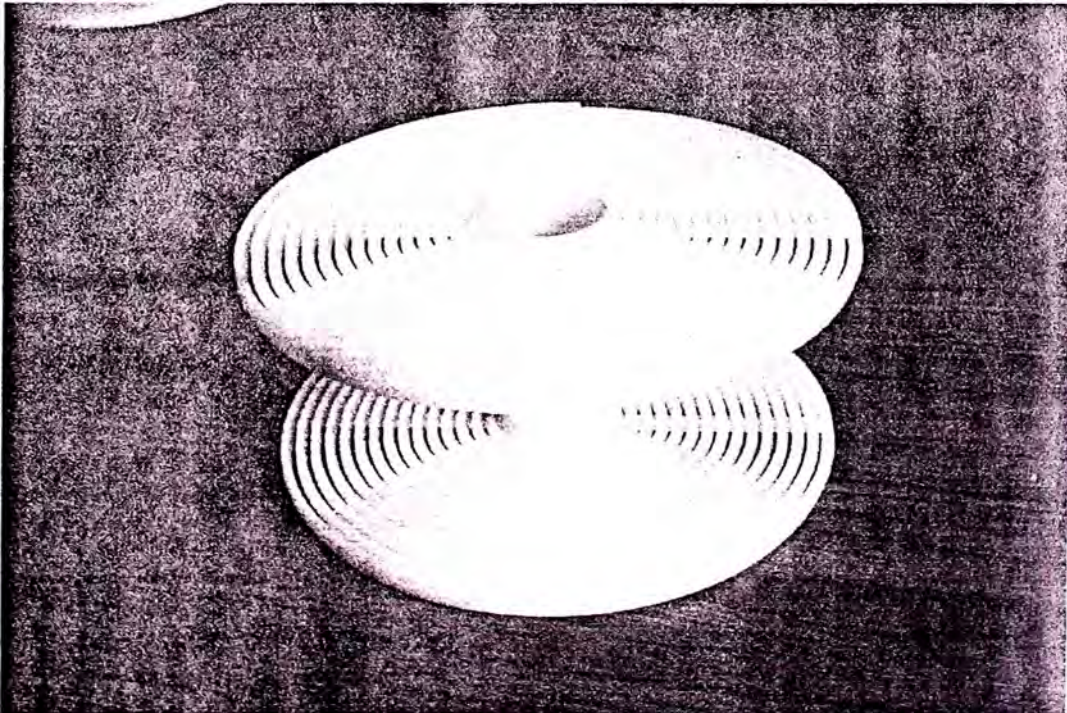
Monitor de radiación Geiger

## Equipamiento Radiográfico

Aplicación: Radiografía industrial



Secador automático

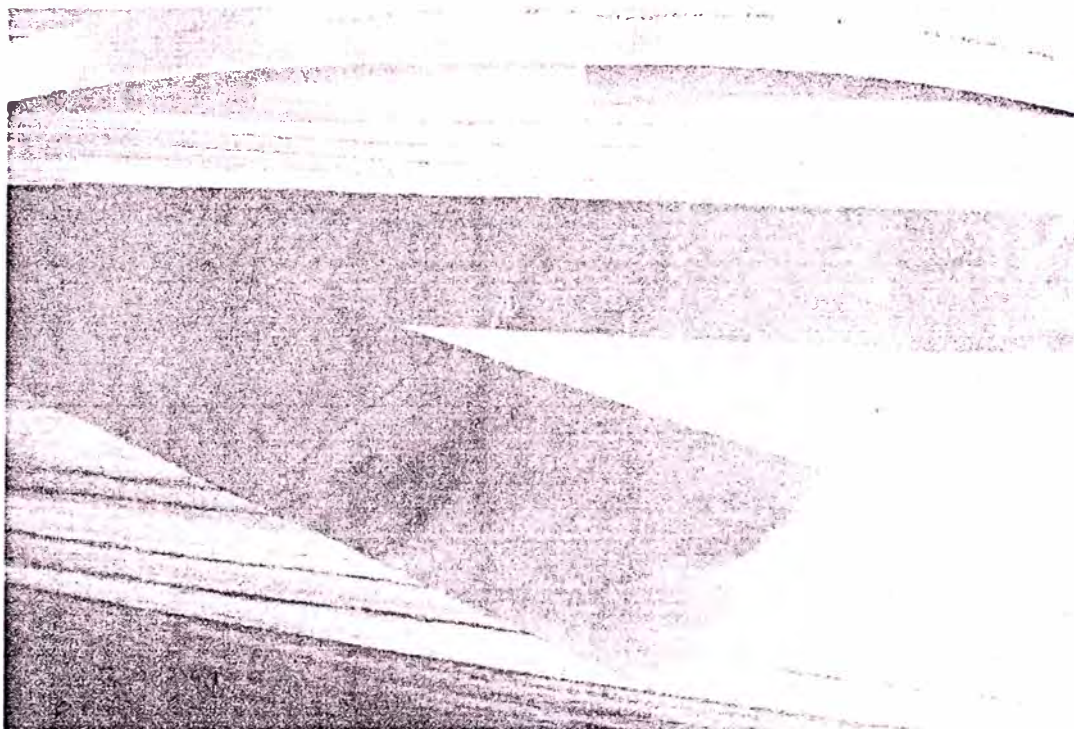


Carrete porta película

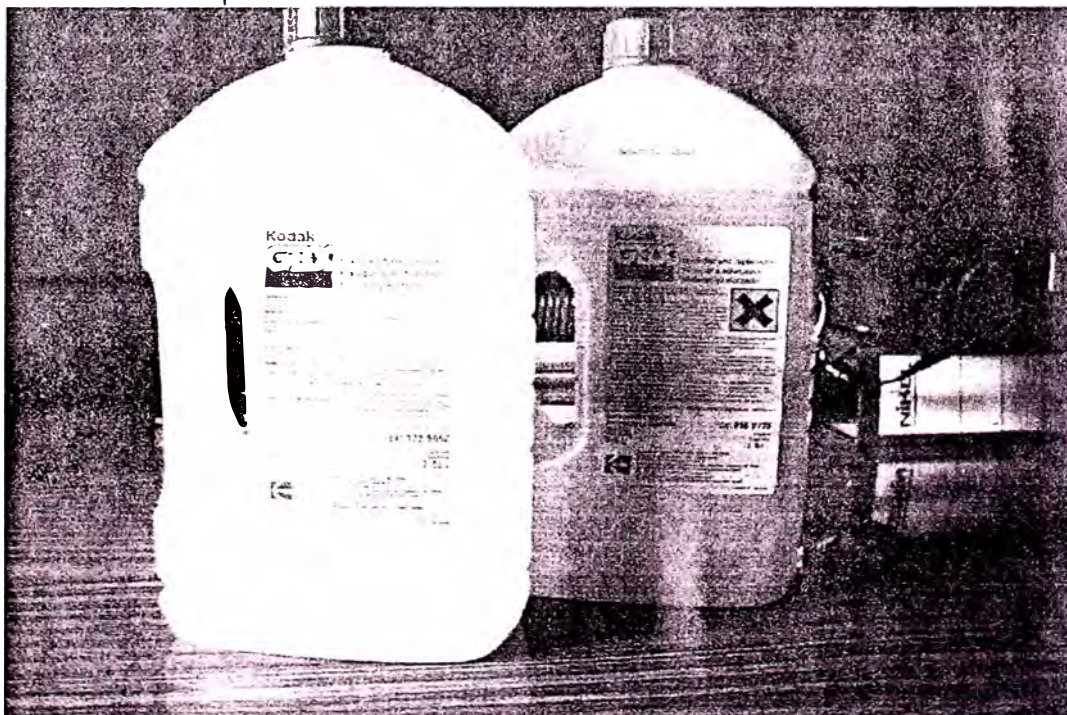


## Equipamiento Radiográfico

Aplicación: Radiografía industrial



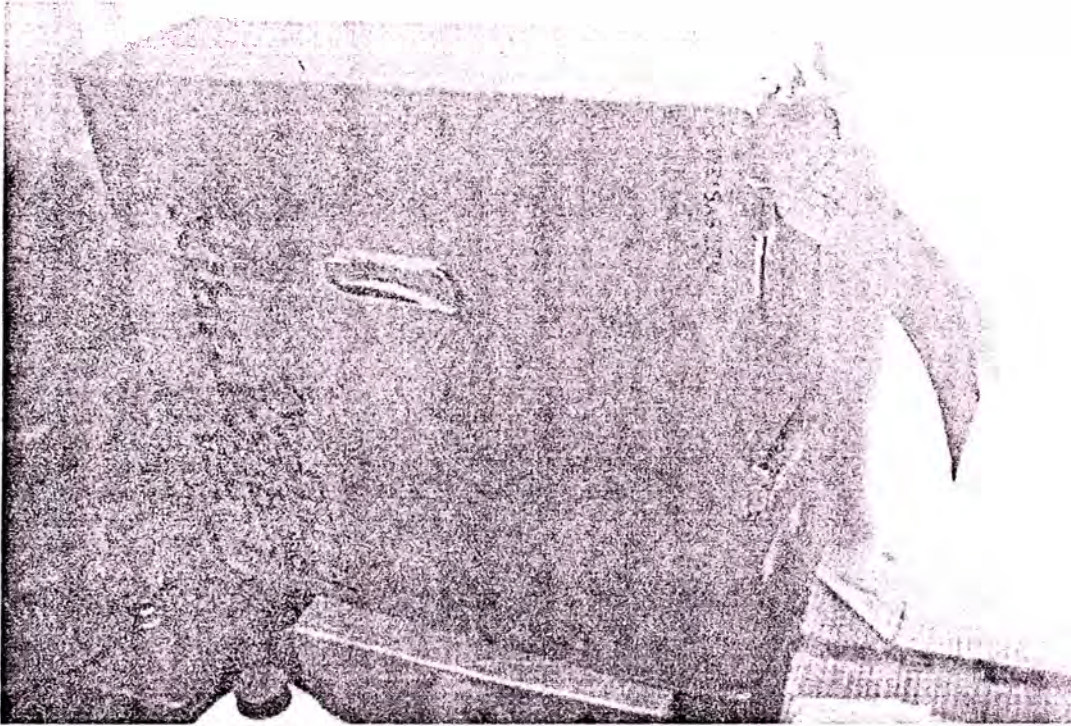
Pantallas de plomo



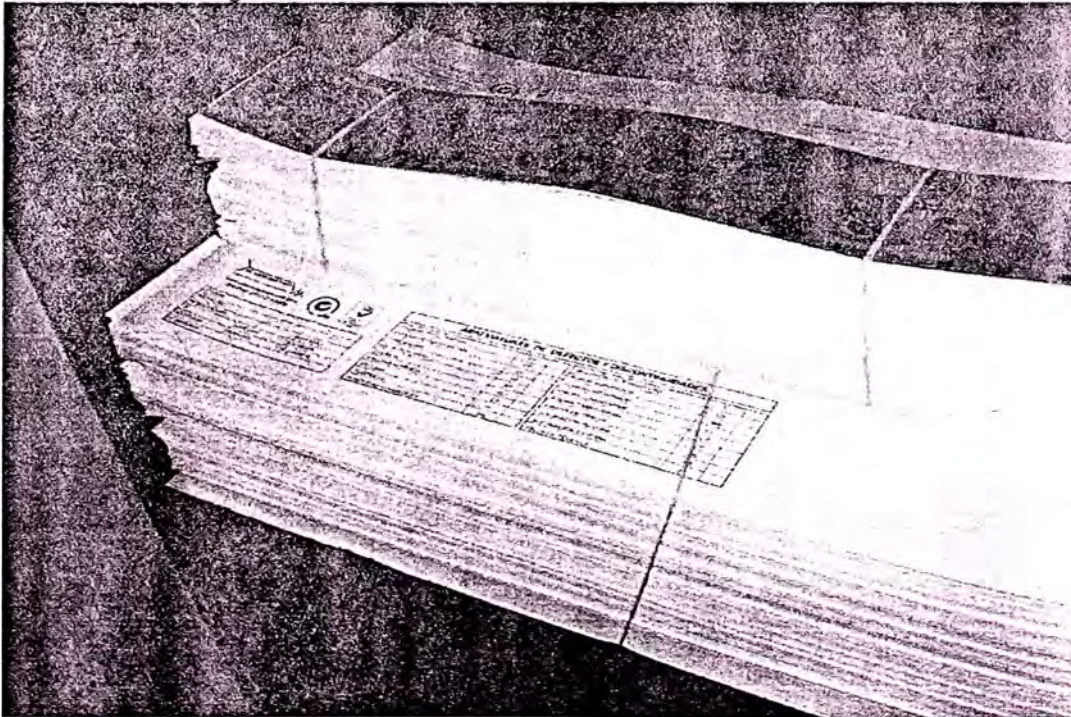
Kit de químicos: Fijador y Revelador

## Equipamiento Radiográfico

Aplicación: Radiografía industrial



Película radiográfica



Sobres para almacenamiento de películas tomadas

# Welded Steel Tanks for Oil Storage

API STANDARD 650  
TENTH EDITION, NOVEMBER 1998

ADDENDUM 1, JANUARY 2000  
ADDENDUM 2, NOVEMBER 2001  
ADDENDUM 3, SEPTEMBER 2003



American  
Petroleum  
Institute

**Helping You  
Get The Job  
Done Right.<sup>SM</sup>**

## SECTION 6—METHODS OF INSPECTING JOINTS

Note: In this standard, the term inspector, as used in Sections V and VIII of the ASME Code, shall be interpreted to mean the purchaser's inspector.

### 6.1 RADIOGRAPHIC METHOD

For the purposes of this paragraph, plates shall be considered of the same thickness when the difference in their specified or design thickness does not exceed 3 mm ( $1/8$  in.).

#### 6.1.1 Application

Radiographic inspection is required for shell butt-welds (see 6.1.2.2 and 6.1.2.3), annular-plate butt-welds (see 6.1.2.9), and flush-type connections with butt-welds (see 3.7.8.11). Radiographic inspection is not required for the following: roof-plate welds, bottom-plate welds, welds joining the top angle to either the roof or shell, welds joining the shell plate to the bottom plate, welds in nozzle and manway necks made from plate, or appurtenance welds to the tank.

#### 6.1.2 Number and Location of Radiographs

6.1.2.1 Except when omitted under the provisions of A.3.4, radiographs shall be taken as specified in 6.1.2 through 6.1.8.

6.1.2.2 The following requirements apply to vertical joints:

a. For butt-welded joints in which the thinner shell plate is less than or equal to 10 mm ( $3/8$  in.) thick, one spot radiograph shall be taken in the first 3 m (10 ft) of completed vertical joint of each type and thickness welded by each welder or welding operator. The spot radiographs taken in the vertical joints of the lowest course may be used to meet the requirements of Note 3 in Figure 6-1 for individual joints. Thereafter, without regard to the number of welders or welding operators, one additional spot radiograph shall be taken in each additional 30 m (100 ft) (approximately) and any remaining major fraction of vertical joint of the same type and thickness. At least 25% of the selected spots shall be at junctions of vertical and horizontal joints, with a minimum of two such intersections per tank. In addition to the foregoing requirements, one random spot radiograph shall be taken in each vertical joint in the lowest course (see the top panel of Figure 6-1).

b. For butt-welded joints in which the thinner shell plate is greater than 10 mm ( $3/8$  in.) but less than or equal to 25 mm (1 in.) in thickness, spot radiographs shall be taken according to item a. In addition, all junctions of vertical and horizontal joints in plates in this thickness range shall be radiographed; each film shall clearly show not less than 75 mm (3 in.) of vertical weld and 50 mm (2 in.) of weld length on each side of the vertical intersection. In the lowest course, two spot radiographs shall be taken in each vertical joint: one of the radiographs shall be as close to the bottom as is practicable,

and the other shall be taken at random (see the center panel of Figure 6-1).

c. Vertical joints in which the shell plates are greater than 25 mm (1 in.) thick shall be fully radiographed. All junctions of vertical and horizontal joints in this thickness range shall be radiographed; each film shall clearly show not less than 75 mm (3 in.) of vertical weld and 50 mm (2 in.) of weld length on each side of the vertical intersection (see the bottom panel of Figure 6-1).

d. The butt-weld around the periphery of an insert manhole or nozzle shall be completely radiographed.

6.1.2.3 One spot radiograph shall be taken in the first 3 m (10 ft) of completed horizontal butt joint of the same type and thickness (based on the thickness of the thinner plate at the joint) without regard to the number of welders or welding operators. Thereafter, one radiograph shall be taken in each additional 60 m (200 ft) (approximately) and any remaining major fraction of horizontal joint of the same type and thickness. These radiographs are in addition to the radiographs of junctions of vertical joints required by item c of 6.1.2.2 (see Figure 6-1).

6.1.2.4 When two or more tanks are erected in the same location for the same purchaser, either concurrently or serially, the number of spot radiographs to be taken may be based on the aggregate length of welds of the same type and thickness in each group of tanks rather than the length in each individual tank.

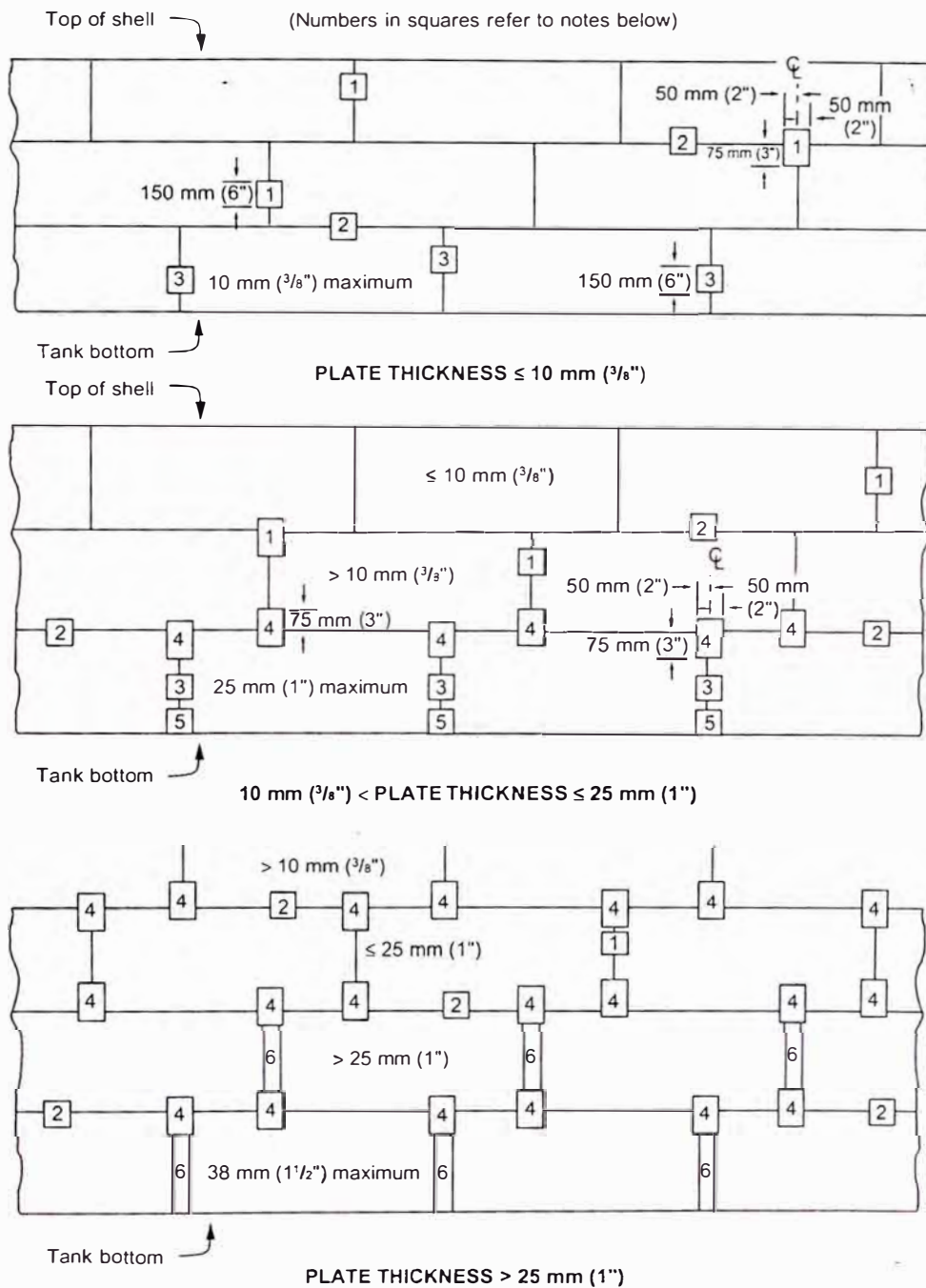
6.1.2.5 When two welders or welding operators work together to weld opposite sides of a butt joint it is permissible to inspect their work with one spot radiograph. If the radiograph is rejected, additional spot radiographs shall be taken to determine whether one or both of the welders or welding operators are at fault.

