

T. UES
1503
M3852
2001
Ej. 2

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO EXPERIMENTAL
DE GAMMAGRAFÍA INDUSTRIAL PARA EVALUAR SOLDADURAS
A TOPE Y LA CALIDAD DE IMÁGENES DE RADIOGRAFÍAS
INDUSTRIALES.**

PRESENTADO POR :

15100850

**ELMER ROMEO MARTÍNEZ GARCÍA
ERNESTO NAPOLEÓN VIDES ALVARADO**

15100850

PARA OPTAR AL TÍTULO DE :

INGENIERO MECÁNICO



5068

CIUDAD UNIVERSITARIA, ABRIL DE 2001

Recibido el 6 de abril 2001

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR



RECTORA :
Dra. María Isabel Rodríguez

SECRETARÍA GENERAL :
Licda. Lidia Margarita Muñoz Vela

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :
Ing. Alvaro Antonio Aguilar Orantes

SECRETARIO :
Ing. Saúl Alfonso Granados

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR :
Ing. José Francisco Zuleta Morataya

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**Trabajo de Graduación previo a la opción al grado de:
INGENIERO MECÁNICO**

Título

:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EQUIPO EXPERIMENTAL DE
GAMMAGRAFÍA INDUSTRIAL PARA EVALUAR SOLDADURAS A
TOPE Y LA CALIDAD DE IMÁGENES DE RADIOGRAFÍAS
INDUSTRIALES”**

Presentador por

:

ELMER ROMEO MARTÍNEZ GARCÍA

ERNESTO NAPOLEÓN VIDES ALVARADO

Trabajo de Graduación Aprobado por

Coordinador

:

Ing. Saturnino Gámez Guadrón

Asesores

:

Ing. Manuel Amador Pineda Campos

Ing. Luis Ramón Portillo

San Salvador, Abril de 2001

Trabajo de Graduación aprobado por:



Coordinador

: *Saturnino Gamez Guadrón*
Ing. Saturnino Gamez Guadrón

Asesores

: *Manuel Amador Pineda Campos*
Ing. Manuel Amador Pineda Campos

: *Luis Ramón Portillo*
Ing. Luis Ramón Portillo

AGRADECIMIENTOS

Damos gracias a Dios todo poderoso por haber puesto en nuestro camino los medios necesarios para el desarrollo exitoso del presente Trabajo de Graduación, por ser además la fuente de sabiduría y fortaleza que nos impulso siempre ha continuar adelante durante todo el transcurso de la carrera.

A nuestros padres y familia en general por ser el pilar fundamental en el cual nos apoyamos en cada momento de nuestra carrera.

Queremos agradecer también a todas aquellas personas que nos brindaron su ayuda y que hicieron posible la conclusión de esta Trabajo.

A la empresa ITEM por brindarnos desde un inicio su valiosa colaboración y por permitimos hacer uso de sus equipos e instalaciones.

A Talleres Meléndez por brindarnos su ayuda y por facilitarnos la realización de diferentes actividades.

A los Asesores y Coordinador del Trabajo de Graduación por mantenerse siempre dispuestos a brindarnos la orientación necesaria para la exitosa culminación del trabajo.

A los diferentes Ingenieros de nuestra Escuela Ingeniería, quienes en su debida oportunidad nos brindaron sus recomendaciones.

Al personal de la Unidad Productiva de la Escuela de Ingeniería Mecánica por brindarnos su valiosa colaboración.

Y en general a todos aquellos que en su debida oportunidad nos brindaron su valiosa colaboración para la realización de este trabajo.

Elmer y Ernesto

DEDICATORIA

El triunfo que he obtenido ha sido posible gracias a todos aquellos que estuvieron cada momento de mi vida como estudiante universitario, siendo el motivo y la razón de seguir adelante, y a quienes agradezco y dedico personalmente el presente triunfo.

A Dios todo poderoso , a Jesucristo su hijo y a la Santísima Virgen María :

Por darme la satisfacción tan grande de haber alcanzado este triunfo, y por ser la fuente espiritual y de sabiduría necesaria para alcanzar las metas que uno se propone.

A mis padres : Rubia y Romeo

Por ser los que con su apoyo diario se convirtieron en la pieza fundamental de toda mi carrera y a quienes dedico especialmente este éxito alcanzado.

A mis hermanos : Norma, Germán y Claudia

Por apoyarme y animarme en todo momento a luchar por ese objetivo que tenía propuesto alcanzar.

A mi Tía y mi Padrino : Margarita y Rolando

A quienes agradezco infinitamente el haberme brindado constantemente ese apoyo incondicional y por motivarme desde el inicio de mi carrera a luchar contra todo tipo de obstáculos.

A mi amigo y compañero de Tesis : Neto

A quien agradezco por la confianza, el apoyo y la solidaridad mostrada durante el desarrollo del Trabajo de Graduación, y de manera especial a su familia por habernos ayudado en todo momento que lo necesitamos.

Elmer Martínez

DEDICATORIA

Sinceramente satisfecho y en sumo grado emocionado, dedico este trabajo de graduación a siete personas, Dios Padre (Jehová de los ejércitos), Dios Hijo (Jesús el Cristo, el León de Judá), Dios Espíritu Santo (el Dios llamado Paracleto o Paráclito, el Consolador de los fieles); a mí papa y a mí mamá (las dos personas más trabajadoras que he conocido, de quienes estoy muy orgulloso y quienes lucharon y dejaron todo para que yo fuera su gloria y honra), y a mis hermanos Karen y Alexis.

Ernesto

INDICE

CAPÍTULO I

LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS Y LOS DIFERENTES MÉTODOS DE INSPECCIÓN UTILIZADOS EN LA DETECCIÓN DE DEFECTOS EN SOLDADURAS

1.0 INTRODUCCIÓN.	....	1-1
1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS DEFECTOS DE SOLDADURA.	....	1-2
1.2.1 DEFECTOS DE LA SERIE 100: FRACTURAS.	....	1-3
1.2.2 DEFECTOS DE LA SERIE 200: POROSIDADES Y CAVIDADES.	....	1-5
1.2.3 DEFECTOS DE LA SERIE 300. INCLUSIONES DE ESCORIAS	....	1-6
1.2.4 DEFECTOS DE LA SERIE 400. Falta de fusión y falta de penetración	....	1-7
1.2.5 DEFECTOS DE LA SERIE 500. DEFECTOS DE CONTORNO, TRASLAPE, CONCAVIDADES, CORDONES IRREGULARES, SOCAVADO Y RECHUPES	....	1-8
1.2.6 DEFECTOS DE LA SERIE 600: DEFECTOS MISCELÁNEOS PRESENTADOS EN LA SOLDADURA	....	1-10
1.3 RESPONSABLES DE LOS DEFECTOS DE SOLDADURA	....	1-11
1.4 PRINCIPALES NORMAS DE ACEPTACIÓN DE LA SOLDADURA SEGÚN PRUEBAS RADIOLÓGICAS.	....	1-11
1.5 GENERALIDADES DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	....	1-13
1.5.1 CONCEPTO Y RAZONES PARA EL USO DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS	....	1-14
1.5.2 VENTAJAS DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN	....	1-15
1.6 TIPOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS. DESCRIPCIONES, COMPARACIONES Y SUS RESPECTIVOS CAMPOS DE APLICACIÓN	....	1-16
1.6.1 TIPOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (END)	....	1-16
1.6.2 SELECCIÓN DEL MÉTODO ADECUADO.	....	1-17

1.6.3 TIPOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS UTILIZADOS EN LA DETECCIÓN DE DEFECTOS DE LAS UNIONES SOLDADAS.	....	1-17
1.6.3.1 INSPECCIÓN VISUAL (VT).	....	1-18
1.6.3.2 LÍQUIDOS PENETRANTES (PT)	....	1-20
1.6.3.3 INSPECCIÓN UTILIZANDO PARTÍCULAS MAGNÉTICAS (MT).	....	1-23
1.6.3.4 PRUEBAS DE ULTRASONIDO. (UT)	....	1-25
1.6.3.5 CORRIENTES EDDY (EC)	....	1-27
1.6.3.6 TERMOGRAFÍA INFRARROJA (IRT).	....	1-28
1.6.3.7 RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL (RT)	....	1-31
1.7 NATURALEZA TIPOS Y MÉTODOS DE RADIOLOGÍA INDUSTRIAL.	....	1-32
1.7.2 APLICACIONES, FUNDAMENTOS, VENTAJAS Y LIMITACIONES DEL ENSAYO RADIOGRÁFICO.	....	1-36
1.7.3 VENTAJAS Y LIMITACIONES DEL ENSAYO RADIOGRÁFICO.	....	1-37
1.7.4 COMPARACIÓN ENTRE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS INSPECCIÓN UTILIZANDO RAYOS X Y GAMMA.	....	1-39
1.8 REFERENCIAS DEL CAPITULO	....	1-42

CAPÍTULO II

NATURALEZA, PROPIEDADES Y PRINCIPIOS DE LAS RADIACIONES GAMMA

2.0 GENERALIDADES DE LA RADIACIONES IONIZANTES COMO TÉCNICA DE INSPECCIÓN.	....	2-1
2.1 BENEFICIOS DEL USO DE LOS RAYOS X Y GAMMA COMO UNA TECNICA DE INSPECCIÓN EN LOS MATERIALES METÁLICOS A LO LARGO DE LA HISTORIA	....	2-2
2.2 HISTORIA DEL USO DE LOS RAYOS X Y LOS RAYOS GAMMA, COMO UNA TECNICA DE INSPECCIÓN EN LOS MATERIALES METÁLICOS.	....	2-4
2.2.1 ORIGENES DE LA TECNICA DE INSPECCIÓN UTILIZANDO RAYOS X.	....	2-4
2.2.2 ORIGENES DE LA TECNICA DE INSPECCIÓN UTILIZANDO RAYOS GAMMA	....	2-5
2.3 ESTRUCTURA Y NATURALEZA DEL ÁTOMO.	....	2-6
2.3.1 ESTRUCTURA DEL ÁTOMO.	....	2-6
2.3.2 UNIDADES DE MASA Y ENERGÍA DEL ÁTOMO.	....	2-7
2.3.2.1 UNIDADES DE MASA ATÓMICA.	....	2-7
2.3.2.2 UNIDADES DE ENERGÍA ATÓMICA	....	2-8
2.4 NATURALEZA Y PRINCIPIOS FÍSICOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES.	....	2-10
2.4.1 TIPOS DE RADIACIONES IONIZANTES.	....	2-10
2.4.1.1 PARTÍCULAS ALFA	....	2-11
2.4.1.2 PARTÍCULAS BETA	....	2-11
2.4.1.3 RAYOS X.	....	2-11
2.4.1.4 RAYOS GAMMA.	....	2-14
2.4.1.5 NEUTRONES.	....	2-14
2.4.2 MECANISMOS DE DESINTEGRACIÓN DE LAS RADIACIONES IONIZANTES	....	2-15
2.4.2.1 DESINTEGRACIÓN GAMMA.	....	2-15
2.4.2.2 CONVERSIÓN INTERNA.	....	2-15

2.4.3 EFECTOS DE LA RADIACIONES IONIZANTES CON LA MATERIA.	....	2-15
2.4.3.1 EFECTO FOTOELECTRICO.	....	2-16
2.4.3.2 EFECTO COMPTON.	....	2-17
2.4.3.3 FORMACIÓN DE PARES.	....	2-17
2.5 DECAIMIENTO RADIOACTIVO.	....	2-18
2.6 RADIOACTIVIDAD.	....	2-18
2.6.1 UNIDADES DE MEDIDA DE LA RADIOACTIVIDAD.	....	2-19
2.6.1.1 CURIE.	....	2-19
2.6.1.2 BECQUEREL	....	2-20
2.6.2 ACTIVIDAD ESPECÍFICA.	....	2-20
2.7 PERÍODO DE SEMIDESTRUCCIÓN.	....	2-21
2.8 PRODUCCIÓN DE RADIOISÓTOPOS.	....	2-23
2.9 REFERENCIAS DEL CAPÍTULO.	....	2-26

CAPÍTULO III

EQUIPOS DE GAMMAGRAFÍA INDUSTRIAL

3.0 GENERALIDADES DE LOS FUENTES DE RADIACIÓN DE USOS INDUSTRIALES.	....	3-1
3.1 PRODUCCIÓN DE RAYOS GAMMA.	....	3-2
3.2 RADIOISÓTOPOS UTILIZADO EN LAS FUENTES DE RAYOS GAMMA.	....	3-2
3.3 EQUIPOS DE GAMMAGRAFÍA.	....	3-3
3.4 PRINCIPALES FUENTES DE RADIACIÓN UTILIZADAS COMERCIALMENTE.	....	3-4
3.5 EQUIPOS PARA RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL	....	3-5
3.6 DETALLE DE LOS EQUIPOS DE RAYOS GAMMA.	....	3-7
3.7 CLASIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS DE RAYOS GAMMA.	....	3-7
3.8 NORMAS BÁSICAS DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA QUE DEBEN CUMPLIR LOS EQUIPOS DE RAYOS GAMMA.	....	3-8
3.9 POSIBLES PROBLEMAS CON LOS EQUIPOS.	....	3-9
3.10 REQUISITOS PARA CONTENEDORES.	....	3-10
3.11 PRUEBA DE FUGAS EN FUENTES RADIOGRÁFICAS.	....	3-13
3.12 ALMACENAMIENTO DEL EQUIPO.	....	3-13
3.13 PROCEDIMIENTOS RADIOGRÁFICOS	....	3-14

CAPÍTULO IV

PELÍCULAS RADIOGRÁFICAS

4.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS PELÍCULAS RADIOGRÁFICAS.	....	4-1
4.2 CALIDAD DE LA PELÍCULA RADIOGRÁFICA	....	4-2
4.2.1 DENSIDAD RADIOGRÁFICA.	....	4-2
4.2.2 VELOCIDAD DE LA PELÍCULA RADIOGRÁFICA.	....	4-3

4.2.2.1	FUNDAMENTOS DE LA VELOCIDAD DE LAS PELÍCULAS RADIOGRÁFICAS.	....	4-3
4.2.2.2	TIPOS DE PELÍCULAS RADIOGRÁFICAS, ATENDIENDO A LA VELOCIDAD DE LAS MISMAS.	....	4-4
4.2.3	CONTRASTE RADIOGRÁFICO.	....	4-5
4.2.4	DEFINICIÓN RADIOGRÁFICA.	....	4-6
4.2.5	CURVAS CARACTERÍSTICAS Y EL GRADIENTE RADIOGRÁFICO.	....	4-7
4.2.5.1	CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LAS PELÍCULAS RADIOGRÁFICAS.	....	4-7
4.2.5.2	GRADIENTE RADIOGRÁFICO.	....	4-9
4.2.5.3	VELOCIDAD RELATIVA	....	4-10
4.3	PANTALLAS DE PROTECCIÓN RADIOGRÁFICA	....	4-13
4.3.1	GENERALIDADES DE LAS PANTALLAS DE PROTECCIÓN RADIOGRÁFICA.	....	4-13
4.3.2	TIPOS DE PANTALLAS DE PROTECCIÓN RADIOGRÁFICA.	....	4-13
4.4	TRATAMIENTO DE LAS PELÍCULAS RADIOGRÁFICAS.	....	4-15
4.4.1	REVELADO DE LAS PELÍCULAS RADIOGRÁFICAS.	....	4-16
4.4.1.1	EL PRINCIPIO DEL PROCESO DE REVELADO.	....	4-16
4.4.1.2	EFFECTO DEL REVELADO SOBRE EL CONTRASTE Y LA RAPIDEZ.	....	4-18
4.4.2	BAÑO DE PARADA O ACLARADO.	....	4-20
4.4.3	FIJADO DE LAS PELÍCULAS RADIOGRÁFICAS.	....	4-21
4.4.4	LAVADO Y SECADO DE LAS PELÍCULAS RADIOGRÁFICAS.	....	4-22
4.5	REFERENCIAS DEL CAPÍTULO	....	4-24

CAPÍTULO V

PARÁMETROS Y CONDICIONES DE TRABAJO PARA LA EXPOSICIÓN RADIOGRÁFICA.

5.0	GENERALIDADES.	....	5-1
5.1	MÉTODO RADIOGRÁFICO Y EQUIPO.	....	5-1
5.2	PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE. MARCADO E IDENTIFICACIÓN.	....	5-3
5.2.1	PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS.	....	5-5
5.3	FACTORES GEOMÉTRICOS	....	5-7
5.4	FACTORES DE EXPOSICIÓN.	....	5-14
5.4.1	LEY DE LA INVERSA DE LOS CUADRADOS DE LA DISTANCIA.	....	5-14
5.4.2	ABSORCIÓN DE LA RADIACIÓN	....	5-15
5.4.3	PANTALLA REFORZADORAS.	....	5-18
5.5	ARITMÉTICA DE LA EXPOSICIÓN.	....	5-19
5.6	CALCULO DEL TIEMPO DE EXPOSICIÓN.	....	5-19
5.7	TÉCNICA DE LA EXPOSICIÓN.	....	5-23
5.7.1	UNIONES PLANAS.	....	5-23
5.7.2	UNIONES CIRCULARES.	....	5-24
5.8	REFERENCIAS DEL CAPÍTULO	....	5-29

CAPÍTULO VI

RADIOGRAFÍAS DE REFERENCIA DE SOLDADURAS EN ACEROS ESTRUCTURALES DE USO FRECUENTE EN EL SALVADOR

6.0 INTRODUCCIÓN.	....	6-1
6.2 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS	....	6-4
6.2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS POR LA COMPOSICIÓN QUÍMICA.	....	6-4
6.2.2 CLASIFICACIÓN POR SU PROPIEDADES FÍSICAS.	....	6-4
6.2.3 CLASIFICACIÓN POR PRODUCTO TERMINADO.	....	6-5
6.2.4 ACEROS ESTRUCTURALES.	....	6-5
6.2.4.1 ACEROS ESTRUCTURALES AL CARBONO.	....	6-5
6.2.4.2 ACEROS DE ALTA RESISTENCIA Y BAJA ALEACIÓN.	....	6-6
6.3 DISEÑO DE UNIONES O JUNTAS EN SOLDADURA.	....	6-8
6.3.1 GENERALIDADES.	....	6-8
6.3.2 TIPOS DE SOLDADURAS.	....	6-8
6.3.3 SELECCIÓN DEL TIPO DE JUNTA.	....	6-9
6.3.4 UNIONES A TOPE.	....	6-10
6.3.5 COMO REALIZAR UNA UNIÓN A TOPE.	....	6-11
6.3.6 ASPECTOS IMPORTANTES DE LA GEOMETRÍA DE LA JUNTA.	....	6-13
6.4 ELECCIÓN DEL MATERIAL DE APORTE ADECUADO.	....	6-14
6.4.1 GENERALIDADES DE LOS MATERIALES DE APORTE UTILIZADOS EN LA SOLDADURA DE ACEROS ESTRUCTURALES.	....	6-14
6.4.2 CONSERVACIÓN Y ALMACENADO DE ELECTRODOS.	....	6-16
6.4.3 CLASIFICACIÓN DE LOS ELECTRODOS ATENDIENDO A LA FORMA DE APORTACIÓN.	....	6-16
6.4.4.1 ELECTRODOS CON POLVO DE HIERRO (GRAN RENDIMIENTO)	....	6-16
6.4.4.2 ELECTRODOS DE BAJO HIDRÓGENO	....	6-17
6.4.5 VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA SELECCIÓN DEL ELECTRODO.	....	6-17
6.4.6 ELECTRODOS ESPECIALES	....	6-18
6.6 RADIOGRAFÍAS DE REFERENCIA.	....	6-25
6.7 REFERENCIAS DEL CAPÍTULO.	....	6-39

CAPÍTULO VII

DISEÑO DE LOS INDICADORES DE CALIDAD DE LA IMAGEN RADIOGRÁFICA, NEGATOSCOPIO Y EL PROTOTIPO EXPERIMENTAL DE GAMMAGRAFÍA INDUSTRIAL

7.0 INTRODUCCIÓN.	....	7-1
7.1 CALIDAD DE LA IMAGEN RADIOGRÁFICA Y DISEÑO DE LOS INDICADORES DE CONTROL DE CALIDAD DE LA IMAGEN RADIOGRÁFICA.	....	7-2
7.1.1 CALIDAD E LA IMAGEN RADIOGRÁFICA	....	7-2
7.1.2 PENETRÓMETROS E INDICADORES DE CALIDAD DE LA IMÁGENES.	....	7-2

7.1.3 TIPOS DE INDICADORES DE IMÁGENES	....	7-4
7.1.3.1 IQI DEL TIPO DE ALAMBRES.	....	7-5
7.1.3.2 IQI DE DOBLE HILOS.	....	7-6
7.1.3.3 IQI DE PELDAÑOS CON AGUJEROS TALADRADOS.	....	7-7
7.1.3.4 IQI DE PLACAS DE ESPESOR CONSTANTE Y AGUJEROS TALADRADOS	....	7-7
7.1.3.4.1 INDICADORES TIPO 4T - 1T - 2T (ASTM).	....	7-8
7.1.3.4.2 INDICADORES DEL TIPO 4T - 3T - 2T (ASME).	....	7-12
7.1.5 SENSIBILIDAD DE LA INSPECCIÓN.	....	7-16
7.1.5.1 SENSIBILIDAD DEL ESPESOR.	....	7-16
7.1.5.2 VALORES EXPERIMENTALES DE LA SENSIBILIDAD DE ESPESOR.	....	7-19
7.1.5.3 SENSIBILIDAD DEL DETALLE.	....	7-20
7.1.5.4 SENSIBILIDAD DEL IQI	....	7-21
7.1.6 DISEÑO DEL IQI	....	7-25
7.1.6.1 PROPUESTA DE DISEÑO DEL IQI.	....	7-25
7.1.6.2 DISEÑO DEL IQI DE ESPESOR CONSTANTE.	....	7-26
7.2 EL PRINCIPIO DE LA ILUMINACIÓN Y EL DISEÑO DEL NEGATOSCOPIO.	....	7-27
7.2.1 NATURALEZA DE LA LUZ. INTRODUCCIÓN AL PRINCIPIO DE LA ILUMINACIÓN LUMINOSA	....	7-27
7.2.2 RAYOS DE LUZ Y SOMBRA.	....	7-28
7.2.3 FLUJO LUMINOSO.	....	7-29
7.2.4 LUMINANCIA O INTENSIDAD LUMINOSA.	....	7-32
7.2.5 ILUMINACIÓN.	....	7-33
7.2.6 ILUMINADORES INDUSTRIALES.	....	7-36
7.2.6.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS ILUMINADORES INDUSTRIALES.	....	7-36
7.2.6.2 TIPOS DE NEGATOSCOPIOS DE CLASE INDUSTRIAL.	....	7-37
7.2.6.3 PROPUESTA DE DISEÑO DEL NEGATOSCOPIO.	....	7-38
7.2.6.4 DISEÑO DEL NEGATOSCOPIO.	....	7-39
7.2.6.4.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN.	....	7-39
7.2.6.4.2 DISEÑO DEL CAJÓN.	....	7-40
7.2.6.4.3 INTERRUPTOR DE LA INTENSIDAD DE ILUMINACIÓN.	....	7-43
7.2.6.4.4 ESCOTILLAS REMOVIBLES.	....	7-43
7.3 DISEÑO DEL PROTOTIPO EXPERIMENTAL DE GAMMAGRAFÍA	....	7-43
7.3.1 PROPUESTA DEL MECANISMO	....	7-43
7.3.2 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL MECANISMO Y ESTABLECIMIENTO DE PARÁMETROS DE DISEÑO	....	7-46
7.3.2.1 ESTABLECIMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS.	....	7-46
7.3.2.1 ANÁLISIS DEL SOPORTE DEL CONTENEDOR	....	7-47
7.3.2.2 SOPORTE DEL BRAZO.	....	7-51
7.3.2.3 ANÁLISIS DE LA COLUMNA.	....	7-53
7.3.2.4 SISTEMA DE CONTRAPESAS.	....	7-56
7.3.2.5 MECANISMO DE FIJACIÓN	....	7-57
7.3.2.6 BASE RODANTE	....	7-57

7.3.3 CÁLCULOS DE LOS PESOS PARA CADA UNO DE LOS COMPONENTES DEL PROTOTIPO.	....	7-58
7.3.4 LISTADO DE MATERIALES HA UTILIZAR EN LA CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO.	....	7-60
7.4 REFERENCIAS DEL CAPÍTULO	....	7-61

CAPÍTULO VIII

GRÁFICOS DE EXPOSICIÓN UTILIZANDO EL EQUIPO EXPERIMENTAL DE GAMMAGRAFÍA INDUSTRIAL

8.0 INTRODUCCIÓN.	....	8-1
8.1 GRÁFICOS PARA RADIACIÓN GAMMA.	....	8-2
8.1.1 VARIABLES DE LOS GRÁFICOS DE EXPOSICIÓN GAMMA.	....	8-2
8.2.1.1 EL EQUIPO EMISOR DE LA RADIACIÓN.	....	8-2
8.1.1.2 MATERIAL DEL QUE SE CONSTRUYE LA PLACA PATRÓN	....	8-2
8.1.1.3 TIPO DE PELÍCULA Y CONDICIONES DE REVELADO DE LAS MISMAS.	....	8-3
8.1.1.4 PANTALLAS REFORZADORAS EMPLEADAS.	....	8-4
8.1.1.5 DENSIDAD RADIOGRÁFICA DE LAS PELÍCULAS Y LA MANERA DE COMO REALIZAR LA MEDICIÓN DE LAS MISMAS.	....	8-4
8.1.1.6 LA DISTANCIA FUENTE PELÍCULA.	....	8-5
8.1.1.7 ALGUNAS OBSERVACIONES SOBRE LA ELABORACIÓN DE LA CURVAS DE EXPOSICIÓN GAMMA.	....	8-5
8.1.2 ELABORACIÓN DE LOS GRÁFICOS DE EXPOSICIÓN GAMMA.	....	8-6
8.1.2.1 GRÁFICO DE ABSORCIÓN DEL MATERIAL.	....	8-7
8.1.2.2.1 CALCULO DEL DECAIMIENTO RADIATIVO DE UNA IRRADIADOR GAMMA.	....	8-13
8.1.2.2.2 ELABORACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE EXPOSICIÓN GAMMA.	....	8-15
8.2 ENSAYO RADIOGRÁFICO DE UNA PROBETA SOLDADA UTILIZANDO EL EQUIPO EXPERIMENTAL DE GAMMAGRAFÍA INDUSTRIAL Y LOS GRÁFICOS DE EXPOSICIÓN GAMMA.	....	8-18
8.3 CONCLUSIONES.	....	8-20
8.4 RECOMENDACIONES.	....	8-20
8.5 REFERENCIAS DEL CAPÍTULO	....	8-22

CAPÍTULO IX

PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

9.0 GENERALIDADES.	....	9-1
9.1 EFECTOS BIOLÓGICOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES.	....	9-1
9.1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS EFECTOS BIOLÓGICOS	....	9-3
9.1.2 INDICADORES BIOLÓGICOS DE DAÑO POR RADIACIÓN.	....	9-4
9.2 MAGNITUDES Y UNIDADES EMPLEADAS EN LA DOSIMETRÍA Y LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA.	....	9-5

9.2.1	RADIOACTIVIDAD Y PERÍODO DE SEMIDESTRUCIÓN	....	9-5
9.2.2	DOSIS ABSORBIDA, KERMA Y RÖENTGEN	....	9-5
9.2.2.1	DOSIS ABSORBIDA.	....	9-5
9.2.3	DEFINICIÓN DE UNIDADES PARA LA RADIACIÓN.	....	9-8
9.2.3.1	DEFINICIÓN DE RÖENTGEN.	....	9-8
9.2.3.2	DEFINICIÓN DEL RAD	....	9-8
9.2.3.3	DEFINICIÓN DEL REM Y EFECTIVIDAD BIOLÓGICA RELATIVA (RBE).	....	9-9
9.3	EQUIVALENCIAS ENTRE LAS UNIDADES RADIOLÓGICAS DEL SISTEMA DE UNIDADES CGS Y EL S.I. DE UNIDADES.	....	9-9
9.4	MÉTODOS DE MEDICIÓN E INSTRUMENTACIÓN	....	9-10
9.4.1	CÁMARAS DE IONIZACIÓN.	....	9-11
9.4.2	CONTADORES GEIGER- MULLER.	....	9-12
9.4.3	DOSIMETRO DE PELÍCULA	....	9-13
9.4.4	DOSIMETROS TERMOLUMINISCENTES (TLD)	....	9-14
9.4.5	MONITORES PERSONALES.	....	9-15
9.4.6	MEDIDORES DE CONTAMINACIÓN DE SUPERFICIE.	....	9-15
9.5	EXPOSICIÓN A RADIACIÓN Y TASA DE EXPOSICIÓN.	....	9-16
9.6	CÁLCULO DE DOSIS	....	9-17
9.6.1	CÁLCULO DE DOSIS POR EXPOSICIÓN EXTERNA PARA LA RADIACIÓN GAMMA	....	9-17
9.6.2	CÁLCULOS DE DOSIS DEBIDA A RAYOS X	....	9-18
9.7	REDUCCIÓN DE LA INTENSIDAD DE LA RADIACIÓN CON LA DISTANCIA.	....	9-18
9.8	NIVELES MÁXIMOS PERMITIDOS DE RADIACIÓN.	....	9-19
9.9	EFFECTOS DE LA RADIACIÓN.	....	9-21
9.10	RADIACIÓN Y TIEMPO.	....	9-22
9.11	RECOMENDACIONES PARA EL TRABAJO CON FUENTES RADIATIVAS.	....	9-22
9.12	PROCEDIMIENTOS EN LAS ACTIVIDADES DE GAMMAGRAFÍA.	....	9-23
9.12.1	RADIOGRAFÍA GAMMA: GUÍA DE PROCEDIMIENTOS.	....	9-23
9.12.2	EN EL LUGAR DE TRABAJO.	....	9-24
9.12.3	AL FINALIZAR LA EXPOSICIÓN.	....	9-26
9.12.4	ALMACENAMIENTO DEL EQUIPO.	....	9-26
9.12.5	ASPECTOS DE MANTENIMIENTO QUE SE DEBEN DE REALIZAR AL CONTENEDOR Y A SUS ACCESORIOS.	....	9-26
9.13	RÉFERENCIAS DEL CAPÍTULO.	....	9-28

ANEXO A

TABLAS Y FIGURAS

ANEXO 1-1.	DESCRIPCIÓN DEL IIW-IIS	....	A-1
ANEXO 1-2.	DESCRIPCIÓN DEL IIW-IIS	....	A-2
ANEXO 1-3.	DESCRIPCIÓN DEL LA ISO.	....	A-3
ANEXO 1-4.	CÓDIGO ANSI/AWS D1.1:2000	....	A-4

ANEXO 1-5. DESCRIPCIÓN DE LA ICRP.	....	A-5
ANEXO 1-6. NORMATIVAS DE MAYOR IMPORTANCIA EN LA INSPECCIÓN DE LA CALIDAD DE UNIONES SOLDADAS.	....	A-7
ANEXO 1-7. PERFILES CORRECTOS DE SOLDADURAS DE FILETE, SEGÚN CÓDIGO ESTRUCTURAL ANSI/AWS D1.1	....	A-11
ANEXO 6-1. ESPECIFICACIONES DE LAS NORMATIVAS ASTM DE LOS ACEROS AL CARBONO DE CALIDAD ESTRUCTURAL EN BARRAS, LAMINAS Y PLATINA.	....	A-12
ANEXO 6-2. TABLA 6-3. CARACTERÍSTICAS DE ELECTRODOS.	....	A-13
ANEXO 6-3. CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES DE LOS PRINCIPALES TIPOS DE ELECTRODOS DE GOTA FRÍA (FAST FREEZE ELECTRODES) DE LA FIRMA COMERCIAL LINCONL ELECTRIC.	....	A-13
ANEXO 6-4. CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES DE LOS PRINCIPALES ELECTRODOS DE GRAN RENDIMIENTO (FAST-FILL ELECTRODES) DE LA FIRMA COMERCIAL LINCONL ELECTRIC.	....	A-14
ANEXO 6-5. CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES DE LOS PRINCIPALES ELECTRODOS DE BAJO HIDROGENO DE LA FIRMA COMERCIAL LINCOLN ELECTRIC	....	A-14
ANEXO 6-6. SELECCIÓN DE ELECTRODOS PARA EL SOLDEO DE ACEROS ORDINARIOS	....	A-15
ANEXO 7-1. ASTM Standard E142-92, "Standard Method for Controlling Quality of Radiographic Testing".	....	A-16
ANEXO 7-2. ASTM Standard E747-94. "Standard Practice for Design, Manufacture and Material Grouping Classification of Wire Image Quality Indicators (IQI) Used for Radiology".	....	A-17
ANEXO 7-3. ASTM Standard E1025-95. "Standard Practice for Design, Manufacture, and Material Grouping Classification of Hole-Type Image Quality Indicator (IQI) Used for Radiology"	....	A-26
ANEXO 7-4. ASTM Standard E142-85. "Standard method for Controlling Quality of Radiographic Testing".	....	A-16
ANEXO 7-5. VALORES EXPERIMENTALES DE LA SENSIBILIDAD DE LOS IQI.	....	A-25
ANEXO 7-6. ASTM Standard E1390-90. "Standard Guide for Illuminators Used for View Industrial Radiographs"	....	A-31
ANEXO 7-7. TABLA DE PROPIEDADES A LA FLEXIÓN EN UNIONES DE SOLDADURAS DE FILETE	....	A-33

ANEXO B

PLANOS

INTRODUCCIÓN

El presente Trabajo de Graduación pretende brindar una investigación seria y profesional en el campo de la Gammagrafía Industrial, en la cual se han puesto en práctica los conocimientos de Ingeniería Mecánica necesarios, con el fin de evaluar la calidad de soldaduras a tope y de radiografías industriales.

Para evaluar la calidad de soldaduras a tope se realizó el diseño y la construcción de un equipo experimental de gammagrafía industrial, el cual posee como elemento fundamental una fuente de rayos gamma, del radioisótopo Cesio 137, con una radioactividad de 80 milicurios.

Para el caso de la evaluación de las radiografías obtenidas se realizó el diseño y construcción de objetos de prueba, conocidos en el mundo científico y tecnológico como fantomas. Con el uso de los objetos de prueba se garantizó la calidad de las radiografías obtenidas y posibilitó que estas pueden utilizarse para garantizar la calidad de una soldadura.

Para complementar los resultados obtenidos del trabajo de graduación se contó de un equipo de gammagrafía industrial de uso comercial, proporcionado por una empresa local con el cual se obtuvieron radiografías de diversos defectos de soldadura, las mismas han servido de referencia a las radiografías obtenidas con el prototipo experimental de gammagrafía industrial que se construyó.

Cabe aclarar que en el presente trabajo de graduación se volcaron todos los esfuerzos posibles, provenientes de estudiantes y asesores, para obtener los mejores resultados y los objetivos planteados del presente trabajo de graduación.

CAPÍTULO I

Los Ensayos No Destructivos y los Diferentes Métodos de Inspección Utilizados en la Detección de Defectos en Soldaduras

1.0 INTRODUCCIÓN.

Previo al estudio de los diferentes tipos de métodos de inspección de las uniones soldadas es necesario explicar los diferentes tipos de defectos que se pueden presentar en una soldadura, pues constituye uno de los fines del presente trabajo de graduación. La mayoría de los defectos de soldadura se describirán orientados a la detección de este tipo de discontinuidades, utilizándose técnicas radiográficas obteniéndose así una idea más clara del tema. ^[1-1]

Luego se continuará con una breve descripción de los principales tipos de ensayos no destructivos utilizados en la inspección de soldaduras, para concluir en una comparación de los mismos, haciendo mayor énfasis en las técnicas de inspección radiológica, específicamente rayos X y la gammagrafía industrial.

Como preámbulo se puede mencionar que dada la capacidad de descubrir la existencia o no de discontinuidades, en una variedad de materiales, la radiología industrial es actualmente uno de los principales ensayos no destructivos en uso, tal que ha sido adoptada como practica esencial en el control de las uniones soldadas por organismos como el IIW,^[1-2] ASME, el BSI,^[1-3] la AWS, The Lloyd's Register of Shipping, Bureau Veritas, la ISO^[1-4] y otras instituciones más, las cuales han elaborado códigos en los que se establece la técnica operatoria a seguir, así como las correspondientes normas de aceptación de las uniones soldadas

1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS DEFECTOS DE SOLDADURA.

Tanto la soldadura manual como la automática pueden presentar defectos de ejecución que aconsejen su inspección radiográfica. Cuando se ha detectado un defecto, la radiografía permite su localización y determinar su importancia. En el caso de ser necesaria su reparación es siempre posible hacer un nuevo examen para comprobar la calidad de la misma.

En un trabajo continuo y durante varios años el Instituto Internacional de Soldadura, como una forma de estandarizar criterios, ha logrado hacer una clasificación de los defectos en soldadura.

Dicha clasificación se presentara en las páginas siguientes, sin embargo, cabe recalcar que no se abordarán todos los defectos que pueden presentarse en el trabajo de soldadura, sino más bien, los de mayor importancia.

Los defectos en la soldadura son bastante numerosos y al mismo tiempo complejos, y hasta hace unos cuantos años no existía una clasificación, utilizando muchas denominaciones para referirse a un defecto común, (por ejemplo, a una fractura podría identificársele como rotura o soldadura quebrada, lo que provoca confusiones), ocurre lo mismo con las expresiones en ingles (puede identificarse una fractura como welding flaw, que en español se traduciría como soldadura rajada).