6.1.2.6 An equal number of spot radiographs shall be taken from the work of each welder or welding operator in proportion to the length of joints welded.

- 6.1.2.7 As welding progresses, radiographs shall be taken as soon as it is practicable. The locations where spot radiographs are to be taken may be determined by the purchaser's inspector.

6.1.2.8 Each radiograph shall clearly show a minimum of 150 mm (6 in.) of weld length. The film shall be centered on the weld and shall be of sufficient width to permit adequate space for the location of identification marks and an image quality indicator (IQI) (penetrometer).

6.1.2.9 When bottom annular plates are required by 3.5.1, or by M.4.1, the radial joints shall be radiographed as follows: (a) For double-welded butt joints, one spot radio-



98

98

**Notes:**

1. Vertical spot radiograph in accordance with 6.1.2.2. item a: one in the first 3 m (10 ft) and one in each 30 m (100 ft) thereafter, 25% of which shall be at intersections.
2. Horizontal spot radiograph in accordance with 6.1.2.3: one in the first 3 m (10 ft) and one in each 60 m (200 ft) thereafter.
3. Vertical spot radiograph in each vertical seam in the lowest course (see 6.1.2.2, item b). Spot radiographs that satisfy the requirements of Note 1 for the lowest course may be used to satisfy this requirement.
4. Spot radiographs of all intersections over 10 mm ( $\frac{3}{8}$  in.) (see 6.1.2.2, item b).
5. Spot radiograph of bottom of each vertical seam in lowest shell course over 10 mm ( $\frac{3}{8}$  in.) (see 6.1.2.2, item b).
6. Complete radiograph of each vertical seam over 25 mm (1 in.). The complete radiograph may include the spot radiographs of the intersections if the film has a minimum width of 100 mm (4 in.) (see 6.1.2.2, item c).

100

Figure 6-1—Radiographic Requirements for Tank Shells

graph shall be taken on 10% of the radial joints; (b) For single-welded butt joints with permanent or removable backup bar, one spot radiograph shall be taken on 50% of the radial joints. Extra care must be exercised in the interpretation of radiographs of single-welded joints that have a permanent backup bar. In some cases, additional exposures taken at an angle may determine whether questionable indications are acceptable. The minimum radiographic length of each radial joint shall be 150 mm (6 in.). Locations of radiographs shall preferably be at the outer edge of the joint where the shell-plate and annular plate join.

### 6.1.3 Technique

**6.1.3.1** Except as modified in this section, the radiographic examination method employed shall be in accordance with Section V, Article 2, of the ASME Code.

**6.1.3.2** Personnel who perform and evaluate radiographic examinations according to this section shall be qualified and certified by the manufacturer as meeting the requirements of certification as generally outlined in Level II or Level III of ASNT SNT-TC-1A (including applicable supplements). Level I personnel may be used if they are given written acceptance/rejection procedures prepared by Level II or Level III personnel. These written procedures shall contain the applicable requirements of Section V, Article 2, of the ASME Code. In addition, all Level I personnel shall be under the direct supervision of Level II or Level III personnel.

**6.1.3.3** The requirements of T-285 in Section V, Article 2, of the ASME Code are to be used only as a guide. Final acceptance of radiographs shall be based on the ability to see the prescribed image quality indicator (penetrant) and the specified hole or wire.

**6.1.3.4** The finished surface of the weld reinforcement at the location of the radiograph shall either be flush with the plate or have a reasonably uniform crown not to exceed the following values:

Plate Thickness mm (in.)	Maximum Thickness of Reinforcement mm (in.)
≤ 13 (1/2)	1.5 (1/16)
> 13 (1/2) to 25 (1)	2.5 (3/32)
> 25 (1)	3 (1/8)

### 6.1.4 Submission of Radiographs

Before any welds are repaired, the radiographs shall be submitted to the inspector with any information requested by the inspector regarding the radiographic technique used.

### 6.1.5 Radiographic Standards

Welds examined by radiography shall be judged as acceptable or unacceptable by the standards of Paragraph UW-51(b) in Section VIII of the ASME Code.

### 6.1.6 Determination of Limits of Defective Welding

When a section of weld is shown by a radiograph to be unacceptable under the provisions of 6.1.5 or the limits of the deficient welding are not defined by the radiograph, two spots adjacent to the section shall be examined by radiography; however, if the original radiograph shows at least 75 mm (3 in.) of acceptable weld between the defect and any one edge of the film, an additional radiograph need not be taken of the weld on that side of the defect. If the weld at either of the adjacent sections fails to comply with the requirements of 6.1.5, additional spots shall be examined until the limits of unacceptable welding are determined, or the erector may replace all of the welding performed by the welder or welding operator on that joint. If the welding is replaced, the inspector shall have the option of requiring that one radiograph be taken at any selected location on any other joint on which the same welder or welding operator has welded. If any of these additional spots fail to comply with the requirements of 6.1.5, the limits of unacceptable welding shall be determined as specified for the initial section.

### 6.1.7 Repair of Defective Welds

**6.1.7.1** Defects in welds shall be repaired by chipping or melting out the defects from one side or both sides of the joint, as required, and rewelding. Only the cutting out of defective joints that is necessary to correct the defects is required.

- **6.1.7.2** All repaired welds in joints shall be checked by repeating the original inspection procedure and by repeating one of the testing methods of 5.3, subject to the approval of the purchaser.

### 6.1.8 Record of Radiographic Examination

**6.1.8.1** The manufacturer shall prepare an as-built radiograph map showing the location of all radiographs taken along with the film identification marks.

- **6.1.8.2** After the structure is completed, the films shall be the property of the purchaser unless otherwise agreed upon by the purchaser and the manufacturer.

## 6.2 MAGNETIC PARTICLE EXAMINATION

**6.2.1** When magnetic particle examination is specified, the method of examination shall be in accordance with Section V, Article 7, of the ASME Code.

**6.2.2** Magnetic particle examination shall be performed in accordance with a written procedure that is certified by the manufacturer to be in compliance with the applicable requirements of Section V of the ASME Code.

**6.2.3** The manufacturer shall determine that each magnetic particle examiner meets the following requirements:

- a. Has vision (with correction, if necessary) to be able to read a Jaeger Type 2 standard chart at a distance of not less than 300 mm (12 in.) and is capable of distinguishing and differentiating contrast between the colors used. Examiners shall be checked annually to ensure that they meet these requirements.
- b. Is competent in the technique of the magnetic particle examination method, including performing the examination and interpreting and evaluating the results; however, where the examination method consists of more than one operation, the examiner need only be qualified for one or more of the operations.

**6.2.4** Acceptance standards and the removal and repair of defects shall be in accordance with Section VIII, Appendix 6, Paragraphs 6-3, 6-4, and 6-5, of the ASME Code.

### 6.3 ULTRASONIC EXAMINATION

#### 6.3.1 Ultrasonic Examination in Lieu of Radiography

When ultrasonic examination is applied in order to fulfill the requirement of 5.3.2.1, the provisions of Appendix U shall apply.

#### 6.3.2 Ultrasonic Examination NOT in lieu of Radiography

**6.3.2.1** When the radiographic method is applied in order to fulfill the requirement of 5.3.2.1, then any ultrasonic examination specified shall be in accordance with this section.

**6.3.2.2** The method of examination shall be in accordance with Section V, Article 5, of the ASME Code.

**3 | 6.3.2.3** Ultrasonic examination shall be performed in accordance with a written procedure that is certified by the manufacturer to be in compliance with the applicable requirements of Section V of the ASME Code.

**3 | 6.3.2.4** Examiners who perform ultrasonic examinations under this section shall be qualified and certified by the manufacturers as meeting the requirements of certification as generally outlined in Level II or Level III of ASNT SNT-TC-1A (including applicable supplements). Level I personnel may be used if they are given written acceptance/rejection criteria prepared by Level II or Level III personnel. In addition, all Level I personnel shall be under the direct supervision of Level II or Level III personnel.

**● 6.3.2.5** Acceptance standards shall be agreed upon by the purchaser and the manufacturer. **| 03**

### 6.4 LIQUID PENETRANT EXAMINATION

**6.4.1** When liquid penetrant examination is specified, the method of examination shall be in accordance with Section V, Article 6, of the ASME Code.

**6.4.2** Liquid penetrant examination shall be performed in accordance with a written procedure that is certified by the manufacturer to be in compliance with the applicable requirements of Section V of the ASME Code.

**6.4.3** The manufacturer shall determine and certify that each liquid penetrant examiner meets the following requirements:

- a. Has vision (with correction, if necessary) to enable him to read a Jaeger Type 2 standard chart at a distance of not less than 300 mm (12 in.) and is capable of distinguishing and differentiating contrast between the colors used. Examiners shall be checked annually to ensure that they meet these requirements.
- b. Is competent in the technique of the liquid penetrant examination method for which he is certified, including making the examination and interpreting and evaluating the results; however, where the examination method consists of more than one operation, the examiner may be certified as being qualified for one or more of the operations.

**6.4.4** Acceptance standards and the removal and repair of defects shall be in accordance with Section VIII, Appendix 8, Paragraphs 8-3, 8-4, and 8-5, of the ASME Code.

### 6.5 VISUAL EXAMINATION

**6.5.1** A weld shall be acceptable by visual inspection if the inspection shows the following:

- a. There are no crater cracks, other surface cracks or arc strikes in or adjacent to the welded joints.
- b. Undercutting does not exceed the limits given in 5.2.1.4 for vertical and horizontal butt joints. For welds that attach nozzles, manholes, cleanout openings, and permanent attachments, undercutting shall not exceed 0.4 mm ( $1/64$  in.).
- c. The frequency of surface porosity in the weld does not exceed one cluster (one or more pores) in any 100 mm (4 in.) of length, and the diameter of each cluster does not exceed 2.5 mm ( $3/32$  in.). **| 00**

**6.5.2** A weld that fails to meet the criteria given in 6.5.1 shall be reworked before hydrostatic testing as follows:

- a. Any defects shall be removed by mechanical means or thermal gouging processes. Arc strikes discovered in or adjacent to welded joints shall be repaired by grinding and

rewelding as required. Arc strikes repaired by welding shall be ground flush with the plate.

b. Rewelding is required if the resulting thickness is less than the minimum required for design or hydrostatic test conditions. All defects in areas thicker than the minimum shall be feathered to at least a 4:1 taper.

c. The repair weld shall be visually examined for defects.

## 6.6 VACUUM TESTING

**6.6.1** Vacuum testing is performed using a testing box approximately 150 mm (6 in.) wide by 750 mm (30 in.) long with a clear window in the top, which provides proper visibility to view the area under inspection. During testing, illumination shall be adequate for proper evaluation and interpretation of the test. The open bottom shall be sealed against the tank surface by a suitable gasket. Connections, valves, lighting and gauges, shall be provided as required. A soap film solution or commercial leak detection solution, applicable to the conditions, shall be used.

**6.6.2** Vacuum testing shall be performed in accordance with a written procedure prepared by the manufacturer of the tank. The procedure shall require:

- a. Performing a visual examination of the bottom and welds prior to performing the vacuum box test;
- b. Verifying the condition of the vacuum box and its gasket seals;
- c. Verifying that there is no quick bubble or spitting response to large leaks; and
- d. Applying the film solution to a dry area, such that the area is thoroughly wetted and a minimum generation of application bubbles occurs.

**6.6.3** A partial vacuum of 21 kPa (3 lbf/in.<sup>2</sup>/6 in. Hg) to 35 kPa (5 lbf/in.<sup>2</sup>/10 in. Hg) gauge shall be used for the test. If specified by the purchaser, a second partial vacuum test of 56 kPa (8 lbf/in.<sup>2</sup>/16 in. Hg) to 70 kPa (10 lbf/in.<sup>2</sup>/20 in. Hg) shall be performed for the detection of very small leaks.

**6.6.4** The manufacturer shall determine that each vacuum box operator meets the following requirements:

- a. Has vision (with correction, if necessary) to be able to read a Jaeger Type 2 standard chart at a distance of not less than 300 mm (12 in.). Operators shall be checked annually to ensure that they meet this requirement; and
- b. Is competent in the technique of the vacuum box testing, including performing the examination and interpreting and evaluating the results; however, where the examination method consists of more than one operation, the operator performing only a portion of the test need only be qualified for that portion the operator performs.

**6.6.5** The vacuum box test shall have at least 50 mm (2 in.) overlap of previously viewed surface on each application.

**6.6.6** The metal surface temperature limits shall be between 4°C (40°F) and 52°C (125°F), unless the film solution is proven to work at temperatures outside these limits, either by testing or manufacturer's recommendations.

**6.6.7** A minimum light intensity of 1000 Lux (100 fc) at the point of examination is required during the application of the examination and evaluation for leaks.

**6.6.8** The vacuum shall be maintained for the greater of either at least 5 seconds or the time required to view the area under test.

**6.6.9** The presence of a through-thickness leak indicated by continuous formation or growth of a bubble(s) or foam, produced by air passing through the thickness, is unacceptable. The presence of a large opening leak, indicated by a quick bursting bubble or spitting response at the initial setting of the vacuum box is unacceptable. Leaks shall be repaired and retested.

**6.6.10** A record or report of the test including a statement addressing temperature and light intensity shall be completed and furnished to the customer upon request.

- **6.6.11** As an alternate to vacuum box testing, a suitable tracer gas and compatible detector can be used to test the integrity of welded bottom joints for their entire length. Where tracer gas testing is employed as an alternate to vacuum box testing, it shall meet the following requirements:

a. Tracer gas testing shall be performed in accordance with a written procedure which has been reviewed and approved by the purchaser and which shall address as a minimum: the type of equipment used, surface cleanliness, type of tracer gas, test pressure, soil permeability, soil moisture content, satisfactory verification of the extent of tracer gas permeation, and the method or technique to be used including scanning rate and probe standoff distance.

b. The technique shall be capable of detecting leakage of  $1 \times 10^{-4}$  Pa m<sup>3</sup>/s ( $1 \times 10^{-3}$  std cm<sup>3</sup>/s) or smaller

c. The test system parameters (detector, gas, and system pressure, i.e. level of pressure under bottom) shall be calibrated by placing the appropriate calibrated capillary leak, which will leak at a rate consistent with (b) above, in a temporary or permanent fitting in the tank bottom away from the tracer gas pressurizing point. Alternatively, by agreement between purchaser and manufacturer, the calibrated leak may be placed in a separate fitting pressurized in accordance with the system parameters.

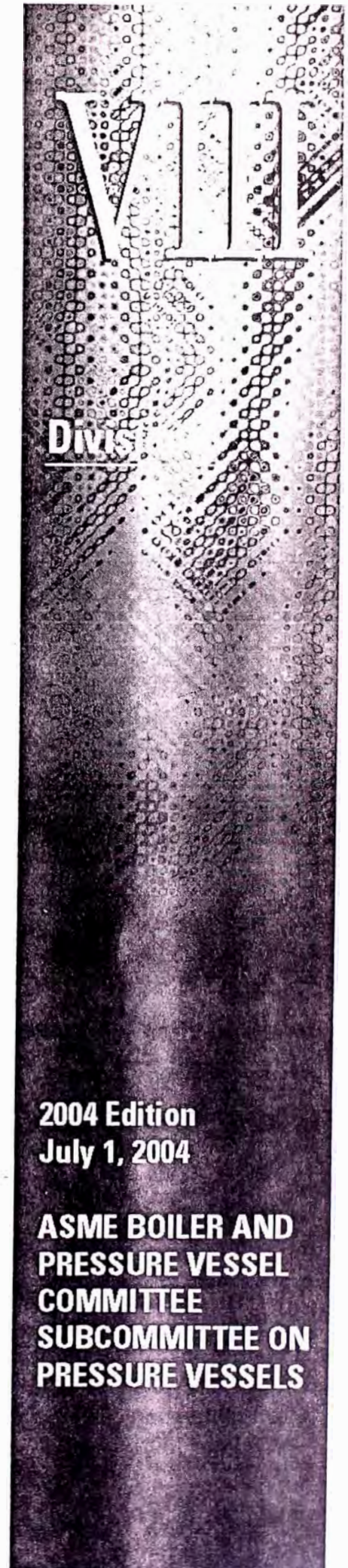
d. While testing for leaks in the welded bottom joints, system parameters shall be unchanged from those used during calibration.



ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE  
AN INTERNATIONAL CODE

# RULES FOR CONSTRUCTION OF PRESSURE VESSELS

THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS  
NEW YORK, NEW YORK



(b) all attachment welds, including welds attaching nonpressure parts to pressure parts, having a throat thickness greater than  $\frac{1}{4}$  in. (6 mm).

### UW-51 RADIOGRAPHIC AND RADIOSCOPIC EXAMINATION OF WELDED JOINTS

(a) All welded joints to be radiographed shall be examined in accordance with Article 2 of Section V except as specified below.

(1) A complete set of radiographs and records, as described in T-291 and T-292 of Article 2 of Section V, for each vessel or vessel part shall be retained by the Manufacturer until the Manufacturer's Data Report has been signed by the Inspector.

(2) The Manufacturer shall certify that personnel performing and evaluating radiographic examinations required by this Division have been qualified and certified in accordance with their employer's written practice. SNT-TC-1A<sup>11</sup> shall be used as a guideline for employers to establish their written practice for qualification and certification of their personnel. Alternatively, the ASNT Central Certification Program (ACCP),<sup>11</sup> or CP-189<sup>11</sup> may be used to fulfill the examination and demonstration requirements of SNT-TC-1A and the employer's written practice. Provisions for training, experience, qualification, and certification of NDE personnel shall be described in the Manufacturer's Quality Control System [see Appendix 10].

(3) A written radiographic examination procedure is not required. Demonstration of density and penetrometer image requirements on production or technique radiographs shall be considered satisfactory evidence of compliance with Article 2 of Section V.