Algunos autores manejan términos técnicos que, si bien dan la idea del aspecto técnico que se pretende, confunden al personal obrero y a los técnicos de nivel medio (por ejemplo, se dice que existe una discontinuidad en la soldadura como sinónimo de fractura).

Técnicamente la discontinuidad se define como "una interrupción de la estructura cristalina típica de un material", para el caso de una soldadura, esto puede interpretarse como una falta de homogeneidad en las características físicas o mecánicas del aspecto metalúrgico del material de dicha soldadura.

Sin embargo, una discontinuidad puede traducirse en un defecto mínimo al igual que se presentan fracturas superficiales y ligeras aceptables dentro de los códigos de soldadura, clasificándolas como defectos objetables pero aceptables.

Para evitar que se presenten mayores confusiones y para uniformizar términos, el IIW ha especificado que los defectos de soldadura queden comprendidos dentro de varios grupos, que han sido numerados de la siguiente forma:

<i>Serie</i>	<i>Tipo de Defectos</i>
100	Fracturas
200	Porosidades
300	Inclusiones de sólidos
400	Fusión incompleta o falta de penetración
500	Defectos de contorno, rechuples, socavaciones, traslape, concavidades y cordones irregulares.
600	Defectos diversos o misceláneos.

TABLA 1-1. *Tipos de defectos de soldadura según Clasificación del IIW-IIS⁽¹⁻⁵⁾*

El IIW-IIS establece en primer lugar que defectos en soldadura son tanto aquellos que por su naturaleza quedan dentro de los límites de tolerancia que especifican los códigos de soldadura y que se aceptan como defectos mínimos tolerables; como los que por su tamaño o importancia del defecto sobrepasan límites de tolerancia y que, por lo tanto, son rechazados y proporcionándole a la soldadura el calificativo de defectuosa.

La evaluación se hace con base en la probabilidad de que los defectos encontrados provoquen fallas de la soldadura durante el trabajo de la parte o pieza mecánica soldada.

En el caso de las soldaduras con defectos mínimos tolerables debe considerarse la posibilidad de que puedan ser reparados, o bien aceptar que trabajen en ese estado, no sin antes verificar que cumplen con los mínimos de tolerancia de las normativas nacionales, o bien internacionales y que el inspector juzgue que no existirán riesgos.

Cada defecto no es exclusivo o concerniente a un proceso determinado o sistema de soldadura, sino que la mayor parte de los defectos son comunes a los diversos sistemas de soldadura que existen; no obstante encontramos excepciones, como ocurre con los defectos de inclusiones de tungsteno en soldaduras, las cuales únicamente se dan cuando se utiliza en proceso de soldadura GTAW (este sistema de soldadura utiliza un electrodo de tungsteno que al cortar el cordón de soldadura o metal base, deja inclusiones de tungsteno).

Es un esfuerzo y deseo de los que trabajan dentro del vasto campo de la soldadura que en El Salvador y el resto de países de Latinoamérica, se adopten técnicas y características de las normas internacionales, que contribuyan a una evolución de este sector en dichos países. Por esto mismo presentamos según las normas mencionadas, los defectos y su clasificación, abarcando una descripción y el posible origen de ellos; así como las correcciones a los mismos, a continuación se presenta una descripción de cada uno de estos.

1.2.1 DEFECTOS DE LA SERIE 100: FRACTURAS. ^[1-6]

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

La *fractura* es una separación de un tamaño indeterminado o una discontinuidad en la estructura homogénea del metal de la soldadura o del metal base soldado, y se le considera como el más importante de los defectos de la soldadura.

Las fracturas no se dan únicamente en la soldadura, también se encuentran en fundiciones y vaciados de diversos metales ferrosos y no ferrosos.

Son varias las causas que originan una fractura, y se pueden deber a una técnica deficiente de soldadura, un sobrecalentamiento de la pieza, un enfriamiento brusco, fricción, exceso de tensiones, fatiga del metal, etc. Siempre que se detecte una fractura es necesario tomar una acción correctiva, porque como se mencionaba anteriormente, los defectos de fracturas en las soldaduras, provocan el rechazo de estas, ya que cualquier tipo de fractura es considerado peligroso porque da lugar a accidentes y a la destrucción de la pieza o de la parte fracturada.

Las fracturas se dividen en:

a) Fracturas superficiales.

Dentro de este tipo encontramos aquellas con longitud y profundidad muy pequeñas conocidas como fisuras o microfisuras cuando son aún más pequeñas. Asimismo encontramos las longitudinales y transversales.

Por lo general las fracturas en el cordón de soldadura o bien en el material base, son el resultado de tensiones producidas en el mismo durante la soldadura.

Las fracturas superficiales pueden determinarse por inspección visual por líquidos penetrantes o partículas magnéticas. Para el caso de los ensayos radiológicos, las fracturas visibles en la radiografías si el haz de la radiación incide sobre la pieza con una dirección sensiblemente paralela a la superficie de la grieta.

Las fisuras o grietas, cuya imagen radiográfica son líneas finas oscuras, se pueden diferenciar de la falta de fusión o penetración porque las grietas dan lugar, generalmente, a una línea ondulada.

Cuando se radiografían espesores grandes, las grietas finas presentan una dificultad en ser detectadas por la técnica de radiología industrial.

b) Fracturas internas.

Es importante mencionar que las fracturas pueden presentarse durante el proceso de soldadura o tratamiento termico, durante el proceso de enfriamiento y algún tiempo después de haber soldado la pieza y que este se haya enfriado. Esto se debe a los esfuerzos de tensión interna, por tanto, para eliminar éstos se da un tratamiento térmico, de pre y post calentamiento, que da por resultado minimizar los esfuerzos residuales y la homogeneización de la estructura cristalina, acomodando los elementos que la componen y evitando que la soldadura se fracture cuando se someta a los esfuerzos que requiera el trabajo mecánico.

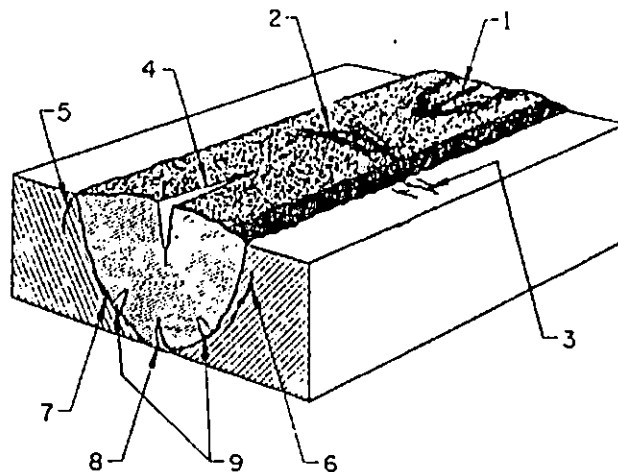


FIGURA 1-1. Esquemáticas de diversos tipos fracturas transversales, longitudinales, de cráter, de pie (es decir en la base de la soldadura) ¹¹⁻²¹

- (1) Grieta de Cráter en el Cordón de Soldadura; (2) Grieta Transversal en el Cordón de Soldadura; (3) Grieta Transversal en la zona ZAC; (4) Grieta Longitudinal en el Cordón de Soldadura; (5) Grieta en el Pie de la Soldadura; (6) Grieta bajo el cordón de soldadura en el metal base; (7) Grieta en la línea de Fusión; (8) Grieta en la Raíz del Cordón de Soldadura; (9) Grieta en dirección al interior del Cordón de Soldadura a partir de la zona de fusión.

1.2.2 DEFECTOS DE LA SERIE 200: POROSIDADES Y CAVIDADES.^[1-8]

Es importante mencionar que el IIW hace distinción entre porosidades y cavidades.

Según el IIW, las **porosidades** son definidas como defectos que se originan por el gas atrapado en la masa metálica de la soldadura, cuando se encuentra en estado de fusión o semifusión y puede localizarse en las fundiciones de metales ferrosos y no ferrosos. La **porosidad** se presenta como pequeños cavidades o huecos esféricos en la masa metálica, y cuando su tamaño es muy grande se le conoce como sopladura en la fundición.

Las porosidades no son tan críticas debido a que por sus formas esféricas o semiesféricas, no tienden a prolongarse como sucede con las fracturas, aunque las hay en forma tubular, a estas últimas se les conoce como poros tunel o de aguja y se localizan en el centro del cordón de soldadura. Diversos códigos y normas internacionales han establecido los lineamientos que determinan el tamaño y el número de poros en el cordón de soldadura que lo rechazan o no. Un ejemplo de esto se indica en el diagrama de porosidades las FIGURA 1-2a y FIGURA 1-2b.

Los defectos de porosidades también se dividen en superficiales e internos y se detectan de la misma forma que las fracturas; pueden presentarse dispersos y en tamaños pequeños, o aparecer concentrados, generalmente hacia el centro del cordón de soldadura, dando lugar a cavidades de mayor tamaño. Las porosidades son de tamaños variados que van desde grandes dimensiones hasta tamaños mínimos y guardan relación con la pieza metálica que se trata.

Los defectos de porosidades se detectan de la misma forma que las fracturas. Su imagen radiográfica suele ser redondeada, ya que las inclusiones gaseosas tienden a ocupar el menor volumen y adoptar la forma esférica.

Por otro lado las **cavidades** son formadas por la contracción de los metales al momento del enfriamiento y proceso de solidificación.

Los huecos, cavidades y porosidades que comúnmente se encuentran en el proceso de la soldadura son causados en gran parte por los gases producidos en el arco eléctrico de la soldadura, y/o los que se presentan por la combustión de materias orgánicas o bien grasas, restos de pinturas, óxidos, y otro tipo de suciedades de la pieza, previo a la realización del proceso de soldadura. También el alto contenido de azufre en el metal base, la humedad en el ambiente provocando vapor de agua en el arco eléctrico, electrodos con el fundente sucio o bien en malas condiciones, ocasionan que los gases no sean efectivos en su acción de proteger al metal de aporte entremezclándose, quedando atrapados en el cordón de soldadura.

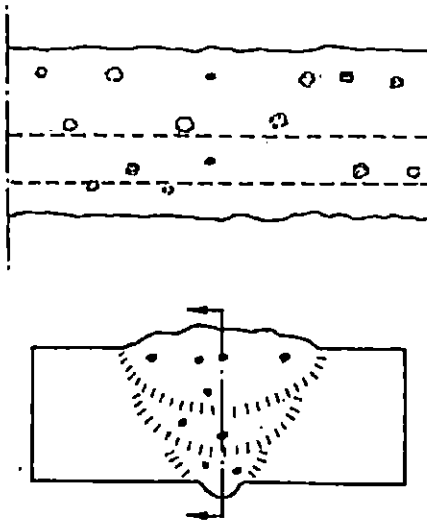


FIGURA 1-2a. Porosidad^[1-9]

Descripción. Cavidades producidas por inclusiones gaseosas.
Aspecto radiográfico. Manchas negras muy definidas y de forma circular.

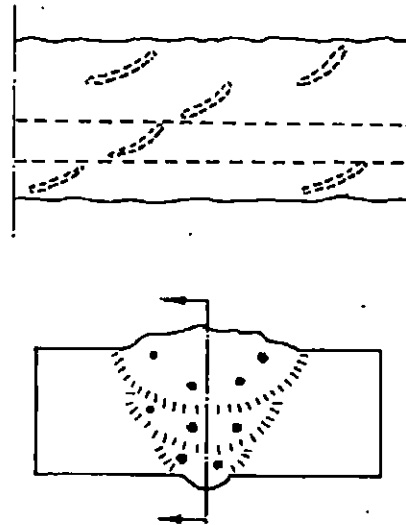


FIGURA 1-2b. Porosidad Tubular^[1-10]

Descripción. Cavidades alargadas o tubulares producidas por inclusiones gaseosas.
Aspecto Radiográfico. Manchas oscuras bien definidas con perímetro redondo o alargado según la orientación d los defectos.

1.2.3 DEFECTOS DE LA SERIE 300. INCLUSIONES DE ESCORIAS.^[1-11]

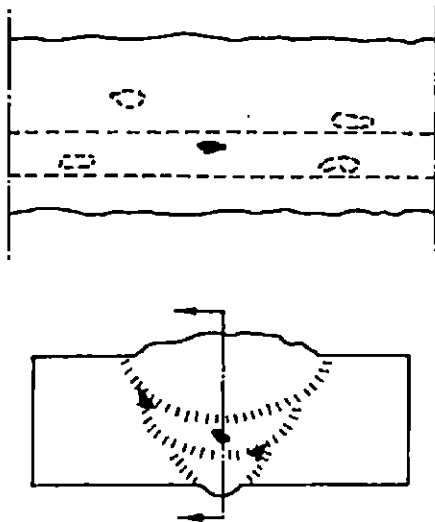
Según el IIW este tipo de defectos, se le conoce como inclusiones de sólidos, y se origina cuando los metales o cualquier tipo de materia sólida quedan atrapados en el cordón de la soldadura, entendiéndose por materia sólida la escoria que se forma en el fundente de los electrodos con el calor del arco eléctrico y se solidifica.

Estas inclusiones pueden ser intermitentes, continuas o muy aisladas y su grado de tolerancia es semejante al defecto de porosidad, especificado en los códigos respectivos.

Este defecto se produce por el empleo de una técnica deficiente tanto en la altura del electrodo como en su velocidad de avance; al aplicarse el sistema de soldadura de arco eléctrico protegido con gas argón, el metal base puede tocar el electrodo de tungsteno. También puede presentarse el atrapamiento de parte del fundente empleado en el sistema de arco sumergido así como la inclusión de óxidos de aluminio debido a la rápida acción química del aluminio quedando fácilmente atrapado si no se tiene cuidado en el proceso de preparación y limpieza. Las inclusiones de escoria, suelen presentarse con más frecuencia en las uniones efectuadas por pasadas múltiples.

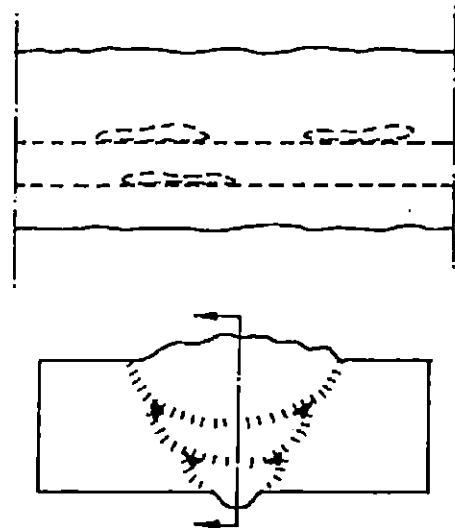
La inspección radiológica es el proceso apropiado para detectar las inclusiones metálicas y de materias extrañas.

Las inclusiones de escoria aparecen en la radiografía como manchas oscuras de contorno irregular, perfectamente diferenciables de la imagen redondeada producida por la porosidad.

FIGURA 1-3a. Inclusiones Con Escoria ^[1-12]

Descripción: Escorias u otras materias extrañas aprisionadas durante la soldadura.

Imagen radiográfica: Manchas de escoria de cualquier forma y orientación.

FIGURA 1-3b. Cavidades Con Escoria ^[1-13]

Descripción: Cavidades alargadas que contienen escoria u otras materias extrañas.

Imagen radiográfica: Sombras lineales, más o menos interrumpidas, y paralelas a los bordes de la soldadura.

1.2.4 DEFECTOS DE LA SERIE 400. Falta de fusión y falta de penetración.^[1-14]

La serie 400 cubre los defectos por falta de penetración y de fusión incompleta. Dichos defectos pueden presentarse por separado o bien, puede darse una combinación de ambos.

Se acostumbra referirse a la **falta de penetración** en relación con el cordón de raíz de la soldadura; presentándose este defecto cuando la soldadura no penetra lo suficiente a través del bisel de la preparación hasta atravesar el hombro de éste y formar el cordón de raíz en el extremo inferior. Este caso, se dice que existe una falta de penetración, tal como se aprecia en la siguiente FIGURA 1-4.

La penetración de la unión se refiere a que se debe penetrar a través de la unión de dos o más partes soldadas con base en el espesor de éstas y cuya preparación debe efectuarse de acuerdo con los esfuerzos mecánicos que la unión soldada debe soportar, y que son: tensión, tracción, torsión.

Cuando se presentan los defectos, la resistencia y el trabajo mecánico de la soldadura se reducen peligrosamente. Debido al grado de riesgo, las soldaduras se someten a pruebas de control de calidad con el fin de asegurarnos de que son sólidas y sanas, y que están dentro de las normas internacionales de calidad.

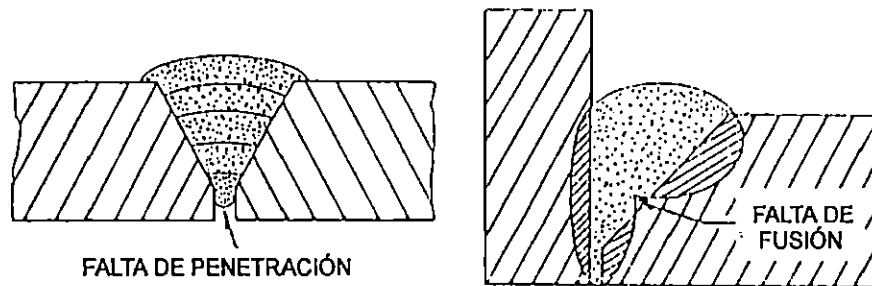


FIGURA 1-4. Ejemplificación de una falta de penetración en la raíz de la soldadura. ^[1-15]

Uno de los END utilizados para inspeccionar que las soldaduras se encuentran libres de falta de penetración o falta de fusión, son las pruebas radiológicas. En las radiografía la falta de penetración aparece como una línea oscura, continua o no, localizada en el centro del cordón de soldadura. La imagen de la falta de fusión suele aparecer en la radiografía como una línea oscura y fina con bordes muy definidos. La línea puede presentar una forma ondulada y difusa, según sea la orientación del defecto respecto a la dirección de la radiación.

Las causas frecuentes de los defectos explicados anteriormente, son los siguientes:

- ▼ Superficies sucias, con escamas de óxido, grasa, resto de pintura, etc.
- ▼ Mala preparación de la junta de soldadura (no respetar dimensiones y forma del bisel) o bien, ausencia total de la preparación de la junta.
- ▼ Separación o unión del bisel excesiva.
- ▼ Ángulo inadecuado del bisel.

Es responsabilidad del inspector de soldadura, exigir al soldador la limpieza y correcta preparación de la junta de soldadura.

1.2.5 DEFECTOS DE LA SERIE 500. DEFECTOS DE CONTORNO, TRASLAPE, CONCAVIDADES, CORDONES IRREGULARES, SOCAVADO Y RECHUPES. ^[1-16]

Los defectos de **socavaciones** son unos de los más serios en la soldadura, y pueden presentarse tanto en la orilla de la corona del cordón de soldadura como en la orilla del cordón de raíz (es decir, en la parte inferior del cordón), ranuras o gargantas en la superficie de la pieza a lo largo del borde del cordón de soldadura. tal como se aprecia en la figura 1-6.

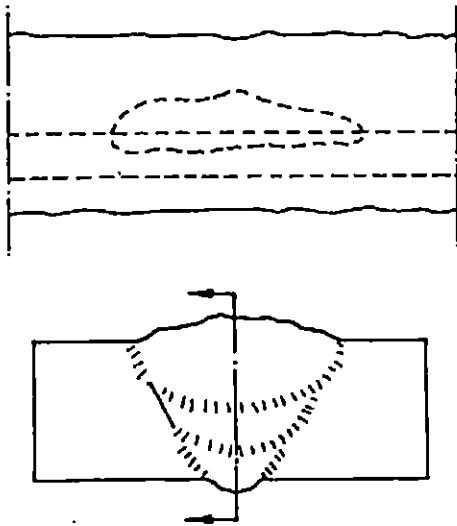


FIGURA 1-5a. Falta de Fusión ⁽¹⁻¹⁷⁾

Descripción: Defecto en dos dimensiones, debido a una falta de unión entre el metal de aportación y el base.

Imagen radiográfica: Línea oscura delgada con bordes muy definidos. La línea puede tender a ser ondulada y difusa, según sea la orientación del defecto respecto a la dirección de la radiación.

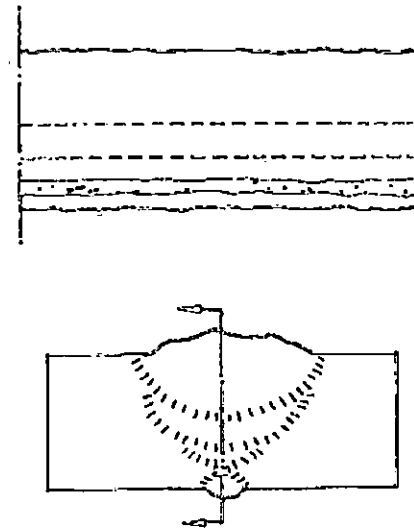


FIGURA 1-5b. Falta de Penetración ⁽¹⁻¹⁸⁾

Descripción: Falta de fusión en la raíz de la soldadura o ranura, debida a que el metal aportado no ha rellenado la raíz.

Imagen radiográfica: línea oscura o intermitente en el centro del cordón de soldadura.

Las socavaciones provocan problemas que afectan la resistencia de la soldadura, es decir, una disminución de la resistencia a la tensión con un rápido desarrollo de fatiga y rotura por las contracciones que originan el trabajo de la pieza soldada, así como una falla por flexión provocándose concentraciones de esfuerzos en algunos puntos del cordón y la consecuente falla del mismo. Los defectos de socavación se producen frecuentemente por:

- ▶ Una corriente excesiva al soldar.
- ▶ Manipulación incorrecta del electrodo, en lo que respecta a la altura del arco o en el ángulo, o en la velocidad de avance.

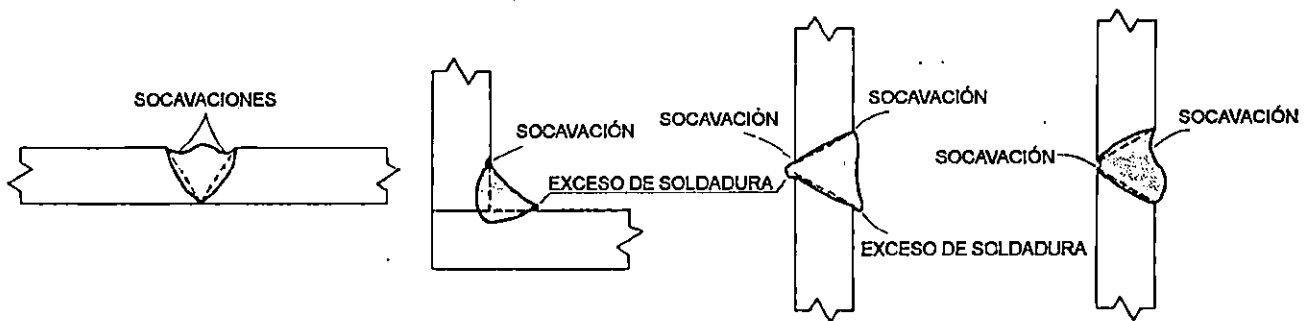


FIGURA 1-6. Ejemplificación de diferentes tipos de socavaciones que se pueden presentar en una unión soldada. ⁽¹⁻¹⁹⁾

En el cordón de acabado (ultimo) es posible detectar el defecto a simple vista, pero en un cordón de raíz es necesario recurrir a la prueba radiológica. En las radiografías las socavaciones aparecen como líneas oscuras limitando la imagen del cordón de soldadura (véase la FIGURA 1-6). Así se revela el

grado de severidad de los defectos de socavación y tomar medidas para evitarlos o corregirlos cuando estos sean encontrados.

Los defectos de mordeduras de bordes se presentan como ranuras o gargantas en la superficie de la pieza a lo largo del borde del cordón de soldadura. En las radiografías aparecen como una línea oscura limitando la imagen del cordón de soldadura, véase FIGURA 1-7.

Otros defectos, como el traslape, son objetables pero aceptables, aunque la decisión final la tendrá el inspector de soldadura. Por lo general dichos defectos son aceptables cuando su gravedad es mínima.

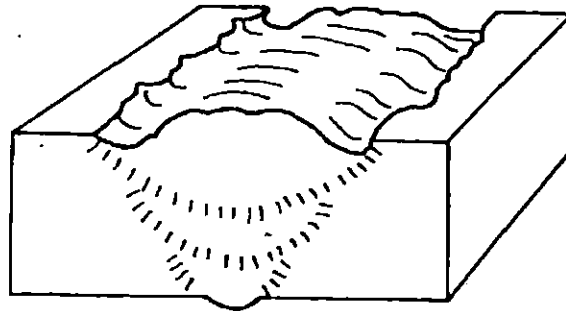


FIGURA 1-7. Ejemplificación de un defecto conocido como Mordedura de bordes
 Descripción: Ranura o garganta en la superficie de la chapa a lo largo del borde de la soldadura.
 Imagen Radiográfica: Línea oscura, a veces ancha, y difundida a lo largo del borde de cordón. ⁽¹⁻²⁰⁾

1.2.6 DEFECTOS DE LA SERIE 600: DEFECTOS MISCELÁNEOS PRESENTADOS EN LA SOLDADURA⁽¹⁻²¹⁾

Esta es la serie que incluye a los defectos que por sus características especiales no se ubican dentro de las series anteriores.

Uno de estos defectos es el denominado QUEMADA POR INTENSIDAD DE ARCO, que dependiendo del lugar donde se localice y de sus características físicas, puede ser condenable o sólo objetable.

Las quemadas crean problemas en aquellas piezas que van a ser endurecidas mediante tratamiento térmico.

Son inaceptables en aquellos lugares cercanos al lugar de la soldadura o cordón de la soldadura, sobre todo en las tuberías ya que debilitan las paredes de éstas.

Otros defectos que se ubican en esta serie son:

- ▶ Chisporroteo excesivo.
- ▶ Colillas o pedazos de alambre que quedan al realizar un proceso de soldadura GMAW
- ▶ Cordones irregulares.
- ▶ Apariencia pobre o globulada de la corona de la soldadura.
- ▶ Falta de limpieza en la orilla del cordón de soldadura donde se dejan partículas de la escoria.

En definitiva a pesar del objetivo de los manuales de radiografía industrial y de las colecciones de radiografías tipo para reducir a un mínimo cualquier empirismo y subjetividad del examen radiográfico,

se ha de tener presente que los casos encontrados en la practica rara vez son tan claros como aparecen en los ejemplos y como han sido explicados en los apartados anteriores. La evaluacion de un defecto y de su posible imagen radiográfica se deduce mediante una larga experiencia y conocimiento de las técnicas operatorias. En consecuencia, se ha de tener en cuenta que cualquier esfuerzo para expresar el resultado mediante una simple operación matemática es, a menudo imposible e incluso aventurado.

1.3 RESPONSABLES DE LOS DEFECTOS DE SOLDADURA.^[1-22]

Es necesario aclarar que en el proceso de soldadura no existen culpables sino responsables de alcanzar el objetivo de garantizar la calidad de su trabajo, y deben asumir ésta en el momento de que se presenten errores. Los responsables en un proceso de soldadura son entonces los siguientes:

<i>Responsable</i>	<i>Causas que podrían producir defectos en la soldadura</i>
El Soldador	Emplear una técnica de soldadura equivocada o por carecer de destreza.
El diseñador	Fallas en el diseño o dibujo de la pieza
El taller	Fallas de mantenimiento o en la preparación de la pieza por soldadura (por ejemplo, el torneado de los biseles de tubería para ser soldada)
El almacén	Por no disponer de políticas, procedimientos o equipos que permiten conservar el material en óptimas condiciones para los diferentes procesos de soldadura.
El comprador	Por desconocer las especificaciones correctas del material que se necesita para la soldadura (tamaños o tipos de varillas, fundentes, electrodos, o bien amperajes o voltajes a utilizar, etc.).
El fabricante de los aparatos o dispositivos de soldadura	Al igual que el comprador por desconocimiento.

TABLA 1-2. *Causas y responsables de los diferentes defectos que ocurren en los procesos de soldadura.*

Por lo indicado anteriormente, se comprende que el análisis que el inspector realice debe ser completo y exacto, con la capacidad de corregir al responsable de alguna falla sin afectar su dignidad humana.

Entre los documentos de inspección de soldadura, debe incluirse un informe conciso y preciso, sobre la responsabilidad de cada aspecto de la soldadura.

En estos documentos, cuando sea necesario, debe especificarse las acciones correctivas para algún defecto, con el fin de que posteriormente sea inspeccionado y aceptado por el inspector. Cuando esto se realice, se deben especificar las causas que originaron la falla de soldadura para no caer en la recurrencia del defecto.

1.4 PRINCIPALES NORMAS DE ACEPTACIÓN DE LA SOLDADURA SEGÚN PRUEBAS RADIOLÓGICAS.

Son demasiadas las causas que afectan a la calidad de una unión soldada para que que ésta pueda ser enjuiciada por la sola presencia de unos defectos, cuya importancia, a su vez, dependen de una gran número de factores, pues un defecto de tamaño y naturaleza determinados puede ser admitido en una zona donde los esfuerzos a los que se encuentra sometida la pieza no son relevantes, y no ser admisibles en otra zona de la misma pieza, la cual es crítica.

Los conocimientos actuales sobre la influencia de los defectos que puedan presentarse en las uniones soldadas, tanto en la resistencia a la fatiga como en la rotura de las mismas, conduce a un estado de gran confusión en la estimación de la utilidad práctica de la inspección radiológica de las soldaduras. Estudios recientes sobre uniones a tope en tubos con soldaduras defectuosas han mostrado que muchos de estos defectos internos, tales como la fina porosidad dispersa y discretas inclusiones de escoria, o bien no ejercen ninguna influencia o ésta es muy pequeña sobre la resistencia a la fatiga de la unión, y que frecuentemente la eventual causa era una entalla en la raíz de la unión soldada, la cual no tenía radiográficamente tanta importancia como las inclusiones de escoria o la porosidad. Aunque estos estudios demuestran la conveniencia de efectuar una revalorización de la importancia relativa de los defectos de las soldaduras, tal como son revelados por la radiografía, ello no implica que el ensayo radiográfico tenga necesariamente poca importancia, al contrario, debe considerarse una prueba de mucha importancia en la detección de defectos, en vez de un ensayo completo, en lo referente a la aceptación de las uniones soldadas.

Tal vez el punto de aceptación más sobresaliente, relativo a las normas de aceptación radiográfica, es el que la radiografía se emplea para mantener un nivel de ausencia de defectos que es posible alcanzar con una buena técnica de soldadura y que una experiencia previa ha demostrado que no pueden dar lugar a ningún fallo de la unión soldada en las condiciones de servicio a que se ha de encontrar sometida.

Con todo lo anterior se puede comprender lo difícil que es establecer si una soldadura es de calidad, o caso contrario debe ser rechazada, para esto se han creado normas (estándares) y códigos, los cuales simplificar el trabajo de evaluación. ¿Pero cual es la diferencia entre una norma y un código?

La ASME⁽¹⁻²³⁾ define las normas o normativas como aquel conjunto de definiciones y lineamientos, gracias a las cuales los diseñadores y constructores saben como realizar sus tareas. Pueden ser de unas cuantas páginas hasta cientos de ellas, son el resultado del trabajo de cientos de voluntarios, especialistas en el tema, los cuales participan en un comité en particular. Las normativas no son obligatorias, son voluntarias porque sirve como lineamientos para fabricar productos de calidad, pero no poseen el peso de la ley, tal y como sucede en America, en donde existen una gran mayoría de normativas pero no todas poseen el peso de la ley.

Según la ASTM⁽¹⁻²⁴⁾ las normativas son el vehículo de comunicación entre productores y usuarios. Estas sirven como el lenguaje común con el cual se puede definir la calidad de los productos y establecer criterios de seguridad de los mismos. Los costos son mucho más bajos si procedimientos de estos son establecidos; los entrenamientos también son simplificados. Un producto que cumpla una normativa proporciona la confiabilidad que los usuarios o clientes andan buscando para adquirir ese bien.

Un código es una norma que ha sido acertada por uno o más cuerpos gubernamentales de un país y posee toda la fuerza de la ley. Tal como sucede en Europa donde la mayoría de normativas se han convertido en códigos y con el surgimiento de la Unión Europea durante la década pasada, Europa ha venido realizando tremendos esfuerzos en materia de normalización, al punto de unificar la mayoría las normativas de los países de la Unión Europea, e en una sola normativa europea (las normas EN) las cuales han llegado a convertirse en códigos en toda Europa. Paso que todavía no se ha alcanzado en la unión americana, país en el cual la mayoría de normas no se han convertido en código, a excepción de algunos códigos, como el código ASME, diversos códigos de la AWS, códigos de Instalaciones y Equipos eléctrico, etc.

Tratar de establecer cual es la mejor norma o código de aceptación de defectos de soldaduras. Aunque tales códigos existen, éstos son completamente arbitrarios y dependen de trabajos de tanteo más que de un trasfondo científico o de criterios de ingeniería cuantitativos.

Los defectos superficiales, tal como la mordedura de bordes, que ejercen una considerable influencia sobre las características mecánicas de la unión, pero que deben ser detectadas por una inspección visual u otros métodos de END distinto a la radiografía, no deben ser considerados como esenciales en una calificación radiográfica, lo cual no excluye el que sean tenidos en cuenta al pretender calificar las soldaduras desde un punto de vista puramente radiográfico.

Si bien, en la práctica, las grietas, la falta de fusión y la falta de penetración no son admitidas en una soldadura de alta calidad por ninguno de los códigos en vigor, las opiniones sobre el grado de aceptación de la porosidad y de las inclusiones de escoria, sobre todo en cuanto a su tamaño y frecuencia en los límites de aceptabilidad se refiere, son de lo más variadas.

En Inglaterra, además del código de aceptación por el Almirantazgo Ingles en 1942 para las radiografías de los recipientes a presión y más recientemente por los códigos de la BSI, tal como el BSI-3351:1961, que se refiere a las uniones soldadas efectuadas en conducciones tubulares para la industria del petróleo, no hay publicado ningún código. Las entidades de Inspección, tales como el Lloyd's Register of Shipping y las compañías de seguros tienen a depender de la experiencia y criterio de sus inspectores más que de un código rígido o de unas radiografías tipo. Un sistema análogo de ellos, tales como en Alemania y Holanda, la inspección no destructiva y en especial la radiográfica, se encuentra centralizada de tal forma que la interpretación de las radiografías es llevada a cabo, en cada país, por un pequeño número de expertos. De esta forma es relativamente fácil mantener un determinado nivel y una uniformidad de criterio. En los Estados Unidos y quizás a causa de su gran extensión y de la amplia dispersión de su industria, es donde goza de mas favor el empleo de códigos oficiales y las colecciones de radiografías tipo.

Por cuanto en el presente trabajo de graduación se realizara en evaluaciones de soldaduras por métodos radiográficos, se mencionara la aceptación radiográfica de las uniones soldadas, contenidas en los principales códigos actualmente en vigor. Debido a lo extenso de cada uno de estos, se presentará un breve resumen de cada uno de ellos.

Muchas normativas y códigos relacionados con el control de calidad de uniones soldadas, se encuentran disponibles hoy en día, para las empresas que requieran llevar a cabo las tareas de las mismas, en el presente trabajo se muestran algunas de ellas.^[1-25]

1.5 GENERALIDADES DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.^[1-26]

El progreso en la ingeniería, gracias a innovaciones en el método de proyecto y a ingeniosas ideas, han posibilitado mejoras en los materiales de construcción o las técnicas constructivas; esto sólo es posible cuando existe un riguroso control de calidad del producto fabricado. Lo mencionado anteriormente se reviste de la mayor importancia en aquellos casos en que las características de los materiales y la resistencia del conjunto dependen en gran parte del proceso constructivo, tal como ocurre en las uniones soldadas.

Durante las últimas tres décadas, las soldaduras han experimentado un gran avance, en todas sus áreas, esto es evidente si lo comparamos con que en el año de 1921 únicamente se contaba con tres

procesos básicos y en la actualidad pasan de cincuenta.

El estudio y análisis de los defectos de soldadura se ha convertido en algo esencial para quienes trabajan en el ramo de la soldadura, ya que un defecto, puede llegar a afectar el buen funcionamiento de aquellas máquinas, ductos y construcciones en que se emplean. Esto ha obligado a profundizar en el estudio del área de las pruebas no destructivas y no destructivas. Gracias a estas pruebas, es posible decidir si determinada técnica o proceso de soldadura ha sido realizado correctamente, comprobándose así la calidad del artículo terminado.

El campo de las pruebas no destructivas es muy amplio existiendo en la actualidad más de treinta diferentes tipos, y se continua la búsqueda de nuevas formas de END con las cuales se pueda lograr un buen control de calidad de los productos o procesos.

Dentro de las pruebas no destructivas una de las más utilizadas para la evaluación de las soldaduras son las pruebas radiológicas. Pero antes de comenzar a desarrollar los diferentes conceptos y principios de la prueba radiológica, es necesario brindar un panorama general de los ensayos no destructivos, para comprender las diferentes ventajas y limitantes de este método respecto de los restantes.

1.5.1 CONCEPTO Y RAZONES PARA EL USO DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS.⁽¹⁻²⁷⁾

Los Ensayos no Destructivos pueden definirse como aquellas prácticas que se realizan sobre piezas semiacabadas o acabadas, sin interferir con el uso futuro de las mismas, con el fin de evaluar o determinar sus propiedades físicas, mecánicas, metalúrgicas, etc.

En un sentido mucho más amplio, se puede definir a los ensayos no destructivos como una modalidad de inspección y análisis en un elemento o pieza en particular, que es llevada a cabo sin la modificación de sus características físicas, químicas o mecánicas y potenciando su uso posterior.

Un símil de comparación de esta situación es el hecho que realiza un ama de casa cuando palpa la cascara de un melón, a través de esto ella verifica si el mismo se encuentra maduro, para determinar el estado del melón ha realizado un END. En cambio, si ella procede a cortar el melón por el medio y luego verifica si el mismo se encuentra maduro o no, entonces ha realizado un ensayo destructivo.

De lo mencionado anteriormente es fácil comprender las razones del uso de los END, entre las cuales las más importantes son las siguientes:

a) **GARANTIZAR LA CONFIANZA EN EL PRODUCTO TERMINADO.**

El simple hecho, en el cual el cliente adquiere un producto, del cual sabe que ha pasado por un END, le inspirará la confianza respectiva en cuanto al uso del mismo.

b) **PREVENIR ACCIDENTES Y EVITAR RIESGOS DE VIDAS HUMANAS Y/O PARALIZACIÓN DE SERVICIOS BÁSICOS.**

Este hecho constituye la principal finalidad para el uso de los END, y sin lugar a dudas, fue por esta razón que los mismos fueron desarrollados. En la actualidad el creciente progreso industrial demanda cada vez más y rigurosas medidas de seguridad, en equipos de alta presión, de productos inflamables y corrosivos y muchos otros, de los cuales su uso acarrea un riesgo muy grande en la vida de los operarios de dichos equipos y de las personas expuestas a los mismos.

Es así como los END se han convertido en una herramienta fundamental en la prevención de accidentes, pues a partir de su utilización estaremos evitando la fabricación de piezas defectuosas y consecuentemente, eliminando el riesgo de accidentes.

c) MEJORAR EL DESEMPEÑO DE LAS EMPRESAS.

Los END pueden mejorar el desempeño de las empresas por las siguientes razones:

▷ **Auxiliando el buen desarrollo del proyecto.**

Ejemplo: En un nuevo proceso de soldadura desarrollado por medio de los END se podrá, a partir de los resultados obtenidos de la inspección en un cuerpo de prueba, verificar la viabilidad de la aplicación práctica del mismo.

▷ **Reduciendo los costos de operación.**

Ejemplo: Se considera una pieza determinada que será sometida a un proceso de utilización complicado y oneroso. Con la utilización de los END, en una pieza en bruto se puede detectar la existencia de algún defecto interno de la misma. Sin la utilización de un ensayo este mismo defecto, podría aparecer durante el proceso de utilización redundando entonces en costos adicionales que podrían haber sido evitados.

▷ **Control del proceso de fabricación.**

El "control" es un concepto básico en la industria. Metalúrgicos, inspectores, operadores y personal de producción saben mucho de las dificultades que se presentan para mantener un proceso controlado. Cuando cualquier etapa de una fabricación queda "fuera de control" sin lugar a dudas la calidad será afectada debido a la introducción de defectos.

Los diferentes ensayos no destructivos contribuyen a mantener los procesos "bajo control", pues podrán ser aplicados a varias etapas del mismo, permitiendo que estos a su vez permanezcan bajo control a través de las correcciones oportunas.

1.5.2 VENTAJAS DE LOS ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS EN LOS PROCESOS DE FABRICACIÓN^[1-28]

Las ventajas de la utilización de los END en la industria pueden ser divididas en cuatro categorías, estas son: un aumento en la productividad, un aumento en la eficiencia, seguridad e identificación de las características de los materiales. A continuación detallamos cada una de las ventajas mencionadas anteriormente.

a) AUMENTO EN LA PRODUCTIVIDAD.

El aumento en la productividad, es decir, un aumento en las ganancias por una consecuente reducción de costos, se logra gracias al uso de los END, al proporcionar los siguientes beneficios:

- ▷ Evitan el desperdicio de materiales, es decir, existe una disminución de la chatarra y los residuos, debido a un mejor aprovechamiento de la materia prima.
- ▷ Al existir una reducción de la materia prima a procesar, se presenta una reducción en los desperdicios de energía.
- ▷ Otro hecho que resulta de los anteriores, es la reducción del tiempo desperdiciado.
- ▷ Con todos los aspectos mencionados anteriormente se reducen las divergencias de los productos versus los estándares de calidad, obteniendo un mejor nivel y uniformidad de la calidad de los mismos,

- ▷ Disminución en los costos de operación y producción.
- ▷ Mejora en el control de los procesos.
- ▷ Recuperación de materiales. Los END permiten que los materiales defectuosos puedan ser recuperados.
- ▷ Se propicia el seguimiento de los proyectos.
- ▷ Se identifica la existencia de materiales inaceptables.
- ▷ Se permite un uso más eficiente del equipo.

b) AUMENTO EN LA EFICIENCIA DE LAS PIEZAS DURANTE SU UTILIZACIÓN.

Esto se lleva a cabo gracias a lo siguiente:

- ▷ Una localización de las regiones de tensiones mecánicas.
- ▷ Una localización de la existencia de posibles fallas por fatiga.
- ▷ Prevención del mal funcionamiento de equipos vitales.
- ▷ Eliminación de las averías presentadas en las piezas o equipos.
- ▷ Disminución en los costos de operación y producción.

c) SEGURIDAD.

Esta ventaja se logra gracias a la prevención concerniente a accidentes, pérdidas de vidas humanas y bienes materiales hechos que se consiguen con el uso oportuno de los END.

d) IDENTIFICACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES DE LOS MATERIALES.

Los diferentes END son excelentes herramientas para permitir una clasificación de materiales, diferencias en sus tratamientos térmicos, en sus propiedades físicas, y en las propiedades metalúrgicas de los mismos.

1.6 TIPOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS. DESCRIPCIONES, COMPARACIONES Y SUS RESPECTIVOS CAMPOS DE APLICACIÓN. [1-29]

1.6.1 TIPOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS (END)

Existe una gran cantidad de tipos de END, los cuales se encuentran permanentemente en evolución y además existe la imperiosa necesidad de buscar y aplicar nuevos tipos de examinación, como respuesta a las exigencias de los nuevos y sofisticados procesos de fabricación de hoy en día.

Entre algunos de los muchos tipos de END que se utilizan en la actualidad podemos mencionar los siguientes:

- ▷ Ensayo de Dureza.
- ▷ Ensayos por Líquidos Penetrantes.
- ▷ Ensayos utilizando partículas magnéticas.
- ▷ Ensayos de corrientes parásitas (Eddy currents).
- ▷ Ensayos Radiológicos (utilizando Rayos X, o bien rayos Gamma).
- ▷ Inspección de radiografía de neutrones.
- ▷ Inspección Ultrasónica.
- ▷ Inspección por Holografía Óptica.

- ▷ Inspecciones por Holografía Acústica.
- ▷ Inspección por Microondas.
- ▷ Inspecciones Térmicas.
- ▷ Técnica de Fluorescencia de Rayos X, utilizada para la Identificación de aleaciones y metales.
- ▷ Metalografía no destructiva.
- ▷ Emisión Acústica.

1.6.2 SELECCIÓN DEL MÉTODO ADECUADO.

Como se vio en el apartado anterior, existe una gran cantidad de ensayos no destructivos, complicándose la realización de la mejor selección del mismo y de sus respectivas técnicas de inspección para utilizarse en cada caso particular. Por tanto, es de fundamental importancia que el criterio de selección sea bien hecho a fin de que podamos aplicar, en cada caso, la prueba que nos brinde los mejores resultados.

En la selección de los métodos de ensayo no destructivos para un fin en particular se debe tener mente que un método puede complementar a otro y que diversas pruebas pueden ser aplicadas a una misma pieza de ensayo.

La selección de un determinado END a utilizarse en una aplicación específica deberá basarse en los siguientes factores:

- a) Tipo y origen de los defectos a ser detectados.
- b) El Proceso de Fabricación del material o de la pieza a inspeccionar.
- c) Accesibilidad a la región de ensayo.
- d) El nivel de aceptabilidad deseado.
- e) Disponibilidad de equipos.
- f) Costo.

Por lo mencionado anteriormente, es fácil comprender la importancia que reviste el hecho de realizar una análisis profundo en la selección de la prueba indicada, evitándose así, errores en los resultados obtenidos, además de otros inconvenientes tales como gastos innecesarios, por tener que repetir nuevamente las pruebas, por el tiempo perdido, entre otros.

1.6.3 TIPOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS UTILIZADOS EN LA DETECCIÓN DE DEFECTOS DE LAS UNIONES SOLDADAS.

La filosofía que frecuentemente guía la fabricación de las uniones y estructuras soldadas es "el aseguramiento de la calidad de las soldaduras". Sin embargo, la frase "calidad de la soldadura", posee un significado relativo, y en definitiva se materializa en una norma o un código, y la aplicación del mismo antes, durante y después de realizar la soldadura, es lo que determina si una soldadura es de buena calidad.

Una definición de calidad de soldadura puede ser la siguiente, "*calidad de la soldadura es un conjunto ponderado de características funcionales, cada una en su grado respectivo, que definen el comportamiento de la soldadura, en relación con la finalidad para la cual ha sido proyectada*", nótese como en esta definición no se menciona que para que una soldadura sea de calidad, debe estar libre de defectos; mas bien pone su atención en la relación que existen en el el grado y severidad de estos, con

las características funcionales de la soldadura, además de la finalidad para la cual esta fue diseñada.^[1-30]

Una buena apariencia de la junta soldada es el primer paso que debe cumplirse para asegurar una buena calidad de la misma, pero son las etapas más significativas las que determinan los requerimientos de servicio de la pieza, los cuales únicamente pueden ser controlados, aplicando una norma en particular. Es decir, que para normalizar la calidad de las uniones soldadas, todas las soldaduras deben ser inspeccionadas. Al respecto, las normas han sido diseñadas para saber que lugares son los más críticos y necesarios de ser inspeccionados, de realizarse lo anterior la soldadura puede ser clasificada con el calificativo de buena o mala.

La calidad de la soldadura podría diferir de soldador a soldador, o bien de un inspector de soldadura a otro, pero el uso de la apropiada técnica de inspección garantiza que los requerimientos especificados por la norma de calidad de soldadura, para aumentar el grado de confiabilidad las técnicas de inspección deben realizarse utilizando una norma de calidad. Es decir, para que todo sea de calidad normal, todo debe realizarse bajo norma.

Definitivamente los ensayos no destructivos (END) hacen posible verificar que la soldadura posee la calidad especificada en determinadas normativas, calidad que debe de mantenerse en las regiones superficiales, sub-superficiales, volumétricas y en los alrededores de las soldaduras, todas con el fin de revelar la calidad de las mismas.

Existen cinco métodos que son frecuentemente utilizados en la evaluación de la calidad de las soldaduras, entre estos se encuentra

- ▶ La inspección visual.
- ▶ La inspección por líquidos penetrantes.
- ▶ Inspección utilizando partículas magnéticas .
- ▶ Pruebas de ultrasonido.
- ▶ La termografía infrarroja (un método de inspección que está cobrando gran importancia en lo que respecta a la inspección de uniones soldadas).
- ▶ Los ensayos radiológicos .

A continuación procedemos a detallar cada uno de los cinco métodos de inspección, mencionados anteriormente:

1.6.3.1 INSPECCIÓN VISUAL (VT).

Es el tipo de END más ampliamente utilizado y uno de los más importantes. Es fácil de aplicar, proporciona resultados inmediatos y normalmente su realización es de bajo costo. El método de VT brinda el mayor costo-beneficio, pero tiene el inconveniente que debe realizarse antes, durante y después del proceso de soldadura, por tal hecho muchas normativas exigen que se utilice VT antes que otros métodos de inspección.

La AWS^[1-31] menciona "las soldaduras sometidas a ensayos no destructivos debe haberse aprobado previamente por una inspección visual". La inspección visual requiere pocos recursos que van desde una buena visión y buena iluminación de la zona a inspeccionar, hasta elementos como una regla de bolsillo, un calibrador de soldaduras (wel size gauge), una lupa de aumento (magnifying glass), o bien

tuboscopio, tal y como se aprecia en la FIGURA 1-8.

El principio básico de la prueba no destructiva visual, consiste en iluminar bien la región a inspeccionar, la pieza será examinada, entonces directamente al ojo, o a través de un instrumento de aumento, tal como una lupa por un tuboscopio.

Las piezas a soldar deben de encontrarse perfectamente planas, derechas, libres de deformaciones y con su respectiva precisión dimensional. Del mismo modo, la alineación, el estado y la preparación de la junta deben ser examinados. Finalmente, las variables del proceso de soldadura deben de ser examinados, variables tales como el tamaño y el tipo del electrodo, características del equipo a utilizar y los recursos para un pre y post-calentamiento. Todas las precauciones mencionadas anteriormente deben de realizarse independientemente del tipo de método de inspección a realizarse.



FIGURA 1-8. *Inspector de soldadura realizando una prueba no destructiva visual en una unión en T, obsérvese los diferentes instrumentos que este utiliza para llevar a cabo su trabajo.*^[1-32]

Durante la fabricación, el proceso de soldadura, la inspección visual de un cordón de soldadura y el crater que se forma al final del mismo, podrían revelar problemas tales como rajaduras, falta de penetración e inclusiones de gas o escoria. Entre los defectos de soldadura que pueden ser identificados por el método de inspección visual se encuentran: las rajaduras (cracking), las inclusiones superficiales de escoria (surface slag inclusions), las porosidades superficiales y socavaciones (surface porosity and undercut).

Inspeccionar desde el principio de cada operación y hacerlo periódicamente como parte importante del proceso de trabajo resultará en grandes beneficios. Donde una capa o filete esta siendo depositada, sin embargo es necesario inspeccionar un cordón antes de depositar el siguiente. El pase de raíz de una soldadura multipases, es el pase más importante y más crítico de todos, debido a que es especialmente susceptible a rajarse, porque solidifica tan rápidamente que podrían quedar atrapados gases o escorias. En pasos subsecuentes, las condiciones proporcionadas por la forma del cordón de soldadura o cambios en las características de la junta, pueden provocar además rajaduras o bien socavación o escoria atrapada, es así como deben tomarse muy en cuenta todas las variables necesarias para obtener una buena soldadura. Los costos de reparación pueden ser minimizados si el VT identifica estos defectos antes de efectuar el proceso de soldadura.

Un VT, realizado antes del proceso de soldadura también puede evitar la formación de exceso o falta de material de aporte. Soldaduras con dimensiones más pequeñas que las especificadas en las respectivas normativas son rechazadas. Cordones de soldadura demasiado anchos aumentan los costos

innecesariamente, con el consecuente distorsionamiento debido a un aumento en los esfuerzos de contracción (shrinkage stress).

Después de la soldadura, con el VT se puede detectar una variedad de defectos superficiales, tales como rajaduras, porosidades y cráteres sin rellenar (unfilled craters), sin dejar de realizar los subsiguientes procesos de inspección. Diferencias distorsionales, alabeos (warpage) y otros defectos aparentes, así como también las características relacionadas con el tamaño de la soldadura, pueden ser evaluadas utilizando un VT.

Antes de examinar la existencia de defectos superficiales, debe retirarse completamente la escoria de la soldadura. Luego con el VT se detectan todos los defectos en la superficie de la soldadura. Las especificaciones correspondientes a normativas o códigos de aplicación podrían requerir que la porción interna de la soldadura y la zona de unión con el metal base, también sean examinadas. Pruebas no destructivas podrían ser utilizadas para determinar la presencia de defectos, pero estas no pueden medir la influencia que provocan los defectos en el servicio del producto a menos que estas se encuentren basadas en una corrección entre los defectos y algunos efectos del servicio. De otro modo, los ensayos no destructivos son una forma segura de garantizar la confiabilidad del servicio de una soldadura.

1.6.3.2 LÍQUIDOS PENETRANTES (PT)

La inspección por líquidos penetrantes es un método de END utilizado para la detección de discontinuidades que se encuentran en la superficie de piezas mecánicas. El método de END es considerado una extensión del método de VT. Muchas normas coinciden que debe utilizarse después de un VT, la AWS⁽¹⁻³³⁾ menciona que "soldaduras sometidas a ensayos o pruebas de líquidos penetrantes debieron haber sido evaluadas previamente según los requerimientos de una inspección visual".

Muchas discontinuidades reveladas por el método de líquidos penetrantes podrían no ser detectadas, por medio de una prueba de VT, aunque sea realizada incluso por un inspector experimentado.

Defectos tales como rajaduras superficiales y agujeros abiertos a la superficie (pinholes) pueden ser identificados por medio del método de PT. Este método es ampliamente utilizado para localizar grietas en soldaduras y puede ser aplicado tanto en aceros austeníticos como en materiales no ferrosos, brindando una ventaja en relación a la prueba de partículas magnéticas, la cual no permite ser utilizada en estos casos.

Los líquidos penetrantes revelan una discontinuidad facilitando su visualización, haciendo que la inspección dependa menos del elemento humano. Esto hace que este método sea más adaptado a un sistema de producción aumentando la credibilidad en la rapidez de inspección.

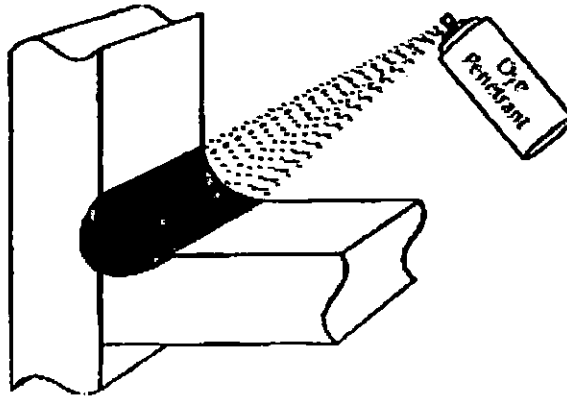


FIGURA 1-9. Aplicación de un líquido penetrante en forma de spray sobre una junta de soldadura, para detectar defectos no apreciables a simple vista ni a pruebas de VT. ⁽¹⁻³⁴⁾

La técnica de PT, consiste prácticamente en la aplicación de un líquido penetrante sobre la soldadura a inspeccionar (véase FIGURA 1-9), dicho líquido es generalmente un tinte de color intenso, el cual posee una baja viscosidad y en función de esto penetra en las discontinuidades existentes en la superficie (FIGURA 1-10a), penetrando poco a poco en estas (FIGURA 1-10b) para luego quedar aprisionada en el interior del defecto (FIGURA 1-10c).

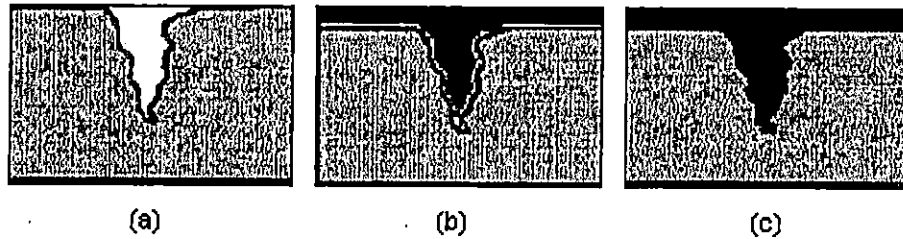


FIGURA 1-10. Aplicación de un líquido penetrante sobre una junta de soldadura, para detectar defectos no apreciables a simple vista ni a pruebas de VT. ⁽¹⁻³⁵⁾

Después de esto con un paño ligeramente empapado en un líquido removedor se limpia cuidadosamente la pieza, con el objetivo de eliminar el exceso de líquido penetrante localizado en la superficie de la pieza, dejando únicamente el líquido atrapado en el defecto superficial (FIGURA 1-11a)

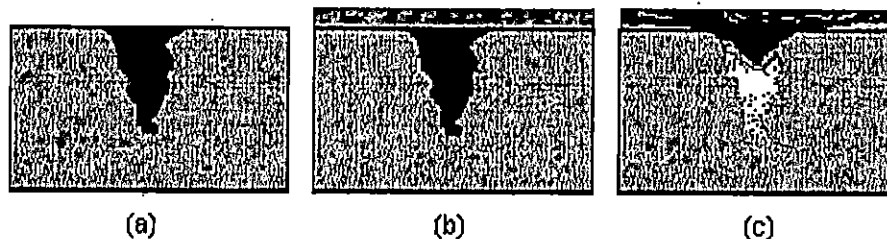


FIGURA 1-11. Aplicación de un líquido penetrante sobre una junta de soldadura, para detectar defectos no apreciables a simple vista ni a pruebas de VT ⁽¹⁻³⁶⁾

Posteriormente se aplica el líquido revelador sobre toda la pieza (FIGURA 1-11b), el líquido revelador contiene normalmente talco en suspensión, dicho líquido será absorbido por el revelador y

como el primero posee una coloración bermeja, por contraste mostrara las discontinuidades existentes en la pieza (FIGURA 1-11c).

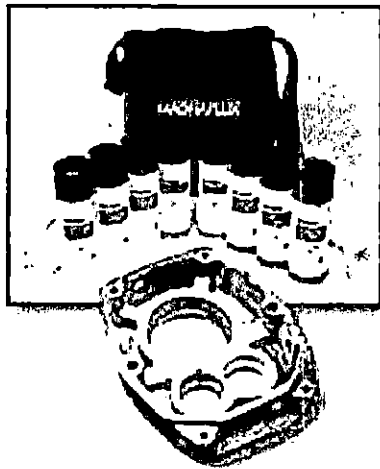


FIGURA 1-12. *Fotografía de un conjunto de aerosoles de líquidos penetrantes de la marca MAGNAFLUX, los cuales se utilizan en la inspección de diferentes piezas y elementos mecánicos.* ⁽¹⁻³⁷⁾

Son dos los tipos de líquidos penetrantes utilizados en las pruebas de PT, estos son los líquidos fluorescentes y los líquidos colorantes. Una prueba de PT utilizando un penetrante fluorescente, es un líquido altamente fluorescente, con cualidades de buena penetración es aplicado en la zona superficial a inspeccionar, luego de esto el exceso de líquido penetrante en la superficie es removido. Luego de la aplicación del revelador, la zona bajo inspección es observada en presencia de luz ultravioleta (luz negra). El alto contraste que se presenta entre el material fluorescente y el objeto hace posible detectar la presencia de defectos superficiales.

La prueba de PT realizada utilizando un penetrante de color intenso (dye penetrant) es similar a la explicada anteriormente, con la diferencia que el tinte del penetrante hace que este sea visible ante la presencia de luz ordinaria. Normalmente un revelado con talco en suspensión de color blanco es usado junto con un penetrante de color, para crear así un claro contraste entre ambos y poder identificar la mejor localización y tamaño del defecto superficial, todo esto lo convierte en un método de inspección de gran portabilidad y elimina así los inconveniente de utilizar luz negra.

Algo muy importante en el método de PT, es que la zona a inspeccionar debe de encontrarse limpia y seca, porque de no ser así cualquier cuerpo extraño podría cerrar las rajaduras o los agujeros abiertos a la superficie (pinholes). Los penetrantes pueden ser aplicados por inmersión de la pieza en el líquido, en forma de spray, o utilizando una brocha, teniendo siempre el cuidado de guardar el tiempo respectivo para que el penetrante sea completamente absorbido por la discontinuidad.

La prueba de PT posee la ventaja de ser un ensayo de fácil y rápida aplicación, además de que es relativamente barato. Sin embargo, ofrece la desventaja que solamente revela discontinuidades en la superficie de la pieza.

Los líquidos penetrantes nos da solamente una indicación aproximada de la profundidad y tamaño del defecto.

1.6.3.3 INSPECCIÓN UTILIZANDO PARTÍCULAS MAGNÉTICAS (MT).

La **inspección por partículas magnéticas** es un método para la localización de defectos superficiales y sub-superficiales (próximos a las superficie de la pieza, pero no abiertos a ella) en materiales ferromagnéticos.

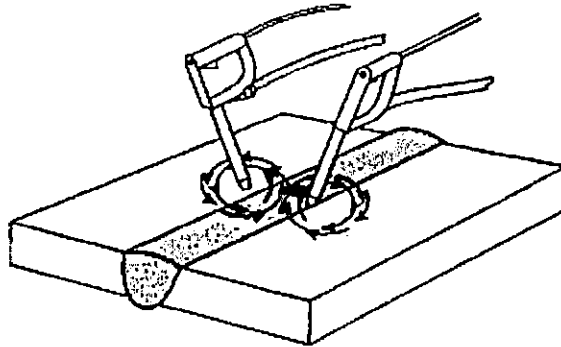


FIGURA 1-13. Representación Esquemática de la aplicación de una prueba de partículas magnéticas a una unión soldada. Nótese la posición de las puntas con el fin de detectar defectos en la zona de la junta soldada ubicada entre y en las inmediaciones de las puntas. ^[1-30]

El método de MT consiste usualmente en colocar unas puntas (conocidas como jokes), a cada lado del área a inspeccionar, luego un alto amperaje es hecho pasar entre el espacio de trabajo, produciéndose un campo magnético, cuando la densidad del campo magnético (B) encuentra una discontinuidad, tal como podría ser una rajadura longitudinal (longitudinal crack), estas son desviadas por la discontinuidad, produciéndose polos magnéticos o puntos de atracción.

El principio de este método de inspección se basa en el hecho de que, cuando la pieza a examinar es magnetizada (véase FIGURA 1-14) las discontinuidades existentes provocan la formación de un campo de fuga, modificando la densidad del flujo magnético, la presencia de este campo de fuga, causado por discontinuidades, será detectado a través del uso de partículas de materiales ferromagnéticos finamente divididas y aplicadas sobre la superficie, pues las mismas serán atraídas por el campo de fuga y se aglomeraran en el entorno del mismo, indicando su localización y extensión.

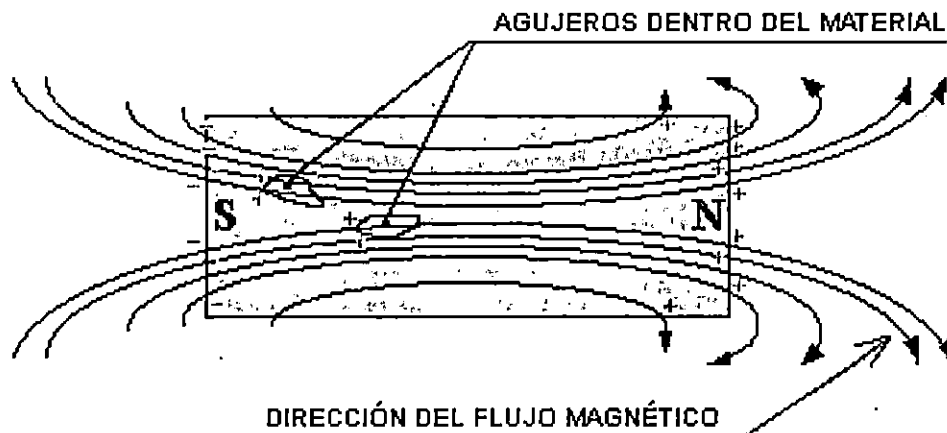


FIGURA 1-14. Esquematización de la formación de polos magnéticos, debido a la presencia de un campo magnético

Estas partículas son aplicadas en la superficie de la pieza a inspeccionar en forma seca o en

suspensión en líquidos como agua o aceite.

Las partículas magnéticas pueden ser aplicadas en seco o en suspensión de agua o aceite. El método de partículas en seco es el más popular para la inspección de soldaduras pesadas, por otro lado el método de partículas en suspensión es recomendable para inspeccionar componentes de aviones. Las partículas magnéticas en seco, son rociadas uniformemente sobre la zona a inspeccionar, por medio de un spray, algún atomizador o bien utilizando algún otro tipo de rociador. Para mejorar la visualización de los defectos se utilizan partículas magnéticas de colores rojo, negro o gris.

Las partículas magnéticas en suspensión, pueden ser aplicadas rociándolas sobre la pieza de trabajo por medio de un atomizador, o bien, sumergiendo la pieza en una suspensión de partículas magnéticas. El método de MT en suspensión, es mucho más sensitivo que el método de MT secas, porque en este método se utiliza finas partículas magnéticas las cuales pueden detectar defectos extremadamente finos. Las partículas fluorescentes pueden ser utilizadas para aumentar la sensibilidad y son especialmente adecuadas para localizar discontinuidades en esquinas, chaveteros (keyways), curvas especiales (splines) y agujeros profundos.

El método de MT es excelente para detectar defectos superficiales en soldaduras, incluyendo discontinuidades que no pueden observarse a simple vista, o bien defectos subsuperficiales. También puede ser utilizado para inspeccionar filetes de soldaduras previos a la realización del siguiente cordón en una soldadura multipasos, con el afán de determinar si existe la necesidad de reparación en cada uno de los pases efectuados.

El método de MT es bueno para detectar rajaduras superficiales de todos los tamaños, tanto en la soldadura como en el material base. También es una excelente alternativa para determinar rajaduras sub-superficiales, fusión incompleta en algún tramo del cordón, socavación y falta de penetración en la raíz; además este método es capaz de detectar defectos en los filetes reparados del metal base. Aunque la prueba de partículas magnéticas, no es un sustituto de la radiología industrial o el ultrasonido, en lo que respecta a la evaluación de defectos sub-superficiales representa un adelanto sobre los dos métodos mencionados, muy particularmente en la detección de rajaduras muy finas y discontinuidades superficiales extremadamente pequeñas.

Aunque el método de MT es mucho más simple que la inspección radiológica este se ve limitado al uso en materiales ferromagnéticos y no puede ser usado en aceros austeníticos. Además, una junta soldada entre un metal base y un material de aporte de diferentes propiedades magnéticas puede provocar discontinuidades magnéticas (perturbaciones) las cuales fácilmente pueden confundirse con defectos en la soldadura. Por otro lado una verdadera discontinuidad puede ser ocultada por la misma perturbación magnética. La sensibilidad en la detección de defectos decrece con el tamaño de los defectos y es menos efectivo para detectar defectos como bolsas de gases. Su sensibilidad es más efectiva para defectos cuyas formas son alargadas, tales como rajaduras y como se ha mencionado en ocasiones anteriores, la aplicación del método de MT se encuentra limitado sobretodo a defectos superficiales o sub-superficiales en materiales de espesores delgados.

Es importante mencionar algunas otras limitaciones del método de MT que deben ser del conocimiento del inspector de soldadura:

- a) Películas de pintura u otra capa no magnética sobre las piezas pueden ocultar los resultados.
- b) El método sólo es aplicable a materiales ferromagnéticos.

- c) Para mejores resultados, el campo magnético debe tener una dirección que intercepte el plano principal de la discontinuidad. Debido a que el campo magnético puede ser distorsionado lo suficiente para producir dispersiones del mismo (external leakage), para identificar pequeños defectos tales como: diminutas discontinuidades alargadas, tales como finas rajaduras, costuras (seams) o inclusiones, las cuales se encuentren paralelas al campo magnético, no será posible detectarlas. Para esto es necesario efectuar un cambio en la dirección de la densidad de flujo del campo magnético. Estas pueden ser detectadas cambiando la dirección del campo magnético, por lo que es recomendable aplicar el campo desde dos direcciones, preferentemente en direcciones perpendiculares unas de otras.

Debido a esto son recomendadas dos o más secuencias de operaciones en una misma región de la pieza, en diferentes direcciones.

- d) Es necesario la desmagnetización de la pieza.
- e) Para piezas de gran tamaño son requeridas altas corrientes eléctricas.

A pesar de todo lo mencionado anteriormente el método de MT podría representar en algunos casos una ventaja en la detección de delgadas rajaduras y discontinuidades superficiales, respecto de las pruebas de RT y UT.

1.6.3.4 PRUEBAS DE ULTRASONIDO. (UT)

La **Inspección ultrasónica** es un método de ensayo no destructivo en el cual grupos de ondas de sonido de alta frecuencia son aplicadas al material a inspeccionar, con el fin de detectar defectos superficiales e internos (volumétricos). Las ondas atraviesan el material y son reflejadas en direcciones específicas que dependen de la orientación de la onda inicial y las superficies de la pieza de trabajo, las cuales hacen las veces de espejos. Este haz reflejado (eco) es detectado y analizado definiendo entonces la presencia y la localización de las discontinuidades.

El ensayo ultrasónico está basado en el hecho de que la presencia de discontinuidades o un cambio en la densidad del material actuará como si fuese un reflector de propagaciones de alta frecuencia impuesto ahí mismo. El equipo de ultrasonido posee un cabezal que contiene un cristal de cuarzo (u otro material piezo-eléctrico) el cual se encuentra encapsulado en un transductor, a este conjunto se le conoce como probeta, cabezal o probador. Cuando un voltaje es aplicado, el cristal vibra a la frecuencia de la corriente que pasa por este, la cual por lo general oscila entre los 60 hz y 1 Khz.

Cuando el cabezal ultrasónico es colocado sobre la pieza, esta vibración es transmitida desde una cara de la pieza hasta la cara opuesta de la misma, punto en el cual esta es reflejada atenuadamente hasta el punto en donde se encuentra el palpador, pero si en el camino de esta onda de ultrasonido se encuentra una discontinuidad o cambio de densidad, parte de esta energía (vibración) es reflejada de vuelta en forma anticipada, llegando nuevamente al cabezal, transmitiendo la vibración al cristal el cual la transformará en pulsos eléctricos que podrán ser visualizados en la pantalla de un osciloscopio.

El método de UT es menos adecuado que otros métodos de END para determinar lo que son las porosidades en la soldadura, porque pequeñas bolsas de gas atrapadas en el cordón, responden como ecos provenientes de puntos en particular, lo que provoca que en respuestas de baja amplitud sean fácilmente confundibles con ruido de fondo (base line noise), el cual es un parámetro inherente a la prueba de UT. Sin embargo, este método es preferible utilizarse en lo que respecta a la detección de

discontinuidades y defectos de piezas provenientes de procesos de laminación.

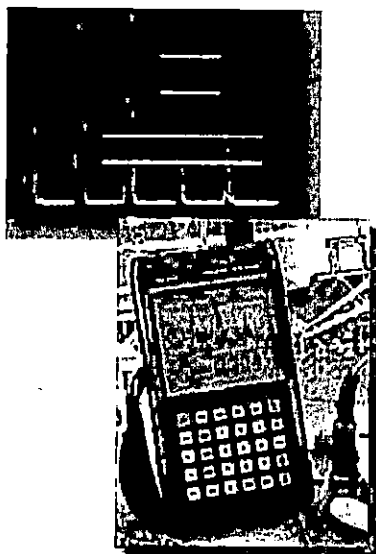


FIGURA 1-15a

Fotografías en las cuales se muestra un equipo de ultrasonido, inspeccionando la calidad de una soldadura y la gráfica que revela defectos en la misma. Obsérvese lo extremadamente simple que resulta el equipo de UT, por lo que el mismo se vuelve extraordinariamente portátil [1-39]

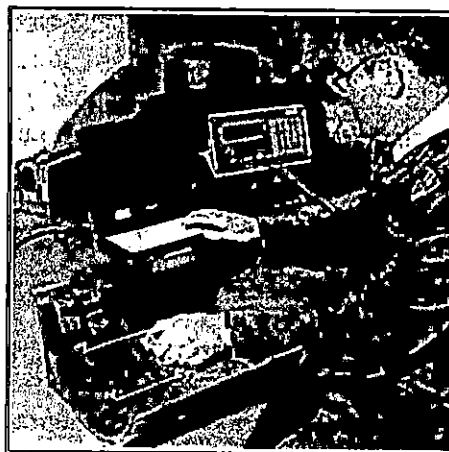


FIGURA 1-15b

Fotografía en la cual se observa a un técnico de END haciendo una inspección UT de la soldadura en una soldadura circunferencial de una porción de tubería. En la FIGURA se visualiza el palpador y el osciloscopio donde se muestra los resultados y el almacenamiento de los datos obtenidos en un ordenador. [1-40]

El equipo ultrasónico es portátil y viene acompañado de funciones digitales, controles y de un microprocesador. Estos instrumentos pueden proporcionar registro de los resultados obtenidos, impresión o mostrar en video cada uno de estos.

Como toda prueba no destructiva, los ensayos UT ofrecen ventajas y desventajas entre las cuales podemos mencionar las siguientes:

VENTAJAS:

- ▷ Alto poder de penetración, el cual permite la identificación de discontinuidades en grandes espesores.
- ▷ Alta sensibilidad permitiendo la detección de discontinuidades sumamente pequeñas.
- ▷ Mayor capacidad que otros métodos de END en la determinación de la posición de discontinuidades internas, estimando su forma, orientación, dimensión y naturaleza.
- ▷ Necesidad de acceso únicamente a una de las superficies de la pieza.
- ▷ Detección instantánea de las discontinuidades.
- ▷ Portabilidad del equipo.

DESVENTAJAS:

- ▷ La operación requiere conocimientos y experiencia especializados por parte del operador.
- ▷ No es apropiado para la inspección de superficies mal acabadas.
- ▷ Discontinuidades que se presentan muy próximas a la superficie, pueden no ser detectadas.
- ▷ Requiere siempre calibración del equipo, esta calibración no siempre es de ejecución simple.

1.6.3.5 CORRIENTES EDDY (EC). ¹¹⁻¹¹

El Método de corriente Eddy es una técnica que se utiliza, tanto en la detección de discontinuidades en materiales, como para medir indirectamente características mecánicas, metalúrgicas y físicas que se correlacionan con las propiedades eléctricas y magnéticas del objeto ensayado.