(4) The requirements of T-285 of Article 2 of Section V are to be used only as a guide. Final acceptance of radiographs shall be based on the ability to see the prescribed penetrometer image and the specified hole or the designated wire of a wire penetrometer.

(b) Indications shown on the radiographs of welds and characterized as imperfections are unacceptable under the following conditions and shall be repaired as provided in UW-38, and the repair radiographed to UW-51 or, at the option of the Manufacturer, ultrasonically examined in accordance with the method described in Appendix 12 and the standards specified in this paragraph, provided

the defect has been confirmed by the ultrasonic examination to the satisfaction of the Authorized Inspector prior to making the repair. For material thicknesses in excess of 1 in. (25 mm), the concurrence of the user shall be obtained. This ultrasonic examination shall be noted under remarks on the Manufacturer's Data Report Form:

(1) any indication characterized as a crack or zone of incomplete fusion or penetration;

(2) any other elongated indication on the radiograph which has length greater than:

(a)  $\frac{1}{4}$  in. (6 mm) for  $t$  up to  $\frac{3}{4}$  in. (19 mm)

(b)  $\frac{1}{3}t$  for  $t$  from  $\frac{3}{4}$  in. (19 mm) to  $2\frac{1}{4}$  in. (57 mm)

(c)  $\frac{3}{4}$  in. (19 mm) for  $t$  over  $2\frac{1}{4}$  in. (57 mm)

where

$t$  = the thickness of the weld excluding any allowable reinforcement. For a butt weld joining two members having different thicknesses at the weld,  $t$  is the thinner of these two thicknesses. If a full penetration weld includes a fillet weld, the thickness of the throat of the fillet shall be included in  $t$ .

(3) any group of aligned indications that have an aggregate length greater than  $t$  in a length of  $12t$ , except when the distance between the successive imperfections exceeds  $6L$  where  $L$  is the length of the longest imperfection in the group;

(4) rounded indications in excess of that specified by the acceptance standards given in Appendix 4.

(c) All welded joints to be examined by Real Time Radioscopic Examination shall be examined in accordance with Appendix II of Article 2 of Section V as specified below.

(1) A complete set of records, as described in II-292, shall be evaluated by the Manufacturer prior to being presented to the Inspector. Imperfections listed in UW-51(b)(1), (2), (3), and (4) are unacceptable and shall be repaired as provided in UW-38 and the repair reexamined by either film or Real Time Radioscopic Examination. Records shall be retained by the Manufacturer until the Data Report has been signed by the Inspector.

(2) Provisions for training, experience, qualification, and certification of personnel responsible for equipment setup, calibration, operation, and evaluation of examination data shall be described in the Manufacturer's Quality Control System [see Appendix 10].

(3) The use of Real Time Radioscopic Examination shall be noted under remarks on the Manufacturer's Data Report.

<sup>11</sup> Recommended Practice No. SNT-TC-1A, Personnel Qualification and Certification in Nondestructive Testing, ACCP, ASNT Central Certification Program, and CP-189 are published by the American Society for Nondestructive Testing, Inc., 1711 Arlington Plaza, Columbus, Ohio 43228-0518.

# MANDATORY APPENDIX 4

## ROUNDED INDICATIONS CHARTS

### ACCEPTANCE STANDARD FOR

#### RADIOGRAPHICALLY DETERMINED

#### ROUNDED INDICATIONS IN WELDS

#### 4-1 APPLICABILITY OF THESE STANDARDS

These standards are applicable to ferritic, austenitic, and nonferrous materials.

#### 4-2 TERMINOLOGY

(a) *Rounded Indications* Indications with a maximum length of three times the width or less on the radiograph are defined as rounded indications. These indications may be circular, elliptical, conical, or irregular in shape and may have tails. When evaluating the size of an indication, the tail shall be included. The indication may be from any imperfection in the weld, such as porosity, slag, or tungsten.

(b) *Aligned Indications* A sequence of four or more rounded indications shall be considered to be aligned when they touch a line parallel to the length of the weld drawn through the center of the two outer rounded indications.

(c) *Thickness  $t$*  is the thickness of the weld, excluding any allowable reinforcement. For a butt weld joining two members having different thicknesses at the weld,  $t$  is the thinner of these two thicknesses. If a full penetration weld includes a fillet weld, the thickness of the throat of the fillet shall be included in  $t$ .

#### 4-3 ACCEPTANCE CRITERIA

(a) *Image Density* Density within the image of the indication may vary and is not a criterion for acceptance or rejection.

(b) *Relevant Indications* (See Table 4-1 for examples.) Only those rounded indications which exceed the following dimensions shall be considered relevant.

(1)  $\frac{1}{10}t$  for  $t$  less than  $\frac{1}{8}$  in. (3 mm)

(2)  $\frac{1}{64}$  in. for  $t$  from  $\frac{1}{8}$  in. to  $\frac{1}{4}$  in. (3 mm to 6 mm), incl.

(3)  $\frac{1}{32}$  in. for  $t$  greater than  $\frac{1}{4}$  in. to 2 in. (6 mm to 50 mm), incl.

(4)  $\frac{1}{16}$  in. for  $t$  greater than 2 in. (50 mm)

(c) *Maximum Size of Rounded Indication* (See Table 4-1 for examples.) The maximum permissible size of any indication shall be  $\frac{1}{4}t$ , or  $\frac{3}{32}$  in. (4 mm), whichever is smaller; except that an isolated indication separated from an adjacent indication by 1 in. (25 mm) or more may be  $\frac{1}{3}t$ , or  $\frac{1}{4}$  in. (6 mm), whichever is less. For  $t$  greater than 2 in. (50 mm) the maximum permissible size of an isolated indication shall be increased to  $\frac{3}{8}$  in. (10 mm).

(d) *Aligned Rounded Indications* Aligned rounded indications are acceptable when the summation of the diameters of the indications is less than  $t$  in a length of  $12t$ . See Fig. 4-1. The length of groups of aligned rounded indications and the spacing between the groups shall meet the requirements of Fig. 4-2.

(e) *Spacing* The distance between adjacent rounded indications is not a factor in determining acceptance or rejection, except as required for isolated indications or groups of aligned indications.

(f) *Rounded Indication Charts* The rounded indications characterized as imperfections shall not exceed that shown in the charts. The charts in Figs. 4-3 through 4-8 illustrate various types of assorted, randomly dispersed and clustered rounded indications for different weld thicknesses greater than  $\frac{1}{8}$  in. (3 mm). These charts represent the maximum acceptable concentration limits for rounded indications. The charts for each thickness range represent full-scale 6 in. (150 mm) radiographs, and shall not be enlarged or reduced. The distributions shown are not necessarily the patterns that may appear on the

TABLE 4-1<sup>1</sup>

Customary Units			
Thickness $t$ , in.	Maximum Size of Acceptable Rounded Indication, in.		Maximum Size of Nonrelevant Indication, in.
	Random	Isolated	
Less than $\frac{1}{8}$	$\frac{1}{4}t$	$\frac{1}{2}t$	$\frac{1}{10}t$
$\frac{1}{8}$	0.031	0.042	0.015
$\frac{3}{16}$	0.047	0.063	0.015
$\frac{1}{4}$	0.063	0.083	0.015
$\frac{5}{16}$	0.078	0.104	0.031
$\frac{3}{8}$	0.091	0.125	0.031
$\frac{7}{16}$	0.109	0.146	0.031
$\frac{1}{2}$	0.125	0.168	0.031
$\frac{9}{16}$	0.142	0.188	0.031
$\frac{3}{4}$	0.156	0.210	0.031
$1\frac{1}{16}$	0.156	0.230	0.031
$\frac{3}{4}$ to 2, incl.	0.156	0.250	0.031
Over 2	0.156	0.375	0.063
SI Units			
Thickness $t$ , mm	Maximum Size of Acceptable Rounded Indication, mm		Maximum Size of Nonrelevant Indication, mm
	Random	Isolated	
Less than 3	$\frac{1}{4}t$	$\frac{1}{2}t$	$\frac{1}{10}t$
3	0.79	1.07	0.38
5	1.19	1.60	0.38
6	1.60	2.11	0.38
8	1.98	2.64	0.79
10	2.31	3.18	0.79
11	2.77	3.71	0.79
13	3.18	4.27	0.79
14	3.61	4.78	0.79
16	3.96	5.33	0.79
17	3.96	5.84	0.79
19.0 to 50, incl.	3.96	6.35	0.79
Over 50	3.96	9.53	1.60

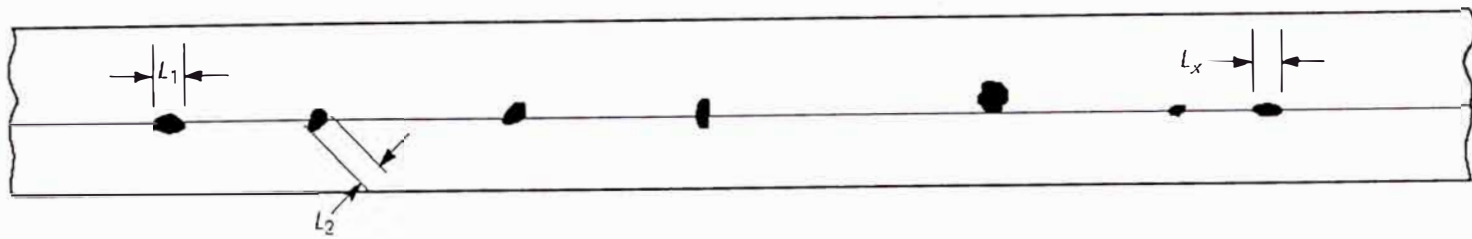
## NOTE:

(1) This Table contains examples only.

radiograph, but are typical of the concentration and size of indications permitted.

(g) *Weld Thickness  $t$  less than  $\frac{1}{8}$  in. (3 mm)* For  $t$  less than  $\frac{1}{8}$  in. (3 mm) the maximum number of rounded indications shall not exceed 12 in a 6 in. (150 mm) length of weld. A proportionally fewer number of indications shall be permitted in welds less than 6 in. (150 mm) in length.

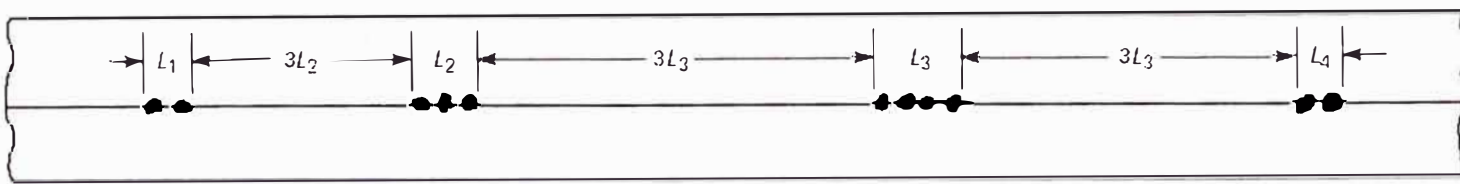
(h) *Clustered Indications* The illustrations for clustered indications show up to four times as many indications in a local area, as that shown in the illustrations for random indications. The length of an acceptable cluster shall not exceed the lesser of 1 in. (25 mm) or  $2t$ . Where more than one cluster is present, the sum of the lengths of the clusters shall not exceed 1 in. (25 mm) in a 6 in. (150 mm) length weld.



GENERAL NOTE: Sum of  $L_1$  to  $L_x$  shall be less than  $t$  in a length of  $12t$

FIG. 4-1 ALIGNED ROUNDED INDICATIONS

370



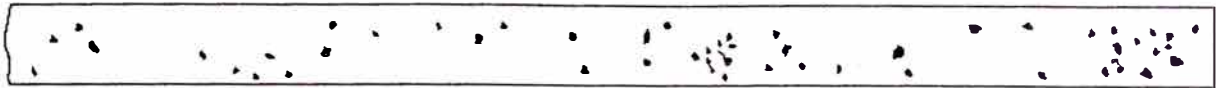
GENERAL NOTE: Sum of the group lengths shall be less than  $t$  in a length of  $12t$

Maximum Group Length  
 $L = 1/4$  in. (6 mm) for  $t$  less than  $3/4$  in. (19 mm)  
 $L = 1/2 t$  for  $t$   $3/4$  in. (19 mm) to  $2 1/4$  in. (57 mm)  
 $L = 3/4$  in. (19 mm) for  $t$  greater than  $2 1/4$  in. (57 mm)

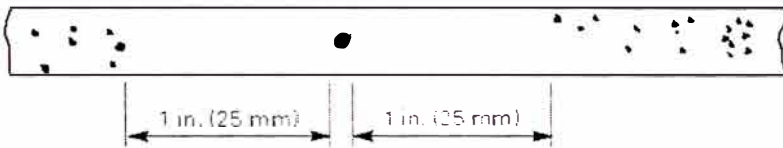
Minimum Group Spacing  
 $3L$  where  $L$  is the length of the longest adjacent group being evaluated.

FIG. 4-2 GROUPS OF ALIGNED ROUNDED INDICATIONS

MANDATORY APPENDIX 4



(a) Random Rounded Indications [See Note (1)]



(b) Isolated Indication [See Note (2)]



(c) Cluster

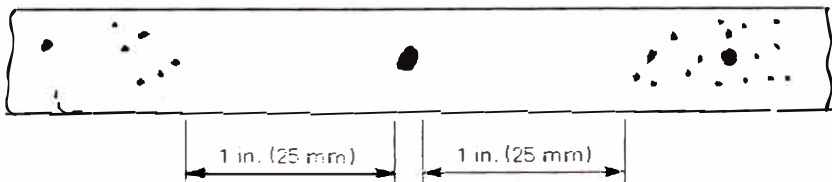
NOTES:

- (1) Typical concentration and size permitted in any 6 in. (150 mm) length of weld.
- (2) Maximum size per Table 4-1.

FIG. 4-3 CHARTS FOR  $t$  EQUAL TO  $\frac{1}{8}$  in. to  $\frac{1}{4}$  in. (3 mm to 6 mm), INCLUSIVE



(a) Random Rounded Indications [See Note (1)]



(b) Isolated Indication [See Note (2)]



(c) Cluster

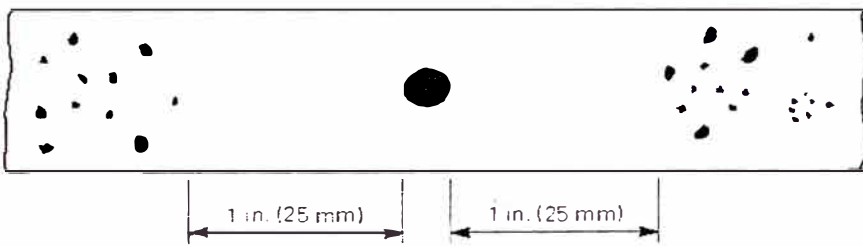
NOTES:

- (1) Typical concentration and size permitted in any 6 in. (150 mm) length of weld.
- (2) Maximum size per Table 4-1.

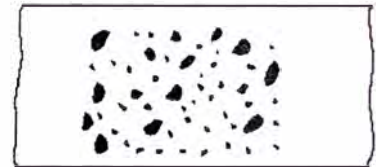
FIG. 4-4 CHARTS FOR  $t$  OVER  $\frac{1}{4}$  in. to  $\frac{3}{8}$  in. (6 mm to 10 mm), INCLUSIVE



(a) Random Rounded Indications [See Note (1)]



(b) Isolated Indication [See Note (2)]



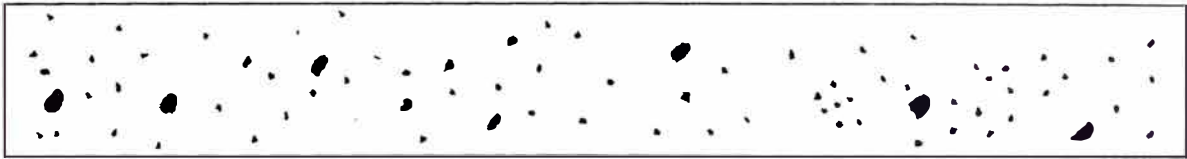
(c) Cluster

NOTES:

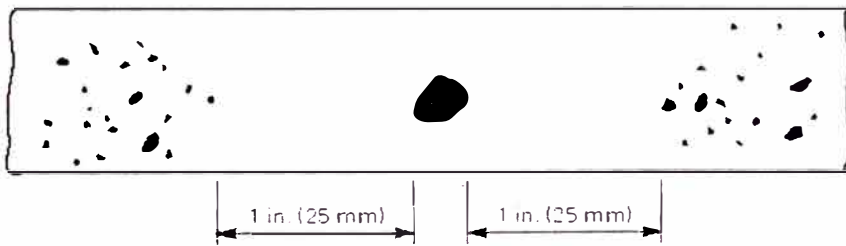
- (1) Typical concentration and size permitted in any 6 in. (150 mm) length of weld.
- (2) Maximum size per Table 4-1.

FIG. 4-5 CHARTS FOR  $t$  OVER  $\frac{3}{8}$  in. to  $\frac{3}{4}$  in. (10 mm to 19 mm), INCLUSIVE

MANDATORY APPENDIX 4



(a) Random Rounded Indications [See Note (1)]



(b) Isolated Indication [See Note (2)]



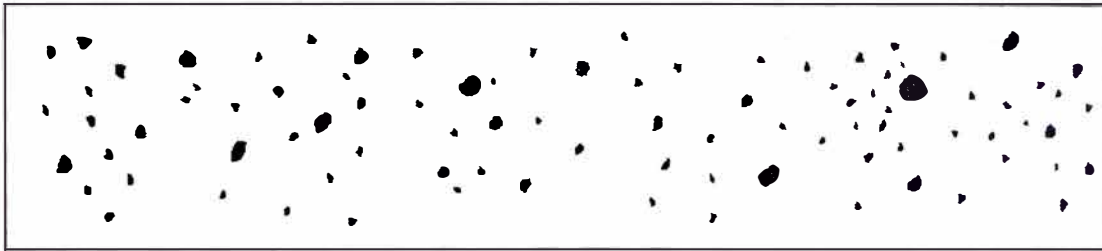
(c) Cluster

NOTES:

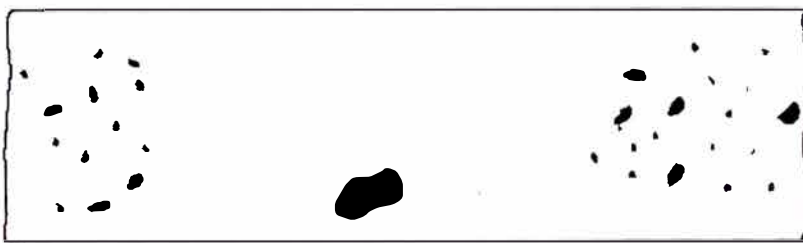
- (1) Typical concentration and size permitted in any 6 in. (150 mm) length of weld.
- (2) Maximum size per Table 4-1.