El Método es utilizado principalmente en materiales delgados; si se le utiliza en materiales gruesos, las limitaciones de penetración hacen que la inspección se limite a capas superficiales extremadamente finas.

El ensayo se basa en la interacción de campos electromagnéticos, en el objeto examinado. Los componentes básicos son:

- ▷ Una bobina conduciendo corriente alterna.
- ▷ Un medio de detección de la corriente.
- ▷ El objeto metálico sujeto a ensayo.

La corriente alterna en la bobina induce un campo magnético orientando perpendicularmente a la corriente, este campo es modificado si un componente metálico, está presente. Si el campo magnético intercepta un componente conductor no magnético, se generan o inducen corrientes parásitas (corrientes eddy) las cuales fluyen normales al campo magnético.

Las corrientes así inducidas, a su vez, establecen un campo magnético secundario el cual resulta opuesto al de la bobina, lo que causa una cancelación parcial.

La reducción del flujo magnético en la bobina produce un cambio en su impedancia y es precisamente el monitoreo de este cambio lo que se asocia con los defectos y constituye el ensayo por corrientes eddy.

APLICACIONES

Las corrientes inducidas pueden utilizarse en la medición de conductividad eléctrica; Así también en medición de espesores, tales como:

- ▷ Medición del espesor total de productos metálicos delgados cuando el espesor medido, es menor que la profundidad de penetración efectiva.
- ▷ Medición del espesor de recubrimientos no conductores sobre bases o sustratos metálicos.
- ▷ Medición de recubrimientos metálicos sobre una base conductora o magnética. Esta aplicación presenta las variantes de recubrimientos de baja y alta conductividad y recubrimientos de baja y alta permeabilidad sobre sustratos de alta o baja conductividad o permeabilidad según sea el caso.
- ▷ Detección de fisuras y conocer el valor de algunas propiedades mecánicas de materiales metálicos.

Como desventajas del Ensayo podemos mencionar:

- ▷ Efectivo en espesores delgados; si el espesor de la pieza sujeta bajo ensayo aumenta, la inexactitud de mediciones aumenta.
- ▷ Es aplicable únicamente donde se requiere de un método superficial y subsuperficial.

- ▶ Necesita patrones de calibración los cuales deben duplicar la geometría del material ensayado, sí como sus propiedades eléctricas y magnéticas.

1.6.3.5 TERMOGRAFÍA INFRARROJA (IRT).

La **termografía industrial**, o **termografía infrarroja**, es uno de los métodos de END que está tomando cada día mayor auge a nivel mundial^[1-42] no solo en el aseguramiento del control de calidad de uniones soldadas sino también en el cálculo de la vida residual de tuberías oxidadas, determinación de:

- ▶ La determinación de las pérdidas de calor que se producen en instalaciones eléctricas o mecánicas como en edificios, plantas, refinerías, etc.
- ▶ Niveles de humedad en edificios, plantas industriales o bien sistemas electromecánicos donde estos no deben existir.
- ▶ Inspecciones en el aislamiento de hornos e intercambiadores de calor
- ▶ Aplicaciones médicas, aplicaciones militares (misiles de búsqueda y reconocimiento)
- ▶ Aplicaciones Especializadas de investigación y desarrollo.
- ▶ Inspección de tuberías, detección de defectos como diferencias de densidad, puntos húmedos o calientes, detección de rajaduras y porosidades en materiales metálicos, y cambios en las propiedades mecánicas y físicas de los mismos.

Además el ensayo de IRT es una excelente alternativa para determinar el estado y las condiciones de funcionamiento y sobrecalentamiento de sistemas eléctricos o mecánicos, muchas de estas aplicaciones se pueden apreciar en la FIGURA 1-16, con el fin de programar y realizar las respectivas tareas de mantenimiento ya sea correctivo o preventivo.

La termografía industrial se basa en los principios de la radiación infrarroja, es decir, la radiación infrarroja es un tipo de energía en forma de ondas electromagnéticas de iguales propiedades de la luz visible, poseen una longitud de onda menor que la luz roja visible y mayor que las microondas.

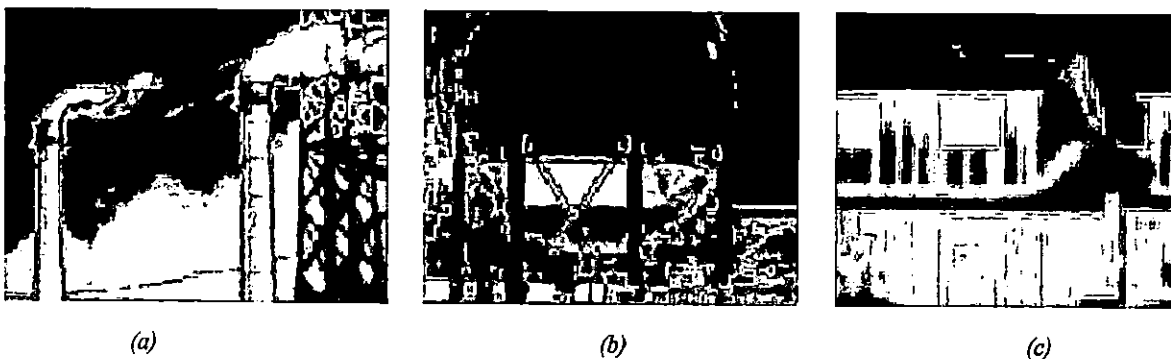


FIGURA 1-16. Algunas aplicaciones prácticas de las inspecciones termográficas. ^[1-43]

(a) Termografía de las chimeneas de un ingenio azucarero.

(b) Esfera de Gas, en la termografía se aprecia claramente los niveles de estratificación de temperatura en el recipiente a presión.

(c) Diferencias de temperatura en el interior de una casa de habitación.

Todos los objetos emiten calor en la forma de radiación electromagnética, esta radiación depende de la temperatura que el cuerpo posee en la superficie del mismo. Las técnicas de termografía industrial detectan variaciones en las temperaturas superficiales del objeto bajo inspección. Utilizando una cámara

infrarroja , estas diferencias en las temperaturas de un punto a otro pueden medirse y construirse gradientes de temperaturas, los cuales pueden sugerir la presencia de un problema.

Existen varias técnicas de termografía infrarroja, tres de las principales son las siguientes:

- ▷ Pulso intermitente de Termografía Infrarroja, conocida más popularmente como PAIRT
- ▷ Inspección Termográfica en Transición.
- ▷ Inspección Termográfica en Reflexión.

Cada uno de los ensayos anteriores representa una técnica muy compleja, pero para comprender mejor en lo que consiste el ensayo de termografía infrarroja, explicaremos únicamente la técnica de PAIRT.

La emisión de pulsos de termografía infrarroja (Pulsed Active Infrared Thermography), identificado como PAIRT por sus siglas en inglés, es una excelente herramienta para detectar defectos en piezas soldadas, así como también para medir reducciones en los espesores de tuberías, por el uso frecuente de las mismas. Dicha técnica de inspección consiste en poseer una Estación de Termografía Infrarroja (IRT Inspection Station). ^[1-44]

En un PAIRT, una perturbación transitoria térmica de una parte del objeto inspeccionado proporciona la capacidad de detectar defectos superficiales y volumétricos.

La FIGURA 1-17 muestra un diagrama esquemático de una estación de inspección de termografía infrarroja utilizando la técnica PAIRT. La cámara infrarroja es el elemento central del ensayo de inspección, si la emisividad de la superficie del objeto de prueba es lo suficientemente alta, revela diferencias de temperatura las cuales pueden ser registradas en forma digital. La emisividad de una superficie es una propiedad superficial que describe la capacidad que posee la superficie de emitir energía, esta varía desde cero (es decir para un reflector perfecto como lo podría ser un espejo), o hasta valores de 1 (como es para el emisor perfecto). Bajas emisividades pueden ser mejoradas aplicando un recubrimiento de pintura negra (cuya emisividad es de alrededor de 0.9). Si es usada pintura que es soluble en agua, esta puede ser retirada después del procedimiento de inspección (pintura negra es particularmente conveniente para estos métodos) Las termografías (imágenes infrarrojas) son preferiblemente almacenadas en una cinta de video (termografías de mejor calidad) o en un archivo de computadora (menos degradación de las termografías), gracias a la transferencia digital directa que se hace desde la cámara infrarroja. Otro elemento de la estación de inspección técnicamente es una fuente de perturbaciones térmicas, es decir, una fuente de calor la cual puede ser interna (proveniente desde el interior del objeto bajo inspección) o externa al objeto bajo inspección, con lo cual existe la posibilidad de obtener diversos tipos de termografías.

En el campo del aseguramiento de la calidad de uniones soldadas, la termografía es usada para observar los patrones de temperatura superficiales, y con mucho cuidado medir las temperaturas a los cuales corresponden para realizar

- ▷ Monitorear las distribuciones de temperaturas en el momento que se produce el baño líquido.
- ▷ Determinar la integridad de la soldadura (esta aplicación todavía se encuentra bajo desarrollo).
- ▷ En el mantenimiento de máquinas robot de soldadura utilizadas en la industria automovilística.

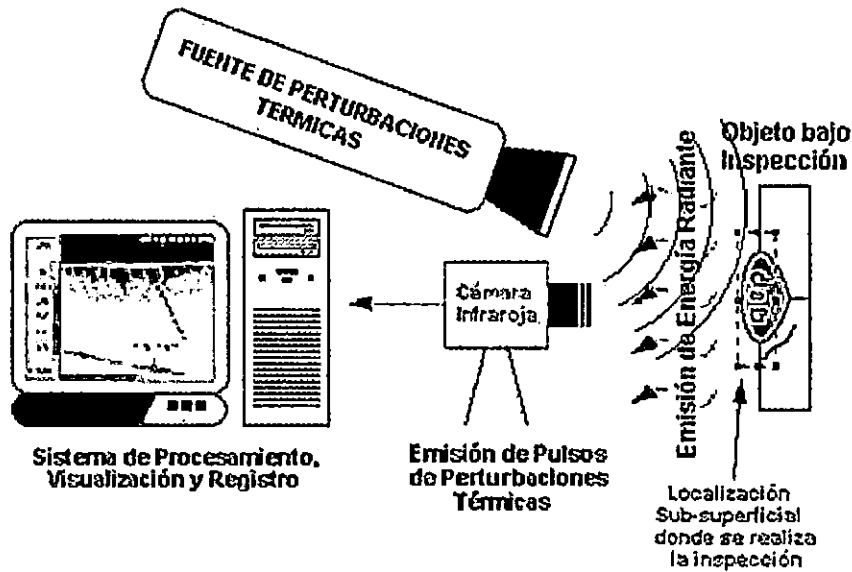


FIGURA 1-17. Esquematación de una Estación de Inspección por Termografía Infrarroja. *Notese como en la termografía visualizada en el monitor del computador, se observan perturbaciones en los gradientes de temperaturas de la zona bajo inspección, dichas perturbaciones térmicas corresponden a defectos de porosidades y rajaduras en la soldadura.* ⁽¹⁻⁴⁵⁾

El desarrollo que ha experimentado en las últimas décadas el procesamiento de imágenes digitales ha favorecido que se puedan obtener resultados sorprendentes con las termografías, los cuales no podrían obtenerse con otros métodos. Pueden inspeccionarse objetos inmóviles (FIGURA 1-18a) o bien objetos en movimiento (FIGURA 1-18b), o si se prefiere secuencias producto de la visualización cuadro por cuadro de video de un fenómeno en particular (FIGURA 1-18c).

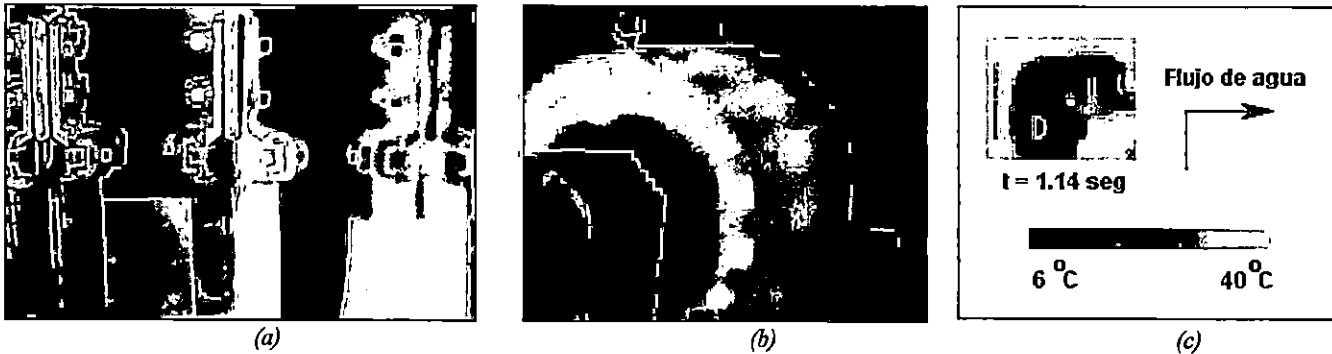


FIGURA 1-18. Diferentes aplicaciones de la Termografía infrarroja. ⁽¹⁻⁴⁶⁾

- (a) Pieza Mecánica inmóvil.
- (b) Motor eléctrico en plena operación. Cada uno de los colores mostrados indica una temperatura en particular, utilizando un ordenador es fácil determinar dichos valores e identificar el estado y el funcionamiento del equipo
- (c) Secuencia del paso de agua por el codo a 90° de una tubería de una caldera luego de un tiempo de 1.14 segundos después que el flujo de agua sale de la caldera. Obsérvese la dirección del flujo de agua y el gradiente de temperatura que experimenta el conjunto formado por la tubería y el líquido que circula dentro de esta.

En sí la termografía es un método de bajo costo, fácil de realizar, confiable, además existe la posibilidad de disponer de registros de las inspecciones realizadas, puede realizarse aún cuando el objeto bajo inspección (pieza mecánica, soldadura, tubería, motor eléctrico, etc) se encuentre en operación lo que permite visualizar y funcionamiento, además es una excelente alternativa de los ensayos de UT y RT. Con todas las ventajas anteriores es claro determinar como la termografía industrial se ha convertido

en una estupenda alternativa para determinar el estado de firentes sistemas mecánicos, eléctricos, electromecánicos y para determinar la vida residual de los mismos.

1.6.3.6 RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL (RT) ^[1-47]

La radiología industrial estudia la teoría y aplicación de los rayos X y gamma, fundamentalmente en aquellas practicas relacionadas con la obtención de radiografías de piezas mecánicas o bien de productos o elementos que resultan de diversos procesos industriales, entendiéndose la radiografía industrial como una imagen fotográfica producida por un haz en cualquiera de estas radiaciones ionizantes (FIGURA 1-19), y que tiene por finalidad, basándose en la propiedad de las mismas de atravesar los materiales opacos a la luz y de ser absorbidos en mayor o menor proporción según la naturaleza y el espesor de los materiales atravesados (véase FIGURA 1-20).

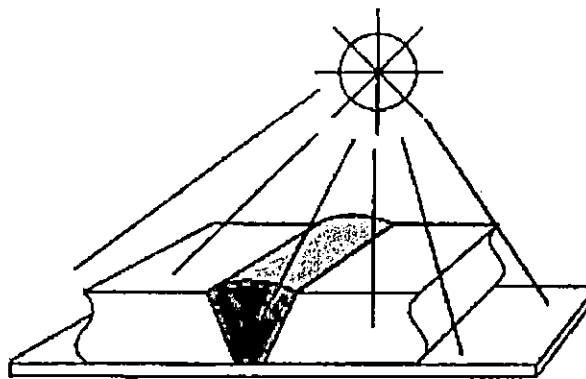


FIGURA 1-19. En la figura se ha representado una soldadura la cual esta siendo expuesta a una fuente radiológica para realizar su inspección La fuente radiológica puede tratarse de una fuente de partículas alfa, beta o neutrones, o bien rayos X ó gamma, las más populares son las últimas dos. ^[1-48]

La radiología industrial o también conocida como radiografía industrial, es una prueba de inspección no destructiva, que se basa en la absorción diferenciada de radiación que ha penetrado en la pieza que ésta siendo inspeccionada. Debido a estas diferencias en las características de absorción se puede detectar defectos tales como variaciones en la composición y estructura del material, o bien el alojamiento de cuerpos extraños ubicados en el interior del cuerpo bajo inspección, todo esto debido a que diferentes regiones de una pieza absorberán cantidades diferentes de radiación penetrante. Esa absorción diferenciada de radiación penetrante puede ser registrada en una película, o a través de un tubo de imagen, o la misma podrá ser medida por tipos de detectores electrónicos de radiación. Esta variación de la cantidad de radiación absorbida, detectada a través de un medio nos indicará, entre otras cosas, la existencia de una discontinuidad interna en un material.

Por lo anteriormente expuesto, queda claro el hecho de que el mejor nombre para esta técnica de inspección es de "radiología industrial", es decir aquella ciencia cuyo objeto de estudio son las diferentes piezas mecánicas o elementos industriales, a través de la interpretación de radiografías obtenidas de estos, aunque los nuevos desarrollos tecnológicos han permitido sustituir las radiografías por pantallas fluorescentes y hasta sofisticados equipos computarizados, donde se puede detectar defectos e irregularidades en el monitor de un computador.

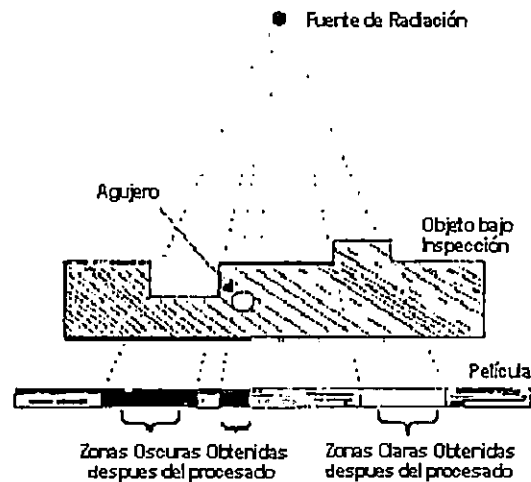


FIGURA 1-20. Esquema mostrando como un haz de partículas ionizantes las cuales atraviesan un bloque de diferentes densidades. ⁽¹⁻⁴⁹⁾

Una radiografía industrial, es usada entonces para detectar características de una región de un determinado material que presente una diferencia en el espesor o densidad, comparada con una región cercana. Diferencias muy grandes en el contraste entre diferentes puntos de la radiografías, son más fácilmente detectables, de allí la importancia de contar con radiografías que posean un alto contraste, buena definición, para que los defectos de las mismas no pasen desapercibidos y puedan ser detectados por el inspector. Generalmente, en las radiografías solamente se pueden detectar aquellas características diferentes de una región que presente un espesor razonable, en el plano paralelo a la dirección del haz de radiación. Esto quiere decir que la capacidad del proceso de detectar discontinuidades con pequeños espesores en planos perpendiculares al haz, tales como fisuras, dependerá mucho de la técnica de prueba realizada. Discontinuidades como vacíos e inclusiones que presentan un espesor variable en todas direcciones, serán fácilmente detectadas siempre que no sean muy pequeñas en relación al espesor de la pieza. En general, variaciones que representan el 2% ó más de la variación de absorción en relación al espesor total, podrán ser detectadas.

La inspección radiológica es muy usada en la inspección de fundiciones y soldaduras, particularmente donde se exige la necesidad de evitar discontinuidades internas en el material. La técnica de inspección por radiología industrial, será abordada con mucho más detalle en el apartado 1.7

1.7 NATURALEZA TIPOS Y MÉTODOS DE RADIOLOGÍA INDUSTRIAL.

Como ya se dijo, una radiación no absorbida que ha atravesado un objeto en particular puede ser registrada sobre una película o un papel fotosensitivo, observado en una pantalla fluorescente o monitoreada por medio de diferentes tipos de detectores de radiación. Este hecho es el que sienta las bases para una clasificación de los tipos de radiología industrial.

Atendiendo al tipo de radiación o partículas ionizantes utilizadas durante la inspección inspección, es como podemos hablar de una radiología por rayos X, por rayos gamma, por neutrones, o bien por radiaciones ionizantes como las partículas alfa y beta.

Los diferentes tipos de radiología industrial, atendiendo a la manera de cómo llevar a cabo la inspección se subdividen en otras categorías, o manera de como llevar a cabo las diferentes

inspecciones, a estas forma se les conoce como métodos o técnicas de inspección radiológica.

Los métodos de radiología por rayos X, puede comprender métodos tales como en radiología convencional (en general, se refiere a los rayos X y gamma), inspección en tiempo real, tomografía, y otros más. A continuación detallamos varios tipos y métodos de radiología industrial.

El termino '*radiografía industrial*' usualmente se refiere a un proceso radiográfico en el cual se produce una imagen permanente sobre una película (radiografía convencional) o papel (radiografía en papel) o bien sobre una placa de aluminio pulido recubierta con una delgada capa de selenio (xeroradiográfico), aunque en un amplio sentido de la palabra, los terminos radiografía industrial, involucran todos los métodos de inspección radiográficos que hemos mencionado y todas aquellas técnicas radiológicas en las cuales se puede obtener una imagen bidimensional producto de la radiación no absorbida en un objeto.

Recientemente la ASTM ha comenzado a utilizar el termino de '*radioscopia*', a aquel grupo de técnicas en las cuales cuando una película o un papel no son utilizados para obtener una imagen radiografica; sino mas bien la imagen radiografica es digitalizada, procesa, y visualizada en cualquier medio electrónico, y define a la radiología como un termino general que cubre ambos grupos de tecnicas. Es así como a lo largo del presente documento, se refería a radiología industrial como todas aquellas tecnicas de inspección, independientemente del tipo de radiaciones ionizantes que se utilice.

A continuación mostramos algunas de las principales tecnicas de inspección de radiologia industrial.

▷ **Radiografía en película o en papel.**

Es aquella en la cual se produce una imagen latente bidimensional sobre una películas o un papel radográfico debido a la radiación que ha penetrado en un objeto determinado. Esta técnica requiere tratamientos de la película radiografica, posteriormente a su exposición para que la imagen latente sea visible. (véase FIGURA 1-21)

▷ **Inspección en tiempo real.** Cuando una inspección envuelve la observación de imágenes presentadas inmediatamente sobre una pantalla fluorescente, un monitor de una computadora, un intensificador de imágenes, o bien utilizando un sistema de video o cualquier otro sistema electrónico, el proceso radiográfico es conocido como Inspección en tiempo real (real-time inspection). Un ejemplo de esto se ha querido ilustrar en la FIGURA 1-22, en el cual se observa un equipo para inspecciones radiológicas en tiempo real.

La verdadera ventaja de las inspecciones radiológicas en tiempo real, se encuentra cuando estas proporcionan la posibilidad de detectar defectos que no se podrían obtener por otros medios, para conseguir esto se hace uso de la técnica del microfoco.

La técnica del microfoco tiene su campo de aplicación en el control de calidad de sistemas micrométricos, es decir cuando se requiere una alta resolución espacial de sistemas radiológicos, con el objetivo de detectar microdiscontinuidades en microcircuitos, microcorrosión en elementos y piezas mecánicas, microcorrosión y microfisuras en piezas de aviación, microvacíos en cerámica y muchos otros más.

La técnica del microfoco se basa en la magnificación de la pieza sujeta a ensayo, utilizando los siguientes elementos: Un tubo de rayos X (1 a 50 micrones), un convertidor de imagen o película, la

zona óptica, un sistema de videocámara, un sistema de procesamiento de la imagen y un banco de datos.

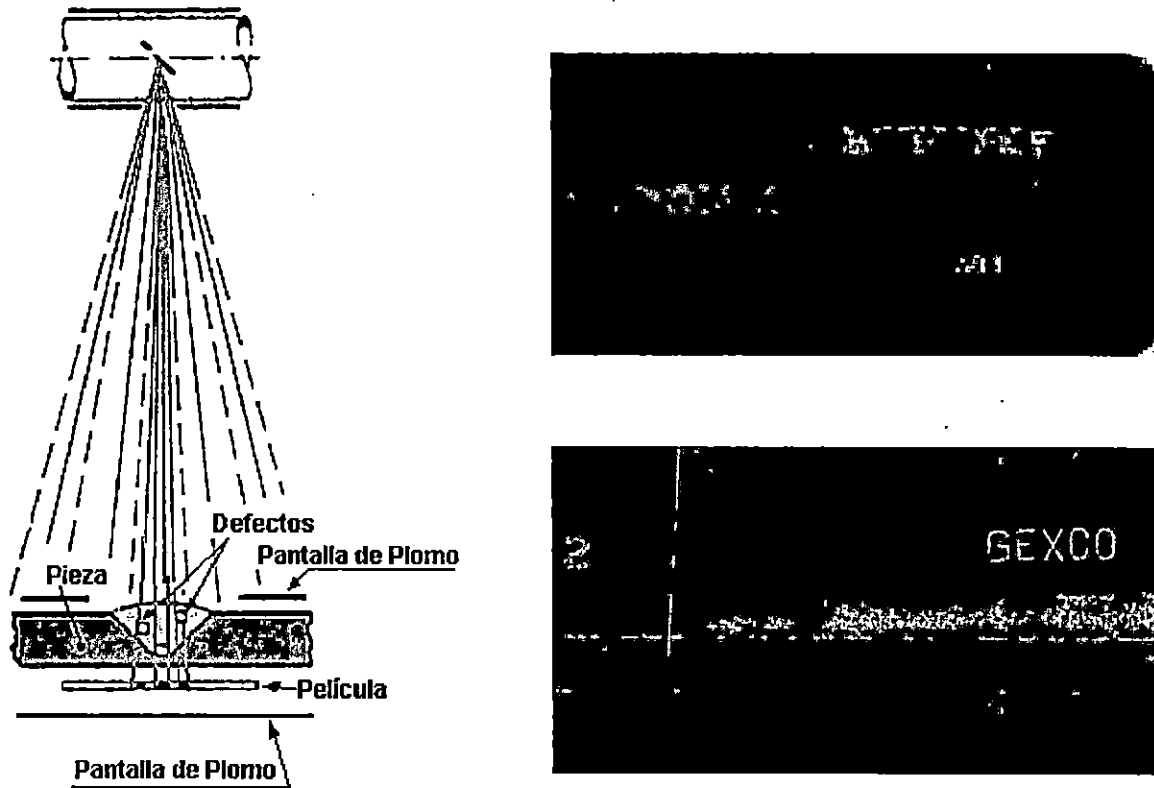


FIGURA 1-21.

- (a) Figura en la cual se esquematiza la forma de como realizar una inspección radiológica en una soldadura.^[1-50]
 (b) Figura en la cual se muestra una película procesada, dicha radiografía fue obtenida utilizando una fuente de rayos gamma.^[1-51]
 (c) Figura en la cual se muestra una película procesada, dicha radiografía fue obtenida utilizando una fuente de rayos X.^[1-52]

En definitiva es una técnica cuyo objetivo principal es el análisis inmediato de discontinuidades, extremadamente pequeñas.

- ▷ **Radiografía de Neutrones.** Este tipo de radiologías se refieren a la inspección radiológica que se lleva a cabo utilizando neutrones en vez de radiaciones electromagnéticas.
- ▷ **Ganancia de Radiación (radiation gaging).** Cuando disponemos de instrumentos electrónicos utilizados para medir la intensidad de la radiación, el proceso es denominado como ganancia de radiación (radiation gaging)
- ▷ **La tomografía,** un método de inspección radiológica adaptado a un medio computarizado de tomografía axial, (computerized axial tomography CAT), tal y como el que se muestra en la FIGURA 1-23,
 Con la información proporcionada por el sistema mostrado en la FIGURA 1-24, es posible construir diferentes vistas tanto bidimensionales (véase FIGURA 1-24a y 1-24b) como tridimensionales (véase figura 1-24c) de la pieza mecánica bajo inspección. Incluso pudiéndose obtener vista de una sección transversal (véase FIGURA 1-24b del objeto inspeccionado) observándose así cualquier defecto interno que este pudiera presentar

Información General del Sistema

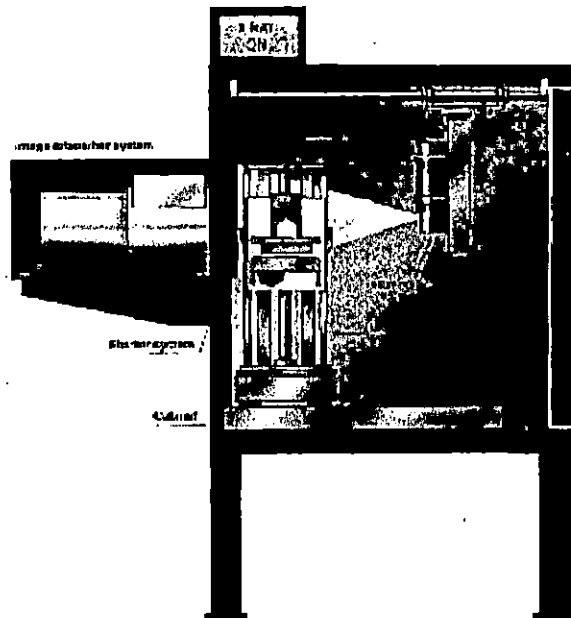


FIGURA 1-22. Sistema de rayos X de la firma ANDREX Inc. Para la inspección en tiempo real de piezas de fundición. Este sistema se encuentra diseñado para proporcionar fáciles y económicas inspecciones en piezas fundidas. ^[1-53]

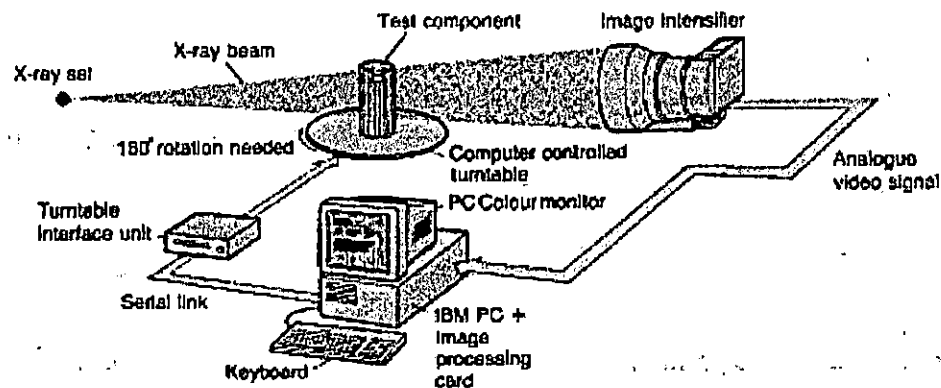


FIGURA 1-23. Sistema de Tomografía Industrial utilizado para el aseguramiento de la calidad de piezas mecánicas. ^[1-54]

La radiología convencional, tiene lugar cuando un objeto es ubicado entre una fuente de radiación ionizante (rayos X o gamma, por lo general) y una película fotosensitiva. Una buena porción del haz de rayos de onda corta son absorbidos por el objeto que se encuentra bajo inspección, es así como en la película se forman imágenes con regiones oscuras o emblanquecidas dependiendo de la cantidad de radiación del haz de rayos que fue absorbida. La película proporciona una película en dos dimensiones, que no es más que una figura de sombras y regiones emblanquecidas. La absorción o no absorción de la radiación se debe a la presencia de grietas, fisuras, porosidades, incrustaciones, variaciones en la densidad del material, variaciones en el espesor y en la composición química del objeto. Factores como los anteriores causan a su vez variaciones en la intensidad de la radiación no absorbida, las cuales aparecen como variaciones en la densidad

fotográfica de la película. La evaluación de las diferentes radiografías industriales está basada, en una comparación de las diferencias en la densidad fotográfica junto con las características propias del objeto mismo que se encuentra bajo inspección o con comparaciones de las radiografías de objetos similares (radiografías de referencia), aún de materiales diferentes, pero con aceptables calidades de las imágenes radiográficas.

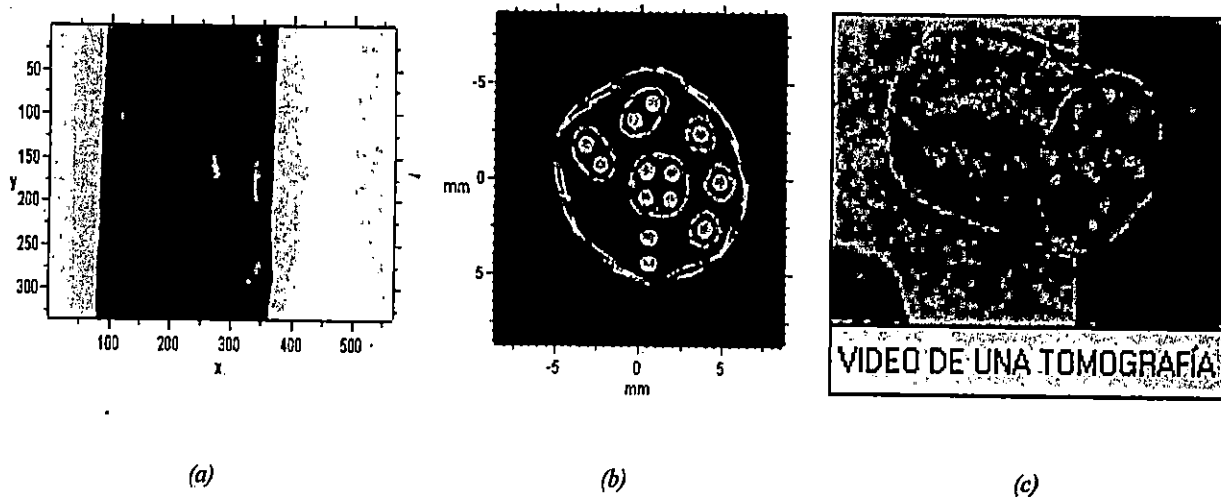


FIGURA 1-24. Imágenes obtenidas de un cable de acero. [1-55]

- (a) Imagen animada de la rotación de un cable de acero.
- (b) Sección transversal en un punto de un cable de acero.
- (c) Tomografía computarizada obtenida de un fragmento de un cable de acero.

Todos los términos mencionados anteriormente se encuentran íntimamente relacionados con radiaciones electromagnéticas las cuales penetran cuerpos en particular ya sea en forma de rayos X o rayos gamma. Pero tienen gran importancia los métodos de radiología convencional utilizando rayos X y gamma, y el método radiológico de inspección en tiempo real.

1.7.2 APLICACIONES, FUNDAMENTOS, VENTAJAS Y LIMITACIONES DEL ENSAYO RADIOGRÁFICO.

Por **aplicaciones de la radiología industrial** entenderemos todas aquellas actividades o procesos de fabricación, en los cuales se utilizan dichas técnicas, como un control de calidad de los productos resultantes de estos. Entre estos procesos se encuentran el laminado, forjado, fundición, soldadura, servicios en general, y muchos otros.

Hay que mencionar la importancia que poseen las aplicaciones de las inspecciones radiológicas, en elementos soldados o piezas fundidas, particularmente en aquellos lugares críticos en los que es necesario asegurarse de que se encuentran libres de defectos internos que podrían provocar que la pieza falle. Actualmente existen específicas y rigurosas normas de inspección, en lo que respecta al control de calidad, de paredes de calderas, turbinas, tanques, estructuras de acero de obras civiles, ya sea el caso, de que fueron obtenidas por procesos de fundición o soldadura. La radiología también puede utilizarse en elementos forjados (forgings) y en herrajes (ensambles mecánicos). Cuando la radiología se utiliza en un herraje, la radiografía resultante proporciona un inigualable END con el cual se puede inspeccionar el posicionamiento de los elementos en el herraje. Algunos elementos por ser más

sofisticados podría ser el caso que sea necesario inspeccionarlos por otro método de END. Pero por el momento la radiología es muy adecuada para inspecciones de fisuras en dispositivos semiconductores, alambres quebrados, conexiones no soldadas, presencia de materiales extraños, componentes mal ubicados, y el método de END por rayos X posee la ventaja que es prácticamente el único que puede utilizarse con dispositivos fabricados de materiales semiconductores.

La sensibilidad a la detección de los diferentes tipos de defectos que podrían existir en una pieza mecánica o en un herraje en particular, por parte del uso de los rayos X, ya sea por métodos tradicionales o por métodos en tiempo real, al igual que las radiografías obtenidas del uso de rayos gamma, dependen de varios factores entre estos los más importantes son el tipo de la imperfección, la forma y el material de la pieza a inspeccionar. Es importante mencionar que a lo largo del presente documento se mencionara en reiteradas ocasiones dos tipos de materiales: los materiales livianos (generalmente los de bajo número atómico) y materiales pesados (los de alto número atómico).

Dada su capacidad de detectar discontinuidad es en una variedad de materiales, la radiología industrial es actualmente uno de los principales ensayos no destructivos en uso, tal que ha sido adoptada como practica esencial en el control de las uniones soldadas por organismos como el IIW, ASME, el British Standard Institution, la AWS, The Lloyd's Register of Shipping, Bureau Veritas y otras instituciones más, las cuales han elaborado códigos en los que se establece la técnica operatoria a seguir, así como las correspondientes normas de aceptación de las uniones soldadas

La TABLA 1-4 indica diversas aplicaciones de las principales técnicas de inspección de radiologías industrial.

1.7.3 VENTAJAS Y LIMITACIONES DEL ENSAYO RADIOGRÁFICO.

VENTAJAS.

Como ventajas de aplicación del ensayo radiográfico, como un medio de inspección y control de calidad, podemos citar las siguientes:

- a) Puede ser aplicado a la mayoría de los materiales existentes.
- b) Puede dejar un registro permanente del resultado del examen.
- c) Revela la naturaleza interna del material.
- d) Puede ser aplicado en un proceso, indicando la acción correctiva necesaria en cada caso de defectos.

LIMITACIONES.

Existen tanto limitaciones físicas, como económicas en la utilización del RT. Los requisitos geométricos de

Aplicaciones de la Radiología Industrial en usos específicos.	Adecuados para utilizarse en metales livianos			Adecuados para utilizarse en metales pesados		
	Rayos X	Inspección en tiempo real	Rayos Gamma	Rayos X	Inspección en tiempo real	Rayos Gamma
En General						
Rajaduras superficiales	R(d)	R(d)	R(d)	R(d)	R(d)	R(d)
Rajaduras internas	R(d)	R(d)	R(d)	R(d)	R(d)	R(d)
Agujeros	E	E	E	E	E	R(d)
Espesores	R	R	R	R	E	E
Variaciones Metalúrgicas	R	R	R	R	R	R
Laminación de Hojas y Platinas						
Espesores	E(e)	E(e)	E(e)	E(e)	I	E(e)
Laminaciones	I	I	I	I	I	I
Agujeros	E	E	E	E	E	E
Fabricación de Barras y Tubos						
Costuras	P	P	P	P	P	P
Tuberías	E	E	E	E	R	R
Acopamiento	E	E	E	E	R	R
Inclusiones	R	R	R	R	R	R
Procesos de Fundición						
Falla de Fusión.	E	E	E	E	E	E
Rajaduras Superficiales	R(d)	R(d)	R(d)	R(d)	R(d)	R(d)
Contracciones Internas	E	E	E	E	E	E
Agujeros, porosidades	E	E	E	E	E	E
Fallas en el Nucleo.	E	E	E	E	E	E
Forjado						
Escoria.	P(d)	P(d)	P(d)	P(d)	I	I
Inclusiones	R	R	R	R	R	I
Quemado internos	E	E	E	R	R	E
Hojuelas internas	P(d)	P(d)	I	P(d)	R	E
rajaduras y Costuras	R(d)	R(d)	R(d)	R(d)	P(d)	I
Soldaduras:						
Rajaduras de Contracción.	E(d)	E(d)	E(d)	R(d)	R(d)	R(d)
Inclusiones de Escoria	E	E	E	E	E	E
Fusión Incompleta	E	E	E	E	E	E
Porosidades	E	E	E	E	E	E
Penetración Incompleta	E	E	E	E	R	E
Otras aplicaciones						
Rajaduras luego de un tratamiento térmico	I	R	I	P	P	I
Rajaduras por Esmerinado	I	R	I	I	I	I
Servicios						
Rajaduras por calentamiento o por fatiga	R(d)	R(d)	P(d)	P	P	P
Esfuerzos	P	P	P	P	P	P
Recubrimientos	P	P	P	P	P	P
Adelgazamientos	P	P	P	P	P	P
Corrosión por picado	P	P	P	E	E	P

E = excelente; R = Regular; P = Pobre aunque presenta algunos resultados; I = Insatisfactorio
 (b) Radiografías en tiempo real proporcionan la ventaja que el objeto a ser inspeccionado, puede ser manipulado para obtener la vista que proporcione la mejor inspección de este. Por ejemplo alinear la pieza para poder detectar una rajadura. También cuando se utiliza el método de magnificación utilizando un microfoco, proporciona excelentes resoluciones y contrastes.
 (c) Incluye solamente rajaduras visibles. Diminutas rajaduras superficiales son prácticamente indetectables, por los métodos radiográficos.
 (d) El haz de radiación debe ser paralelo a la rajadura, huecos en forma de hojas.
 (e) para este tipo de calibración son necesarios papeles calibradores, donde cada uno pertenece a un espesor en particular.

TABLA 1-3. Efectividad de la Técnica de Inspección Radiológica para la determinación de defectos de diversos procesos de fabricación. [1-56]

exposición hacen que dicho ensayo sea impracticable en piezas de forma compleja. Cuando una orientación apropiada de la fuente de radiación, de la pieza y de la película, no puede ser obtenida, la prueba radiográfica es de poca validez.

De la misma forma, cualquier pieza que no permita la colocación de la película del lado opuesto a la fuente, no puede ser evaluada por este método. Debemos considerar también, que la radiografía se basa en las diferencias de densidad de varios materiales y por esto tienen poco valor en la detección de pequeñas discontinuidades que no sean paralelas a las líneas de la radiación. Defectos laminares difícilmente son detectados. Las consideraciones de seguridad impuestas por los rayos X y gamma también pueden ser consideradas como limitaciones.

El cumplimiento de los reglamentos de seguridad exigidos en los ensayos radiográficos, demanda tiempo y equipos especiales de protección aumentando los costos de operación.

La inspección radiográfica es un medio relativamente caro de ensayos no destructivos, se torna más económico cuando es aplicado a materiales de fácil manipuleo y de geometría simple. El examen de piezas de gran espesor, exige equipo de alto potencial encareciendo el método.

7.4 COMPARACIÓN ENTRE LAS CARACTERÍSTICAS DE LAS INSPECCIÓN UTILIZANDO RAYOS X Y GAMMA.

Las primeras dos son las más frecuentemente utilizadas a todo lo largo y ancho del mundo, por ello, nos las siguientes comparaciones se limitaran a estas dos técnicas. Para mayor información véase TABLA 1-4.

COMPARACIÓN ENTRE LOS ENSAYOS DE INSPECCIÓN POR RAYOS X, Y RAYOS GAMMA.

Equipos de Rayos X	Equipos de Rayos Gamma
Con este tipo de equipos es posible controlar la cantidad del voltaje del tubo.	El contraste radiográfico de las radiografías definitivamente no es tan buena como la obtenida por los equipos de rayos X.
La calidad de las radiografías es superior a la proporcionada por los equipos de gammagrafía industrial.	La calidad de las radiografías no es tan buena como la obtenida por los equipos de rayos X, pero es aceptable.
Al poder controlar el voltaje de alimentación del tubo, es posible utilizar el equipo para un intervalo mucho más amplio de materiales y espesores, utilizando siempre la energía de radiación que estos necesitan.	Los equipos de rayos gamma, dentivamente son los más adecuado para espesores industriales (¼ de pulgada en adelante) y en materiales de alta densidades, por lo general aceros.
Los equipos no son tan portátiles, requieren de ciertos recursos como una fuente de alimentación de voltaje (220V por lo general).	Los equipos son extremadamente portátiles, pueden utilizarse en lugares remotos o aislados.
La instalación del equipo para ciertos trabajos resulta complicado, por el tamaño del equipo y la manera en que este debe colocarse para realizar una exposición.	El equipo es extremadamente funcional para realizar la mayoría de exposiciones.
Los tiempos de exposición deben ser frecuentemente cortos (3 a 5 minutos), tiempos de exposición extremadamente prolongados requieren un buen sistema de enfriamiento del equipo, para evitar la destrucción del filamento o bien reducir el detector que experimenta el ánodo y aspectos que provocan la inutilización del equipo. Al regular la intensidad de radiación, a través del control del miliamperaje, permite dentro de ciertos límites, tiempos de exposición más cortos que los obtenidos con el empleo de irradiadores gamma.	Los tiempos de exposición pueden ser cortos o largos, sin detrimento en el funcionamiento del equipo. El hecho de aumentar o disminuir los tiempos de exposición dependen de la magnitud de la radiactividad de la fuente.
Los costos de adquisición y mantenimiento son mayores que los de un equipo de gammagrafía industrial. Por ser los irradiadores mucho más robustos que los equipos de rayos X, están sujetos a menos fisuras y daños provenientes de su operación.	Los costos de adquisición y mantenimiento son mas bajos que los de un equipo de rayos X.
Su utilización es mucho más segura	Requieren grandes cuidados en materia de protección radiológica cuando el equipo es utilizado, y aun cuando el equipo es transportado y durante su almacenamiento.
La realización del ensayo radiográfico es mucho más complicada que la de los irradiadores gamma, pues el operador debe preocuparse por factores tales como lo son el tiempo de exposición, voltaje y amperaje del equipo, unión de los cables, etc.	La realización del ensayo radiográfico es mucho más simple, pues el operador solamente debe preocuparse del tiempo de exposición.
Únicamente existe radiación al momento de realizar la exposición	La emisión de radiación se da en todo momento, aún cuando el equipo no se este utilizando.
Se han desarrollo códigos y normativas específicas para esta técnica de inspección.	Se han desarrollo códigos y normativas específicas para esta técnica de inspección.
Existen equipos fijos y móviles muy especiales, utilizados para la detección de defectos en piezas industriales, piezas de fundición y muchos otros.	Existen equipos fijos y móviles muy especiales, utilizados para la detección de defectos en piezas industriales, piezas de fundición y muchos otros.
Existen equipos especializados para la detección de defectos extremadamente pequeños, tales como aquellos que utilizan las técnicas de microfoco.	No son muy buenos en la detección de defectos extremadamente pequeños, a menos que se utilice una fuente con la cual se pueda obtener radiografías de una gran densidad.
Los cuidados que se deben tener durante su transporte y manejo son mucho más simples que un equipo de Rayos Gamma.	Los cuidados que se deben tener durante su transporte y manejo son mucho más delicados que un equipo de Rayos X.
Los procedimientos de operación y protección radiológica durante la utilización del equipo, no son tan estrictos como los de las técnicas de gammagrafía industrial.	Los procedimientos de operación y protección radiológica durante la utilización del equipo, son muy estrictos y requieren de personal muy bien capacitado.
Puede utilizarse cualquier película industrial para obtener radiografías.	Puede utilizarse cualquier película industrial para obtener radiografías.
Requiere de técnicos muy bien capacitados en lo que respecta al manejo, instalación y operación del equipo, además de la interpretación de las radiografías.	Requiere de técnicos muy bien capacitados en lo que respecta al manejo, instalación y operación del equipo, además de la interpretación de las radiografías.
Para penetrar espesores de hasta 16 mm, 38 mm, 64 mm se requieren equipos cuyos potenciales de alimentación debe ser de 150 kV, 250 kV y 400 kV, respectivamente.	Fuentes comerciales de 100 Ci, pueden perfectamente utilizarse en la inspección de grandes espesores de paredes de acero (1 a 2 in), en tiempos extremadamente cortos (5 a 7 min).
Equipos de rayos X, pueden adaptarse para la inspección por técnicas de inspección en tiempo real, tomografía industrial, etc.	Equipos de rayos gamma, pueden adaptarse para la inspección por técnicas de inspección en tiempo real, tomografía industrial, etc.

TABLA 1-4.

TABLA DE REFERENCIA DE LOS PRINCIPALES MÉTODOS DE EXAMINACIÓN DE UNIONES SOLDADAS UTILIZANDO ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

MÉTODO DE INSPECCIÓN	EQUIPO REQUERIDO	POSIBLES DEFECTOS QUE SE PUEDEN DETECTAR	VEJILLAS	LIMITACIONES	OBSERVACIONES
INSPECCIÓN VISUAL (VT)	Lentes de aumento, calizador de soldadura, regla de bronce.	Defectos superficiales tales como huecos, grietas, porosidad, inclusiones, escoria, quemaduras, deformación por deformación, etc. En lo que respecta al cordón de soldadura, se verifica la profundidad, el ancho, el espesor, el desbalance, etc. En la soldadura, comprobando los estándares de un procedimiento aprobado, tales como AWS, ASME, etc.	Se aplican a defectos que se encuentran en la superficie de la soldadura y en las partes adyacentes de la soldadura.	Es el único tipo de inspección productiva. Requiere de una persona que inspeccione y de otra que registre los resultados.	En áreas críticas puede revelar defectos que no son tan fácilmente detectados con una inspección visual. Cuando la superficie de la pieza muestra escoria o grietas, o defectos con superficies ásperas, o bien que se encuentran pintados o con demás recubrimientos que no indiquen la existencia de defectos.
UNIONES PENETRANTES (PT)	Requiere de un tipo de medio, compuesto de pigmentos, para formar una película de penetrante. Requiere de un tipo de medio para revelar. Es necesario aplicar el penetrante y el revelador.	Requiere superficies que no sean demasiado grandes y que estén limpias y libres de óxido y de otros contaminantes. El medio de penetrante debe ser aplicado y el revelador debe ser aplicado.	Permite detectar defectos superficiales. Es aplicable a defectos que se encuentran en la superficie de la soldadura.	El medio de penetrante debe ser aplicado y el revelador debe ser aplicado. Requiere de una persona que inspeccione y de otra que registre los resultados.	Permite detectar defectos que no son fácilmente detectados con una inspección visual. Cuando la superficie de la pieza muestra escoria o grietas, o defectos con superficies ásperas, o bien que se encuentran pintados o con demás recubrimientos que no indiquen la existencia de defectos.
PARTÍCULAS MAGNÉTICAS (MT)	Equipos comerciales muy especiales. Partículas magnéticas en forma seca o bien en suspensión acuosa. Es necesario aplicar el campo magnético desde el exterior de la pieza.	Equipos comerciales muy especiales. Partículas magnéticas en forma seca o bien en suspensión acuosa. Es necesario aplicar el campo magnético desde el exterior de la pieza.	Permite detectar defectos que se encuentran en la superficie de la soldadura.	El medio de penetrante debe ser aplicado y el revelador debe ser aplicado. Requiere de una persona que inspeccione y de otra que registre los resultados.	Permite detectar defectos que no son fácilmente detectados con una inspección visual. Cuando la superficie de la pieza muestra escoria o grietas, o defectos con superficies ásperas, o bien que se encuentran pintados o con demás recubrimientos que no indiquen la existencia de defectos.
ULTRASONIDO (UT)	Equipos comerciales muy especiales. Defectos superficiales y sub-superficiales. Es necesario aplicar el campo ultrasónico desde el exterior de la pieza.	Equipos comerciales muy especiales. Defectos superficiales y sub-superficiales. Es necesario aplicar el campo ultrasónico desde el exterior de la pieza.	Permite detectar defectos que se encuentran en la superficie de la soldadura.	El medio de penetrante debe ser aplicado y el revelador debe ser aplicado. Requiere de una persona que inspeccione y de otra que registre los resultados.	Permite detectar defectos que no son fácilmente detectados con una inspección visual. Cuando la superficie de la pieza muestra escoria o grietas, o defectos con superficies ásperas, o bien que se encuentran pintados o con demás recubrimientos que no indiquen la existencia de defectos.
TERMOGRAFÍA INFRAROJA (IRT)	Registros de imágenes termográficas. Cámaras térmicas. Fuentes de calor. Sistemas de iluminación. Procesamiento de imágenes. Es necesario aplicar el campo infrarrojo desde el exterior de la pieza.	Registros de imágenes termográficas. Cámaras térmicas. Fuentes de calor. Sistemas de iluminación. Procesamiento de imágenes. Es necesario aplicar el campo infrarrojo desde el exterior de la pieza.	Permite detectar defectos que se encuentran en la superficie de la soldadura.	El medio de penetrante debe ser aplicado y el revelador debe ser aplicado. Requiere de una persona que inspeccione y de otra que registre los resultados.	Permite detectar defectos que no son fácilmente detectados con una inspección visual. Cuando la superficie de la pieza muestra escoria o grietas, o defectos con superficies ásperas, o bien que se encuentran pintados o con demás recubrimientos que no indiquen la existencia de defectos.
RAYO GAMA INDUSTRIAL (RT)	Registros de imágenes termográficas. Cámaras térmicas. Fuentes de calor. Sistemas de iluminación. Procesamiento de imágenes. Es necesario aplicar el campo infrarrojo desde el exterior de la pieza.	Registros de imágenes termográficas. Cámaras térmicas. Fuentes de calor. Sistemas de iluminación. Procesamiento de imágenes. Es necesario aplicar el campo infrarrojo desde el exterior de la pieza.	Permite detectar defectos que se encuentran en la superficie de la soldadura.	El medio de penetrante debe ser aplicado y el revelador debe ser aplicado. Requiere de una persona que inspeccione y de otra que registre los resultados.	Permite detectar defectos que no son fácilmente detectados con una inspección visual. Cuando la superficie de la pieza muestra escoria o grietas, o defectos con superficies ásperas, o bien que se encuentran pintados o con demás recubrimientos que no indiquen la existencia de defectos.
RAYO GAMA INDUSTRIAL (RT)	Equipos comerciales muy especiales. Partículas magnéticas en forma seca o bien en suspensión acuosa. Es necesario aplicar el campo magnético desde el exterior de la pieza.	Equipos comerciales muy especiales. Partículas magnéticas en forma seca o bien en suspensión acuosa. Es necesario aplicar el campo magnético desde el exterior de la pieza.	Permite detectar defectos que se encuentran en la superficie de la soldadura.	El medio de penetrante debe ser aplicado y el revelador debe ser aplicado. Requiere de una persona que inspeccione y de otra que registre los resultados.	Permite detectar defectos que no son fácilmente detectados con una inspección visual. Cuando la superficie de la pieza muestra escoria o grietas, o defectos con superficies ásperas, o bien que se encuentran pintados o con demás recubrimientos que no indiquen la existencia de defectos.

TABLA 1-5.

1.8 REFERENCIAS DEL CAPÍTULO.

- [1-1] RUIZ RUBIO, Alfonso. "Inspección Radiográfica de las Uniones Soldadas", URMO S.A. De Ediciones, Bilbao, España, 1981. Capítulo 1, Pág. 1.
- [1-2] Véase ANEXO 1-1.
- [1-3] Véase ANEXO 1-2.
- [1-4] Véase ANEXO 1-3.
- [1-5] IIW-IIS, Documento No. IIS/IIW-340-69. Título: "Classification of defects in metallic fusion welds with explanations", Weld World - Vol. 7, n° 4, 1969. Documento elaborado por la COMISIÓN V DEL IIW-IIS, en el año de 1969 y tiene vigencia hasta la fecha.
- [1-6] De la VEGA, Carlos. "Control de Calidad en Soldadura Industrial por Métodos Radiográficos", Editorial DIANA, México D.F., 1991. Capítulo 10, Pág. 83.
- [1-7] ASM Handbook Vol. 17, "Nondestructive Evaluation on Quality Control", Radiographic Inspection. Published by The American Society for Metal, Metal Park, Chicago, United States, 1995.
- [1-8] De la VEGA, Carlos. "Control de Calidad en Soldadura Industrial por Métodos Radiográficos", Editorial DIANA, México D.F., 1991. Capítulo 10, Pág. 85.
- [1-9] RUBIO, Alfonso. "Inspección Radiográfica de las Uniones Soldadas", URMO S.A. De Ediciones, Bilbao, España, 1981. Capítulo 1, Pág. 8.
- [1-10] RUBIO, Alfonso. "Inspección Radiográfica de las Uniones Soldadas", URMO S.A. De Ediciones, Bilbao, España, 1981. Pág. 9.
- [1-11] De la VEGA, Carlos. "Control de Calidad en Soldadura Industrial por Métodos Radiográficos", Editorial DIANA, México D.F., 1991. Capítulo 10, Pág. 87.
- [1-12] RUBIO, Alfonso. "Inspección Radiográfica de las Uniones Soldadas", URMO S.A. De Ediciones, Bilbao, España, 1981. Capítulo 1, Pág. 20
- [1-13] RUBIO, Alfonso. "Inspección Radiográfica de las Uniones Soldadas", URMO S.A. De Ediciones, Bilbao, España, 1981. Capítulo 1, Pág. 21
- [1-14] De la VEGA, Carlos. "Control de Calidad en Soldadura Industrial por Métodos Radiográficos", Editorial DIANA, México D.F., 1991.
- [1-15] De la VEGA, Carlos. "Control de Calidad en Soldadura Industrial por Métodos Radiográficos", Editorial DIANA, México D.F., 1991. Capítulo 10, Pág. 89
- [1-16] De la VEGA, Carlos. "Control de Calidad en Soldadura Industrial por Métodos Radiográficos", Editorial DIANA, México D.F., 1991. Capítulo 10, Pág. 90
- [1-17] RUBIO, Alfonso. "Inspección Radiográfica de las Uniones Soldadas", URMO S.A. De Ediciones, Bilbao, España, 1981. Capítulo 1, Pág. 22
- [1-18] RUBIO, Alfonso. "Inspección Radiográfica de las Uniones Soldadas", URMO S.A. De Ediciones, Bilbao, España, 1981. Capítulo 1, Pág. 23
- [1-19] ASM Handbook Vol. 17, "Nondestructive Evaluation on Quality Control", Radiographic Inspection. Published by The American Society for Metal, Metal Park, Chicago, United States, 1995.
- [1-20] RUBIO, Alfonso. "Inspección Radiográfica de las Uniones Soldadas", URMO S.A. De Ediciones, Bilbao, España, 1981. Capítulo 1, Pág. 25.
- [1-21] De la VEGA, Carlos. "Control de Calidad en Soldadura Industrial por Métodos Radiográficos", Editorial DIANA, México D.F., 1991. Capítulo 10, Pág. 91.
- [1-22] De la VEGA, Carlos. "Control de Calidad en Soldadura Industrial por Métodos Radiográficos", Editorial DIANA, México D.F., 1991. Capítulo 10, Pág. 82.
- [1-23] ASME, Documento "How and WHY of Standards and Codes", Pág. 2., NY, USA, Nov. 1999.
- [1-24] ASTM, "1991 Annual Report of the American Society of Testing and Materials".
- [1-25] Véase ANEXO 1-4.
- [1-26] De la VEGA, Carlos. "Control de Calidad en Soldadura Industrial por Métodos Radiográficos", Editorial DIANA, México D.F., 1991. Capítulo 1, Pág. 1.

- [1-27] SIE (Servicio de Ingeniería Electromecánica). "Radiografía Industrial de las Uniones Soldadas", Ciudad de Guatemala, Guatemala, 1989. Capítulo 1, Pág. 1.
- [1-28] SIE (Servicio de Ingeniería Electromecánica). "Radiografía Industrial de las Uniones Soldadas", Ciudad de Guatemala, Guatemala, 1989. Capítulo 1, Pág. 4.
- [1-29] SIE (Servicio de Ingeniería Electromecánica). "Radiografía Industrial de las Uniones Soldadas", Ciudad de Guatemala, Guatemala, 1989. Capítulo 1, Pág. 5.
- [1-30] SIE (Servicio de Ingeniería Electromecánica). "Radiografía Industrial de las Uniones Soldadas", Ciudad de Guatemala, Guatemala, 1989. Capítulo 1, Pág. 10.
- [1-31] ANSI/AWS D1.1:1998, 16th Edition by AWS Committee on Structural Welding, Miami, Florida, November, 1998.
- [1-32] Información y figuras tomadas del Sitio WEB de The Welding Institute, <http://www.twi.co.uk>
- [1-33] ANSI/AWS D1.1:1998, 16th Edition by AWS Committee on Structural Welding, Miami, Florida, November, 1998.
- [1-34] HAYES, Charles. "The ABC's of Nondestructive Weld Examination", Welding Journal, May 1997, Published by the AWS.
- [1-35] HAYES, Charles. "The ABC's of Nondestructive Weld Examination", Welding Journal, May 1997, Published by the AWS.
- [1-36] HAYES, Charles. "The ABC's of Nondestructive Weld Examination", Welding Journal, May 1997, Published by the AWS.
- [1-37] Información y figuras tomadas del Sitio WEB de la Firma Comercial MAGNAFLUX Inc., <http://www.magnaflux.com>
- [1-38] HAYES, Charles. "The ABC's of Nondestructive Weld Examination", Welding Journal, May 1997, Published by the AWS.
- [1-39] Información y figuras tomadas de los Sitios WEB www.Panametrics.com y www.krukarmer.de
- [1-40] Información y figuras tomadas del Sitio WEB de The Welding Institute, <http://www.twi.co.uk>
- [1-41] Información y figuras tomadas del Sitio WEB de The Welding Institute, <http://www.twi.co.uk>
- [1-42] Información y figuras tomadas del Sitio WEB de The Welding Institute, <http://www.twi.co.uk>
- [1-43] Información y Termografías obtenidas del Sitio WEB de la Compañía de Servicios Snell Thermal Inspections, <http://www.snellinfrared.com/>
- [1-44] Información proporcionada vía Email por John Snell, <Thermaljs@aol.com >, Compañía de Servicios Snell Thermal Inspections, <http://www.snellinfrared.com/>
- [1-45] Información proporcionada vía Email por John Snell, <Thermaljs@aol.com >, Compañía de Servicios Snell Thermal Inspections, <http://www.snellinfrared.com/>
- [1-46] Información y figuras tomadas del Sitio WEB de American Society of Nondestructive Testing, <http://www.asndt.org>
- [1-47] "INTRODUCCIÓN A LA RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL", Información y Figuras obtenidas de una de las Agencias Gubernamentales del gobierno americano, que laboran en conjunto con la NASA para el desarrollo de nuevos proyectos de aeronaves. <http://wit.ksc.nasa.gov>
- [1-48] HAYES, Charles. "The ABC's of Nondestructive Weld Examination", Welding Journal, May 1997, Published by the AWS.
- [1-49] DAVIS, Harmer. "Ensayo e Inspección de los Materiales de Ingeniería", Compañía Editorial Continental, S.A., México, D.F., 1985
- [1-50] DAVIS, Harmer. "Ensayo e Inspección de los Materiales de Ingeniería", Compañía Editorial Continental, S.A., México, D.F., 1985
- [1-51] Información y Figuras obtenidos del sitio Web de AGFA Industrial Film, <http://ndt.agfa.com>
- [1-52] Información y Figuras obtenidos del sitio Web de AGFA Industrial Film, <http://ndt.agfa.com>
- [1-53] Información y Figuras Tomadas del Sitio WEB de la firma comercial Andrex Inc., <http://www.andrex.de>
- [1-54] Información y figuras obtenidas del sitio WEB del firma Británica AEA Technology The Innovation Business, empresa europea pionera en el campo de la Inspección Radiográfica Industrial en Tiempo Real. <http://www.aeat.co.uk.html>
- [1-55] Información y figuras obtenidas del sitio WEB del firma Británica AEA Technology The Innovation Business, empresa europea pionera en el campo de la Inspección Radiográfica Industrial en Tiempo Real. <http://www.aeat.co.uk.html>

[1-56] ASM Handbook Vol. 17, "Nondestructive Evaluation on Quality Control", Radiographic Inspection. Published by The American Society for Metal, Metal Park, Chicago, United States, 1995. Pág. 96

CAPÍTULO II

Naturaleza, Propiedades y Principios de las Radiaciones Gamma

2.0 GENERALIDADES DE LA RADIACIONES IONIZANTES COMO TÉCNICA DE INSPECCIÓN.

Hace ya más de 100 años un profesor de la Universidad de Wurtzburg en Bavaria, llamado Vincent Konrad Röntgen se encontraba trabajando en su Laboratorio luego de estar realizando experimentos con tubos al vacío, descubrió que ciertos sales de bario se volvian fluorescentes al estar operando el equipo, por esto comenzó a investigar lo que producía dicho fenómeno, pocos meses despues hace del conocimiento público el descubrimiento de una nueva forma de energía la cual llamó en ese momento Rayos X, la cual poseía la característica de atravesar materiales sólidos con suma facilidad.^[2-1] Un año después A.H. Becquerel hace público el descubrimiento de que los rayos gamma, poseían características muy similares a las de los rayos X. Hoy en día se les ha estudiado junto con otras formas de energía radiactiva, y es así como disponemos de muchas aplicaciones pacíficas del uso de la Energía Nuclear, entre estas se encuentra la Radiografía Industrial^[2-2]

La radiación electromagnética, es una forma de energía, que dependiendo de su naturaleza y su longitud de onda, así resulta su habilidad de penetración; por ejemplo: Las radiaciones alfa y beta, son sobre todo corpusculares. Los Rayos Alfa (α) tienen poco poder de penetración y pueden detenerse hasta con una hoja de papel. Los Rayos Beta (β) penetran la piel, por eso su peligrosidad cuando el material radiactivo se adhiere a esta. Los Rayos Gamma (γ), son formas de energía de corta longitud de onda capaces de penetrar varias pulgadas en materiales densos, tales como el acero, por eso son utilizados en la industria, junto con los aparatos generadores de Rayos X.

En la industria se utilizan los isótopos radiactivos de Ir¹⁹² principalmente para la Radiografía Industrial, ya que generan espontáneamente energía capaz de hacer una radiografía en el acero con espesores desde ½ pulgada hasta 2½ pulgadas. El Co⁶⁰, también se utiliza aunque para espesores mas

gruesos de hasta 12 pulgadas y se vuelve difícil de manejar por su tamaño y peso del equipo que es necesario para realizar un manejo seguro de este. El Cesio 137, se puede utilizar en gammagrafía industrial, pero se le utiliza sobre todo en aparatos de calibración y de medición por las propiedades que posee.

Para proporcionar eficazmente el servicio de radiología industrial, muchas empresas cuentan con equipos portátiles de Rayos X y Rayos Gamma, con Ir¹⁹² de 100 Curies, ambos montados en unidades móviles las cuales son transportados hasta los lugares donde se requieren las inspecciones y allí mismo se realizan las debidas exposiciones. Al cliente se le entrega una película radiográfica del tipo 2, que es la mas utilizada normalmente, junto con un reporte que contiene la interpretación de acuerdo al Código con el que se solicitó que se hiciera el trabajo.

Un aspecto muy importante relacionado con las practicas de la gammagrafía, tanto para los usuarios de estos servicios como para los proveedores del mismo, es el hecho de guardar todas las practicas y recomendaciones relacionadas con la protección radiológica que se debe guardar al utilizar los radionucleidos. Existen las instancias respectivas en cada país, las cuales se encargan de verificar la seguridad al POE a los efectos de la radiación controlada, y las mismas buscan además, proteger al público en general de los efectos dañinos de la radiación.

Con todo lo anterior es facil comprender la justificación que posee la utilización de fuentes de radiación ionizante, pues produce un beneficio neto no solo a empresas publicas o gubernamentales o personas particulares, si no también a la sociedad en general. Todo lo mencionado anteriormente será abordado en mayor detalle en los apartados siguientes.

2.1 BENEFICIOS DEL USO DE LOS RAYOS X Y GAMMA COMO UNA TECNICA DE INSPECCIÓN EN LOS MATERIALES METÁLICOS A LO LARGO DE LA HISTORIA.^[2-3]

Por más de veinte o treinta años después del descubrimiento de los rayos X, estos fueron utilizados exclusivamente en lo que respecta a diagnósticos médicos, hecho al cual se le conoce como 'radiodiagnóstico'. Aunque se tienen informes que el ejercito de los EUA comenzó a realizar investigaciones con esta técnica de inspección desde principios del siglo pasado. Los rayos gamma hicieron su aparición en el campo de la radiología industrial hasta después de la segunda guerra mundial, pero antes de que la segunda guerra mundial diera inicio, los norteamericanos ya se encontraban utilizandola como complemento de las practicas de inspección con rayos X.

Los primeros radiodiagnósticos que se realizaban eran muy simples y sus requerimientos técnicos no eran muy exigentes, debido a que el cuerpo humano se encuentra constituido principalmente de elementos que poseen un bajo peso atómico tales como el hidrógeno, carbón, nitrógeno y oxígeno. Es por eso que se exponían a radiaciones de larga longitud de onda usualmente conocidas como suaves (soft), las cuales requerían solamente de un bajo voltaje y cortos períodos de exposición, para que producir resultados satisfactorios. Los pulmones llenos de aire muestran un parche oscuro en comparación con el tejido muscular alrededor del pulmón. Los huesos del cuerpo son los que muestran impresiones mucho más claras en las diferentes radiografías.

Cuando la primera guerra mundial comenzó, allá por el año de 1914, los rayos X pasaron a formar parte de los diferentes procesos de examinación del servicio militar del ejercito de los EUA, utilizandose en la inspección de propelas y colas (trust) de los aeroplanos, los cuales en aquella época se fabricaban de madera. Estas fueron seguidas de granadas fabricadas de metales livianos, y ensamblados en forma de conchas fusibles. Después de eso vinieron componentes de cobre y bronce, y luego las fundiciones

de acero y finalmente, cordones de soldaduras en láminas y placas de acero.

Cada una de las aplicaciones de los nuevos componentes que iban surgiendo demandaban prácticas y equipos más sofisticados para realizar las inspecciones requeridas. Para el caso de los ensayos no destructivos en piezas metálicas, utilizando rayos X, se comenzaron a requerir equipos que operaban a voltajes mucho más altos y con mayores tiempos de exposición que los equipos de radiodiagnóstico. El uso de estos aparatos involucraba la necesidad de alimentarlos con voltajes que van desde 150 kV hasta valores de 400 kV, seguidos por equipos especializados en los cuales era necesario producir valores de voltaje muy superiores a los 30 MV. Otro problema era que se requería de mejores materiales en el ánodo y de sistemas de enfriamiento del mismo para poder realizar exposiciones con tiempos prolongados. La solución vino con el problema, y fué hallada por La División Metalúrgica Física de la Marina de Guerra de los EUA, este grupo de ingenieros comenzaron a utilizar radioisótopos en vez de equipos de rayos X.

Después de la segunda guerra mundial, los radioisótopos, es decir, las substancias radiactivas hicieron su aparición, rápidamente comenzaron a utilizarse en el campo de la Röntgenterapia y de la radiología industrial, ya que brindaban la ventaja de que espontáneamente producían rayos que poseían una longitud de onda que producían resultados muy parecidos a los obtenidos utilizando una fuente de rayos X de una alimentación de 2 MV.

Hoy en día a casi más de cien años del descubrimiento de los rayos X y gamma los usos y aplicaciones de los que han sido objeto en las técnicas de ensayos no destructivos ha llevado a la situación que el uso de ambas fuentes de energía sean complementarias unas de otras en lo que respecta a tipos de material y espesores a inspeccionar, claridad de la definición de las imágenes radiográficas, etc.

En general, podemos afirmar que la radiología industrial como método de los ensayos no destructivos, en la actualidad ha encontrado muchos usos, pero sus principales campos de aplicación son:

- La inspección del control de calidad de uniones soldadas
- La inspección de piezas fundidas

Específicamente, en las últimas décadas se ha visto la necesidad de utilizar las técnicas radiográficas en lo que respecta a la fabricación, construcción o montaje de obras civiles o sistemas electromecánicos tales como:

- Oleoductos.
- Construcción de calderas y tanques de presión.
- Construcción de refinerías, plantas químicas y estaciones.
- Fabricación de tuberías.
- Construcción de tanques de almacenamiento y esferas de gas (véase FIGURA 2-1)
- Edificios, puentes y otras estructuras de ingeniería civil
- Inspección de refinerías, plantas químicas y estaciones durante la parada de mantenimiento y puesta en servicio.

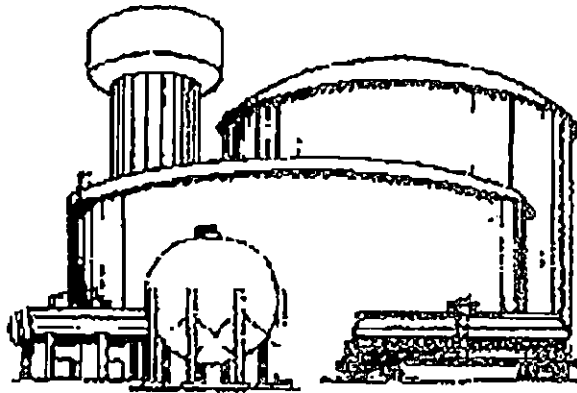


FIGURA 2-1. Construcciones tales como tuberías, tanques de almacenamiento y esferas de gas son inspeccionados por exigencias de determinados códigos o normativas API, ASME, ASTM, SAE que exigen técnicas de ensayos no destructivos como los rayos X. ^[2-4]

Se han obtenido grandes avances y descubrimientos con el empleo de estos rayos X, sin embargo queda aún por investigar un largo camino sobre la naturaleza y esencia de los rayos X y por crear más aplicaciones.

2.2 HISTORIA DEL USO DE LOS RAYOS X Y LOS RAYOS GAMMA, COMO UNA TECNICA DE INSPECCIÓN EN LOS MATERIALES METÁLICOS.

2.2.1 ORIGENES DE LA TECNICA DE INSPECCIÓN UTILIZANDO RAYOS X.

En el año de 1895, en la Universidad de Wurtzburg en Bavaria, el Profesor Vincent Konrad Röntgen realizó experimentos con tubos al vacío y descubrió los principios de la emisión de los rayos X a los que denominó de esta manera porque en ese momento era necesario darles alguna denominación y ante el hecho de que no sabía de que se trataban, les denominó de esa forma pensando en que en un futuro se sustituyera el sufijo X. En este momento pensó cambiar en el futuro cercano la incognita X por un nombre más adecuado, pero el tiempo y los hombres han denominado estos rayos como "Rayos Röntgen" aún cuando popularmente se les continúe identificando como Rayos X.

En un principio su utilización se enfocó exclusivamente a la ciencia médica para examinar el interior del cuerpo humano, posteriormente se dirigió a la química, para la época de la primera guerra mundial ya eran utilizados como técnicas de inspección de las diferentes fuerzas de defensa del ejército de los Estados Unidos, tiempo después, entre los años de 1920 y 1930, comenzó a ser utilizada por personas civiles, en la inspección de soldaduras, pero sobre todo en la construcción de calderas y recipientes a presión.