FIG. 4-6 CHARTS FOR  $t$  OVER  $\frac{3}{4}$  in. to 2 in. (19 mm to 50 mm), INCLUSIVE

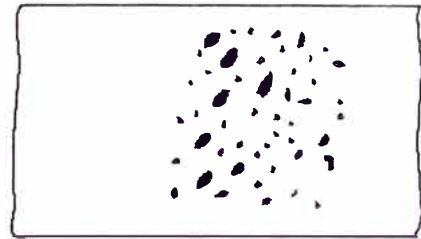




(a) Random Rounded Indications [See Note (1)]



(b) Isolated Indication [See Note (2)]



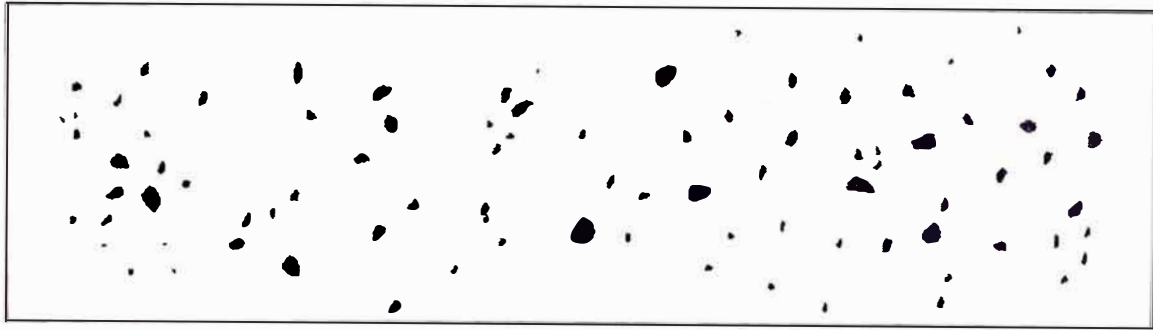
(c) Cluster

NOTES:

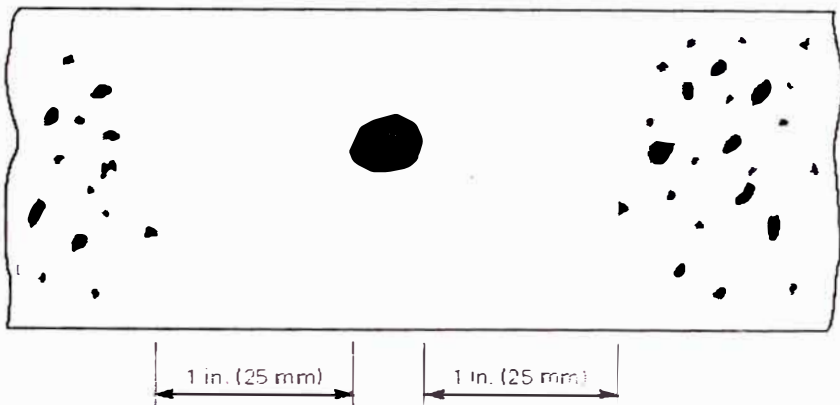
- (1) Typical concentration and size permitted in any 5 in. (150 mm) length of weld.
- (2) Maximum size per Table 4-1.

FIG. 4-7 CHARTS FOR  $t$  OVER 2 in. to 4 in. (50 mm to 100 mm), INCLUSIVE

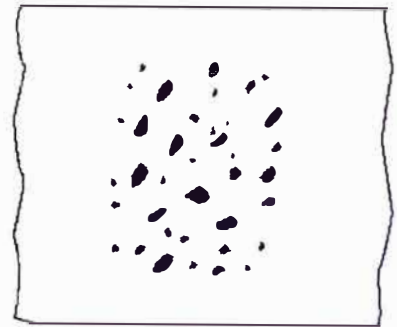
MANDATORY APPENDIX 4



(a) Random Rounded Indications [See Note (1)]



(b) Isolated Indication [See Note (2)]



(c) Cluster

NOTES:

- (1) Typical concentration and size permitted in any 6 in. (150 mm) length of weld.
- (2) Maximum size per Table 4-1.

FIG. 4-8 CHARTS FOR  $t$  OVER 4 in. (100 mm)

ASME BOILER AND PRESSURE VESSEL CODE  
AN INTERNATIONAL CODE

# NONDESTRUCTIVE EXAMINATION

THE AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS  
NEW YORK, NEW YORK



B050W5

**2005 Addenda  
July 1, 2005**

**ASME BOILER AND  
PRESSURE VESSEL  
CODE  
COMMITTEE  
SUBCOMMITTEE  
NONDESTRUCTIVE  
EXAMINATION**



## ARTICLE 2

# RADIOGRAPHIC EXAMINATION

### T-210 SCOPE

The radiographic method described in this Article for examination of materials including castings and welds shall be used together with Article 1, General Requirements. Definitions of terms used in this Article are in Mandatory Appendix V of this Article.

Certain product-specific, technique-specific, and application-specific requirements are also given in other Mandatory Appendices of this Article, as listed in the table of contents. These additional requirements shall also be complied with when an Appendix is applicable to the radiographic or radiosopic examination being conducted.

### T-220 GENERAL REQUIREMENTS

#### T-221 Procedure Requirements

04 T-221.1 **Written Procedure.** Radiographic examination shall be performed in accordance with a written procedure. Each procedure shall include at least the following information, as applicable:

- (a) material type and thickness range,
- (b) isotope or maximum X-ray voltage used,
- (c) source-to-object distance ( $D$  in T-274.1),
- (d) distance from source side of object to film ( $d$  in T-274.1),
- (e) source size ( $F$  in T-274.1),
- (f) film brand and designation, and
- (g) screens used.

T-221.2 **Procedure Demonstration.** Demonstration of the density and IQI image requirements of the written procedure on production or technique radiographs shall be considered satisfactory evidence of compliance with that procedure.

#### T-222 Surface Preparation

T-222.1 **Materials Including Castings.** Surfaces shall satisfy the requirements of the applicable materials specification or referencing Code Section, with additional conditioning, if necessary, by any suitable process to such

a degree that the resulting radiographic image due to any surface irregularities cannot mask or be confused with the image of any discontinuity.

T-222.2 **Welds.** The weld ripples or weld surface irregularities on both the inside (where accessible) and outside shall be removed by any suitable process to such a degree that the resulting radiographic image due to any surface irregularities cannot mask or be confused with the image of any discontinuity.

The finished surface of all butt-welded joints may be flush with the base material or may have reasonably uniform crowns, with reinforcement not to exceed that specified in the referencing Code Section.

#### T-223 Backscatter Radiation

A lead symbol "B," with minimum dimensions of  $\frac{1}{2}$  in. (13 mm) in height and  $\frac{1}{16}$  in. (1.5 mm) in thickness, shall be attached to the back of each film holder during each exposure to determine if backscatter radiation is exposing the film.

#### T-224 System of Identification

A system shall be used to produce permanent identification on the radiograph traceable to the contract, component, weld or weld seam, or part numbers, as appropriate. In addition, the Manufacturer's symbol or name and the date of the radiograph shall be plainly and permanently included on the radiograph. This identification system does not necessarily require that the information appear as radiographic images. In any case, this information shall not obscure the area of interest.

#### T-225 Monitoring Density Limitations of Radiographs

Either a densitometer or step wedge comparison film shall be used for judging film density.

#### T-226 Extent of Examination

The extent of radiographic examination shall be as specified by the referencing Code Section.

TABLE T-233.1  
HOLE-TYPE IQI DESIGNATION, THICKNESS, AND HOLE DIAMETERS

IQI Designation	IQI Thickness, in. (mm)	17 Hole Diameter, in. (mm)	27 Hole Diameter, in. (mm)	47 Hole Diameter, in. (mm)
5	0.005 (0.13)	0.010 (0.25)	0.020 (0.51)	0.040 (1.02)
7	0.0075 (0.19)	0.010 (0.25)	0.020 (0.51)	0.040 (1.02)
10	0.010 (0.25)	0.010 (0.25)	0.020 (0.51)	0.040 (1.02)
12	0.0125 (0.32)	0.0125 (0.32)	0.025 (0.64)	0.050 (1.27)
15	0.015 (0.38)	0.015 (0.38)	0.030 (0.76)	0.060 (1.52)
17	0.0175 (0.44)	0.0175 (0.44)	0.035 (0.89)	0.070 (1.78)
20	0.020 (0.51)	0.020 (0.51)	0.040 (1.02)	0.080 (2.03)
25	0.025 (0.64)	0.025 (0.64)	0.050 (1.27)	0.100 (2.54)
30	0.030 (0.76)	0.030 (0.76)	0.060 (1.52)	0.120 (3.05)
35	0.035 (0.89)	0.035 (0.89)	0.070 (1.78)	0.140 (3.56)
40	0.040 (1.02)	0.040 (1.02)	0.080 (2.03)	0.160 (4.06)
45	0.045 (1.14)	0.045 (1.14)	0.090 (2.29)	0.180 (4.57)
50	0.050 (1.27)	0.050 (1.27)	0.100 (2.54)	0.200 (5.08)
60	0.060 (1.52)	0.060 (1.52)	0.120 (3.05)	0.240 (6.10)
70	0.070 (1.78)	0.070 (1.78)	0.140 (3.56)	0.280 (7.11)
80	0.080 (2.03)	0.080 (2.03)	0.160 (4.06)	0.320 (8.13)
100	0.100 (2.54)	0.100 (2.54)	0.200 (5.08)	0.400 (10.16)
120	0.120 (3.05)	0.120 (3.05)	0.240 (6.10)	0.480 (12.19)
140	0.140 (3.56)	0.140 (3.56)	0.280 (7.11)	0.560 (14.22)
160	0.160 (4.06)	0.160 (4.06)	0.320 (8.13)	0.640 (16.26)
200	0.200 (5.08)	0.200 (5.08)	0.400 (10.16)	...
240	0.240 (6.10)	0.240 (6.10)	0.480 (12.19)	...
280	0.280 (7.11)	0.280 (7.11)	0.560 (14.22)	...

## T-230 EQUIPMENT AND MATERIALS

### T-231 Film

T-231.1 Selection. Radiographs shall be made using industrial radiographic film.

T-231.2 Processing. Standard Guide for Controlling the Quality of Industrial Radiographic Film Processing, SE-999, or paragraphs 23 through 26 of Standard Guide for Radiographic Examination SE-94 shall be used as a guide for processing film.

### T-232 Intensifying Screens

Intensifying screens may be used when performing radiographic examination in accordance with this Article.

### T-233 Image Quality Indicator (IQI) Design

T-233.1 Standard IQI Design. IQIs shall be either the hole type or the wire type. Hole-type IQIs shall be manufactured and identified in accordance with the requirements or alternates allowed in SE-1025. Wire-type IQIs shall be manufactured and identified in accordance with the requirements or alternates allowed in SE-747, except that the largest wire number or the identity number may be omitted. ASME standard IQIs shall consist of those in Table T-233.1 for hole type and those in Table T-233.2 for wire type.

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

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

**T-233.2 Alternative IQI Design.** IQIs designed and manufactured in accordance with other national or international standards may be used provided the requirements of either (a) or (b) below, and the material requirements of T-276.1 are met.

(a) *Hole Type IQIs.* The calculated Equivalent IQI Sensitivity (EPS), per SE-1025, Appendix X1, is equal to or better than the required standard hole type IQI.

(b) *Wire Type IQIs.* The alternative wire IQI essential wire diameter is equal to or less than the required standard IQI essential wire.

#### **T-234 Facilities for Viewing of Radiographs**

Viewing facilities shall provide subdued background lighting of an intensity that will not cause troublesome reflections, shadows, or glare on the radiograph. Equipment used to view radiographs for interpretation shall provide a variable light source sufficient for the essential IQI hole or designated wire to be visible for the specified density range. The viewing conditions shall be such that light from around the outer edge of the radiograph or coming through low-density portions of the radiograph does not interfere with interpretation.

### **T-260 CALIBRATION**

#### **T-261 Source Size**

**T-261.1 Verification of Source Size.** The equipment manufacturer's or supplier's publications, such as technical manuals, decay curves, or written statements documenting the actual or maximum source size or focal spot, shall be acceptable as source size verification.

**T-261.2 Determination of Source Size.** When manufacturer's or supplier's publications are not available, source size may be determined as follows:

(a) *X-Ray Machines.* For X-ray machines operating at 500 kV and less, the focal spot size may be determined by the pinhole method,<sup>1</sup> or in accordance with SE-1165, Standard Test Method for Measurement of Focal Spots of Industrial X-Ray Tubes by Pinhole Imaging.

(b) *Iridium-192 Sources.* For Iridium-192, the source size may be determined in accordance with SE-1114, Standard Test Method for Determining the Focal Size of Iridium-192 Industrial Radiographic Sources.

#### **T-262 Densitometer and Step Wedge Comparison Film**

**T-262.1 Densitometers.** Densitometers shall be calibrated at least every 90 days during use as follows:

<sup>1</sup> Nondestructive Testing Handbook, Volume I, First Edition, pp. 14.32-14.33, "Measuring Focal-Spot Size." Also, pp. 20-21 of *Radiography in Modern Industry*, Fourth Edition.

(a) A national standard step tablet or a step wedge calibration film, traceable to a national standard step tablet and having at least 5 steps with neutral densities from at least 1.0 through 4.0, shall be used. The step wedge calibration film shall have been verified within the last year by comparison with a national standard step tablet unless, prior to first use, it was maintained in the original light-tight and waterproof sealed package as supplied by the manufacturer. Step wedge calibration films may be used without verification for one year upon opening, provided it is within the manufacturer's stated shelf life.

(b) The densitometer manufacturer's step-by-step instructions for the operation of the densitometer shall be followed.

(c) The density steps closest to 1.0, 2.0, 3.0, and 4.0 on the national standard step tablet or step wedge calibration film shall be read.

(d) The densitometer is acceptable if the density readings do not vary by more than  $\pm 0.05$  density units from the actual density stated on the national standard step tablet or step wedge calibration film.

**T-262.2 Step Wedge Comparison Films.** Step wedge comparison films shall be verified prior to first use, unless performed by the manufacturer, as follows:

(a) The density of the steps on a step wedge comparison film shall be verified by a calibrated densitometer.

(b) The step wedge comparison film is acceptable if the density readings do not vary by more than  $\pm 0.1$  density units from the density stated on the step wedge comparison film.

#### **T-262.3 Periodic Verification**

(a) *Densitometers.* Periodic calibration verification checks shall be performed as described in T-262.1 at the beginning of each shift, after 8 hr of continuous use, or after change of apertures, whichever comes first.

(b) *Step Wedge Comparison Films.* Verification checks shall be performed annually per T-262.2.

#### **T-262.4 Documentation**

(a) *Densitometers.* Densitometer calibrations required by T-262.1 shall be documented, but the actual readings for each step do not have to be recorded. Periodic densitometer verification checks required by T-262.3(a) do not have to be documented.

(b) *Step Wedge Calibration Films.* Step wedge calibration film verifications required by T-262.1(a) shall be documented, but the actual readings for each step do not have to be recorded.

(c) *Step Wedge Comparison Films.* Step wedge comparison film verifications required by T-262.2 and T-262.3(b) shall be documented, but the actual readings for each step do not have to be recorded.

**T-270 EXAMINATION**  
**T-271 Radiographic Technique<sup>2</sup>**

A single-wall exposure technique shall be used for radiography whenever practical. When it is not practical to use a single-wall technique, a double-wall technique shall be used. An adequate number of exposures shall be made to demonstrate that the required coverage has been obtained.

**T-271.1 Single-Wall Technique.** In the single-wall technique, the radiation passes through only one wall of the weld (material), which is viewed for acceptance on the radiograph.

**T-271.2 Double-Wall Technique.** When it is not practical to use a single-wall technique, one of the following double-wall techniques shall be used.

(a) *Single-Wall Viewing.* For materials and for welds in components, a technique may be used in which the radiation passes through two walls and only the weld (material) on the film-side wall is viewed for acceptance on the radiograph. When complete coverage is required for circumferential welds (materials), a minimum of three exposures taken 120 deg. to each other shall be made.

(b) *Double-Wall Viewing.* For materials and for welds in components 3½ in. (89 mm) or less in nominal outside diameter, a technique may be used in which the radiation passes through two walls and the weld (material) in both walls is viewed for acceptance on the same radiograph. For double-wall viewing, only a source-side IQI shall be used. Care should be exercised to ensure that the required geometric unsharpness is not exceeded. If the geometric unsharpness requirement cannot be met, then single-wall viewing shall be used.

(1) For welds, the radiation beam may be offset from the plane of the weld at an angle sufficient to separate the images of the source-side and film-side portions of the weld so that there is no overlap of the areas to be interpreted. When complete coverage is required, a minimum of two exposures taken 90 deg. to each other shall be made for each joint.

(2) As an alternative, the weld may be radiographed with the radiation beam positioned so that the images of both walls are superimposed. When complete coverage is required, a minimum of three exposures taken at either 60 deg. or 120 deg. to each other shall be made for each joint.

(3) Additional exposures shall be made if the required radiographic coverage cannot be obtained using

the minimum number of exposures indicated in (b)(1) or (b)(2) above.

**T-272 Radiation Energy**

The radiation energy employed for any radiographic technique shall achieve the density and IQI image requirements of this Article.

**T-273 Direction of Radiation**

The direction of the central beam of radiation should be centered on the area of interest whenever practical.

**T-274 Geometric Unsharpness**

**T-274.1 Geometric Unsharpness Determination.** Geometric unsharpness of the radiograph shall be determined in accordance with:

$$U_g = Fd/D$$

where

$U_g$  = geometric unsharpness

$F$  = source size: the maximum projected dimension of the radiating source (or effective focal spot) in the plane perpendicular to the distance  $D$  from the weld or object being radiographed, in.

$D$  = distance from source of radiation to weld or object being radiographed, in.

$d$  = distance from source side of weld or object being radiographed to the film

$D$  and  $d$  shall be measured to the approximate center of the area of interest.

NOTE: Refer to Standard Guide for Radiographic Testing SE-94 for a method of determining geometric unsharpness. Alternatively, a nomograph as shown in Standard Guide for Radiographic Testing SE-94 may be used.

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

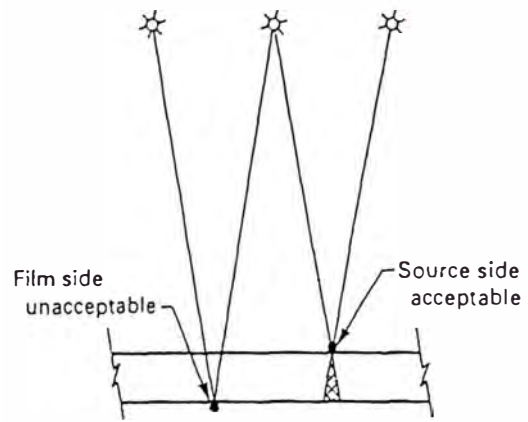
Material Thickness, in. (mm)	$U_g$ Maximum, in. (mm)
Under 2 (50)	0.020 (0.51)
2 through 3 (50-75)	0.030 (0.76)
Over 3 through 4 (75-100)	0.040 (1.02)
Greater than 4 (≥100)	0.070 (1.78)

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

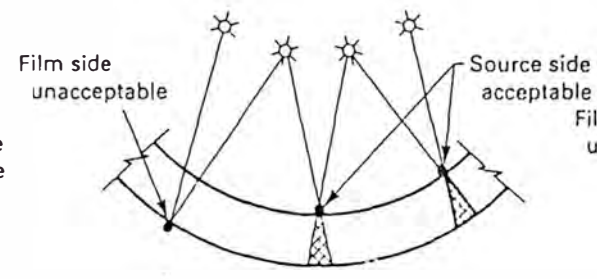
**T-275 Location Markers**

Location markers (see Fig. T-275), which are to appear as radiographic images on the film, shall be placed on the

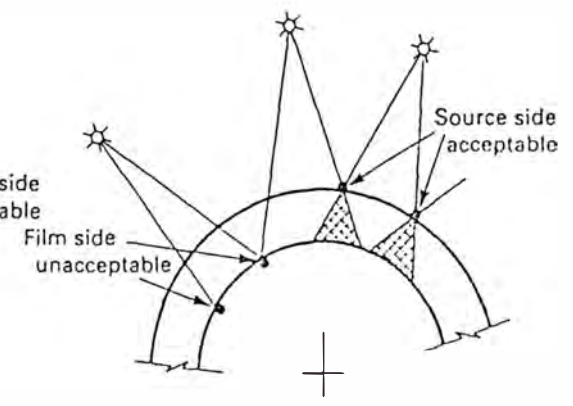
<sup>2</sup> Sketches showing suggested source, film, and IQI placements for pipe or tube welds are illustrated in Article 2, Nonmandatory Appendix A.