Uno de los primeros trabajos radiografiados e inspeccionados con el método de Rayos X, que se conoció públicamente fue la fabricación de la planta eléctrica de vapor de la compañía Edison para la Marina de los Estados Unidos de Norteamérica, en Watertown, Massachusetts, en 1931, en dicha actividad participaron ingenieros de la ASME, de cuyas observaciones surgieron las especificaciones de la inspección radiográfica de soldaduras longitudinales y circunferenciales, en calderas y recipientes a presión del Código ASME, especificaciones las cuales llegaron a constituirse en una sección del código en cuestión, el cual se encuentra vigente hasta nuestros días (véase FIGURA 2-2). Después de la formación de este código, aparecieron muchos otros los cuales han ganado gran popularidad en la actualidad. ^[2-5]

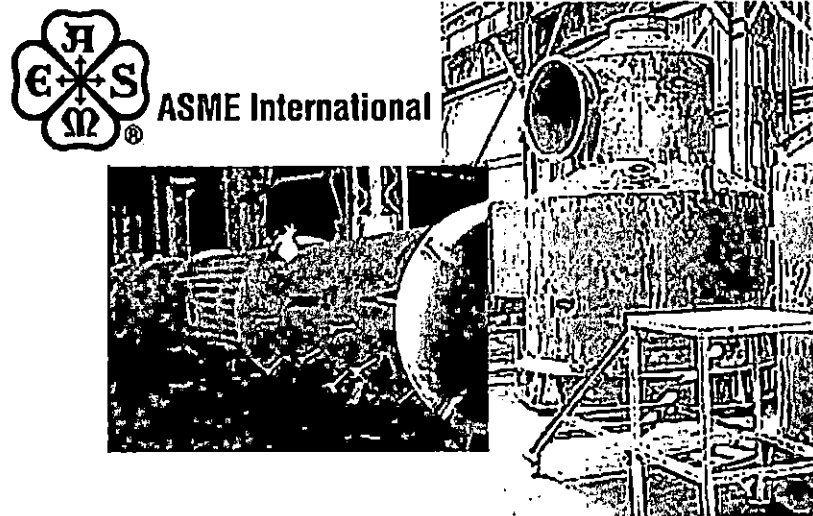


FIGURA 2-2. *Figura en la cual se muestra algunos recipientes sometidos a presión. En la actualidad diferentes secciones del Código ASME son las especificaciones más ampliamente utilizadas a lo largo del mundo antes, durante y después de la fabricación de equipos o estructuras de este tipo.* ^[2-6]

La importancia alcanzada por la técnica de inspección por rayos X entre los demás ensayos no destructivos, está fuera de dudas. Este tipo de exámenes, que hasta hace algún tiempo pudo considerarse como un ensayo de laboratorio, se ha convertido en la actualidad en una práctica cotidiana y muy solicitada por innumerables códigos y normativas, su importancia es tal que ha sido aceptado como factor esencial en el control de calidad de las uniones soldadas por exigencias de instituciones como el IIW-IIS, ASME, BSI, y muchos otros.

2.2.2 ORIGENES DE LA TÉCNICA DE INSPECCIÓN UTILIZANDO RAYOS GAMMA. ^[2-7]

El uso de los Rayos Gamma para inspeccionar la soldadura en la misma forma que se hace con los rayos X, fue desarrollado por el Dr. Roberto Mehl. Superintendente de la División Metalúrgica Física de la Marina de Guerra de los Estados Unidos, en la Ciudad de Washington.

El Dr. Mehl desarrolló el sistema y método que estableció la Marina formalmente en el año de 1934, que a la fecha sigue aplicandose en todo el mundo como estándar para la obtención de radiografías por el método de gammagrafía industrial, a continuación explicaremos esto con más detalle.

El Dr. Mehl se basó en las investigaciones que el Sr. Enrique Becquerel realizó en 1896, quien también inspiró a los esposos Curie en las investigaciones que llevaron al descubrimiento del Radium. Becquerel experimentó al utilizar un compuesto (mixer) de Uranio para transferir la imagen grabada en una medalla de aluminio a una placa fotográfica, cubierta previamente con papel negro. Estos experimentos estuvieron muy cercanos al descubrimiento de los rayos X, lo cual le hubiera valido el primer premio nobel de la historia, premio que fue otorgado a Röntgen por su descubrimiento de los rayos X^a.

En el año de 1925 se produjo un daño en las paletas de una turbina marítima de vapor; esto dió origen a las investigaciones del Doctor Mehl para inspeccionar las gruesas placas de acero de dicha máquina hidráulica. Fue por medio de fotografías obtenidas por la emisión de rayos gamma provenientes

de una pequeña masa de Radium con la cual se realizó dicha inspección.

Pero la técnica de inspección de gammagrafía industrial no se hizo popular hasta después de la segunda guerra mundial, es decir, hasta mediados de la década de los años cuarenta y principios de los cincuenta, fecha en la cual se inicia el advenimiento de la era atómica de la humanidad. Es en este momento que el gobierno de los Estados Unidos libera la técnica de gammagrafía industrial, de la clasificación de Secreto Militar, convirtiéndola en información de dominio público. Es decir, luego de veinticinco o treinta años de estudio, investigación y desarrollo dan a conocer oficialmente un nuevo tipo de ensayos no destructivos, en ese entonces la humanidad comenzaba desarrollar tecnologías de la energía y la física nuclear. No es de extrañarse que las técnicas de inspección por rayos X y Gamma llegaron a constituirse en requerimientos para el aseguramiento de la calidad de pertrechos de guerra, los cuales provenían de procesos de fabricación tales como la soldadura o fundición, y venían utilizándose por el Gobierno de los EUA. Por más de treinta años, antes de que se dieran a conocer públicamente.

La gammagrafía industrial posee una importancia de igual magnitud que la técnica de inspección por rayos X, a tal grado que ambas técnicas son complementarias. Lo anterior no quiere decir que estas técnicas se utilizan alternadamente durante la realización de una inspección en particular, sino más bien, quiere decir que cuando se complica la utilización de una técnica en particular o cuando los resultados por obtener no son los adecuados, se recurre a la otra técnica de inspección.

En los últimos cuarenta años, se han desarrollado las leyes y reglamentos que especifican el uso de los elementos radiactivos, llegando a alcanzar una gran popularidad incluso mayor que la técnica de inspección por rayos X. Pero debido al enorme riesgo que implica el manejo y la utilización de los equipos de gammagrafía industrial es necesario siempre realizar el más estricto control de los mismos y de las prácticas de inspección. Requiriendo cada vez más técnicos radiólogos capaces de realizar las mejores inspecciones, guardando en todo momento las normas y procedimientos de seguridad que este trabajo exige.

2.3 ESTRUCTURA Y NATURALEZA DEL ÁTOMO.

Antes de proceder a explicar los fundamentos del ensayo radiográfico utilizando rayos Gamma, es necesario conocer los principios de la física nuclear que rigen dicho fenómeno, la teoría básica de radioisótopos y la física nuclear necesaria para conocer las características de las fuentes radiactivas utilizadas en la gammagrafía industrial, así como la interacción de las radiaciones ionizantes con la materia, para así poder obtener los mejores resultados, gracias al uso más adecuado, eficiente y seguro de las fuentes radiactivas.

2.3.1 ESTRUCTURA DEL ÁTOMO.

Todo comienza en el átomo, la unidad más simple en la que puede fraccionarse un elemento, conservando las propiedades del mismo. Es decir diminutos empaquetamientos constituidos por un núcleo pesado cargado positivamente, rodeado de electrones, partículas ligeras con carga negativa, distribuidos en órbitas alrededor del núcleo.^[2-9]

El núcleo puede ser representado como un empaquetamiento fuertemente enlazado de un tipo de partículas conocidas como protones y neutrones y en él se concentra casi toda la masa del átomo. La carga positiva del núcleo es portada por los protones que tienen igual valor de carga eléctrica que los

electrones, pero de signo opuesto y masa muy superior. Los neutrones no tienen carga eléctrica y su masa es muy similar a la de los protones.

En ciertas condiciones el átomo es eléctricamente neutro, ya que la carga eléctrica negativa que portan los electrones de su envoltura es compensada con igual cantidad de cargas positivas en el núcleo. Según este modelo, un núcleo X cualquiera se caracteriza por su número másico (denotado con la letra A) que no es más que el número de protones más el número de neutrones que lo forman y por su número atómico (denotado con la letra Z) que es el número de protones.

Los núclidos se denominan isótopos cuando tienen el mismo número atómico y diferente valor del número másico. Existen, por ejemplo, tres isótopos del hidrógeno con índices de masa 1, 2, y 3 respectivamente y todos con igual número atómico: $Z = 1$, pero los tres isótopos solamente uno es radiactivo, el tritio (H^3). El estado nuclear de muchos isótopos es inestable emitiendo radiación durante su proceso de estabilización, hecho por el cual son denominados radionúclidos, isótopos radiactivos o simplemente radioisótopos.

En los núcleos ligeros el número de neutrones es aproximadamente igual al número de protones; en los núcleos pesados el número de neutrones se eleva a aproximadamente 1.5 veces el número de protones. Los núcleos que se apartan de esta proporción de neutrones y protones están desbalanceados y tenderán a la configuración estable emitiendo partículas ligeras (partículas α y β) y en forma de radiación electromagnética (rayos gamma). De igual forma, los núcleos más pesados poseen un exceso de energía que los hace inestables, tendiendo a la estabilidad mediante la expulsión de parte de su masa a la que comunican la energía en exceso. Por tanto, la clasificación más general que se puede hacer de los núcleos es precisamente en estables y radiactivos. Los núcleos estables, a diferencia de los radiactivos, no se desintegran espontáneamente. El principio explicado anteriormente es el fundamento de la generación de la radiación gamma y de otras formas de energía, y será detallado en los apartados siguientes.

Otro tipo de energía radiante muy similar a los rayos gamma son los rayos X, es un tipo de energía electromagnética, que al igual que los rayos gamma son invisibles y se desplazan en línea recta a la velocidad de la luz. Las radiaciones X y Gamma, tienen la propiedad de atravesar aquellos materiales que son opacos a la luz, y ejercer una acción sobre las emulsiones fotográficas muy parecidas a la de la luz. Estas radiaciones atraviesan la materia sólida más fácilmente cuanto menos densa es ésta, dependiendo su poder de penetración de la longitud de onda de esta. Las principales características de los rayos X y gamma y otros tipos de radiaciones serán presentadas en los apartados siguientes, antes de ello es necesario conocer bien las características de los átomos y los diferentes tipos de radiaciones que estos pueden proporcionar.

2.3.2 UNIDADES DE MASA Y ENERGÍA DEL ÁTOMO.

2.3.2.1 UNIDADES DE MASA ATÓMICA.

La masa de los núcleos y de muchas partículas sub-atómicas se expresan en unidades de masa atómica (uma), la cual se define como la $\frac{1}{12}$ parte de la masa del C^{12} (el isótopo más abundante del carbono), por lo que el C^{12} tiene una masa de 12 uma.

El mol es una cantidad de materia que tiene tantas unidades elementales como átomos existen en 12 gramos de carbono 12. El peso de un sólo átomo se calcula fácilmente, ya que el peso en gramos de un mol es numéricamente igual a su peso molecular. Por ejemplo, para el caso del carbono 12, un mol

pesa 12.00 gramos y se calcula el peso del átomo dividiendo el peso molecular entre el número de Avogadro (6.023×10^{23} unidades/mol), es decir

$$\text{Masa de un átomo de } C^{12} = \frac{12 \text{ gramos}}{6.023 \times 10^{23}} = \frac{2.00 \times 10^{-23} \text{ gramos}}{C^{12}} \quad (2-1)$$

Relacionando con la masa del C^{12} se obtiene que:

$$1 \text{ uma} = \frac{2.00 \times 10^{-23} \text{ gramos} / C^{12}}{12 \text{ uma} / C^{12}} \quad (2-2)$$

$$1 \text{ uma} = 1.66 \times 10^{-24} \text{ gramos} \quad (2-3)$$

2.3.22 UNIDADES DE ENERGÍA ATÓMICA

El Sistema Internacional de Unidades (SI) tiene como unidad de masa el kilogramo (Kg) y la velocidad está dada en metros por segundos (m/s). Utilizando la ecuación relativista la cual relaciona la masa con la velocidad, se puede calcular la energía equivalente de la unidad de masa atómica:

$$E = m c^2 \quad (2-4)$$

Por ejemplo para el caso de un electrón cuya masa es de 1.66×10^{-27} Kg, y el cual se desplaza a una velocidad promedio de 3×10^8 m/s, al sustituir dichos valores en la ecuación (2-4) obtenemos que dicha partícula posee una energía de:

$$E = (1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}) (3 \times 10^8 \text{ m/seg})^2 \quad (2-5)$$

$$E = 1.49 \times 10^{-10} \text{ joules} \quad (2-6)$$

Pero para el caso de partículas atómicas o subatómicas, el *joule* no es la unidad de medida energética más conveniente, por lo que en el campo de la física de radiaciones es el *electrón-voltio (eV)*, que se define como la energía adquirida por un electrón cuando se acelera en un campo eléctrico generado por una diferencia de potencial de 1 voltio. Como la carga del electrón es de 1.6×10^{-19} *coulomb*, el *electron-voltio* se calcula de la siguiente manera:

$$1 \text{ eV} = (1.6 \times 10^{-19} \text{ coulomb}) \cdot (1 \text{ voltio}) = 1.6 \times 10^{-19} \text{ joules} \quad (2-7)$$

El electrón voltio es una cantidad pequeña de energía, por lo que se le utiliza generalmente con sus múltiplos de kilo electrón voltio. De esta manera, la unidad de masa atómica se puede expresar en MeV.

$$1 \text{ uma} = 1.49 \times 10^{-10} \frac{\text{joules}}{1.6 \times 10^{-19} \text{ joules} / \text{eV}} = 0.931 \times 10^9 \text{ eV} \quad (2-8)$$

$$1 \text{ uma} = 931 \text{ MeV} \quad (2-9)$$

Como se explicará en apartados posteriores existen ciertos átomos que por su inestabilidad, emiten energía en forma de radiaciones electromagnéticas.

De acuerdo con la teoría cuántica, propuesta por Planck, las radiaciones electromagnéticas no son radiadas de una forma continua, como tiene lugar en el caso de ondas puras, sino en forma de pequeños paquetes de energía llamados "cuantos", cuya energía puede calcularse con la siguiente expresión:

$$E = h \cdot \nu = \frac{c}{\lambda} \quad (2-10)$$

donde:

- E : energía de radiación.
- h : es la constante de Planck, cuyo valor es 6.624×10^{-28} erg/s
- ν : es la frecuencia de la radiación [hz]
- c : es la velocidad de la luz, es decir, 2.99×10^{10} $\frac{cm}{s}$
- λ : es la longitud de onda de la radiación

Para nuestro interés, dos de las radiaciones más importantes que generadas los átomos son los Rayos X y la radiación gamma. La radiación gamma difiere de los rayos X, de la luz visible, de las ondas de radio y de otras formas de radiación, por su longitud de onda y por su origen. Los rayos X se originan cuando un electrón cambia de una órbita a otra más inferior y los rayos gamma son producidos por diversos mecanismos de desintegración los cuales serán explicados más adelante. La siguiente figura presenta el espectro electromagnético en el cual se aprecian los intervalos de energía para cada tipo de radiación.

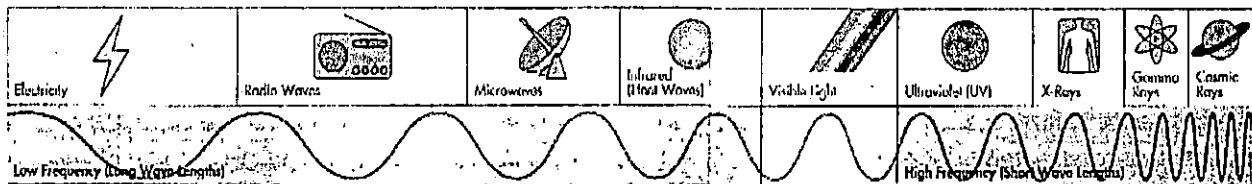


FIGURA 2-3. Espectro electromagnético Los rayos X y gamma son radiaciones electromagnéticas cuyas longitudes de onda están comprendidas entre 10^{-10} y 10^{-7} centímetros. [2-10]

Una conclusión que se puede obtener de la ecuación (2-10) es que cuanto menor es la longitud de onda de la radiación, mayor será su energía. Pero un cuanto se constituye en la menor cantidad de energía asociada con cualquier fenómeno dado, por ello se hace necesario considerar la radiación electromagnética como corpuscular en vez de ondas en movimiento, en cuyo caso se emplea el término fotón en lugar de el de cuanto.

Físicamente la única diferencia que existe entre las Radiaciones Gamma y los Rayos X y los otros tipos de radiaciones como los rayos ultravioleta, infrarrojos, ondas de radio, es su longitud de onda (o su frecuencia) y la forma en que estas son producidas, esto puede apreciarse claramente en la FIGURA 2-3.

2.4 NATURALEZA Y PRINCIPIOS FÍSICOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES.

Mediante los procesos de interacción, las radiaciones ionizantes ceden su energía o parte de ésta a los átomos y moléculas del medio que atraviesan, pudiendo interactuar con los electrones o con los núcleos atómicos del medio ionizándolos y excitándolos. El tipo de interacción depende de la radiación incidente, de su energía y del material de que se trate. El proceso fundamental de interacción de las partículas cargadas es la ionización y excitación de los átomos del medio.

Las partículas cargadas pierden su energía porque ellas la transmiten a los electrones de la envoltura atómica, así que la cantidad de pares de iones producidos en un recorrido dado es una medida de la energía entregada por la radiación. La ionización se produce mediante interacciones electromagnéticas con los electrones de la envoltura. Por estar razones se agrupan correctamente bajo el término de radiaciones ionizantes. Estas partículas pierden continuamente su energía al atravesar un medio dado por lo que su alcance es limitado. Como se apreciaba en la FIGURA 2-4, debido a la alta densidad de ionización de las partículas α en su recorrido, su alcance máximo es de apenas unos centímetros en el aire y unas pocas decenas de micrómetros en el tejido. El alcance máximo de la radiación β es de unos milímetros en el tejido y de escasos metros en el aire, pero no sucede así con las radiaciones gamma, X y de neutrones, las cuales son capaces de viajar varios metros y atravesar la materia orgánica e incluso paredes de metal y su absorción no es total. Para el caso de los seres humanos, la radiación supone una transferencia de energía desde su origen hasta el objetivo biológico produciendo ionización de sus átomos. Con la suficiente transferencia de energía (dosis absorbida), la radiación puede expulsar electrones de su órbita alrededor del núcleo del átomo para producirá parejas de iones formadas por el electrón expulsado y el núcleo residual positivo; de allí el término "radiación ionica", el efecto de la radiación en el cuerpo humano es bastante complicado, por la gran cantidad de conceptos y fenómenos asociados a entre sí. Una exposición más amplia del tema se encuentra en el CAPITULO IX.

Las partículas no cargadas, entre ellas los cuantos de radiación electromagnética se agrupan en la definición de radiaciones indirectamente ionizantes; ellas no pierden su energía de forma continua mediante procesos de ionización y excitación, sino que pueden atravesar grandes distancias antes de chocar con los núcleos o con los electrones del medio. En estas interacciones discretas, las radiaciones indirectamente ionizantes ceden toda o gran parte de su energía en la formación de una o varias partículas cargadas llamadas "secundarias", las que se encargan de ionizar el medio. Ejemplos de estas radiaciones ionizantes son : los neutrones, los rayos X y la radiación γ .

2.4.1 TIPOS DE RADIACIONES IONIZANTES.

Como se explicaba en apartados anteriores, las radiaciones ionizantes son flujos de partículas cargadas o neutras, cuantos de energía procedentes de la desintegración radiactiva o flujos de radiación electromagnética surgidos en la envoltura electrónica de los átomos, capaces de "arrancar" electrones del medio por el que atraviesan. Entre ellas se encuentran, por ejemplo: las partículas alfa (α) o núcleos de Helio (He), las partículas beta (β) o electrones emitidos por determinados núclidos, los neutrones obtenidos como resultado de reacciones nucleares, la radiación gamma (γ) o radiación electromagnética emitida por ciertos núclidos como resultado de su proceso de desintegración radiactiva y por supuesto los rayos X. En los apartados siguientes se presentará una breve explicación de la naturaleza y características de los principales tipos de radiaciones ionizantes.

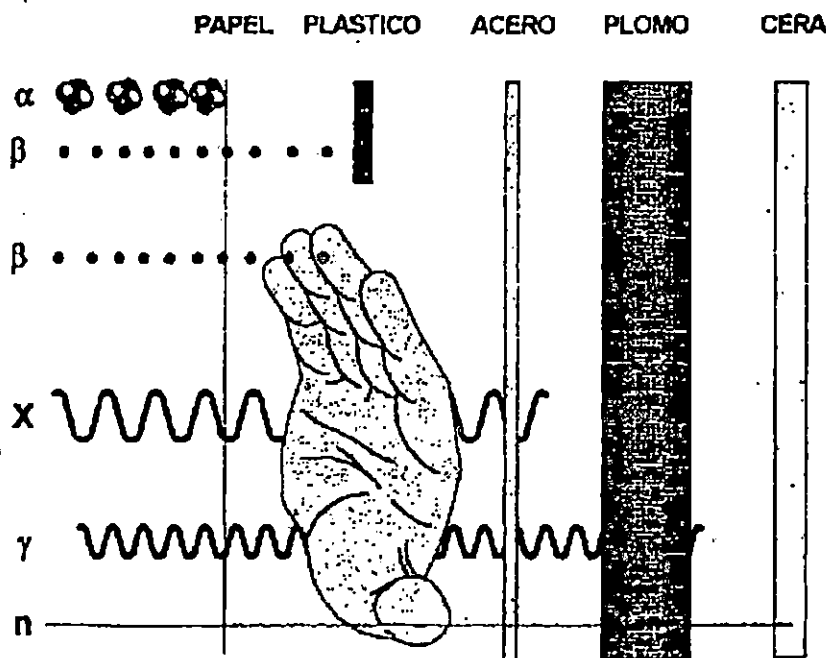


FIGURA 2-4. *Propiedades de Penetración de las radiaciones ionizantes.*^[2-11]

2.4.1.1 PARTÍCULAS ALFA

Las partículas alfa están integradas por dos neutrones y dos protones, exactamente igual a la estructura del átomo de helio, por lo que frecuentemente son llamadas átomos de helio. Tienen una carga $Z=2$ y su número de masa es 4. El radioisótopo que emite una partícula alfa pierde 2 unidades de carga y 4 unidades de masa, convirtiéndose en otro elemento con número atómico y número de masa menores. Las partículas alfa son las radiaciones menos penetrantes, son absorbidas por unos pocos centímetros de aire o por hojas de papel (véase la FIGURA 2-4).

2.4.1.2 PARTÍCULAS BETA

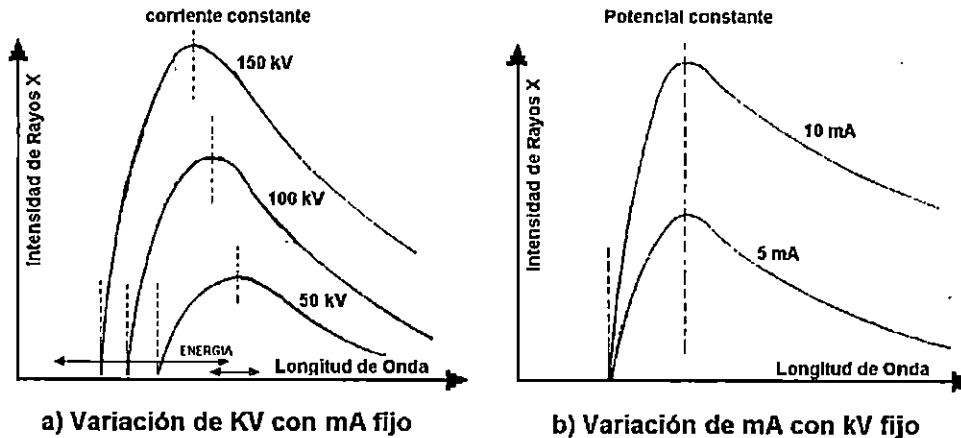
Las partículas beta tienen una masa muy pequeña, aproximadamente $\frac{1}{1832}$ de la del protón y pueden ser de carga negativa o positiva. La partícula beta menos (β^-) es un electrón emitido por el núcleo que se desintegra, transformando un neutrón en protón, por lo cual se aumenta en una unidad la carga positiva del nuevo núcleo.

La partícula beta positiva, llamada positrón (β^+) se emite cuando se transforma un protón en un neutrón, en cuyo caso el número atómico decrece en una unidad. En ambos casos las transformaciones se llaman isobáricas porque no involucran cambio en el número de masa del elemento, pero ocurre siempre un cambio en la carga nuclear. La radiación beta puede viajar algunos metros en el aire, y/o a través de varias hojas de aluminio antes de ser absorbida (véase FIGURA 2-4).

2.4.1.3 RAYOS X.

Tal y como se mencionaba en los apartados anteriores los rayos X se producen cuando un haz de electrones provistos de gran velocidad (y por tanto con una gran energía), chocan contra un obstáculo

material cualquiera; siendo este obstáculo, en el caso de los tubos de rayos X, el metal que constituye el anticátodo¹, como resultado del choque de partículas en el ánodo, se desprenden partículas atómicas de muchos de los átomos que constituyen dicho elemento, la expulsión de estas partículas es acompañada de energía en forma de calor, y radiación de energía en forma de ondas electromagnética (Rayos X).



a) Variación de KV con mA fijo

b) Variación de mA con KV fijo

FIGURA 2-5. *Diferentes Espectros de radiación X según el comportamiento del equipo utilizado en la generación de la radiación X.* [2-12]

- a) *Espectro de radiación que se obtiene cuando se utiliza un equipo de potencial constante.*
 b) *Espectro de radiación que se obtiene cuando se utiliza un equipo de corriente constante.*

En esencia los rayos X constituyen un caso particular de la radiación de frenado, es decir, son fotones emitidos durante la desaceleración de partículas cargadas, producto del choque de electrones, contra los átomos de un material designado como blanco. La detención brusca o la deflexión en una dirección en particular de los electrones en los átomos del blanco provoca la pérdida de energía del electrón, la que se libera en forma de radiación electromagnética de espectro continuo. Simultáneamente, en el átomo excitado los electrones transitan desde las capas más externas de su envoltura hacia otras más internas, liberando cuantos de energía igual a la diferencia entre las energías de enlace del electrón en los respectivos niveles energéticos por los que ha transitado, por lo que es característica del átomo excitado. Como se muestra en la FIGURA 2-5 el espectro de rayos X está entonces conformado por dos componentes: La radiación de frenado y la radiación característica. La energía máxima del espectro es igual a la energía máxima de los electrones acelerados, por ejemplo si el voltaje aplicado al tubo de rayos X es de 100 kV, la energía máxima de los electrones será de 100 keV. La fracción de energía del electrón emitida como rayos X se incrementa con el número atómico de los átomos del blanco y con la velocidad de los electrones.

La FIGURA 2-6 muestra un esquema simplificado de un equipo generador de rayos X. Este consiste en un tubo al vacío por el que son acelerados hasta el ánodo los electrones emitidos por un cátodo sobrecalentado. La aceleración es posible debido a la aplicación de una diferencia de potencial entre ambos electrodos (decenas o centenas de kilovoltios). Al chocar con el ánodo los electrones acelerados, producen radiación electromagnética (radiación de frenado y radiación X característica) cuya energía media es proporcional al valor del potencial aplicado.

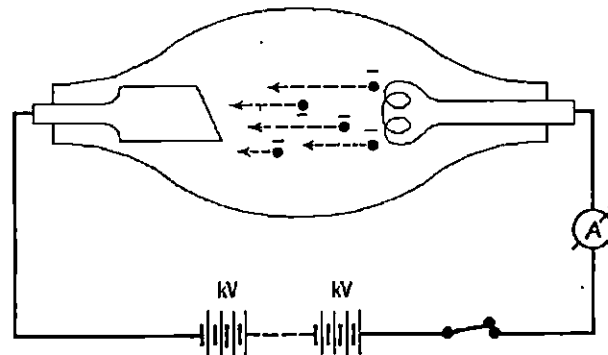


FIGURA 2-6. Representación esquemática de una emisión termoiónica en un tubo de Rayos X, la cual se produce al momento de conectar el interruptor de la fuente de alimentación.^[2-13]

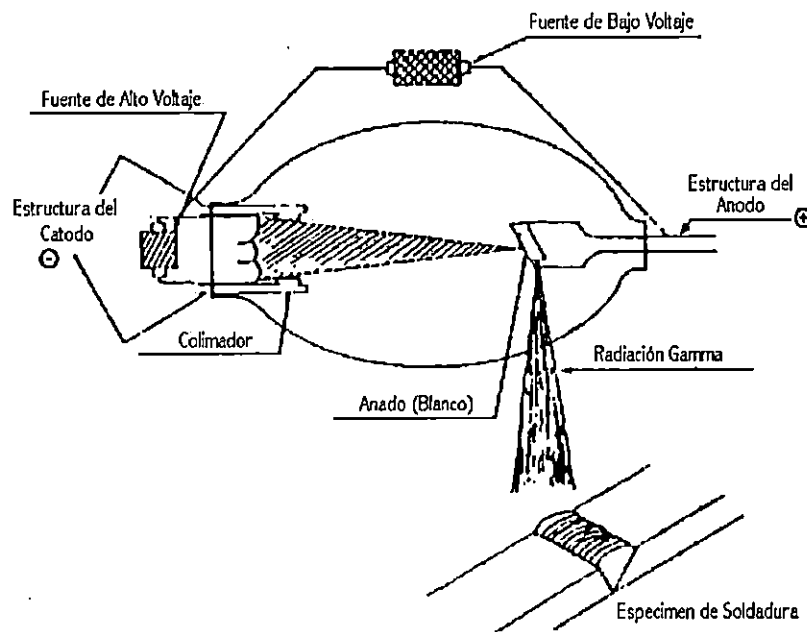


FIGURA 2-7. Esquema de un equipo de rayos X utilizado para radiografías uniones soldadas.^[2-14]

El tubo de radiación, o tubo de rayos X (véase FIGURA 2-7), está constituido esencialmente por una ampolla de vidrio en cuyo interior se colocan el filamento (cátodo) y el ánodo, y de la cual se ha extraído aire hasta alcanzar un grado de vacío del orden de 0.01 a 0.001 mm de Hg. El filamento está conformado por un hilo, generalmente de wolframio, el cual es llevado a una temperatura adecuada, en la cual se produce una emisión de electrones conocida como emisión termoiónica (véase FIGURA 2-6). La cantidad de electrones emitidos depende de la temperatura alcanzada por el filamento, temperatura que puede ser regulada variando la intensidad de la corriente de alimentación que circula por el filamento. Este haz de electrones que se origina en el filamento, y que va desde éste al anticátodo, crea un flujo electrónico los cuales al ser frenados la energía que estos poseían es liberada en un 99% ó 98% en forma de calor y otras formas de energía, entre este 1% ó 2% se encuentra la radiación X.

Los rayos X tienen una gran capacidad de penetración incluso en materiales pesados (véase FIGURA 2-4) pero esta depende principalmente del potencial de alimentación, la corriente que circula por el filamento del ánodo y del tiempo que dure la exposición, lográndose energías radiantes capaces

de penetrar con suma facilidad espesores de hasta dos pulgadas en una chapa de acero o hierro. (véase figura 2-8)

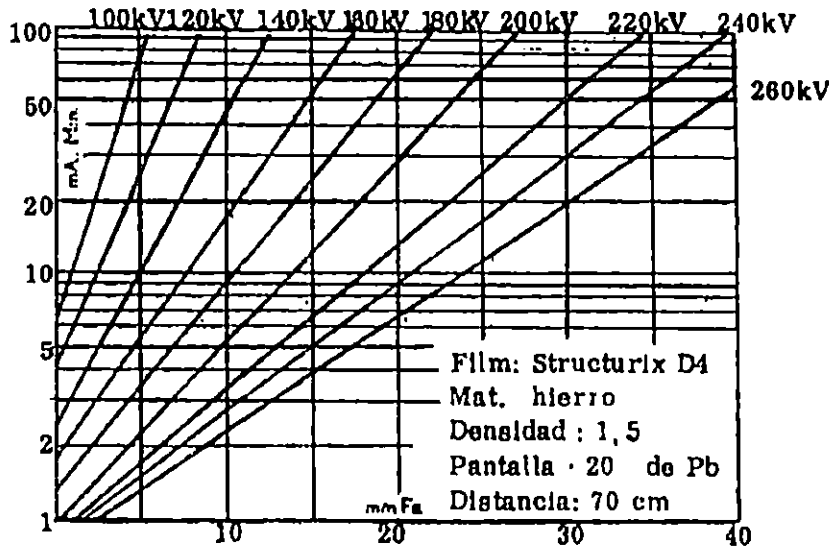


FIGURA 2-8. Diagrama de Exposición de un Equipo de Rayos X de uso industrial de la firma Phillip, modelo M260. ^[2-15]

2.4.1.4 RAYOS GAMMA.

Las radiaciones gamma, se producen por el decaimiento radiactivo de un núcleo al emitir una partícula alfa o beta, el átomo en el cual sucede esto pasa de un estado de excitación (E_i) a un estado de menor energía (E_f), como resultado de este proceso de estabilización energética que se produce en el átomo se emite un tipo de radiación conocida como radiación gamma. En otras palabras, la diferencia energética que existe entre el estado inicial (E_i) y el estado final (E_f) es expulsada (emitida) desde el interior del átomo. Esta energía emitida carece de carga y masa, y se le considera una radiación electromagnética, la cual posee un gran poder de penetración, ya que atraviesa grandes espesores de plomo y su absorción no es total (véase figura 2.4).

Los mecanismos de desintegración atómica en los que tiene su origen los rayos gamma, son abordados en mayor detalle en el apartado (2.4.2).

2.4.1.5 NEUTRONES.

Finalmente consideremos las radiaciones de neutrones, dichas partículas no tienen carga y su masa es aproximadamente 1 uma, por lo que los núclidos que pierden neutrones no cambian su número atómico pero su número de masa disminuye una unidad por cada neutrón emitido. La emisión de neutrones ocurre durante la fisión nuclear de núclidos pesados o en reacciones nucleares características. Las radiaciones de neutrones son extremadamente peligrosas no solo por la gran capacidad de penetración que pueden alcanzar en los cuerpos sólidos (véase figura 2-4) sino también por los peligrosos daños que pueden causar a las diversas partes del cuerpo humano.

2.4.2 MECANISMOS DE DESINTEGRACIÓN DE LAS RADIACIONES IONIZANTES

En la desintegración de un núcleo ocurren la transformación del núcleo original y la emisión de algún tipo de radiación. Existen diferentes mecanismos de desintegración de los radioisótopos, los cuales están basados en los principios de conservación de la carga, de la masa y la energía. Es así como tenemos mecanismos de desintegración α , (β^-) , (β^+) y entre estas también se encuentra la desintegración gamma, la cual en este momento, es la de nuestro interés y la cual detallaremos a continuación.

2.4.2.1 DESINTEGRACIÓN GAMMA.

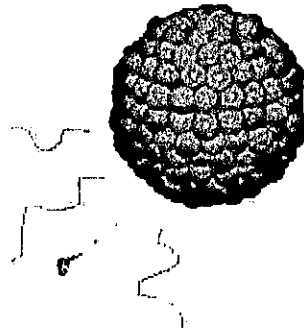


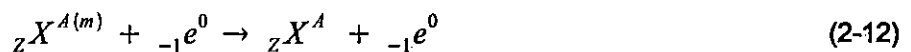
FIGURA 2-8. La figura esquematiza la forma en la cual se produce la radiación gamma, nótese como acompañada a esta se encuentra la emisión de partículas, es decir, energía en forma de ondas electromagnéticas y elementos corpusculares. ^[2-16]

La desintegración gamma es una transición isomérica, es decir, un proceso en el cual un núcleo emite un rayo gamma, permaneciendo con iguales número atómico y masa, pero en un nivel inferior de energía. En este proceso, el núclido tiende a la estabilidad energética, mediante un reacomodo de las partículas nucleares, cambiando así su nivel de energía. Los núclidos que emiten radiación gamma para lograr estabilidad son llamados núclidos en estado metaestable, lo que se indica con la letra (m) al lado del número de masa. La expresión que describe la desintegración gamma es la siguiente:



2.4.2.2 CONVERSIÓN INTERNA.

Otro proceso que compete con la emisión gamma es la conversión interna, en este proceso un núcleo excitado transfiere su energía de excitación a un electrón orbital, el cual sale del átomo y este, a su vez queda ionizado. La expresión que describe esta desintegración es la siguiente:



2.4.3 EFECTOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES CON LA MATERIA.

La capacidad de absorción de los fotones de las radiaciones ionizantes varía de un material a otro. Esto se explica a través del coeficiente de absorción "u", que es una característica de cada material en

particular. Este coeficiente es determinado experimentalmente, y depende principalmente de la densidad del material y de su número atómico

$$u = Z \cdot e^{-\rho} \quad (2-13)$$

Energía [MeV]	Aluminio $u \text{ [1/cm]}$	Plomo $u \text{ [1/cm]}$
0.102	0.444	60.2
0.409	0.247	2.43
1.022	0.165	0.772
2.043	0.115	0.5

TABLA 2-1. En la presente tabla se muestra el valor del coeficiente de absorción, de diferentes materiales, expuestas a diferentes niveles de radiación.

Esto explica, por ejemplo porque un cierto espesor de plomo absorbe más radiación que un mismo espesor de aluminio. Observando una muestra de plomo ($z=82$, $\rho = 11.348 \text{ gr/cm}^3$) y una muestra de aluminio ($Z=13$, $\rho = 2.78 \text{ gr/cm}^3$), para una radiación de 0.409 MeV, el coeficiente de absorción del plomo es diez veces más elevado que el del aluminio. Eso significa que el proceso por el cual la radiación interactúa con éstos dos materiales, no es exactamente el mismo, esto puede apreciarse en la TABLA 2-1.