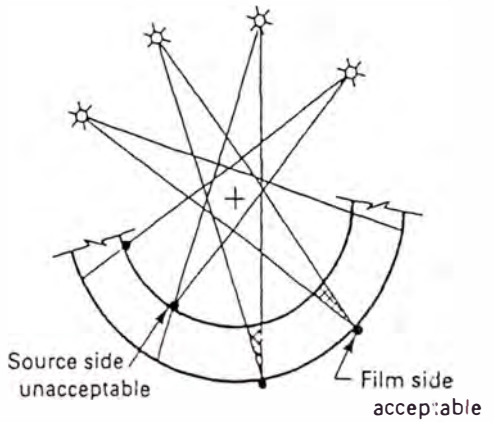
Flat component or longitudinal seam  
[See T-275.1(a)(1)]  
[See sketch (e) for alternate]  
(a)



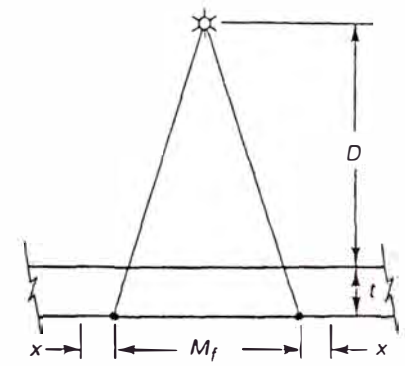
Curved components with radiation source to film distance less than radius of component  
[See T-275.1(a)(2)]  
(b)



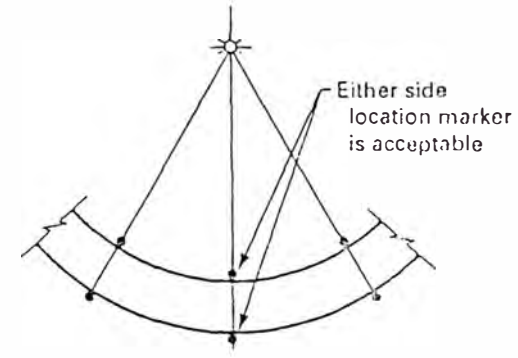
Curved components with convex surface towards radiation source  
[See T-275.1(a)(3)]  
(c)



Curved components with radiation source to film distance greater than radius of curvature  
[See T-275.1(b)(1)]  
(d)



Source side marker alternate  
Flat component or longitudinal seam  
 $x = (t / D) (M_f / 2)$   
 $x$  = additional required coverage beyond film side location marker  
 $t$  = component thickness  
 $M_f$  = film side location marker interval  
 $D$  = source to component distance  
[See T-275.1(b)(2)]  
(e)



Curved components with radiation source at center curvature  
[See T-275.1(c)]  
(f)

LEGEND: Radiation source — ☼  
Location marker — •  
Component center — ⊕

FIG. T-275 LOCATION MARKER SKETCHES



part, not on the exposure holder/cassette. Their locations shall be permanently marked on the surface of the part being radiographed when permitted, or on a map, in a manner permitting the area of interest on a radiograph to be accurately traceable to its location on the part, for the required retention period of the radiograph. Evidence shall also be provided on the radiograph that the required coverage of the region being examined has been obtained. Location markers shall be placed as follows.

#### T-275.1 Single-Wall Viewing

(a) *Source-Side Markers.* Location markers shall be placed on the source side when radiographing the following:

- (1) flat components or longitudinal joints in cylindrical or conical components;
- (2) curved or spherical components whose concave side is toward the source and when the "source-to-material" distance is less than the inside radius of the component;
- (3) curved or spherical components whose convex side is toward the source.

#### (b) *Film-Side Markers*

(1) Location markers shall be placed on the film side when radiographing either curved or spherical components whose concave side is toward the source and when the "source-to-material" distance is greater than the inside radius.

(2) As an alternative to source-side placement in T-275.1(a)(1), location markers may be placed on the film side when the radiograph shows coverage beyond the location markers to the extent demonstrated by Fig. T-275, sketch (e), and when this alternate is documented in accordance with T-291.

(c) *Either Side Markers.* Location markers may be placed on either the source side or film side when radiographing either curved or spherical components whose concave side is toward the source and the "source-to-material" distance equals the inside radius of the component.

**T-275.2 Double-Wall Viewing.** For double-wall viewing, at least one location marker shall be placed adjacent to the weld (or on the material in the area of interest) for each radiograph.

**T-275.3 Mapping the Placement of Location Markers.** When inaccessibility or other limitations prevent the placement of markers as stipulated in T-275.1 and T-275.2, a dimensioned map of the actual marker placement shall accompany the radiographs to show that full coverage has been obtained.

#### T-276 IQI Selection

**T-276.1 Material.** IQIs shall be selected from either the same alloy material group or grade as identified in SE-1025, or SE-747, as applicable, or from an alloy material group or grade with less radiation absorption than the material being radiographed.

**T-276.2 Size.** The designated hole IQI or essential wire shall be as specified in Table T-276. A thinner or thicker hole-type IQI may be substituted for any section thickness listed in Table T-276, provided an equivalent IQI sensitivity is maintained. See T-283.2.

(a) *Welds With Reinforcements.* The thickness on which the IQI is based is the nominal single-wall thickness plus the estimated weld reinforcement not to exceed the maximum permitted by the referencing Code Section. Backing rings or strips shall not be considered as part of the thickness in IQI selection. The actual measurement of the weld reinforcement is not required.

(b) *Welds Without Reinforcements.* The thickness on which the IQI is based is the nominal single-wall thickness. Backing rings or strips shall not be considered as part of the weld thickness in IQI selection.

**T-276.3 Welds Joining Dissimilar Materials or Welds With Dissimilar Filler Metal.** When the weld metal is of an alloy group or grade that has a radiation attenuation that differs from the base material, the IQI material selection shall be based on the weld metal and be in accordance with T-276.1. When the density limits of T-282.2 cannot be met with one IQI, and the exceptional density area(s) is at the interface of the weld metal and the base metal, the material selection for the additional IQIs shall be based on the base material and be in accordance with T-276.1.

#### T-277 Use of IQIs to Monitor Radiographic Examination

##### T-277.1 Placement of IQIs

(a) *Source-Side IQI(s).* The IQI(s) shall be placed on the source side of the part being examined, except for the condition described in T-277.1(b).

When, due to part or weld configuration or size, it is not practical to place the IQI(s) on the part or weld, the IQI(s) may be placed on a separate block. Separate blocks shall be made of the same or radiographically similar materials (as defined in SE-1025) and may be used to facilitate IQI positioning. There is no restriction on the separate block thickness, provided the IQI/area-of-interest density tolerance requirements of T-282.2 are met.

(1) The IQI on the source side of the separate block shall be placed no closer to the film than the source side of the part being radiographed.

TABLE T-276  
IQI SELECTION

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

(2) The separate block shall be placed as close as possible to the part being radiographed.

(3) When hole-type IQIs are used, the block dimensions shall exceed the IQI dimensions such that the outline of at least three sides of the IQI image shall be visible on the radiograph.

(b) *Film-Side IQI(s)*. Where inaccessibility prevents hand placing the IQI(s) on the source side, the IQI(s) shall be placed on the film side in contact with the part being examined. A lead letter "F" shall be placed adjacent to or on the IQI(s), but shall not mask the essential hole where hole IQIs are used.

(c) *IQI Placement for Welds — Hole IQIs*. The IQI(s) may be placed adjacent to or on the weld. The identification number(s) and, when used, the lead letter "F," shall not be in the area of interest, except when geometric configuration makes it impractical.

(d) *IQI Placement for Welds — Wire IQIs*. The IQI(s) shall be placed on the weld so that the length of the wires is perpendicular to the length of the weld. The identification numbers and, when used, the lead letter "F," shall not be in the area of interest, except when geometric configuration makes it impractical.

(e) *IQI Placement for Materials Other Than Welds*. The IQI(s) with the IQI identification number(s), and, when used, the lead letter "F," may be placed in the area of interest.

04 **T-277.2 Number of IQIs**. When one or more film holders are used for an exposure, at least one IQI image shall appear on each radiograph except as outlined in (b) below.

(a) *Multiple IQIs*. If the requirements of T-282 are met by using more than one IQI, one shall be representative of the lightest area of interest and the other the darkest area of interest; the intervening densities on the radiograph shall be considered as having acceptable density.

(b) *Special Cases*<sup>3</sup>

(1) For cylindrical components where the source is placed on the axis of the component for a single exposure, at least three IQIs, spaced approximately 120 deg. apart, are required under the following conditions:

(a) When the complete circumference is radiographed using one or more film holders, or;

(b) When a section or sections of the circumference, where the length between the ends of the outermost sections span 240 or more deg., is radiographed using one or more film holders. Additional film locations may be required to obtain necessary IQI spacing.

(2) For cylindrical components where the source is placed on the axis of the component for a single exposure, at least three IQIs, with one placed at each end of the span of the circumference radiographed and one in the approximate center of the span, are required under the following conditions:

(a) When a section of the circumference, the length of which is greater than 120 deg. and less than 240 deg., is radiographed using just one film holder, or;

(b) When a section or sections of the circumference, where the length between the ends of the outermost

<sup>3</sup> Refer to Nonmandatory Appendix D for additional guidance.

sections span less than 240 deg., is radiographed using more than one film holder.

(3) In (1) and (2) above, where sections of longitudinal welds adjoining the circumferential weld are radiographed simultaneously with the circumferential weld, an additional IQI shall be placed on each longitudinal weld at the end of the section most remote from the junction with the circumferential weld being radiographed.

(4) For spherical components where the source is placed at the center of the component for a single exposure, at least three IQIs, spaced approximately 120 deg. apart, are required under the following conditions:

(a) When a complete circumference is radiographed using one or more film holders, or;

(b) When a section or sections of a circumference, where the length between the ends of the outermost sections span 240 or more deg., is radiographed using one or more film holders. Additional film locations may be required to obtain necessary IQI spacing.

(5) For spherical components where the source is placed at the center of the component for a single exposure, at least three IQIs, with one placed at each end of the radiographed span of the circumference radiographed and one in the approximate center of the span, are required under the following conditions:

(a) When a section of a circumference, the length of which is greater than 120 deg. and less than 240 deg., is radiographed using just one film holder, or;

(b) When a section or sections of a circumference, where the length between the ends of the outermost sections span less than 240 deg. is radiographed using more than one film holder.

(6) In (4) and (5) above, where other welds are radiographed simultaneously with the circumferential weld, one additional IQI shall be placed on each other weld.

(7) For segments of a flat or curved (i.e., ellipsoidal, torispherical, toriconical, elliptical, etc.) component where the source is placed perpendicular to the center of a length of weld for a single exposure when using more than three film holders, at least three IQIs, one placed at each end of the radiographed span and one in the approximate center of the span, are required.

(8) When an array of components in a circle is radiographed, at least one IQI shall show on each component image.

(9) In order to maintain the continuity of records involving subsequent exposures, all radiographs exhibiting IQIs that qualify the techniques permitted in accordance with (1) through (7) above shall be retained.

**T-277.3 Shims Under Hole IQIs.** For welds, a shim of material radiographically similar to the weld metal shall be placed between the part and the IQI, if needed, so that the radiographic density throughout the area of interest is no more than minus 15% from (lighter than) the radiographic density through the IQI.

The shim dimensions shall exceed the IQI dimensions such that the outline of at least three sides of the IQI image shall be visible in the radiograph.

## T-280 EVALUATION

### T-281 Quality of Radiographs

All radiographs shall be free from mechanical, chemical, or other blemishes to the extent that they do not mask and are not confused with the image of any discontinuity in the area of interest of the object being radiographed. Such blemishes include, but are not limited to:

(a) fogging;

(b) processing defects such as streaks, watermarks, or chemical stains;

(c) scratches, finger marks, crimps, dirtiness, static marks, smudges, or tears;

(d) false indications due to defective screens.

### T-282 Radiographic Density

**T-282.1 Density Limitations.** The transmitted film density through the radiographic image of the body of the appropriate hole IQI or adjacent to the designated wire of a wire IQI and the area of interest shall be 1.8 minimum for single film viewing for radiographs made with an X-ray source and 2.0 minimum for radiographs made with a gamma ray source. For composite viewing of multiple film exposures, each film of the composite set shall have a minimum density of 1.3. The maximum density shall be 4.0 for either single or composite viewing. A tolerance of 0.05 in density is allowed for variations between densitometer readings.

#### T-282.2 Density Variation

(a) *General.* If the density of the radiograph anywhere through the area of interest varies by more than minus 15% or plus 30% from the density through the body of the hole IQI or adjacent to the designated wire of a wire IQI, within the minimum/maximum allowable density ranges specified in T-282.1, then an additional IQI shall be used for each exceptional area or areas and the radiograph retaken. When calculating the allowable variation in density, the calculation may be rounded to the nearest 0.1 within the range specified in T-282.1.

(b) *With Shims.* When shims are used with hole-type IQIs, the plus 30% density restriction of (a) above may

**TABLE T-283**  
**EQUIVALENT HOLE-TYPE IQI SENSITIVITY**

Hole-Type Designation 2T Hole	Equivalent Hole-Type Designations	
	1T Hole	4T Hole
10	15	5
12	17	7
15	20	10
17	25	12
20	30	15
25	35	17
30	40	20
35	50	25
40	60	30
50	70	35
60	80	40
80	120	60
100	140	70
120	160	80
160	240	120
200	280	140

be exceeded, and the minimum density requirements of T-282.1 do not apply for the IQI, provided the required IQI sensitivity of T-283.1 is met.

**T-283 IQI Sensitivity**

**T-283.1 Required Sensitivity.** Radiography shall be performed with a technique of sufficient sensitivity to display the designated hole IQI image and the 2T hole, or the essential wire of a wire IQI. The radiographs shall also display the IQI identifying numbers and letters. If the designated hole IQI image and 2T hole, or essential wire, do not show on any film in a multiple film technique, but do show in composite film viewing, interpretation shall be permitted only by composite film viewing.

**04 T-283.2 Equivalent Hole-Type Sensitivity.** A thinner or thicker hole-type IQI than the required IQI may be substituted, provided an equivalent or better IQI sensitivity, as listed in Table T-283, is achieved and all other requirements for radiography are met. Equivalent IQI sensitivity is shown in any row of Table T-283, which contains the required IQI and hole. Better IQI sensitivity is shown in any row of Table T-283, which is above the equivalent sensitivity row. If the required IQI and hole are not represented in the table, the next thinner IQI row from Table T-283 may be used to establish equivalent IQI sensitivity.

**T-284 Excessive Backscatter**

If a light image of the "B," as described in T-223, appears on a darker background of the radiograph, protec-

tion from backscatter is insufficient and the radiograph shall be considered unacceptable. A dark image of the "B" on a lighter background is not cause for rejection.

**T-285 Evaluation by Manufacturer**

04

The Manufacturer shall be responsible for the review, interpretation, evaluation, and acceptance of the completed radiographs to assure compliance with the requirements of Article 2 and the referencing Code Section. As an aid to the review and evaluation, the radiographic technique documentation required by T-291 shall be completed prior to the evaluation. The radiograph review form required by T-292 shall be completed during the evaluation. The radiographic technique details and the radiograph review form documentation shall accompany the radiographs. Acceptance shall be completed prior to presentation of the radiographs and accompanying documentation to the Inspector.

**T-290 DOCUMENTATION**

**T-291 Radiographic Technique Documentation Details**

04

The Manufacturer shall prepare and document the radiographic technique details. As a minimum, the following information shall be provided.

- (a) identification as required by T-224
- (b) the dimensional map (if used) of marker placement in accordance with T-275.3
- (c) number of radiographs (exposures)
- (d) X-ray voltage or isotope type used
- (e) source size (*F* in T-274.1)
- (f) base material type and thickness, weld thickness, weld reinforcement thickness, as applicable
- (g) source-to-object distance (*D* in T-274.1)
- (h) distance from source side of object to film (*d* in T-274.1)
- (i) film manufacturer and Manufacturer's type/designation
- (j) number of film in each film holder/cassette
- (k) single- or double-wall exposure
- (l) single- or double-wall viewing

**T-292 Radiograph Review Form**

The Manufacturer shall prepare a radiograph review form. As a minimum, the following information shall be provided.

- (a) a listing of each radiograph location
- (b) the information required in T-291, by inclusion or by reference
- (c) evaluation and disposition of the material(s) or weld(s) examined

- (d) identification (name) of the Manufacturer's representative who performed the final acceptance of the radiographs
- (e) date of Manufacturer's evaluation

## ARTICLE 2

### MANDATORY APPENDIX

#### APPENDIX VII — RADIOGRAPHIC EXAMINATION OF METALLIC CASTINGS

##### VII-210 SCOPE

Metallic castings, due to their inherent complex configurations, present examination conditions that are unique to this product form.

Radiographic examination may be performed on castings when the modified provisions to Article 2, as indicated herein, are satisfied.

##### VII-220 GENERAL REQUIREMENTS

##### VII-224 System of Identification

A system shall be used to produce permanent identification on the radiograph traceable to the contract, component, or part numbers, as appropriate. In addition, each film of a casting being radiographed shall be plainly and permanently identified with the name or symbol of the Material Manufacturer, Certificate Holder, or Subcontractor, job or heat number, date, and, if applicable, repairs (R1, R2, etc.). This identification system does not necessarily require that the information appear as radiographic images. In any case, this information shall not obscure the area of interest.

##### VII-270 EXAMINATION

##### VII-271 Radiographic Technique

VII-271.2 Double-Wall Viewing Technique. A double-wall viewing technique may be used for cylindrical castings  $3\frac{1}{2}$  in. (88 mm) or less in O.D. or when the shape of a casting precludes single-wall viewing.

##### VII-276 IQI Selection

VII-276.3 Additional IQI Selection Requirements. The thickness on which the IQI is based is the single-wall thickness.

(a) *Casting Areas Prior to Finish Machining.* The IQI shall be based on a thickness that does not exceed the finished thickness by more than 20% or  $\frac{1}{2}$  in. (6 mm), whichever is greater. In no case shall an IQI size be based on a thickness greater than the thickness being radiographed.

(b) *Casting Areas That Will Remain in the As-Cast Condition.* The IQI shall be based on the thickness being radiographed.