Tomándose en cuenta que la interacción de la radiación con la materia ocurre de una forma diferente conforme al valor de energía que esa radiación posee, esto puede comprobarse al revisar la TABLA 2-1, en la cual se observa los valores que presenta el coeficiente de absorción de dos materiales metálicos, para diferentes energías de radiación.

Podemos decir que la radiación interactúa con la materia a través de tres procesos principales los cuales son:

- el efecto fotoeléctrico
- el efecto Compton
- la formación de pares.

Los cuales se detallan en los apartados siguientes.

2.4.3.1 EFECTO FOTOELECTRICO.

Este efecto ocurre cuando un rayo X ó radiación gamma incide sobre un átomo, transfiriéndole toda su energía a un electrón del mismo átomo y este electrón es arrancado del átomo y es acelerado. Este efecto es predominante (o sea, tiene mayor probabilidad de ocurrir) cuando la energía del rayo incidente es baja, por lo general menor que 100 kev

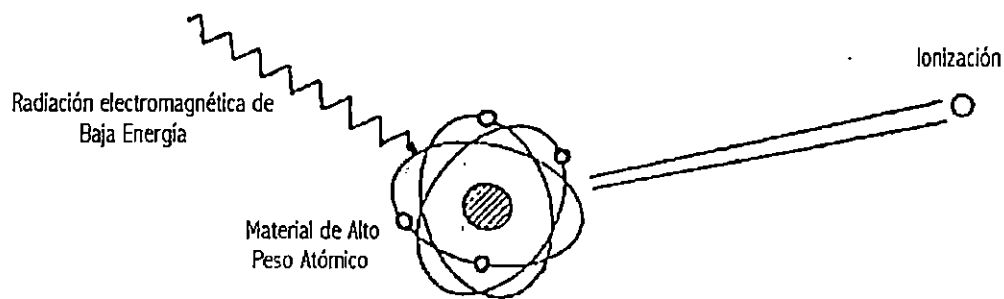


FIGURA 2-9. EFECTO FOTOELÉCTRICO. [2-17]

2.4.3.2 EFECTO COMPTON.

Cuando la radiación electromagnética incidente sobre los átomos es de mediana energía, es decir, una energía mayor que 100 keV y menor que 1 MeV, el efecto predominante es el efecto Compton.

En este efecto el rayo incidente también libera un electrón de un cierto átomo y le produce cierta aceleración, por lo tanto, le resta una cierta cantidad de energía al rayo incidente que prosigue dentro del materia en otra dirección y con una energía menor.

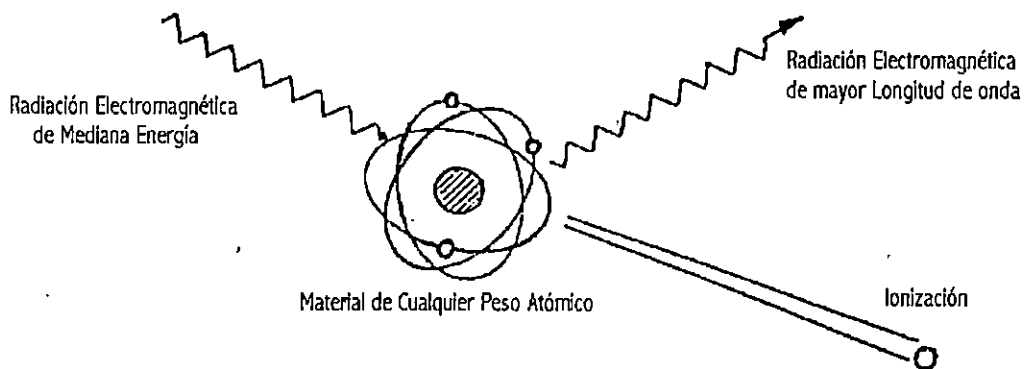


FIGURA 2-10 EFECTO COMPTON. [2-18]

2.4.3.3 FORMACIÓN DE PARES.

Cuando la radiación que posee una alta energía (por lo general mayor que 1 MeV ó 1.02 Mev) pasa cerca de un átomo, la radiación misma produce que un par de partículas abandonen el átomo, estas son: un electrón y un positrón, ambos dotados de una cierta velocidad. Posteriormente, el positrón se desintegra generando dos rayos de 0.51 MeV cada uno. Después de la energía de la radiación, ciertas características del material, tales como el número atómico y la masa nuclear, afectan la probabilidad de ocurrencia de una u otra forma de interacción de la radiación con la materia.

Los tres efectos anteriores explican en parte porque la capacidad de absorción de la radiación de una material depende de varios factores pero uno de los principales es la magnitud de la energía incidente sobre los átomos del mismo.

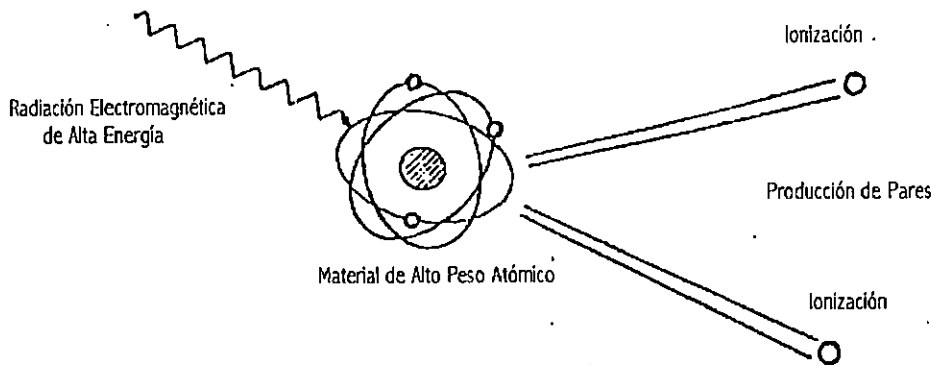


FIGURA 2-11. Esquema que muestra la formación de pares producto de la interacción de las radiaciones ionizantes de alta energía con la materia.^[2-19]

2.5 DECAIMIENTO RADIOACTIVO.

Es muy importante conocer la variación del número de núcleos radiactivos en una muestra dada con respecto al tiempo. Cada núcleo de un radioisótopo particular tiene una probabilidad λ , de desintegrarse en una unidad de tiempo. Dicha probabilidad es independiente del tiempo y del número y tipo de otros radionúclidos presentes en la muestra. La probabilidad de decaimiento de cada átomo en un intervalo de tiempo dt es λdt .

Si existen en una muestra N átomos radiactivos en un tiempo dado, el número de átomos que se transforman en el tiempo dt es dN , que está dado por:

$$dN = -\lambda N dt \quad (2-14)$$

El signo negativo de la expresión (2-14), indica que el número N disminuye con el tiempo. Integrando la ecuación (2-4), suponiendo que en tiempo $t = 0$, el número de átomos presentes en la muestra es N_0 , se obtiene el resultado:

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (2-15)$$

Donde $N(t)$ es el número de átomos radiactivos presentes en la muestra para un tiempo t . La probabilidad, λ utilizada en las ecuaciones anteriores es constante, es decir que la cantidad de átomos que se desintegran por unidad de tiempo es constante a lo largo del tiempo y no depende de nada, excepto del tipo de radioisótopo.

2.6 RADIATIVIDAD.^[2-20]

Como ya vimos, la desintegración radiactiva es un proceso de transformación nuclear. En dependencia del núcleo radiactivo de que se trate será el tipo de partícula emitida, su energía y el tiempo que, como promedio, demora dicha emisión. Este proceso de emisión se llama desintegración radiactiva, y el fenómeno, radiactividad, o actividad de radiación.

Queda claro entonces que la radiactividad es la desintegración espontánea de un núcleo que se transforma generalmente en otro núclido de diferente número atómico (Z) y está asociada con la emisión de partículas alfa, partículas beta y cuantos gamma por el núcleo. Las energías de las radiaciones emitidas son específicas de cada isótopo.

Pueden diferenciarse dos tipos de transformaciones nucleares espontáneas. En una, el núcleo atómico inestable expulsa una parte del núcleo variando su índice de masa y en otra, los protones y neutrones pueden transformarse unos en otros permaneciendo invariable el índice de masa. La desintegración α y la fisión espontánea son del primer tipo. En el otro tipo, como consecuencia de la transformación, se emite radiación β . La radiación γ se origina cuando el núcleo pasa desde un nivel de excitación superior a uno inferior, lo que es siempre consecuencia de procesos nucleares como los descritos para la desintegración α y β . El espectro γ está compuesto de líneas discretas de cuantos de energía que varían desde el orden de varios keV a varios MeV.

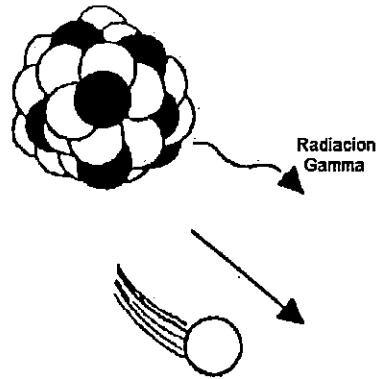


FIGURA 2-12. En la presente figura se representan las partículas α , β y los cuantos γ obtenidos como resultado de diferentes procesos de desintegración radiactiva.^[2-21]

2.6.1 UNIDADES DE MEDIDA DE LA RADIOACTIVIDAD.

Con la ecuación (2-15), la cual se utilizó para definir el decaimiento radiactivo, se puede calcular el número de átomos radiactivos presentes en una muestra en cualquier momento. Sin embargo, es de mayor interés conocer el número de átomos que se desintegran por unidad de tiempo. Por eso se han creado unidades de medida de la radiactividad y de otros efectos de esta.

De una o de otra forma la radiactividad se define como el número de desintegraciones (transformaciones que ocurren un radioisótopo) en un tiempo determinado. Dicho de otra forma, la actividad de un núcleo radiactivo en un estado particular de energía en un tiempo dado no es más que una cantidad, se define como el número de transformaciones nucleares que tienen lugar en ese tiempo:

$$A = \frac{dN}{dt}, \quad \left[\frac{1}{s} \right] \quad (2-16)$$

donde:

- dN : Representa el valor esperado del número de transformaciones nucleares espontáneas desde ese estado de energía en el intervalo de tiempo
- dt : intervalo de tiempo en el cual suceden las transformaciones nucleares

2.6.1.1 CURIE.

Originalmente el Curie (Ci) fue definido como la tasa de desintegración de un gramo de Radio. Más tarde fue definido como la cantidad de Radón en equilibrio con un gramo de radio. En 1930 fue definido

como la cantidad de cualquier producto del decaimiento de Radio que esté en equilibrio con un gramo de radio. Actualmente a pesar de que el Curie es una unidad del sistema CGS, sistema el cual ha caído en desuso, es todavía utilizado para medir la actividad de cualquier radionúclido y es definido como la actividad de una cantidad de sustancia la cual produce 3.7×10^{10} desintegraciones por segundo.

$$1 \text{ Ci} = \frac{3.7 \times 10^{10} \text{ Desintegraciones}}{1 \text{ Segundo}}; \quad \text{es decir, } 1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \frac{1}{s} \quad (2-17)$$

2.6.1.2 BECQUEREL

Recientes intentos de aceptación del S.I. de unidades, han hecho que surja un nuevo tipo de unidad de medida de la radioactividad, la cual es el Becquerel (Bq), en honor al famoso científico de finales del siglo XVII, Enrique Becquerel, quien dedicó mucho de su vida al estudio de los orígenes de la física nuclear. El Becquerel reemplaza como unidad de actividad al curie y ha sido definido como una medida del fenómeno de la radiactividad en la cual se produce una desintegración en un segundo.

$$1 \text{ Bq} = \frac{1 \text{ Desintegración}}{1 \text{ Segundo}}; \quad \text{es decir, } 1 \text{ Bq} = 1 \frac{1}{s} \quad (2-18)$$

2.6.2 ACTIVIDAD ESPECÍFICA.

La actividad específica determina la concentración de átomos excitados en una sustancia radiactiva. Es decir, la actividad específica de un material es la concentración de la actividad medida en Ci/gr. Es definida como la tasa de desintegración por unidad de masa de la fuente.

La actividad específica de una fuente, ya sea en estado libre de portadores o con portadores (depende de si está solo el radionúclido bajo consideración, o como una mezcla, aleación o compuesto), es la actividad por unidad de masa de la fuente y es expresada en $\frac{\text{Ci}}{\text{gr}}$

Así, en el caso de radionúclidos libres de portadores, la actividad específica depende solamente de la vida media del radionúclido y de su peso atómico y viene dada por:

$$\text{Actividad Específica} = \frac{1.308 \times 10^8}{(A)(T_m)} \frac{\text{Ci}}{\text{gr}} \quad (2-19)$$

donde:

- A : es el peso atómico del elemento radiactivo, expresado en gramos
- T_m : es la vida media del radionúclido en días

En la gammagrafía industrial la determinación de la Actividad Específica de un radionúclidos muy importante, porque esta determina las dimensiones físicas de la fuente de radiación. Fuentes confeccionadas con elementos de alta actividad específica poseen dimensiones menores que las hechas con elementos de baja actividad específica. Esto implica un aumento en la calidad radiográfica, mejorando las condiciones geométricas de la exposición.

2.7 PERÍODO DE SEMIDESTRUCIÓN.

Con los conceptos de decaimiento radiactivo y radiactividad, se puede proceder a realizar cálculos de la actividad de la fuente a lo largo del tiempo, lo que conduce al concepto de período de semidestrucción.

La transformación de una sustancia radiactiva es un fenómeno absolutamente independiente de toda acción exterior, no puede ser acelerado o detenido por ningún agente físico (alta temperatura, campo magnético o eléctrico, etc.). Y como era de esperarse su radioactividad no es constante porque los átomos del radioisótopo tienden a volverse estables, por lo que la radiactividad disminuye a lo largo del tiempo, con arreglo a una ley exponencial cuyas características se dan a continuación.

Utilizando la ecuación (2-14) podemos obtener la ley que rige la velocidad de desintegración radiactiva la cual es la siguiente:

$$\frac{dN}{dt} = -\lambda N \quad (2-20)$$

La cantidad de átomos radiactivos presentes en la muestra para un tiempo t , puede obtenerse de la ecuación (2-15), pero la forma más corriente de expresar la velocidad de desintegración radiactiva es considerar el período mediador, entendiéndose como tal el tiempo requerido para que cualquier número de núclidos, inicialmente presentes, se reduzca a la mitad, o sea, para que su actividad llegue a ser la mitad de su valor inicial. Este tiempo, dada la naturaleza exponencial de la desintegración, es independiente de la cantidad del radioisótopo presente. De esta forma si hacemos:

$$\frac{N}{N_0} = \frac{1}{2} \quad (2-21)$$

se tendrá que:

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda t} \quad (2-22)$$

Es así como para una cantidad determinada de material radiactivo, el tiempo durante el cual se desintegra la mitad de sus núcleos se denomina período de semidesintegración radiactiva, el que se representa como T_m . Los períodos de semidesintegración pueden ser de fracciones de segundo, de horas días y hasta miles de años. La unidad de medida de la vida media de un radionúclido es la unidad de tiempo del sistema S.I. (el segundo), pero es frecuente encontrar valores de vida media para tiempos expresados en días y años.

La vida media no es más que el valor recíproco de la constante de desintegración, es decir:

$$T_m = \frac{1}{\lambda}, [s] \quad (2-23)$$

de hacer las respectivas sustituciones en las ecuaciones (2-21) (2-22) (2-23) se obtiene que:

$$T_m = \frac{0.693147}{\lambda} \quad (2-24)$$

Así, por ejemplo, el radio posee una constante de desintegración cuyo valor es de $\lambda = 1.38 \times 10^{-11}$ desintegraciones por segundo, que es igual a 4.3730×10^{-4} desintegraciones por año, lo cual es aproximadamente:

$$\lambda = 4.3730 \times 10^{-4} \text{ desintegraciones/año} \approx = \frac{1}{2285} \text{ desintegraciones/año} \quad (2-25)$$

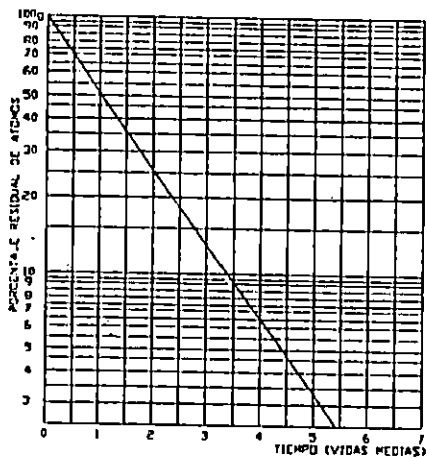
El resultado anterior quiere decir que por cada 2285 átomos, existe la probabilidad de que se desintegre uno por año. En cambio el período medio viene dado por:

$$T_m = (0.6931) \cdot (2285) = 1583.75 \text{ años}$$

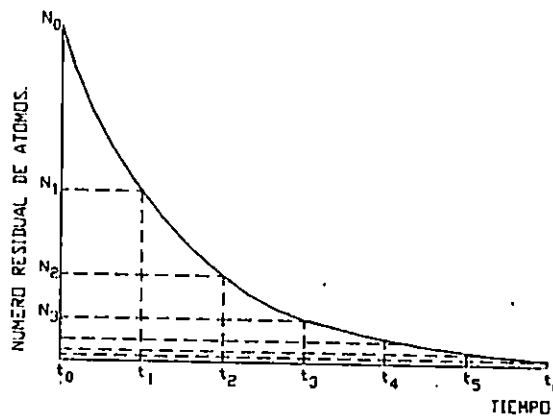
lo cual nos indica que al cabo de este tiempo se habrá desintegrado la mitad de los átomos existentes al principio de este intervalo de tiempo.

Si se gráfica el número de átomos radiactivos presentes en la muestra en función del tiempo, se obtiene una curva como la de la FIGURA 2-13a. Si se gráfica el logaritmo del número de átomos radiactivos como una función del número de vidas medias transcurridas se obtiene la FIGURA 2-13b, que proporciona el porcentaje residual de los átomos radiactivos presentes en la muestra, o bien, la actividad residual de la misma. En la calibración de los equipos nucleares se debe tomar en cuenta el decaimiento del estándar radiactivo empleado.

Si bien en la naturaleza existe un cierto número de elementos radiactivos, los radio isótopos generalmente utilizados en radiografía industrial son artificiales.



(a)



(b)

FIGURA 2-13. [2-22]

- (a) Gráfica en la que se muestra el logaritmo del número de átomos radiactivos como una función del número de vidas medias transcurridas.
- (b) Gráfica en la que se muestra el porcentaje residual de los átomos radiactivos presentes en la muestra, o bien, la actividad residual de la misma.

2.8 PRODUCCIÓN DE RADIOISÓTOPOS.

Desde 1896 hasta después de la segunda guerra mundial la única fuente de rayos gamma utilizada fué el radio, el cual es un elemento muy raro en la naturaleza y consecuentemente disponer de este resulta en costos elevados. Pero luego del descubrimiento de la fisión nuclear, hecho que llevó a la producción de la primera bomba atómica y la consiguiente producción artificial de otros radioisótopos aparte del radio, se obtuvieron en cantidades que los hacían razonablemente baratos.

Isótopo	Vida Media	Energía (MeV)
Na ²²	2.6 años	1.3
Na ²⁴	15 horas	1.38, 2.76
K ⁴²	12.4 horas	1.5
Cr ⁵¹	27 días	0.32
Mn ⁵⁴	3000 días	0.84
Co ⁶⁰	5.3 años	1.17, 1.33
I ¹³⁰	12.6 horas	0.42, 0.74
I ¹³¹	8 días	0.08, 0.72
Cs ¹³⁷	30 años	0.66
Ir ¹⁹²	74 días	0.13, 0.61

TABLA 2-2. *Diferentes radioisótopos producidos muy medios artificialmente.*

Aunque estos radioisótopos artificiales (véase TABLA 2-2) pueden ser creados en un acelerador de partículas (Ciclotrón, acelerador de Van de Graaff), el método sólo permite obtener cantidades pequeñas de radioisótopo y un costo elevado. En la actualidad tiene mayor importancia práctica la preparación de estas sustancias, bien por irradiación en la pila, o la extracción de determinados elementos producidos en la fisión nuclear del combustible de la pila o en determinados reactores nucleares.



FIGURA 2-14.

Pilas de fisión nuclear utilizadas para la producción de radioisótopo. Centro Atómico de La Reina, Chile. [2-23]

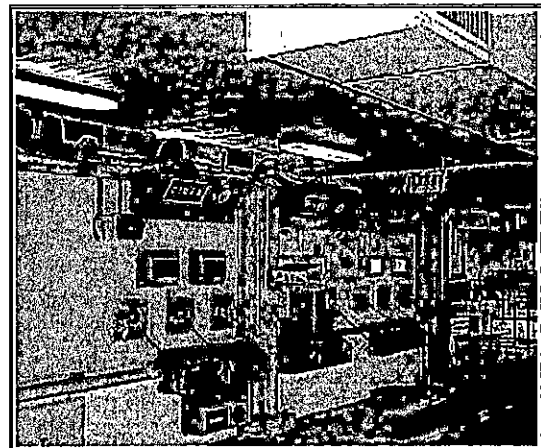


FIGURA 2-15.

Celdas de Laboratorio de Producción de Radioisótopos del Centro Atómico Constituyentes, CNEA, Buenos Aires, Argentina. [2-24]



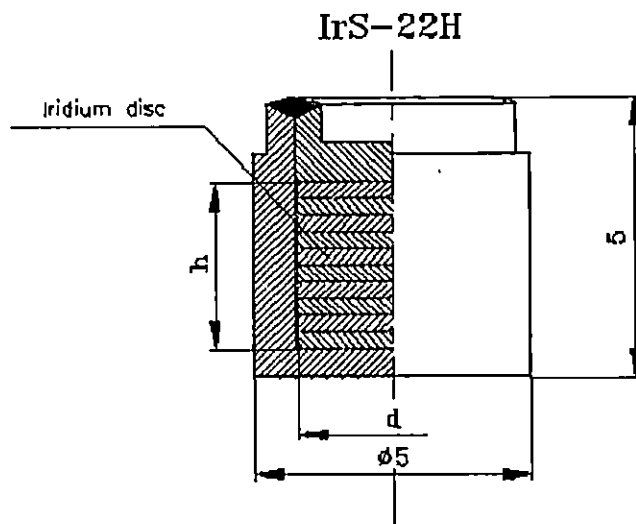


FIGURA 2-15. Cápsula de Radioisótopo IRIDIO 192 Fabricadas por la firma comercial Canadian NORDION Corporation, véase Información complementaria en TABLA 2-3 ^[2-25]

Isótopos de elementos tales como el iridio, cobalto, tantalio (tantalum) y el talio (thulium) son producidos por un bombardeo de neutrones en pilas atómicas, que se encuentran en Centros Atómicos tales como el de Harwell en Inglaterra o cualquier otro establecimiento atómico en el mundo. Son estos centros los que distribuyen los respectivos isótopos radiactivos en cápsulas especiales (véase FIGURA 2-15), las cuales son colocadas en contenedores especiales las cuales se encargan además de protegerlas. A diferencia del caso de las fuentes de rayos X, las cuales pueden dejar de emitir radiación cuando uno desee, no sucede así con las fuentes de rayos gamma, las cuales emiten radiación continuamente.

Activa Diameter d [mm]	Longitud Activa h [mm]	Maxima Actividad Equivalente		Dosis Absorbida en el aire a 1 m distancia [mGy/h]
		[TBq]	[Ci]	
2	0.3	0.3	8	33
2	0.6	0.5	14	60
2	0.9	0.7	20	80
2	1.2	0.9	25	100
2	1.5	1.1	30	125
2	1.8	1.3	35	150
2	2.1	1.5	40	170
3	0.9	1.5	40	170
3	1.2	1.7	45	190
3	1.5	2.2	60	250
3	1.8	2.6	70	300
3	2.1	3.1	84	355
3	2.4	4.1	95	400
3	2.7	4.4	110	460
3	3	4.4	120	500

TABLA 2-3. Especificaciones Dimensionales y Tasas de Dosis de Cápsulas de Iridio 192 Fabricadas por la firma comercial Canadian NORDION Corporation. ^[2-25]

Los parámetros descritos en las secciones anteriores son los necesarios para conocer las características de las fuentes radiactivas empleadas en el campo de la gammagrafía industrial. Para una descripción completa de los casos más generales de cadenas de desintegración, en que los productos de desintegración de los radionúclidos originales son a su vez núcleos radiactivos, se pueden consultar la bibliografía listada al final del capítulo.

2.9 REFERENCIAS DEL CAPÍTULO.

- [2-1] Video de la Serie EDUSAT titulado: "Grandes Momentos de la Ciencia y la Tecnología". TELEVISIÓN CULTURAL EDUCATIVA CANAL 10, Nueva San Salvador, La Libertad, El Salvador, Centro América.
- [2-2] De la Vega, Carlos. "Control de Calidad en Soldaduras Industriales por Métodos Radiográficos", Editorial DIANA, México, 1991, Capítulo 2, pág. 23.
- [2-3] De la Vega, Carlos. "Control de Calidad en Soldaduras Industriales por Métodos Radiográficos", Editorial DIANA, México, 1991, Capítulo 2, pág. 23.
- [2-4] Figura obtenida del sitio WEB <http://www.altec-com.com>
- [2-5] De la Vega, Carlos. "Control de Calidad en Soldaduras Industriales por Métodos Radiográficos", Editorial DIANA, México, 1991, Capítulo 2, pág. 23.
- [2-6] Figura tomada del sitio WEB de la Asociación Americana de Ingenieros Mecánicos, <http://www.asme.org>
- [2-7] Información tomada del Sitio WEB de la Oficina de Investigaciones de la Naval de Estados Unidos (Office of Naval Research of U.S.), <http://www.nrl.navy.mil>
- [2-8] De la Vega, Carlos. "Control de Calidad en Soldaduras Industriales por Métodos Radiográficos", Editorial DIANA, México, 1991, Capítulo 2, pág. 23.
- [2-9] ARCAL. Tópicos Selectos para los Cursos Nacionales sobre Mantenimiento, Reparación y Operación de Instrumentos Nucleares de Uso Industrial. RLA/4/011 (ARCAL XIX). Santiago de Chile, 1996.
- [2-10] Información tomada del Sitio WEB de la Comisión Nacional de Energía Atómica de Argentina, <http://www.cnea.gov.ar>
- [2-11] Protección Radiológica en las Aplicaciones de las Técnicas Nucleares. Programa ARCAL del Organismo Internacional de Energía Atómica. Redacción de la publicación por Haydée Domenech nieves, La Habana, Cuba., pág. 9.
- [2-12] VIDES ALVARADO, Ernesto. "Radiografía Industrial", Trabajo de Asignatura, Técnica General de la Soldadura, Ciclo II-99, Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador. Pág. 16.
- [2-13] De la VEGA, Carlos. "Control de Calidad en Soldadura Industrial por Métodos Radiográficos", Editorial DIANA, México, 1991. Capítulo II, página 21.
- [2-14] De la VEGA, Carlos. "Control de Calidad en Soldadura Industrial por Métodos Radiográficos", Editorial DIANA, México, 1991. Capítulo II, página 21.
- [2-15] VIDES ALVARADO, Ernesto. "Radiografía Industrial", Trabajo de Asignatura, Técnica General de la Soldadura, Ciclo II-99, Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador. Pág. 19.
- [2-16] Figura tomada del sitio WEB de la compañía Harwell Products and Equipments, <http://www.harwell-dosimeters.co.uk>
- [2-17] ARCAL. Tópicos Selectos para los Cursos Nacionales sobre Mantenimiento, Reparación y Operación de Instrumentos Nucleares de Uso Industrial. RLA/4/011 (ARCAL XIX). Santiago de Chile, 1996.
- [2-18] ARCAL. Tópicos Selectos para los Cursos Nacionales sobre Mantenimiento, Reparación y Operación de Instrumentos Nucleares de Uso Industrial. RLA/4/011 (ARCAL XIX). Santiago de Chile, 1996.
- [2-19] ARCAL. Tópicos Selectos para los Cursos Nacionales sobre Mantenimiento, Reparación y Operación de Instrumentos Nucleares de Uso Industrial. RLA/4/011 (ARCAL XIX). Santiago de Chile, 1996.
- [2-20] RUIZ RUBIO, Alfonso. "Inspección Radiográfica de las Uniones Soldadas", URMO, S.A. De Ediciones, Bilbao, España, 1981. Capítulo 2, Pág.27
- [2-21] ARCAL. Tópicos Selectos para los Cursos Nacionales sobre Mantenimiento, Reparación y Operación de Instrumentos Nucleares de Uso Industrial. RLA/4/011 (ARCAL XIX). Santiago de Chile, 1996.
- [2-22] ARCAL. Tópicos Selectos para los Cursos Nacionales sobre Mantenimiento, Reparación y Operación de Instrumentos Nucleares de Uso Industrial. RLA/4/011 (ARCAL XIX). Santiago de Chile, 1996.
- [2-23] Información tomada del Sitio WEB de la Comisión Nacional de Energía Atómica de Argentina, <http://www.cnea.gov.ar>
- [2-24] Información tomada del Sitio WEB de Centro Atómico de La Reina, Chile, <http://www.cchen.cl/seguridad/proteccion.html>
- [2-25] Información tomada del Sitio WEB de MDS Nordion (World Leader in Radioisotope Technology), http://www_mds_nordion_com
- [2-26] Información tomada del Sitio WEB de MDS Nordion (World Leader in Radioisotope Technology), http://www_mds_nordion_com

CAPÍTULO III

Equipos de Gammagrafía Industrial

3.0 GENERALIDADES DE LOS FUENTES DE RADIACIÓN DE USOS INDUSTRIALES.

Las aplicaciones industriales y agrícolas de las fuentes radioactivas constituyen la solución de una amplia gama de problemas de índole diversa (control de procesos, medición de parámetros tecnológicos, análisis multielemental e incluso diversas aplicaciones agrícolas y alimenticias). La facilidad de detectar la radiación, su propiedad de atenuarse y dispersarse en diferentes materiales y la activación que pueden inducir son las causas que han decidido a favor de su variado uso.

Una de las aplicaciones de mayor difusión en la industria es la radiología, la que emplea la propiedad de determinados tipos de radiaciones de atravesar grandes espesores de materiales para el control de calidad de las soldaduras en tuberías y tanques (de oleoductos, instalaciones petroquímicas, centrales termoeléctricas, electronucleares, etc.) para controlar las tensiones internas en los aceros estructurales, por ejemplo de grandes puentes y para vigilar el desgaste y la corrosión, por solo citar algunos ejemplos. Generalmente, en dependencia del espesor de la muestra a medir, se emplean generadores de rayos X y fuentes emisoras de radiación gamma. En algunos estudios se emplean fuentes de neutrones terminalizados. Los betatrones y el uso de aceleradores lineales para producir fotones de rayos X de alta energía combinados con técnicas de computación como se vió en la sección 1.7, del capítulo I, han permitido la obtención de radiografías en tiempo real de gran utilidad en el análisis de componentes de la aeronáutica y la industria nuclear.

En el presente Capítulo se estudiara con énfasis la radiación gamma proveniente de Radioisótopos, sus principales características y aplicaciones.

3.1 PRODUCCIÓN DE RAYOS GAMMA.

Como se mencionaba en los apartados 2-13 y 2-14, los rayos gamma son ondas electromagnéticas de alta energía, relativamente de onda corta y son emitidas durante el decaimiento radiactivo de determinados isótopos (ya sea naturales o creados artificialmente) inestables.

Muchos de los elementos en la tabla periódica, poseen isótopos radioactivos, otros elementos poseen isótopos que pueden volverse radioactivos por medio de una irradiación de neutrones a los núcleos de los átomos que constituyen el isótopo, este procedimiento se lleva a cabo en un reactor nuclear. Sin embargo, solamente existen unos cuantos radioisótopos utilizados en la radiología industrial que son el thulium 170, iridio 192, cesio 137, cobalto 60 y el radio.

Debido a que la radiación gamma es producida como ya se dijo, por el decaimiento e inestabilidad del núcleo de un radioisótopo en particular, existe una continua reducción en la intensidad de emisión de la radiación a lo largo del tiempo con lo cual el isótopo inestable tiende a convertirse en un isótopo estable. Esta reducción sigue una ley logarítmica, y cada isótopo radiactivo posee su respectiva 'vida media' (half life), esta característica tiene que ver con la cantidad de tiempo que le toma al isótopo que su intensidad de emisión de radiación se vea reducida a la mitad. El término 'vida media' no debe entenderse como que la intensidad de emisión de radiación se vuelve cero al final de la segunda mitad de la vida del radioisotopo. Por otro lado, el tiempo de duración de la segunda media vida del radioisotopo, podría ser exactamente igual a la primera media vida, o la mitad, la cuarta parte, la octava parte.

3.2 RADIOISÓTOPOS UTILIZADO EN LAS FUENTES DE RAYOS GAMMA.

Las fuentes radioactivas utilizadas en las fuentes de rayos gamma para diversos fines de inspección, son principalmente las que se detallan en la TABLA 3-1. En dicha tabla se dan además los parámetros más importantes para su uso en el ensayo radiográfico.

Radioisótopo	Vida Media	Energía Fotónica [MeV]	Salida de Radiación mR/ h	Potencia de Penetración en acero	
				mm	in
Talio 170	128 días	0.054 y 0.084	0.003	13	½
Iridium 192	74 días	12 rays desde 0.21 a 0.61	0.55	75	3
Cesio 137	33 años	0.66	0.39	75	3
Cobalto 60	5.3 años	1.17 y 1.33	1.35	230	9
Radio	1620 años	11 rayos principales desde 0.24 a 2.20	0.84	126	5

TABLA 3-1. CARACTERÍSTICAS DE LAS FUENTES DE RAYOS GAMMA USADAS EN LA RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL.

Las más importantes características de las fuentes de rayos gamma se resumen en la TABLA 3-1. Es importante mencionar que la potencia de la fuente (Source strength) y las actividades específicas no se listan en dicha tabla, porque estas características varían de acuerdo al tamaño físico de la fuentes, el material y diseño de su encapsulado, y finalmente de los grados de concentración durante la época en la cual la fuentes fue originalmente producida. En la actualidad los radioisotopos que son ampliamente utilizados en gammametría, por los buenos resultados que brindan son el Ir¹⁹² y el Co⁶⁰, y por eso dichas

fuentes pueden utilizarse en cortos tiempos de exposición y proporcionado muy buenas imágenes radiográficas en un amplio campo de aplicaciones.

3.3 EQUIPOS DE GAMMAGRAFÍA

Las fuentes usadas en gammagrafía industrial requieren cuidados especiales, pues una vez activadas, producen constantemente radiación, muchos de los conceptos de protección radiológica se derivan de las características de la misma, esa es una buena razón para poder comprender mejor sus características y los tipos de estas.

Es así, como para el caso del ensayo de gammagrafía industrial, es necesario disponer de un equipo que posea un blindaje, contra las radiaciones emanadas de la fuente cuando la misma no está siendo usada. De la misma forma es necesario dotar ese blindaje de un sistema que permita retirar la fuente de su interior, para que la radiografía sea realizada y una vez terminada la exposición la fuente vuelva al interior del contenedor.

Ese equipo especial se denomina irradiador o contenedor de trabajo, (véase FIGURA 3-1)^[3-1]

Los Irradiadores en general se componen básicamente de tres partes fundamentales:

- ▷ Un blindaje.
- ▷ La fuente de radiactividad .
- ▷ El dispositivo para exponer la fuente.

Los blindajes pueden ser contruidos con diversos tipos de materiales. Generalmente son contruidos con un blindaje hecho con un elemento pesado (plomo o uranio agotado), siendo contenido dentro de un recipiente externo de acero, que tiene la finalidad de proteger el blindaje contra choques. Otros contenedores son fabricados de fundiciones de bronce forrados con una aleación de tungsteno o uranio de radiación agotado. Ambos revestimientos constituyen realmente materiales lo suficientemente densos para evitar el paso de la radiación, además el diseño ha sido dispuesto para que la radiación gamma pueda ser dirigida hacia el contenedor una vez las exposiciones de inspección hayan concluido.

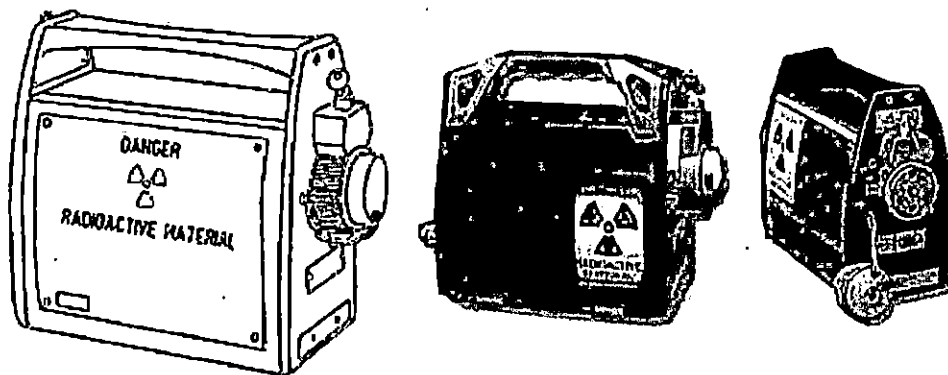


FIGURA 3-1

En la figura se aprecian los principales tipos de Irradiadores utilizados para la inspección radiológica de uniones soldadas.^[3-2]

Algo importante que hay que saber sobre los Irradiadores, es que su blindaje ha sido diseñado específicamente para una determinado nivel de radiactividad. Como se explico en el capítulo anterior, las fuentes de radiación pueden ser obtenidas de varios radioisótopos y cada cada uno posee su propio valor de radiactividad. Es así, como cada blindaje es dimensionado para contener un elemento radiactivo específico, con una cierta actividad.