##### VII-280 EVALUATION

##### VII-282 Radiographic Density

VII-282.1 Density Limitations. The transmitted film density through the radiographic image of the body of the appropriate hole IQI or adjacent to the designated wire of a wire IQI and the area of interest shall be 1.5 minimum for single film viewing. For composite viewing of multiple film exposures, each film of the composite set shall have a minimum density of 1.0. The maximum density shall be 4.0 for either single or composite viewing. A tolerance of 0.05 in density is allowed for variations between densitometer readings.

##### VII-290 DOCUMENTATION

##### VII-293 Layout Details<sup>1</sup>

To assure that all castings are radiographed consistently in the same manner, layout details shall be provided. As a minimum, the layout details shall include:

(a) sketches of the casting, in as many views as necessary, to show the approximate position of each location marker; and

(b) source angles if not perpendicular to the film.

<sup>1</sup> Sample layout and technique details are illustrated in SE-1030, Appendix (Nonmandatory Information) X1, Fig. X1.1, Radiographic Standard Shooting Sketch (RSS).

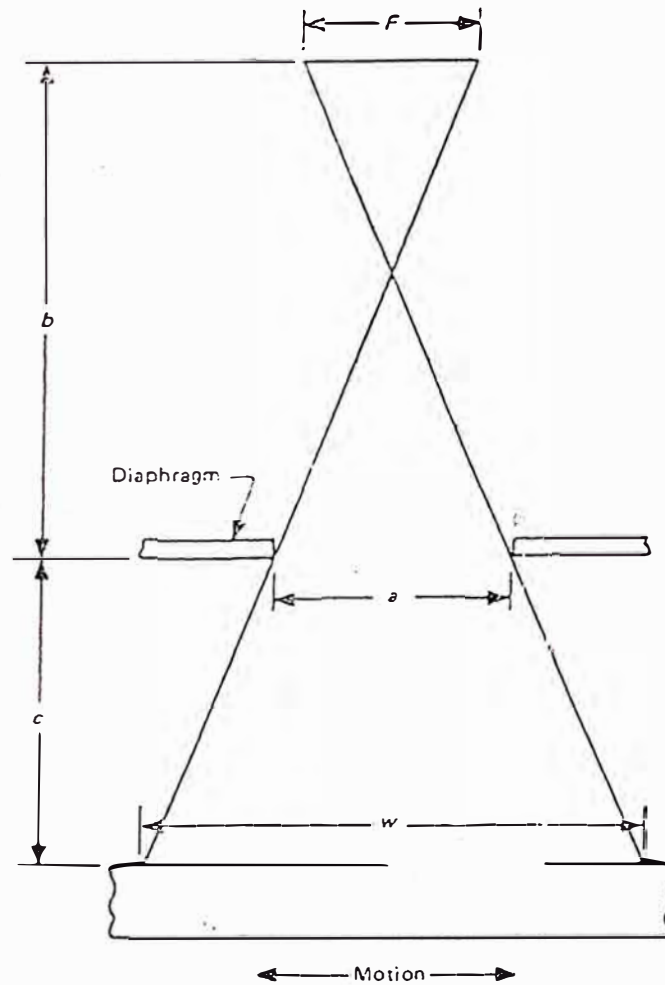


FIG. I-263 BEAM WIDTH DETERMINATION

**I-277 Placement and Number of IQIs**

(a) For longitudinal welds, hole IQIs shall be placed adjacent to and on each side of the weld seam, or on the weld seam at the beginning and end of the weld seam, and thereafter at approximately equal intervals not exceeding 36 in. (914 mm) or for each film cassette. Wire IQIs, when used, shall be placed on the weld seam so that the length of the wires is perpendicular to the length of the weld and spaced as indicated above for hole IQIs.

(b) For circumferential welds, hole IQIs shall be placed adjacent to and on each side of the weld seam or

on the weld seam in each quadrant or spaced no greater than 36 in. (914 mm) apart, whichever is smaller. Wire IQIs, when used, shall be placed on the weld seam so that the length of the wires is perpendicular to the length of the weld and spaced as indicated above for hole IQIs.

**I-279 Repaired Area**

When radiography of a repaired area is required, the length of the film used shall be at least equal to the length of the original location marker interval.

## ARTICLE 2

### MANDATORY APPENDIX

#### APPENDIX VII — RADIOGRAPHIC EXAMINATION OF METALLIC CASTINGS

##### VII-210 SCOPE

Metallic castings, due to their inherent complex configurations, present examination conditions that are unique to this product form.

Radiographic examination may be performed on castings when the modified provisions to Article 2, as indicated herein, are satisfied.

##### VII-220 GENERAL REQUIREMENTS

##### VII-224 System of Identification

A system shall be used to produce permanent identification on the radiograph traceable to the contract, component, or part numbers, as appropriate. In addition, each film of a casting being radiographed shall be plainly and permanently identified with the name or symbol of the Material Manufacturer, Certificate Holder, or Subcontractor, job or heat number, date, and, if applicable, repairs (R1, R2, etc.). This identification system does not necessarily require that the information appear as radiographic images. In any case, this information shall not obscure the area of interest.

##### VII-270 EXAMINATION

##### VII-271 Radiographic Technique

**VII-271.2 Double-Wall Viewing Technique.** A double-wall viewing technique may be used for cylindrical castings  $3\frac{1}{2}$  in. (88 mm) or less in O.D. or when the shape of a casting precludes single-wall viewing.

##### VII-276 IQI Selection

**VII-276.3 Additional IQI Selection Requirements.** The thickness on which the IQI is based is the single-wall thickness.

*(a) Casting Areas Prior to Finish Machining.* The IQI shall be based on a thickness that does not exceed the finished thickness by more than 20% or  $\frac{1}{4}$  in. (6 mm), whichever is greater. In no case shall an IQI size be based on a thickness greater than the thickness being radiographed.

*(b) Casting Areas That Will Remain in the As-Cast Condition.* The IQI shall be based on the thickness being radiographed.

##### VII-280 EVALUATION

##### VII-282 Radiographic Density

**VII-282.1 Density Limitations.** The transmitted film density through the radiographic image of the body of the appropriate hole IQI or adjacent to the designated wire of a wire IQI and the area of interest shall be 1.5 minimum for single film viewing. For composite viewing of multiple film exposures, each film of the composite set shall have a minimum density of 1.0. The maximum density shall be 4.0 for either single or composite viewing. A tolerance of 0.05 in density is allowed for variations between densitometer readings.

##### VII-290 DOCUMENTATION

##### VII-293 Layout Details<sup>1</sup>

To assure that all castings are radiographed consistently in the same manner, layout details shall be provided. As a minimum, the layout details shall include:

*(a)* sketches of the casting, in as many views as necessary, to show the approximate position of each location marker; and

*(b)* source angles if not perpendicular to the film.

<sup>1</sup> Sample layout and technique details are illustrated in SE-1030, Appendix (Nonmandatory Information) X1, Fig. X11, Radiographic Standard Shooting Sketch (RSS).



## ARTICLE 2 NONMANDATORY APPENDIX

### APPENDIX A — RECOMMENDED RADIOGRAPHIC TECHNIQUE SKETCHES FOR PIPE OR TUBE WELDS

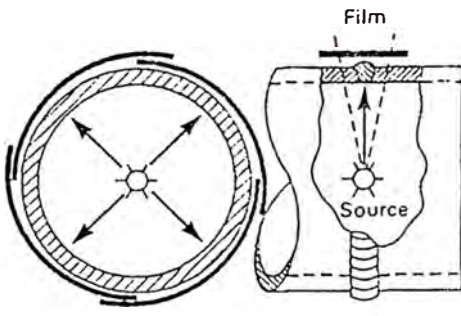
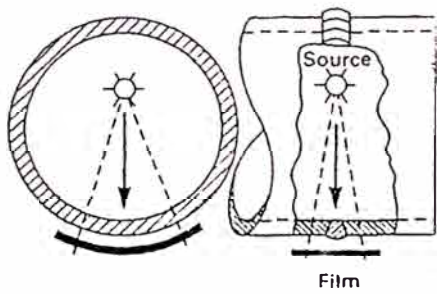
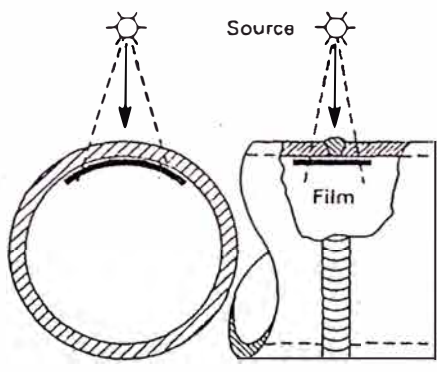
#### A-210 SCOPE

The sketches in this Appendix illustrate techniques used in the radiographic examination of pipe or tube welds.

Other techniques may be used.

ARTICLE 2 — NONMANDATORY APPENDICES

FIG. A-210-1 SINGLE-WALL RADIOGRAPHIC TECHNIQUES

O.D.	Exposure Technique	Radiograph Viewing	Source-Weld-Film Arrangement		IQI		Location Marker Placement
			End View	Side View	Selection	Placement	
Any	Single-Wall T-271.1	Single-Wall	 <p>Exposure Arrangement — A</p>		T-276 and Table T-276	Source Side T-277.1(a)	Either Side T-275.3 T-275.1(c)
				Film Side T-277.1(b)			
Any	Single-Wall T-271.1	Single-Wall	 <p>Exposure Arrangement — B</p>		T-276 and Table T-276	Source Side T-277.1(a)	Film Side T-275.1 (b)(1)
				Film Side T-277.1(b)			
Any	Single-Wall T-271.1	Single-Wall	 <p>Exposure Arrangement — C</p>		T-276 and Table T-276	Source Side T-277.1(a)	Source Side T-275.1 (a)(3)
				Film Side T-277.1(b)			

2004 SECTION V

FIG. A-210-2 DOUBLE-WALL RADIOGRAPHIC TECHNIQUES

O.D.	Exposure Technique	Radiograph Viewing	Source-Weld-Film Arrangement		IQI		Location Marker Placement
			End View	Side View	Selection	Placement	
Any	Double-Wall: T-271.2(a) at Least 3 Exposures 120 deg. to Each Other for Complete Coverage	Single-Wall	<p>Exposure arrangement — D</p>		T-276 and Table T-276	Source Side T-277.1(a) Film Side T-277.1(b)	Film Side T-275.1(b)(1)
Any	Double-Wall: T-271.2(a) at least 3 Exposures 120 deg. to Each Other for Complete Coverage	Single-Wall	<p>Exposure arrangement — E</p>		T-276 and Table T-276	Source Side T-277.1(a) Film Side T-277.1(b)	Film Side T-275.1(b)(1)
3½ in. (88 mm) or Less	Double-Wall T-271.2(b)(1) at Least 2 Exposures at 90 deg. to Each Other for Complete Coverage	Double-Wall (Ellipse): Read Off-Set Source Side and Film Side Images	<p>Exposure arrangement — F</p>		T-276 and Table T-276	Source Side T-277.1(a)	Either Side T-275.2

(continued)

ARTICLE 2 — NONMANDATORY APPENDICES

FIG. A-210-2 DOUBLE-WALL RADIOGRAPHIC TECHNIQUES (CONT'D)

O.D.	Exposure Technique	Radiograph Viewing	Source-Weld-Film Arrangement		IQI		Location Marker Placement
			End View	Side View	Selection	Placement	
3 1/2 in. (88 mm) or Less	Double-Wall: T-271.2(b)(2) at Least 3 Exposures at 60 deg. or 120 deg. to Each Other for Complete Coverage	Double-Wall: Read Super-Imposed Source Side and Film Side Images			T-276 and Table T-276	Source Side T-277.1(a)	Either Side T-275.2

## ARTICLE 2

### NONMANDATORY APPENDIX

#### APPENDIX C — HOLE-TYPE IQI PLACEMENT SKETCHES FOR WELDS

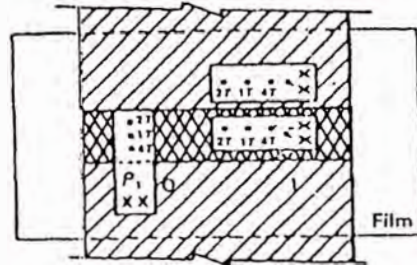
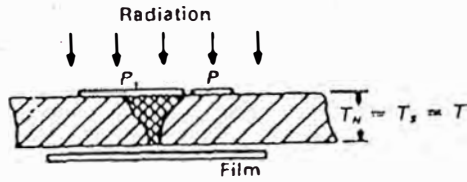
##### C-210 SCOPE

The figures in this Appendix demonstrate typical IQI (hole type) placement for welds. These sketches are tuto-

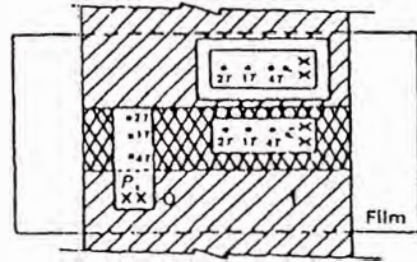
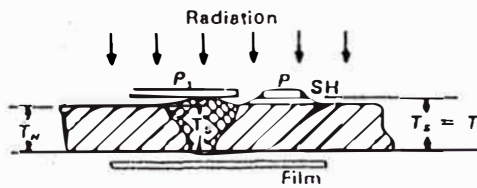
rial to demonstrate suggested locations of IQIs and are not intended to cover all configurations or applications of production radiography. Other IQI locations may be used provided they comply with the requirements of Article 2. Wire IQIs shall be placed in accordance with the requirements of Article 2.

\*

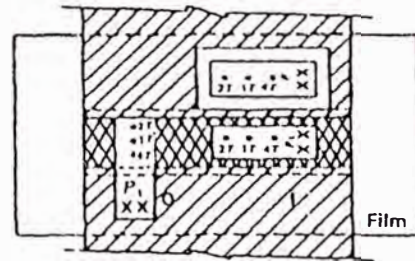
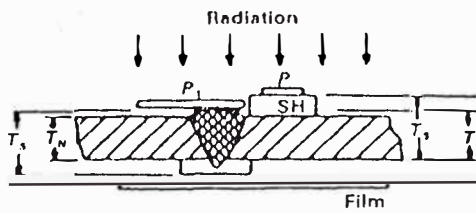
ARTICLE 2 — NONMANDATORY APPENDICES



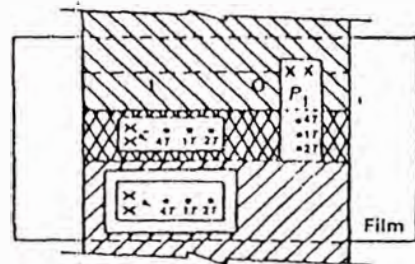
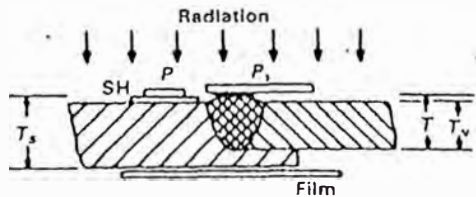
(a) Single Wall, No Reinforcement, No Back-Up Strip



(b) Single Wall, Weld Reinforcement, No Back-Up Strip



(c) Single Wall, Weld Reinforcement, Back-Up Strip



(d) Single Wall, Integral Backing Ring, Weld Reinforcement

GENERAL NOTE:

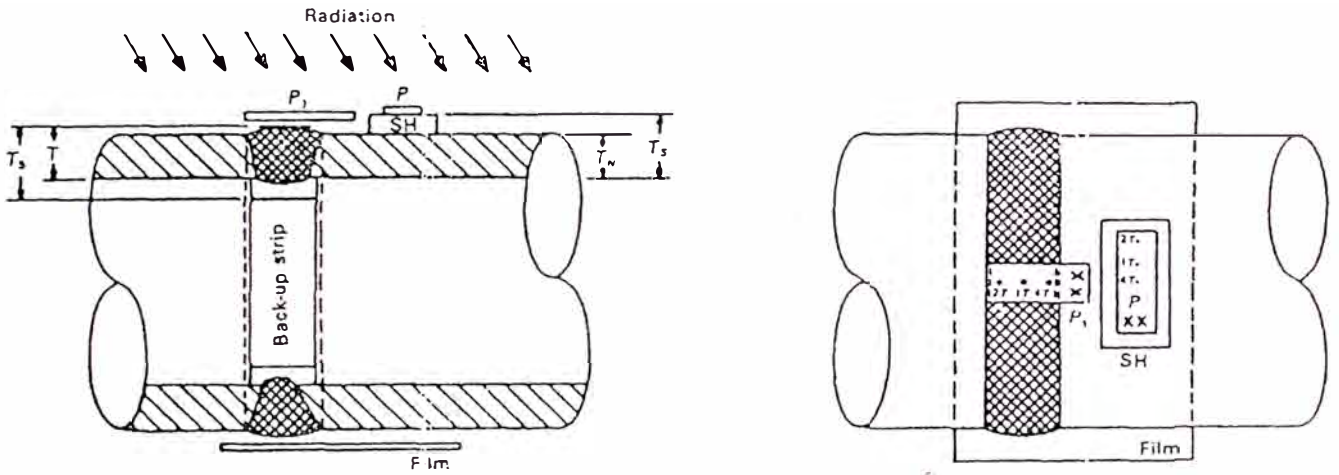
$P$  and  $P_1$  are suggested placements of IQIs and are not intended to cover all geometric configurations or applications of production radiography.

LEGEND:

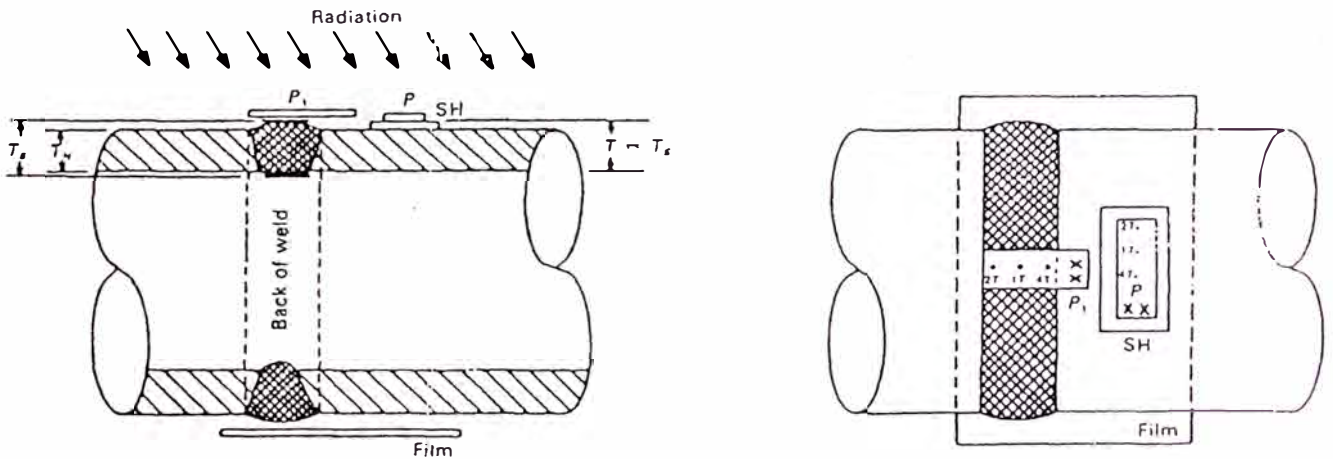
- $P$  = IQI placement
- $P_1$  = alternate IQI placement
- SH = shim
- $T$  = weld thickness upon which the IQI is based
- $T_W$  = nominal wall thickness
- $T_S$  = total thickness including backing strip and/or reinforcement when not removed

FIG. C-210-1 SIDE AND TOP VIEWS OF HOLE-TYPE IQI PLACEMENTS

2004 SECTION V



(a) Double-Wall Technique, Double-Wall Viewing, With Weld Reinforcement and Back-Up Strip



(b) Double-Wall Technique, Double-Wall Viewing, With Weld Reinforcement and No Back-Up Strip

GENERAL NOTES:

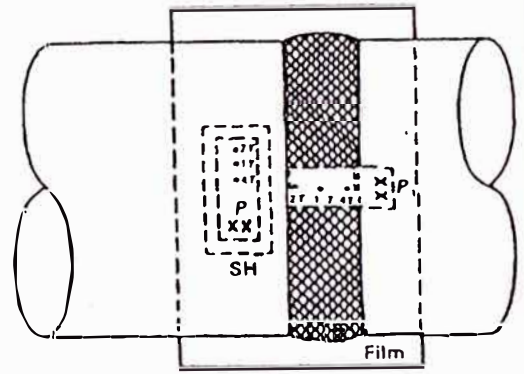
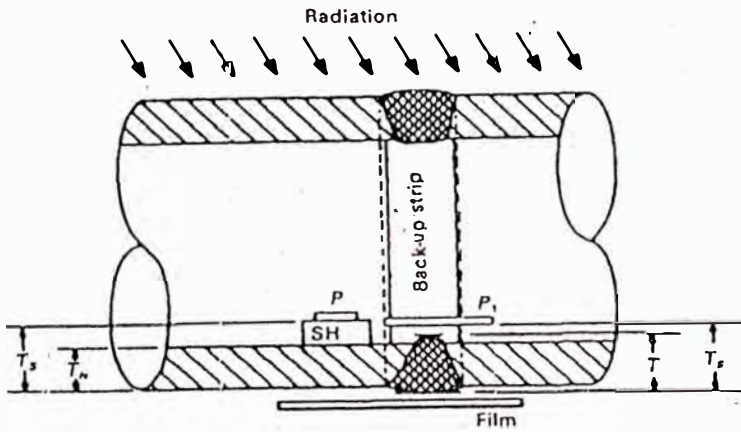
- (a)  $P$  and  $P_1$  are suggested placements of IQIs and are not intended to cover all geometric configurations or applications of production radiography.
- (b) IQI is based on the single-wall thickness plus reinforcement.

LEGEND:

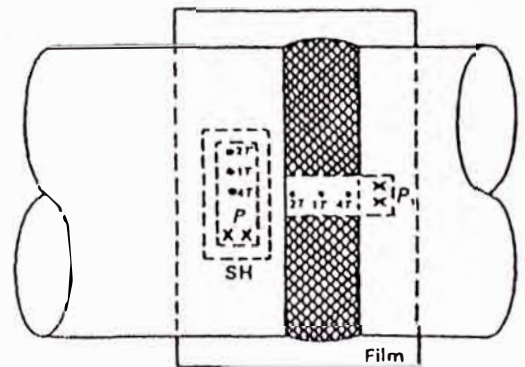
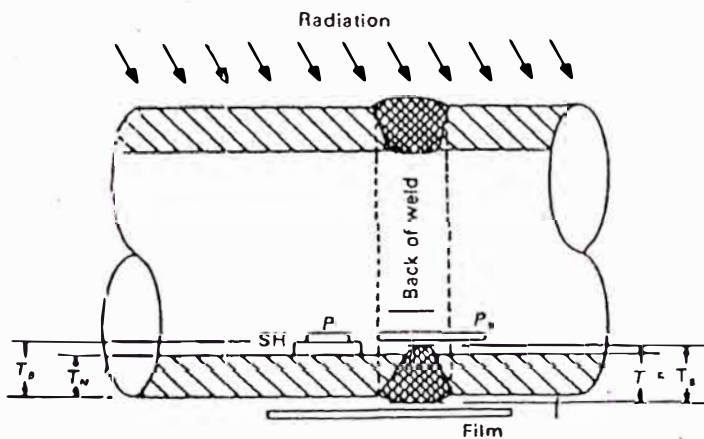
- $P$  = IQI placement
- $P_1$  = alternate IQI placement
- SH = shim
- $T$  = weld thickness upon which the IQI is based
- $T_N$  = nominal wall thickness
- $T_S$  = total thickness including backing strip and/or reinforcement when not removed

FIG. C-210-2 SIDE AND TOP VIEWS OF HOLE-TYPE IQI PLACEMENTS

ARTICLE 2 — NONMANDATORY APPENDICES



(a) Double-Wall Technique, Single-Wall Viewing, Back-Up Strip



(b) Double-Wall Technique, Single-Wall Viewing, Wall Reinforcement, No Back-Up Strip

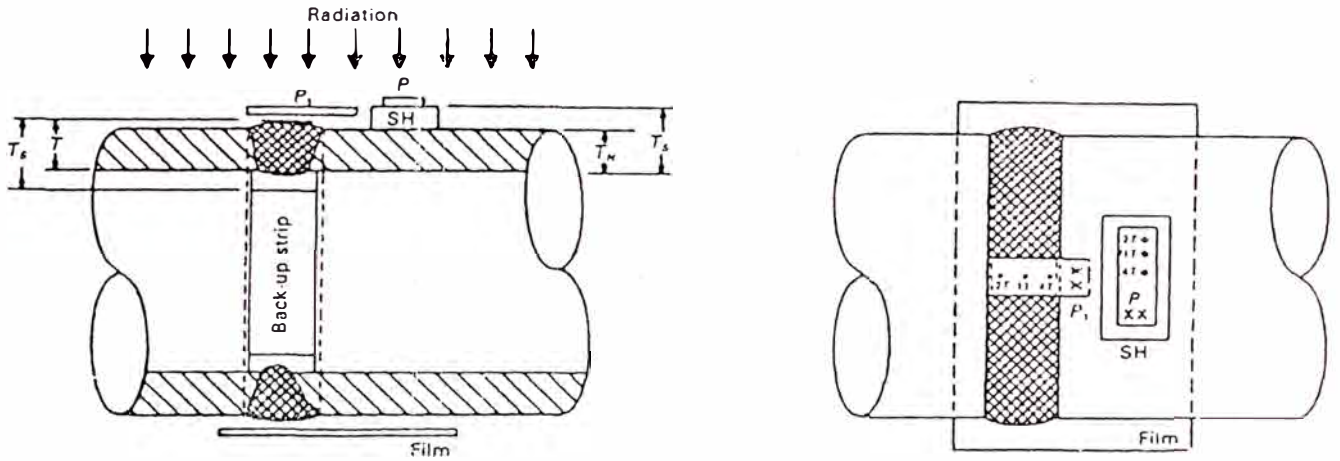
GENERAL NOTE:  
 $P$  and  $P_1$  are suggested placements of IQIs and are not intended to cover all geometric configurations or applications of production radiography.

LEGEND:  
 $P$  = IQI placement  
 $P_1$  = alternate IQI placement  
 SH = shim  
 $T$  = weld thickness upon which the IQI is based  
 $T_N$  = nominal wall thickness  
 $T_S$  = total thickness including backing strip and/or reinforcement when not removed

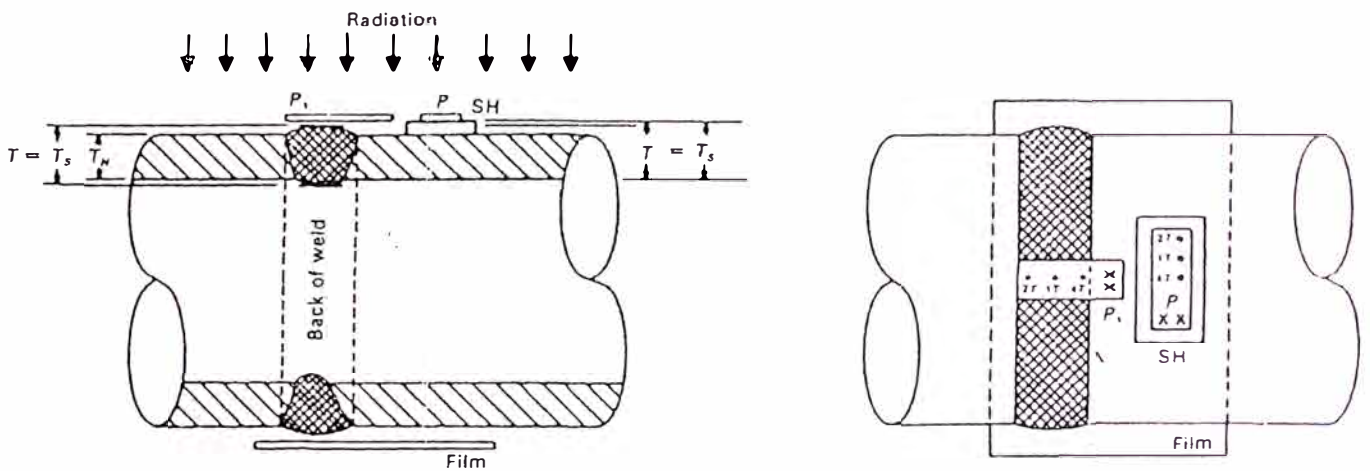
FIG. C-210-3 SIDE AND TOP VIEWS OF HOLE-TYPE IQI PLACEMENTS



2004 SECTION V



(a) Double-Wall Technique, Double-Wall Viewing, With Weld Reinforcement and Back-Up Strip



(b) Double-Wall Technique, Double-Wall Viewing, With Weld Reinforcement and No Back-Up Strip

GENERAL NOTES:

- (a)  $P$  and  $P_1$  are suggested placements of IQIs and are not intended to cover all geometric configurations or applications of production radiography.
- (b) IQI is based on the single-wall thickness plus reinforcement.

LEGEND:

- $P$  = IQI placement
- $P_1$  = alternate IQI placement
- SH = shim
- $T$  = weld thickness upon which the IQI is based
- $T_w$  = nominal wall thickness
- $T_s$  = total thickness including backing strip and/or reinforcement when not removed

FIG. C-210-4 SIDE AND TOP VIEWS OF HOLE-TYPE IQI PLACEMENTS

## ARTICLE 2

# NONMANDATORY APPENDIX

### APPENDIX D — NUMBER OF IQIs (SPECIAL CASES)

special cases described in T-277.2(b). These figures are not intended to cover all configurations or applications of production radiography.

#### D-210 SCOPE

The figures in this Appendix illustrate examples of the number and placement of IQIs that may be used in the

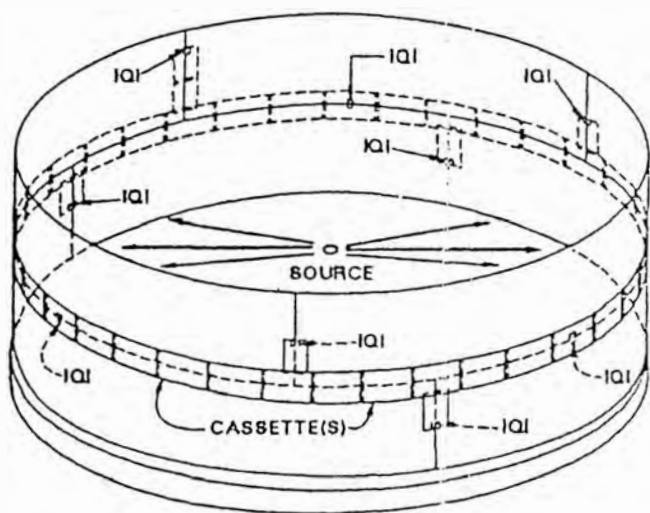


FIG. D-210-1 COMPLETE CIRCUMFERENCE CYLINDRICAL COMPONENT [T-277.2(b)(1)(a) & T-277.2(b)(3)]

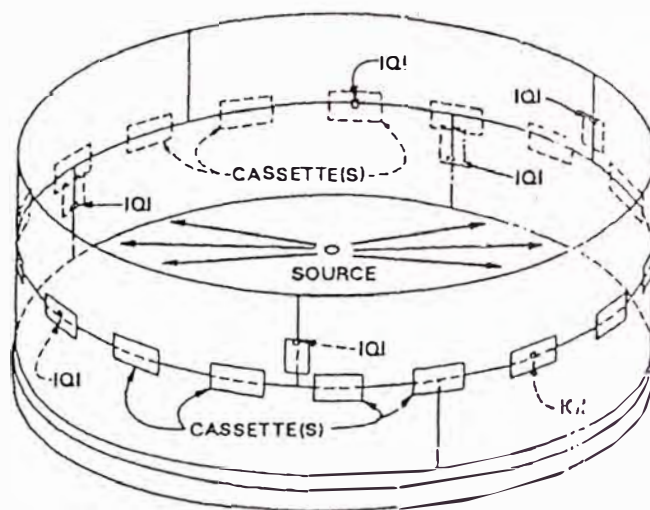


FIG. D-210-2 SECTION OF CIRCUMFERENCE 240 deg. OR MORE CYLINDRICAL COMPONENT (EXAMPLE IS ALTERNATE INTERVALS; [T-277.2(b)(1)(b) & T-277.2(b)(3)]

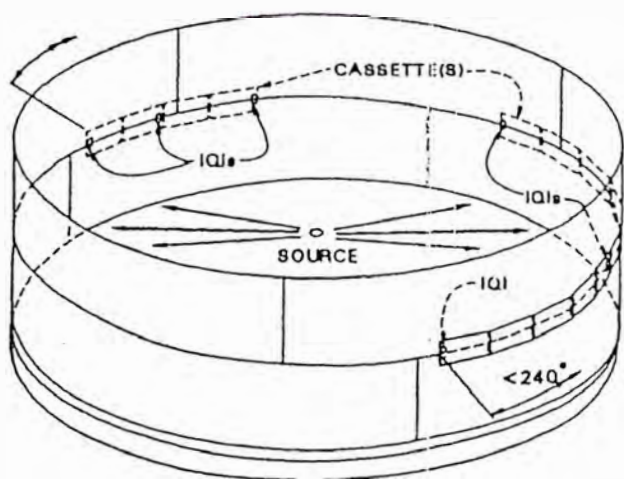


FIG. D-210-3 SECTION(S) OF CIRCUMFERENCE LESS THAN 240 deg. CYLINDRICAL COMPONENT [T-277.2(b)(2)(b)]

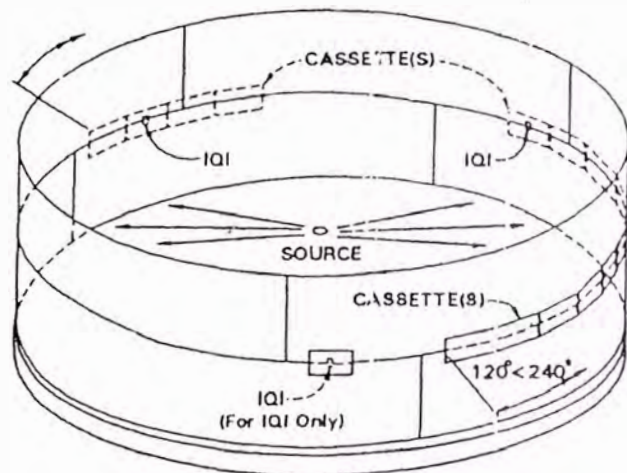


FIG. D-210-4 SECTION(S) OF CIRCUMFERENCE EQUAL TO OR MORE THAN 120 deg. AND LESS THAN 240 deg. CYLINDRICAL COMPONENT [T-277.2(b)(2)(b) OPTION]

ARTICLE 2 — NONMANDATORY APPENDICES

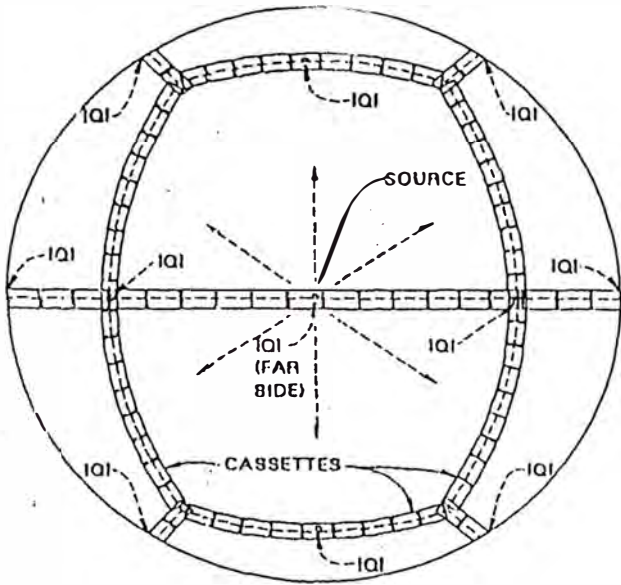


FIG. D-210-5 COMPLETE CIRCUMFERENTIAL WELDS SPHERICAL COMPONENT [T-277.2(b)(4)(a) & T-277.2(b)(6)]

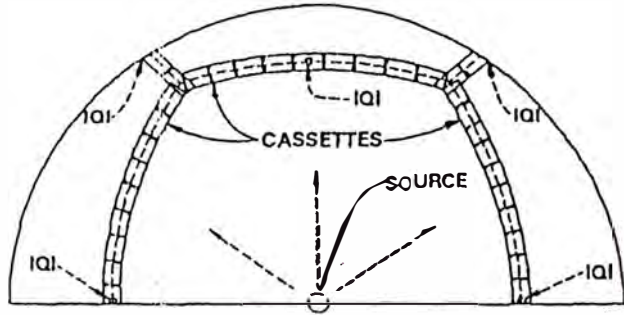


FIG. D-210-6 WELDS IN SEGMENTS OF SPHERICAL COMPONENT [T-277.2(b)(5) & T-277.2(b)(5)(b) & T-277.2(b)(6)]

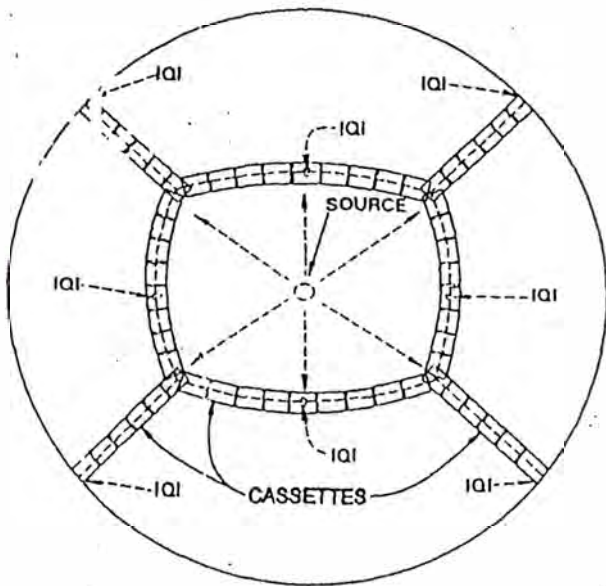
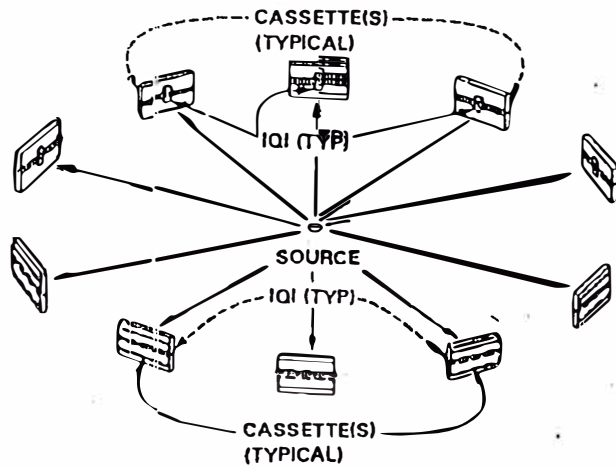


FIG. D-210-7 PLAN VIEW A-A



Note: Special Cases IQI Locations are Typical in All Figures.

FIG. D-210-8 ARRAY OF OBJECTS IN A CIRCLE [T-277.2(b)(7)]



# Standard Guide for Controlling the Quality of Industrial Radiographic Film Processing<sup>1</sup>

This standard is issued under the fixed designation E 999; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon ( $\epsilon$ ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

## 1. Scope

1.1 This guide<sup>2</sup> establishes guidelines that may be used for the control and maintenance of industrial radiographic film processing equipment and materials. Effective use of these guidelines aid in controlling the consistency and quality of industrial radiographic film processing.

1.2 Use of this guide is limited to the processing of films for industrial radiography. This guide includes procedures for wet-chemical processes and dry processing techniques.

1.3 The necessity of applying specific control procedures such as those described in this guide is dependent, to a certain extent, on the degree to which a facility adheres to good processing practices as a matter of routine procedure.

1.4 If a nondestructive testing agency as described in Practice E 543 is used to perform the examination, the testing agency shall meet the requirements of Practice E 543.

1.5 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety, health, and environmental practices and determine the applicability of federal and local codes prior to use.*

## 2. Referenced Documents

### 2.1 ASTM Standards:

E 94 Guide for Radiographic Testing<sup>3</sup>

E 543 Practice for Agencies Performing Nondestructive Testing<sup>3</sup>

E 1079 Practice for Calibration of Transmission Densitometers<sup>3</sup>

E 1254 Guide for Storage of Radiographs and Unexposed Industrial Radiographic Films<sup>3</sup>

E 1316 Terminology for Nondestructive Examinations<sup>3</sup>

### 2.2 ANSI Standard:

ANSI P11 4.8 Methylene Blue Method for Measuring Thio-sulfate and Silver Densitometric Method for Measuring

Residual Chemicals in Films, Plates, and Papers<sup>4</sup>

## 3. Terminology

3.1 *Definitions*—For definitions of terms used in this guide, see Terminology E 1316.

## 4. Significance and Use

4.1 The provisions in this guide are intended to control the reliability or quality of the image development process only and are not intended for controlling the acceptability or quality of industrial radiographic films or of the materials or products radiographed. It is further intended that this guide be used as an adjunct to and not a replacement for Guide E 94.

## 5. Chemical Mixing for Manual and Automatic Processes

5.1 Any equipment that comes in contact with processing solutions should be made of glass, hard rubber, polyethylene, PVC, enameled steel, stainless steel, or other chemically inert materials. This includes materials such as plumbing, mixing impellers, and the cores of filter cartridges. Do not allow materials such as tin, copper, steel, brass, aluminum, or zinc to come into contact with processing solutions. These materials can cause solution contamination that may result in film fogging or rapid oxidation.

### 5.2 Mixing Chemicals:

5.2.1 Do not mix powdered chemicals in processor tanks, since undissolved particles may be left in the square corners of the tank. Mix solutions in separate containers made from materials specified in 5.1.

5.2.2 Carefully follow the manufacturer's package directions or formulas for mixing the chemicals. Start with the correct volume of water at the temperature specified in the instructions, and add chemicals in the order listed.

5.2.3 **Caution**—During the mixing and use of photographic processing chemicals, be sure to observe all precautionary information on chemical containers and in instructions.

### 5.3 Contamination of Solutions:

5.3.1 Thoroughly clean all mixing equipment immediately after use to avoid contamination when the next solution is mixed. When mixing fixer from powder, make sure to add the

<sup>1</sup> This guide is under the jurisdiction of ASTM Committee E-7 on Nondestructive Testing and is the direct responsibility of Subcommittee E07.01 on Radiology (X and Gamma) Method.

Current edition approved Dec. 10, 1999. Published February 2000. Originally published as E 999 – 90. Last previous edition E 999 – 95.

<sup>2</sup> For ASME Boiler and Pressure Vessel Code applications see related Specification SE-999 in Section II of that Code.

<sup>3</sup> *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.03.

<sup>4</sup> Available from American National Standards Institute, 11 West 42nd Street, 13th Floor, New York, NY 10036.

powder carefully to the water in the mixing tank so that fixer dust does not get into other processing solutions. When mixing any chemical, protect nearby tank solutions with floating lids and dust covers. The use of a vent hood is recommended as a safety precaution.

5.3.2 The water supply should either be distilled or filtered so that it is clean and sediment-free.

5.3.3 If large tanks are used for mixing, carefully mark the volume levels to be certain that volumes are correct.

5.3.4 Use of impeller-type mixers provides rapid, thorough mixing but take care to position the impeller at such an angle and depth that the minimum amount of air will be drawn into the solution. Over-mixing of the solutions can cause oxidation, especially with developers, and should be avoided. Rinse the shaft, impeller, and mounting clamp with water after use.

#### 5.4 *Maintaining Equipment:*

5.4.1 Immediately clean all mixing equipment after use.

5.4.2 In addition to cleaning equipment immediately after use, wash any mixing apparatus that has been idle for a long period of time to eliminate dust and dirt that may have accumulated.

5.4.3 Processing hangers and tanks should be free of corrosion and chemical deposits. Encrusted deposits that accumulate in tanks, trays, and processing equipment and that are difficult to remove by conventional cleaning, can be removed by using the specially formulated cleaning agents recommended by the chemical or equipment manufacturer.

## 6. Storage of Solutions

6.1 *In Original Containers*—Follow the manufacturer's storage and capacity recommendations packaged with the chemicals. Do not use chemicals that have been stored longer than recommended.

6.2 *In Replenisher or Process Tanks*—Wherever possible, protect solutions in tanks with floating lids and dust covers. In addition to preventing contaminants from entering solutions, floating lids and dust covers help to minimize oxidation and evaporation from the surface of the solutions. Evaporation can concentrate solutions and reduce temperatures causing precipitation of some of the solution constituents.

6.2.1 Store replenisher solutions for small volume operations in airtight containers. The caps of these containers should be free of corrosion and foreign particles that could prevent a tight fit.

6.3 *Temperature*—Store all solutions at normal room temperature, between 40 to 80°F (4 to 27°C). Storing solutions, particularly developer, at elevated temperatures can produce rapid oxidation resulting in loss of activity and a tendency to stain the film. Storage at too low a temperature can cause some solution to crystallize, and the crystals may not redissolve even with heating and stirring.

6.4 *Deterioration*—Photographic chemicals can deteriorate either with age or with usage. Carefully follow the manufacturer's recommendations for storage life and useful capacity. Discard processing solutions when the recommended number of films have been processed or the recommended storage life of the prepared solution has been reached, whichever occurs first.

#### 6.5 *Contamination:*

6.5.1 Liquid chemicals are provided in containers with tight-fitting tops. To avoid contamination, never interchange the top of one container with another.

6.5.2 Clearly label replenisher storage tanks with the solution that they contain and use that container only with that solution. If more than one developer or one fixer formulation are being used, a separate replenisher tank should be dedicated to each chemical. Differences in developer or fixer formulations from one manufacturer to another may contaminate similar solutions.

## 7. Processing

### 7.1 *Manual Processing:*

7.1.1 Follow the temperature recommendations from the film or solution manufacturer and check thermometers. Check thermometers and temperature-controlling devices periodically to be sure that the process temperatures are correct. Process temperatures should be checked at least once per shift. Keep the temperature of the stop (if used), fixer, and wash water within  $\pm 5^\circ\text{F}$  ( $\pm 3^\circ\text{C}$ ) of the developer temperature.

7.1.2 **Caution**—An unprotected mercury-filled thermometer should never be used for photographic processing applications because accidental breakage could result in serious mercury contamination of the process.

7.1.3 Control of processing solution temperature and immersion time relationships are instrumental considerations when establishing a processing procedure that will consistently produce radiographs of desired density and quality. The actual time and temperature relationships established are governed largely by the industrial radiographic films and chemicals used and should be within the limits of the manufacturer's recommendations for those materials. When determining the immersion time for each solution assure that the draining time is included. Draining time should be consistent from solution to solution. The darkroom timers used should be periodically checked for accuracy.

7.1.4 Agitate at specified intervals for the times recommended by the film or solution manufacturer.

7.1.5 During film processing certain constituents within the solutions undergo chemical transformations that render them useless for further processing functions. In addition, some solution adheres to the film and is carried on into the next solution during processing. In order to compensate for these reductions in solution activity and volume, add replenishment solution. The volume of replenishment necessary is governed primarily by the number, size, and density of films processed. Manufacturer's recommendations for replenishment are based on these criteria and will generally provide suitable results for the expected life of the solution. In any case, maintain solution levels to ensure complete immersion of the film.

7.1.6 The functional constituents in a freshly mixed developer solution tend to overreact on the initial films processed and may develop unexposed areas on the films. For this reason, measures should be taken to stabilize the activity of the solution and thus *season* the developer. This can be accomplished by the use of developer starter solution or by processing a series of *seasoning films* (see Note 1) in the freshly mixed solution. When using developer starter solution follow the manufacturer's recommendations for the product. When using

seasoning films expose the films with visible light and then develop these films in the solution to be seasoned. Use three 14 by 17-in. (35 by 43-cm) films, or equivalent, per gallon (3.8 L) of developer.

**Note 1**—Seasoning films may be new films or films that may not be generally suitable for production purposes due to excessive gross fog (base plus fog) density, expiration of shelf life, or other reasons.

7.1.7 Handle all films carefully during the processing cycle and allow adequate time for the film to sufficiently drain before transferring it to the next solution. The use of a stop bath or clear water rinse between developing and fixing may also be appropriate. The stop bath or clear water rinse serve to arrest development and also aids in minimizing the amount of developer carried over into the fixer solution. Insufficient bath-to-bath drain time may cause excessive solution carry-over which can contaminate and shorten the life of solutions in addition to causing undesirable effects on processed radiographs.

7.1.8 When washing films, a wetting agent may be appropriate to use to prevent water spots and streaking during drying.

7.1.9 **Caution**—Prior to placing films in the dryer, ensure that the dryer is clean and that adequate heat and ventilation are provided. During drying, visually examine the films to determine the length of time required for sufficient drying.

#### 7.2 Automated Processing:

7.2.1 Immersion time and solution temperature relationships can be more closely controlled with automatic processing since the equipment provides external gages for monitoring purposes. As a general guideline, follow the manufacturer's recommendations for industrial processing materials. However, the actual procedure used should be based on the variables encountered by the user and his particular needs. Check solutions daily or with established frequency based upon usage to ensure that temperatures are within the manufacturer's recommendations. Check the processor's thermometer with a secondary thermometer during normal maintenance procedures to verify correct processing temperatures within the manufacturer's specifications.

7.2.2 Transport speed should be checked during normal maintenance procedures by measuring the time it takes for a given length of film to pass a specific point. (For example, if the indicated machine speed is 2 ft/min, place two marks on a length of film 1 ft apart. The second mark should pass a specific location, such as the entrance to the processor, exactly 30 s after the first mark has passed the same point.) An optional method for measuring processor speed is to install a tachometer on the main drive motor and determine desired RPM/processing speed relationships.

7.2.3 Agitation is provided by the action of the processor rollers, recirculation pumps, wash water flow, and no external agitation is needed.

7.2.4 For processors with replenishment systems, use the replenishment rates recommended by the film or solution manufacturer.

7.2.4.1 Accurate replenishment increases the useful life of solutions to a great extent by replacing ingredients that are depleted and maintains the process at a constant, efficient level.

7.2.4.2 Replenisher rates should be verified during normal maintenance procedures to ensure that the correct volumes are being injected into the solutions. For installations processing very large amounts of film (in excess of two tank turnovers of replenisher per week), checks on replenishment rates should be made more frequently. Processor manufacturer's recommendations will generally provide an adequate procedure for checking replenishment volumes.

7.2.5 For seasoning freshly mixed developer solution, refer to the provisions in 7.1.6.

7.2.6 Always fill the fixer tank first, following the manufacturer's instructions, then rinse and fill the developer tank. This minimizes the possibility of fixer accidentally splashing into the developer solution. When replacing or removing processor racks, always use a splash guard to further reduce the possibility of contamination.

#### 7.2.7 Drying:

7.2.7.1 Make sure the dryer is clean and that no foreign material has settled on the rollers. Routinely examine the ventilation system to ensure that air paths are not blocked and that films are uniformly dried. There are two types of dryer systems used in automatic film processors for industrial radiographic films:

(1) Convection dryers are circulating air systems with thermostatic controls. Normal drying temperatures range from 80 to 120°F when relative humidity (RH) conditions are approximately 40 to 75%. Relative humidities above 75% may require higher temperatures.

(2) Infrared (IR) dryers are based principally on absorption rather than temperature. Relative humidity has no adverse affect on infrared drying. Infrared energy levels are preset by the manufacturer and provide a range of dryer settings.

7.2.7.2 The dryer efficiency can be tested by processing six consecutive 14 by 17-in. (35 by 43-cm) production films, or equivalent and examining them immediately after the drying cycle is complete. If damp or undried areas are observed, increase the dryer setting. Should an increase in dryer temperature for convection dryers or an increase in energy for infrared dryers not dry the film, the following conditions should be investigated:

(1) Wash water that is too warm will cause excessive emulsion swelling. This can adversely affect film drying in convection dryers.

(2) Incoming dryer air that is either too humid or too cold can adversely affect film drying in the convection dryer.

(3) Check if oven-temperature devices or IR radiators, or both, are operational in infrared dryers.

(4) The fixer solution activity may not be in accordance to manufacturing recommendations and should be tested in accordance with 8.6.

#### 7.3 Dry Processing:

7.3.1 Follow manufacturers recommendations for thermal processor warm-up requirements.

7.3.2 Follow time-temperature recommendations from the manufacturer.

## 8. Activity Testing of Solutions for Manual and Automatic Processing

8.1 To establish a reliable procedure for determining the activity of processing solutions, it will be necessary to provide a minimal amount of equipment and the proper selection and storage of radiographic control films.

### 8.2 Sensitometric Step Tablets:

8.2.1 A metallic step wedge or other suitable object(s) of uniform material and varying thickness(es), of either aluminum or steel can be used with a given X-ray or gamma-ray exposure to create a sensitometric control strip.

8.2.2 Electronic sensitometers and pre-exposed sensitometric control strips are also commercially available. The user of electronic sensitometers (film exposed to white light) should be aware that such usage, when accompanied by an appropriate white-light sensitive industrial film, results in greater response. Consequently, maintenance of developing parameters must be at a higher and more frequent level.

8.3 *Radiographic Monitoring Films*—Radiographic films are made in batches where the characteristics may vary slightly between batches. These changes from emulsion to emulsion may be detectable and could be confused with the changes in the radiographic processing system.

8.3.1 Monitoring films must be properly stored to ensure that the film characteristics of the first sheet will be the same as the last sheet used. See Guide E 1254

8.3.2 A monitoring film should be the same brand and type predominantly used in the facilities processing system

8.3.3 The first sensitometric film processed through freshly mixed and seasoned chemistry (see 7.1.6) will become the reference or standard for a box of control film.

8.3.4 Subsequent monitoring films are then produced on an as-needed basis and compared to the reference film to determine sensitometric changes within the processor. Generally, the higher the film volume processed, the more often QA checks should be performed.

8.3.5 If a monitoring film produces unusually high or low densities exceeding the tolerance limits, then the processing and sensitometric exposure conditions should be rechecked and repeated, if necessary. If the results are still out of tolerance, the cause must be located and corrected. Generally, a small adjustment in replenishment rates is necessary until a sensitometric film processor activity balance is established

8.3.6 Whenever a new monitoring film becomes necessary to change from one emulsion to another, two films each (from the new box and the old box) should be exposed and processed simultaneously to adjust for normal film manufacturing sensitometric variations.

### 8.4 Densitometer:

8.4.1 A transmission densitometer should be used capable of reading densities from 0.0 to 4.0, with an aperture on the order of 1.0 to 3.0 mm in diameter. The densitometer should be calibrated in accordance with Practice E 1079.

### 8.5 Developer:

8.5.1 The developer activity should be checked by processing a pre-exposed sensitometric strip, a radiograph of a step wedge, or a test part for measuring four film densities, one at base + fog (unexposed area of film) and three between 1.5 and

4.0 in three areas of interest (high, medium, and low densities). These four areas are also known as the Aim Film densities.

8.5.2 The film densities in the areas of interest being monitored should be within  $\pm 10\%$  of the original monitoring film density. Variations within this range are generally considered normal and should not adversely affect radiographic quality.

### 8.6 Fixer:

8.6.1 Fixer solution activity can be determined by measuring the clearing time. After the fixer solution has reached an operating temperature, place an unprocessed X-ray film into the fixer solution and measure the time required to remove the silver halide crystals; this is known as the clearing time. Removal of the X-ray film silver halide crystals can be observed when the X-ray film turns from a reflective color to a clear translucent film in the fixer. Clearing time should be 25 % less than the fixer immersion time. The film should be periodically agitated during manual processing.

8.6.2 If physical examination shows unfixed spots or areas, the fixer should be discarded. Unfixed areas may appear as dull, nonreflective areas that may be yellowish in color depending on the actual lack of fixer activity.

### 8.7 Wash:

8.7.1 Proper washing is necessary to remove residual fixer from the film. If not removed from the film, these chemicals will cause subsequent damage (staining) and deterioration of the radiographic image, especially in low-density areas.

8.7.2 The effectiveness of washing may be checked using the *residual thiosulphate chemicals* test described in Guide E 94 or ANSI PH 4.8.

8.7.3 If physical examination of the films after washing shows dirt or scum that was not present before washing, the wash tanks should be drained and cleaned. Drain wash tanks whenever they are not being used. In order to minimize washing artifacts it is recommended that *scavenger films* be processed at start up to clear out scum and foreign material; the use of algacides is also recommended to retard the growth of organisms within the wash bath.

8.7.4 The newer cold-water-type processors do not require a control valve to regulate water temperatures. However, many older-type processors require that the incoming water temperature be set within certain limits of the developer temperature. Exceeding these limits may not allow the processor to adequately control the developer temperature, which may cause density variations.

## 9. Records

9.1 Accurate records should be kept of the following items:

- 9.1.1 Brand name and model of processor, if used.
- 9.1.2 Brand names and batch number of chemicals used.
- 9.1.3 Time of development.
- 9.1.4 Temperature of processing chemicals.
- 9.1.5 Date new chemicals were placed in use.
- 9.1.6 Replenishment rates.

## 10. Maintenance

10.1 Maintenance schedules provided by the manufacturer for preventive maintenance should be adhered to in order to



assure consistent chemical and mechanical operation as set forth by the manufacturer.

## 11. Keywords

11.1 automatic processing; film; manual processing; processing; radiographic; solutions

*ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.*

*This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.*

*This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or [service@astm.org](mailto:service@astm.org) (e-mail), or through the ASTM website ([www.astm.org](http://www.astm.org)).*