Por lo tanto, no es aconsejable usar un irradiador proyectado para determinado elemento, con fuentes radiactivas de elementos diferentes y con otras especificaciones. Ese tipo de operación sólo puede ser hecho por personas especializadas y nunca por el personal que opera el equipo.

La fuente radiactiva consta de una determinada cantidad de un isótopo radiactivo. Esa masa de radioisótopo es encapsulada y sellada dentro de un pequeño envoltorio metálico de acero inoxidable y sellada herméticamente utilizando una soldadura de haz de electrones, para evitar fugas por resquebrajamiento o pulverización del material radiactivo, a este elemento se le conoce como "encapsulado o "torpedo" debido a su forma (véase FIGURA 3-2). En definitiva el encapsulado se destina a impedir que el material radiactivo entre en contacto con cualquier superficie y el objeto disminuyendo los riesgos de una eventual contaminación radiactiva.

Lo que más diferencia a un tipo de irradiador de otro son los dispositivos usados para exponer la fuente, estos dispositivos pueden ser mecánicos, con accionamiento manual o eléctrico, así como también neumático, la única característica que presentan en común es el hecho de que permiten al operador trabajar siempre a una distancia segura de la fuente sin exponerse al haz directo de radiación.

[3-3]

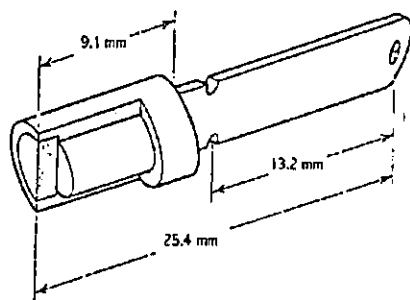


FIGURA 3-2.
Encápsulado de una fuente
de rayos gamma. [3-4]

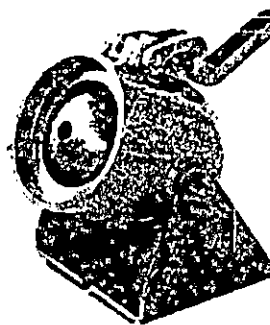


FIGURA 3-3. Contenedor Hermético de
Plomo, en el cual se muestra un miembro
esférico. Notese como el mecanismo para
exponer la fuente es manual. [3-5]

Las cápsulas de fuentes de rayos gamma que se han descrito anteriormente son colocadas en equipos de inspección ya sean portátiles o estacionarios según las aplicaciones y usos necesarios.

3.4 PRINCIPALES FUENTES DE RADIACIÓN UTILIZADAS COMERCIALMENTE.

Es necesario aclarar que existen fuentes radiactivas naturales y artificiales. Las fuentes radiactivas naturales son las que se encuentran en la naturaleza, tales como el radio, el uranio, etc. Por otro lado, las fuentes artificiales son producidas en las pilas nucleares, bombardeando con neutrones materiales estables, o por resultado de la fisión de otro elemento.

Ahora pueden ser producidas fuentes de radiación con varios tipos de elementos, apenas cuatro son los tipos más usados en radiología industrial, estos son: el Cobalto 60, el iridio 192, el Tulio 170 y el Cesio 137. En la tabla 3-2 se describen las características de estos radioisótopos.

Además de esas fuentes de radiación que son frecuentemente las más usadas, hay una gran variedad de elementos que pueden ser usados.^[3-6] Su uso es muy restringido debido a las dificultades de extracción, baja actividad específica y muchas otras desventajas. A manera de información citaremos algunos de estos elementos en la tabla 3-3.

	Cobalto 60	Iridio 192 °	Tulio 170 °	Cesio 137
Forma de Obtención	Bombardeo de neutrones al isótopo estable Co^{59}_{27}	Bombardeo de neutrones del isótopo estable Ir 191	Bombardeo de neutrones del isótopo estable Tulio 169	Se le obtiene ^o como producto de la fisión nuclear del Uranio 235
Vida Media	5.24 años	74 días	127 días	33 años
Energía de Radiación	1.17 a 1.33 MeV	0.137 a 0.651 MeV ^x	0.084 y 0.054 MeV ^A	0.66 MeV
Rango de utilización más efectiva ^o	60 a 200 mm de acero	10 a 40 mm	1 a 10 mm de acero	20 a 80 mm de acero
Rango de utilización menos adecuado ^o	30 a 300 mm de acero	5 a 70 mm	1 a 20 mm de acero	10 a 120 mm de acero
Observaciones			Debido a que es un radioisótopo extremadamente difícil de producir, generalmente es mutilado en forma de óxidos ósea Tm_2O_3	

⊙ Estos límites son arbitrarios y dependen de las especificaciones técnicas de la pieza a ser examinada, de las condiciones de inspección y de manera muy especial de la actividad de la fuente.

⊙ Estos límites son arbitrarios y dependen de las especificaciones técnicas de la pieza a ser examinada, de las condiciones de inspección y de manera muy especial de la actividad de la fuente.

⊙ El Iridio 192 posee un espectro compuesto de 20 líneas

⊙ El espectro del Tulio posee también radiación de Bremsstrahlung (frenado) con energía próxima a los 400 KeV

⊙ El Cesio 137 es extraído a través de procesos químicos que los separan del Uranio combustible y de los otros productos de fisión

TABLA 3-2. Características de algunos elementos radiactivos.

Elemento Radiactivo	Vida Media	Energía de Radiación^o [MeV]
Selenio 75	125 días	0.066 a 0.405
Cesio 134	2.07 años	0.563 a 1.367
Cerio 144	284 días	0.012 a 0.134
Europio 152	127 años	0.122 a 1.405
Europio 154	16 años	0.336 a 1.116
Europio 155	1.7 años	0.018 a 0.102
Plata 110	270 años	0.53 a 1.52

⊙ Las energías mostradas, apenas representan los límites inferior y superior del espectro. No se tomó en cuenta el porcentaje de emisión.

TABLA 3-3.

3.5 EQUIPOS PARA RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL

Los equipos de Gammagrafía utilizados para Radiografía Industrial de uniones soldadas poseen una construcción especial, con el objetivo de brindar la mayor seguridad al operario.

La fuente radioactiva en estos equipos esta montada en el extremo de un cable flexible llamado pigtail, el cual se aloja en un ducto en forma de S dentro del contenedor, forma que permite que la radiación en linea recta que sale del contenedor sea menor⁽³⁻⁷⁾ véase Figura 3-4.

En un extremo del ducto en S, en la parte exterior del contenedor se encuentra una cerradura a través de la cual se puede sujetar un extremo del pigtail permitiendo mantener la fuente en el centro del contenedor. El otro extremo del ducto en S posee un tacho removible el cual evita que entre suciedad al interior del contenedor.

Otros componentes que forman parte del equipo son: El cable de control, el cable alojador y la manivela, el tubo guía y el tubo guía de extensión y una variedad de colimadores ajustables al extremo del tubo guía (extremo de prueba).

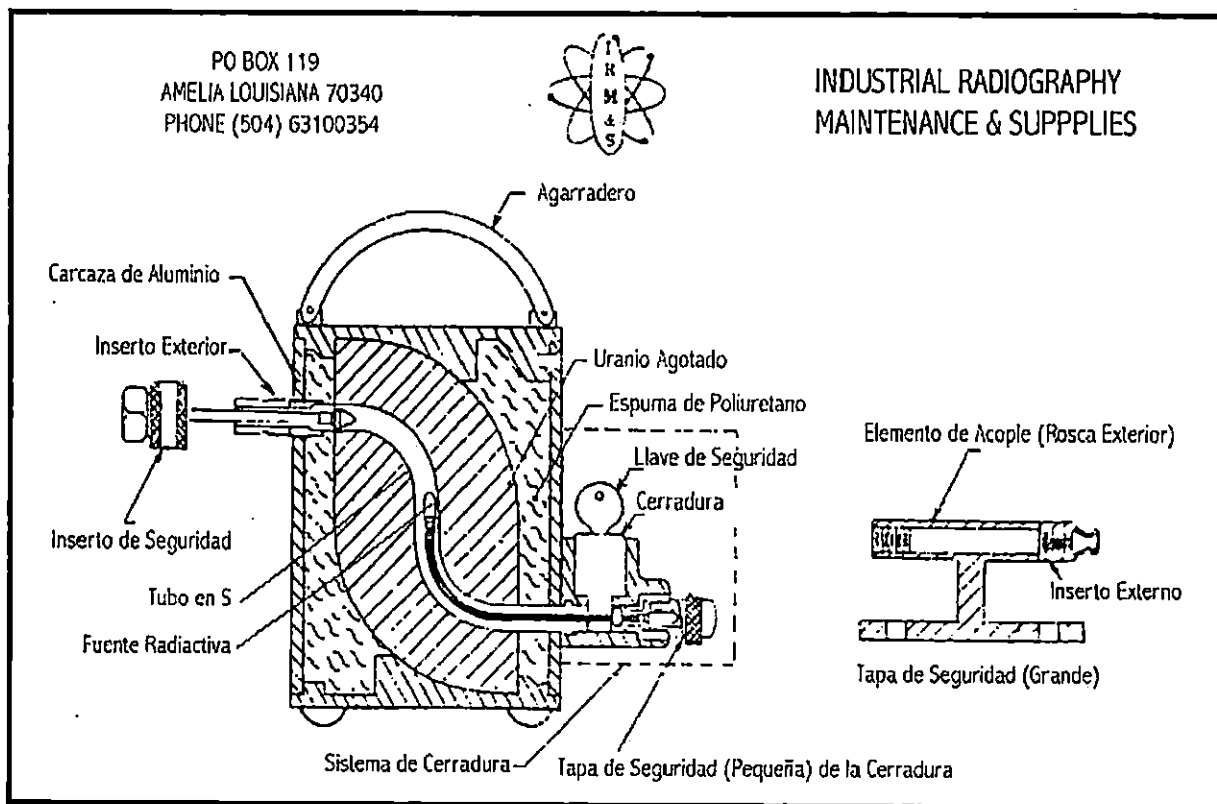


FIGURA 3-4. Seccionado de un contenedor típico de Gammagrafía Industrial. ⁽³⁻⁸⁾

Al operar el equipo se deberá tener en cuenta que:

- El extremo del tubo guía donde se coloca el colimador, debe de ser colocado cerca del extremo de prueba, de acuerdo a la distancia requerida.
- El cable de control se sujeta al pigtail, el cable alojador y el tubo guía se sujetan al contenedor (para sujetar el cable alojador al contenedor se deberá desactivar la cerradura, lo cual permite liberar el pigtail).
- Al girar la manivela el cable de control empuja el pigtail hacia afuera del contenedor y a lo largo del tubo guía, hasta que la fuente alcanza el extremo de prueba.
- Los colimadores deben estar sujetos firmemente al cable guía, a través de cinta adhesiva o un

soporte especial, para prevenir cualquier movimiento cuando la fuente llegue al extremo de prueba.

3.6 DETALLE DE LOS EQUIPOS DE RAYOS GAMMA.

Los equipos de rayos gamma se encuentran constituidos esencialmente por las cápsulas de un radioisótopo y un blindaje provisto de sistemas para la exposición o proyección, que permiten la manipulación segura del radioisótopo. En la FIGURA 3-5 se muestra la forma de operación de este tipo de equipos.

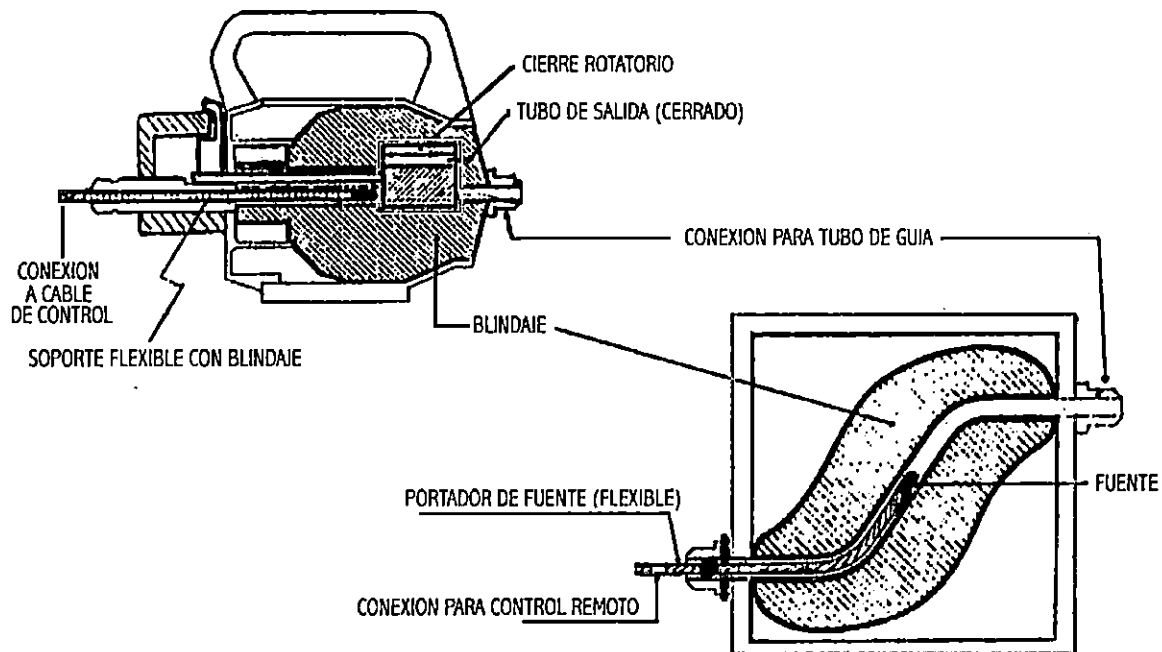


FIGURA 3-5. Esquema de Operación de un equipo utilizado en la gammagrafía.^[3-9]

3.7 CLASIFICACIÓN DE LOS EQUIPOS DE RAYOS GAMMA.

Según especificaciones de normativas mexicana,^[3-10] los equipos de gammagrafía se clasifican en dos grupos:

- DE ACUERDO A SUS CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN. Esta clasificación se subdivide a su vez en dos categorías las cuales detallamos a continuación.

Categoría I. Equipo que no permite el movimiento de la fuente sellada fuera del contenedor de trabajo, la exposición de la fuente se hace abriendo un obturador o moviendo la fuente sellada a una posición de exposición dentro del dispositivo, que permite la emisión de un haz de radiación gamma.

Categoría II. Equipo que permite mover la fuente sellada fuera del contenedor de trabajo hasta su posición de exposición, es decir fuera del blindaje. Este equipo requiere del uso de un control de mando y del empleo de tubo guía de la fuente.

- b) DE ACUERDO A SUS CARACTERÍSTICAS DE MANEJO. Esta clasificación corresponde a una de las más importantes de los equipos de radiografía gamma. En esta los aparatos se clasifican, de acuerdo a las características de manejo de los contenedores de trabajo en:
- a) Clase P. Contenedor de trabajo portátil. Es decir, aquel equipo diseñado para ser llevado por una persona.
 - b) Clase M. Contenedor de trabajo móvil. Es decir, aquel equipo diseñado para ser movido de un lugar a otro por medio de un mecanismo adecuado para este propósito, pero que no es portátil.
 - c) Clase F. Contenedor de trabajo fijo. Es decir, aquel equipo permanentemente fijo dentro de un local diseñado para radiografía gamma o con movilidad restringida a un área particular de trabajo ^[3-11].

3.8 NORMAS BÁSICAS DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA QUE DEBEN CUMPLIR LOS EQUIPOS DE RAYOS GAMMA.

Debido a que en la radiografía industrial con rayos gamma se utilizan fuentes radiactivas selladas emisoras de radiación gamma, con el propósito de que estos dispositivos funcionen dentro de las normas básicas de seguridad radiológica durante las respectivas inspecciones radiográficas en las que sean utilizadas, es necesario asegurarse que cumplan en general dos aspectos primordiales:

Primero, con la clasificación y criterios de uso para el equipo de exposición.

Segundo, los factores considerados durante el diseño y construcción de todas las partes del equipo radiográfico y los procedimientos de prueba de todos estos elementos y de todas las partes ensambladas, deben estar acorde a lo que indican las respectivas normativas en vigencia en cada país.

Para detallar todos estos aspectos nuevamente se ha hecho referencia a normativas mexicanas^[3-12] ya mencionadas anteriormente. Esta normativa establece todas las especificaciones y los requisitos de diseño y construcción para los equipos de radiografía gamma, los aspectos más relevantes que esta menciona son los siguientes:

1. El equipo debe encontrarse en las categorías de equipo según las diversas clasificaciones que especifica la norma. Aspecto que se menciona en el apartado 3.7
2. Los aparatos deben cumplir los Requisitos generales para el diseño y construcción de los equipos de radiografía gamma. La norma señala que los equipos deben diseñarse y construirse, considerando lo siguiente:
 - a) Deben considerarse las condiciones que se puedan encontrar durante su uso y que pudieran afectar adversamente su operación segura.
 - b) Se debe poner especial atención a la durabilidad y resistencia a la corrosión de los componentes y del acabado de sus superficies, particularmente donde el funcionamiento de controles de

mando o partes móviles pueda ser afectado.

- c) Es extremadamente importante la necesidad de prevenir la entrada de agua, fango (lodo), arena u otra materia extraña en los controles de mando o partes móviles.
 - d) La facilidad con la cual el equipo puede ser limpiado sin riesgo de sobre exposición.
 - e) Hay que prever los efectos que a temperatura normal y de siniestro en el caso del contenedor de trabajo, puedan suscitarse durante el transporte y uso de los equipos.
 - f) Hay que prever los posibles efectos de la radiación gamma en cualquier componente no metálico en la cercanía de la fuente sellada.
 - g) Hay que prever el suministro de accesorios apropiados, diseñados para el montaje seguro del equipo de radiografía gamma o de la punta de posición en diferentes posiciones de uso.
 - h) Es trascendental la seguridad de cualquier accesorio, pues de cuyo desprendimiento o pérdida pueda causar riesgos.
 - i) Hay que prever la posibilidad de reemplazo de cualquiera de las partes del equipo de radiografía gamma. Las partes de reemplazo deben cumplir con las especificaciones de diseño.
 - j) Cuando se use uranio agotado como material de blindaje de un contenedor de trabajo, éste debe revestirse con un material de espesor suficiente para prevenir la abrasión del uranio y atenuar o absorber la radiación beta. Si el revestimiento puede reaccionar con el uranio agotado a temperaturas elevadas, entonces al uranio se le debe dar un tratamiento superficial apropiado para inhibir este efecto.
3. Se deben cumplir todos los requisitos relacionados con los dispositivos de seguridad, tales como cerraduras, conexiones, mecanismo indicador de la posición de la fuente sellada, facilidades de manejo (potabilidad, movilidad, etc), Niveles máximos de rapidez de dosis absorbida en las vecindades de los contenedores de trabajo. ^[3-13]
 4. Se deben cumplir todos los requisitos para el diseño y la construcción de los controles de mando, y sus respectivas pruebas (torsión, compresión)
 5. Se deben cumplir todos los requisitos para el diseño y construcción del ensamble de la fuentes. Entre estas pruebas podemos mencionar pruebas de eficiencia del blindaje, pruebas de vibración, pruebas de impacto, pruebas de caída accidental, pruebas de resistencia al fuego, pruebas de duración, tensión.
 6. Se deben cumplir todos los requisitos relacionados con el marcado e identificación del equipo.

3.9 POSIBLES PROBLEMAS CON LOS EQUIPOS. ^[3-14]

Es de vital importancia llevar un manteniendo regular de todos los equipos radiográficos (FIGURA 3-6), de acuerdo a las instrucciones del fabricante, es necesario también llevar un registro de todas las

revisiones y pruebas necesarias en el equipo, además se debe verificar que estas se realicen adecuadamente y en los intervalos de tiempo requeridos.

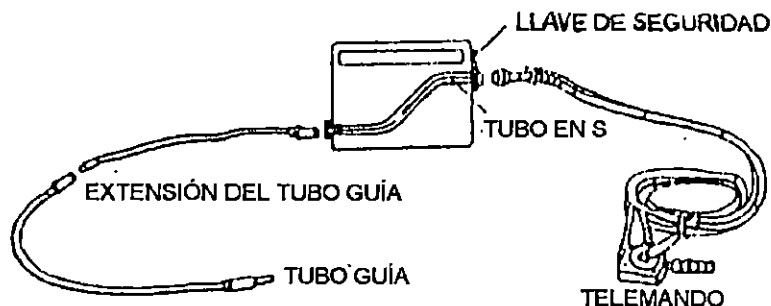


FIGURA 3-6. *Componentes del Equipo Radiográfico.*^[3-15]

Los componentes operados mecánicamente son más susceptibles a daños, los cuales podrían dar lugar a un enclavamiento de la fuente en algún punto del cable guía, quedando la fuente en exposición.

La experiencia del radiólogo y las indicaciones de los manuales brindan las soluciones a los posibles desperfectos del equipo y aunque los equipos son confiables siempre existen ciertos problemas que pueden presentarse durante la operación, tales como:

- La manivela puede ser difícil o imposible de girar, debido a arena o polvo alojado dentro del cable o el contenedor.
- Si el cable alojador y el pigtail son roscados podrían debilitarse y romperse.
- La conexión cable- pigtail puede desconectarse debido a desgaste en las uniones, averías o suciedad que impide una buena conexión.
- El Cable alojador puede ser aplastado atrapando el cable de control.
- El tubo guía o los conectores de este al contenedor pueden ser aplastados atrapando la fuente en el pigtail.

Se debe tener en cuenta también que el equipo debe ser examinado, regularmente y en el caso de necesitar reparación, ésta se deberá efectuar por el personal competente, así mismo todo componente dañado, debe ser reemplazado antes de que el equipo sea utilizado.

3.10 REQUISITOS PARA CONTENEDORES^[3-16].

El equipo radiográfico que presente en la información estampada en el, que se encuentra cumpliendo según especificaciones ISO^[3-17], para aparatos de radiografía gamma, indicará que ha sido fabricado, bajo los más estrictos controles de calidad.

Los contenedores deben presentar las viñetas de precaución e identificación completamente legibles, similar a la que se muestra en la FIGURA 3-7.

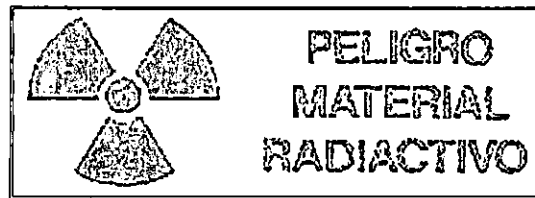


FIGURA 3-7. Viñeta de precaución para fuentes radioactivas. [3-18]

Cuando se vaya a instalar una nueva fuente se deberá tener en cuenta, que el valor de radioactividad de esta, no deberá sobrepasar la capacidad del contenedor, por ejemplo, una fuente de Ir^{192} , cuya actividad sea de 4 Tbq (cuatro tera becquerel, véase apartado 2.6.1.2), debe asegurar que no se sobrepasan las siguientes tasas de dosis (para un contenedor portátil clase P)

Los datos que se deberán incluir al instalar una nueva fuente dentro del contenedor son: nombre del radionucleido, la actividad en la fecha específica de su fabricación y su número de serie, todo esto en una viñeta en la superficie externa del contenedor (FIGURA 3-8).

TASAS DE DOSIS $\mu\text{Sv/h}^*$ (mR/h)**	DISTANCIA
2000 (500)	Superficie externa del contenedor a 50 mm de la superficie del contenedor a un metro de la superficie del contenedor
500 (50)	
20 (2)	

* $\mu\text{Sv/h}$, estas unidades corresponden a los micro sievert/hora, medida de la tasa de dosis absorbida, unidades las cuales son abordadas con mayor detalle en el apartado 9-8, del Capítulo IX

** (mR/h) estas unidades corresponden a los mili Roesntgen/hora, medida de la tasa de dosis absorbida, unidades las cuales son abordadas con mayor detalle en el apartado 9-8 del Capítulo IX

TABLA 3-4. Nivel de dosis para un contenedor de clase P.

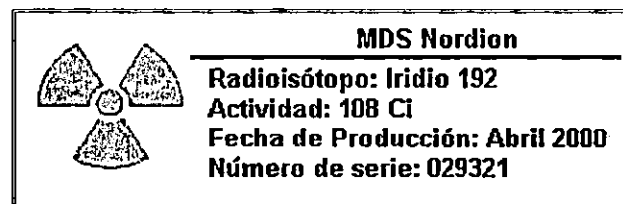


FIGURA 3-8. Viñetas para identificación de fuentes radioactivas. [3-19]

Los envases de transporte (FIGURA 3-9) que cumplen la norma ISO 3999, son usados frecuentemente como contenedores para transporte, estos son sometidos a pruebas para certificarlos como contenedores tipo B. Estas pruebas son: fuerzas de impacto, fuerzas de compresión, inmersión en líquido y resistencia al calor. Para ser transportados estos contenedores necesitan la documentación apropiada y las etiquetas respectivas, de identificación de la tasa de dosis de acuerdo a la categoría 2 ó categoría 3.

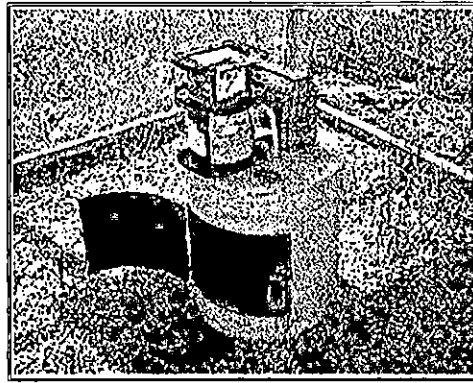


FIGURA 3-9. *Envase de Transporte para fuentes radiactivas.* [3-20]

Categoría del Contenedor de Transporte	Tasa de Dosis Maxima Permitida * $\mu\text{Sv/h}$ [**$\mu\text{Gy/h}$]	
	En la superficie del contenedor	A un metro de la superficie del contenedor
I	5(5)	—
II	500 (500)	10 (10)
III	2000 (2000)	100 (100)

* $\mu\text{Sv/h}$, estas unidades corresponden a los micro sievert/hora, medida de la tasa de dosis absorbida, unidades las cuales son abordadas con mayor detalle en el Apartado 9.2.2 del Capitulo IX.
 ** $\mu\text{Gy/h}$, estas unidades corresponden a los micro sievert/hora, medida de la tasa de dosis absorbida, unidades las cuales son abordadas con mayor detalle en el Apartado 9.2.2 del Capitulo IX

TABLA 3-5. *Dosis maximas permitidas en los contenedores según su categoría.*

Los vehículos en los que se transportan dichos contenedores también deben presentar las viñetas de identificación respectiva (FIGURA 3-10).



FIGURA 3-10. *Viñetas para Indicar el indice de transporte en contenedores que transportan Irradiadores gamma según la categoría del contenedor de transporte.*

Las viñetas en el contenedor además de los datos ya mencionados deben de incluir el indice de transporte. El indice de transporte es un numero único asignado a un bulto que se utiliza para controlar la exposición a las radiaciones. El indice de transporte sirve:

- a) Para establecer las categorías para el etiquetado y transportación.
- b) Para determinar si será necesario el transporte según la modalidad de uso exclusivo.

- c) Para establecer los requerimientos de espaciamiento durante el almacenamiento en tránsito.
- d) Para establecer las restricciones de mezcla durante el transporte en virtud de arreglos especiales y durante el almacenamiento en tránsito.
- e) Para definir el número de bultos permitidos en un contenedor a bordo de un medio de transporte

El índice de transporte se obtiene de dividir la tasa de dosis a un metro de la superficie del contenedor entre diez. Por ejemplo si la tasa de dosis máxima a un metro de la superficie del contenedor, es de 12 mSv/h, entonces el índice de transporte será de 1.2

3.11 PRUEBA DE FUGAS EN FUENTES RADIOGRÁFICAS.

Las pruebas de fugas deben de ser realizadas en los intervalos de tiempos recomendados por los fabricantes o cuerpos reguladores de las actividades radiológicas, también deben de ser realizadas cuando se sospeche de algún daño sufrido por el contenedor.

Esta prueba consiste en limpiar con un paño, la superficie externa del contenedor y principalmente aquellas zonas que hacen contacto con la fuente, tales como el interior del tubo guía y el ducto en S, para luego analizar si existe sustancia radiactiva en el paño.

Un mejor análisis para determinar si existe fuga en la fuente consiste en conectar directamente al contenedor un tubo corto y rígido, semejante al tubo guía, al que se le coloca en su interior un trozo de papel absorbente o algodón para luego hacer salir la fuente del contenedor de manera que cuanto ingrese al tubo rígido esta empuje suavemente el algodón. El paño de algodón nunca debe de ser manipulado directamente con las manos, sino que se deberá hacer uso de pinzas o tenazas.

Detectores de radiación altamente sensibles serán necesarios para determinar la cantidad de sustancia radiactiva presente en el paño, teniendo también presente que altas cantidades de material radiactivo presente podrían producir una tasa de dosis considerable. Por ejemplo, valores arriba de 600 kBq de Cesio¹³⁷, o valores menores de Ir¹⁹², o Co⁶⁰, producirán tasa de dosis de al menos 5mSv/h a una distancia de 10 cm. Los valores permitidos debido a fugas deberán ser mucho menores a estos. ^[3-21]

3.12 ALMACENAMIENTO DEL EQUIPO

Los contenedores solamente tienen una envoltura que les permite ser cargados o transportados durante periodos de tiempo cortos, por lo que cuando una fuente es usada regularmente en un sitio determinado se debe de tener un lugar apropiado de almacenamiento cuando no se utilice.

El lugar de almacenamiento debe estar aislado y completamente identificado por rótulos, además se debe de encontrar lejos del almacenamiento de otros materiales tales como explosivos o sustancias corrosivas, el acceso a este lugar solamente debe ser con autorización, de lo contrario debe permanecer completamente cerrado.

Se debe de llevar un registro que indique las salidas de la fuente el almacén, el lugar hacia donde es llevada y el momento en que es devuelta al almacén.

La tasa de dosis fuera del lugar de almacenamiento deben ser menor a 7.5 mSv/h, o preferiblemente abajo de 2.5 mSv/h ^[3-22].

3.13 PROCEDIMIENTOS RADIOGRÁFICOS

Cuando una fuente es expuesta se producirá una tasa de dosis mayor a 7.5 mSv/h sobre una área bastante grande la cual puede ser calculada si se conoce la actividad de la fuente.

Estas áreas se denominaran áreas Controladas y su acceso a ella solo será permitido a los radiografistas y al personal autorizado.

La emisión radiográfica producirá una área controlada pequeña si el haz es dirigido hacia la tierra, o de otra forma habría que colocar una cubierta alrededor del objeto radiografiado la cual tendría que estar hecha de plomo o de otro material pesado, esta cubierta además que ayuda a reducir el área controlada atenúa el rayo que esta atravesando el objeto radiografiado.

El contorno del área controlada debe estar rodeado por barreras limitadoras de paso y deben existir los suficientes rótulos que adviertan al público el peligro que corren si traspasan las barreras, estos rótulos deben estar colocados en lugares visibles y escritos en el idioma de uso local.

Cuando sea necesario deberá haber personal asignado a vigilar el contorno del área y advertir a las personas el peligro.

En algunos casos será necesario dar una señal justamente antes de iniciar la exposición, haciendo uso de sirenas o silbatos.

El punto donde se encuentre el objeto que se esté radiografiando será necesario identificarlo claramente a través de un rotulo grande o alguna luz intermitente que se deberá colocar lo mas cerca posible del objeto.

Los trabajos de exposición radiográfica en la medida de lo posible deben ser realizados en las horas y lugares en donde exista la menor posibilidad de exponer al público o a otros trabajadores. ^[3-23]

3.14 REFERENCIAS DEL CAPÍTULO.

- [3-1] RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL DE LAS UNIONES SOLDADAS, SIE (Servicio de Ingeniería Electromecánica), Ciudad de Guatemala, 1989. pag 77
- [3-2] Imagens tomadas del Sitio WEB de Altec Industrial and Engineering Supply SDN BHD.
Http:// www.altec-ndt.com
- [3-3] RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL DE LAS UNIONES SOLDADAS, SIE (Servicio de Ingeniería Electromecánica), Ciudad de Guatemala, 1989. pág. 79.
- [3-4] Vides Alvarado, Ernesto " RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL". Trabajo de Asignatura realizado durante la asignatura Técnica General de la Soldadura, Ciclo II-1999, Escuela de ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador, pag. 30
- [3-5] Vides Alvarado, Ernesto " RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL". Trabajo de Asignatura realizado durante la asignatura Técnica General de la Soldadura, Ciclo II-1999, Escuela de ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador, pag. 30
- [3-6] RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL DE LAS UNIONES SOLDADAS, SIE (Servicio de Ingeniería Electromecánica), Ciudad de Guatemala, 1989, pág. 75..
- [3-7] PRACTICAL RADIATION SAFETY MANUAL, Manual on Gamma Radiography. International Atomic Energy Agency, February 1992
- [3-8] RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL DE LAS UNIONES SOLDADAS, SIE (Servicio de Ingeniería Electromecánica), Ciudad de Guatemala, 1989 , págs. 80-83
- [3-9] Vides Alvarado, Ernesto " RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL". Trabajo de Asignatura realizado durante la asignatura Técnica General de la Soldadura, Ciclo II-1999, Escuela de ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador, pag. 32
- [3-10] Norma Oficial Mexicana NOM-025/1-HUCL-1995, Parte I, titulada "Requisitos de Diseño y Construcción para equipos de radiografía Industrial de rayos gamma". Normativa Formulada, Aprobada y exigida por parte de la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, una división de la Secretaría de Energías del Gobierno Mexicano dicha normativa concuerda parcialmente con la norma internacional ISO 3999, de 1977, "Apparatus for gamma radiography Specification".
- [3-11] Norma Oficial Mexicana NOM-025/1-HUCL-1995, Parte I, titulada "Requisitos de Diseño y Construcción para equipos de radiografía Industrial de rayos gamma". Normativa Formulada, Aprobada y exigida por parte de la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, una división de la Secretaría de Energías del Gobierno Mexicano dicha normativa concuerda parcialmente con la norma internacional ISO 3999, de 1977, "Apparatus for gamma radiography Specification". pág. 2
- [3-12] Norma Oficial Mexicana NOM-025/1-HUCL-1995, Parte I, titulada "Requisitos de Diseño y Construcción para equipos de radiografía Industrial de rayos gamma". Normativa Formulada, Aprobada y exigida por parte de la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, una división de la Secretaría de Energías del Gobierno Mexicano dicha normativa concuerda parcialmente con la norma internacional ISO 3999, de 1977, "Apparatus for gamma radiography Specification".
- [3-13] Norma Oficial Mexicana NOM-025/1-HUCL-1995, Parte I, titulada "Requisitos de Diseño y Construcción para equipos de radiografía Industrial de rayos gamma". Normativa Formulada, Aprobada y exigida por parte de la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, una división de la Secretaría de Energías del Gobierno Mexicano dicha normativa concuerda parcialmente con la norma internacional ISO 3999, de 1977, "Apparatus for gamma radiography Specification"., pág.6.
- [3-14] PRACTICAL RADIATION SAFETY MANUAL, Manual on Gamma Radiography. International Atomic Energy Agency, February 1992, pág. 13.
- [3-15] PRACTICAL RADIATION SAFETY MANUAL, Manual on Gamma Radiography. International Atomic Energy Agency, February 1992, pág. 14.
- [3-16] PRACTICAL RADIATION SAFETY MANUAL, Manual on Gamma Radiography. International Atomic Energy Agency, February 1992, pág. 14.
- [3-17] Normativa ISO 3999 (ISO/TC 85.SC 2N 78), Normativas para la Fabricación de Aparatos, Equipos y Accesorios de Radiografía Gamma.
- [3-18] Imágenes e Información tomada del Sitio WEB del Laboratorio de Producción de Radioisotopos y radiofarmacos del Centro Atomico la Reina, Chile, [http:// www.cchen.cl/seguridad/licencia.html](http://www.cchen.cl/seguridad/licencia.html)
- [3-19] PRACTICAL RADIATION SAFETY MANUAL, Manual on Gamma Radiography. International Atomic Energy Agency, February 1992, pág. 14.
- [3-20] PRACTICAL RADIATION SAFETY MANUAL, Manual on Gamma Radiography. International Atomic Energy Agency, February 1992, pág. 14.
- [3-21] PRACTICAL RADIATION SAFETY MANUAL, Manual on Gamma Radiography. International Atomic Energy Agency, February 1992, pág. 16.

- [3-22] PRACTICAL RADIATION SAFETY MANUAL, Manual on Gamma Radiography. International Atomic Energy Agency, February 1992, pág. 16.
- [3-23] PRACTICAL RADIATION SAFETY MANUAL, Manual on Gamma Radiography. International Atomic Energy Agency, February 1992 pág. 17.

CAPÍTULO IV

Películas Radiográficas

4.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS PELÍCULAS RADIOGRÁFICAS.

Las películas utilizadas para reproducir las imágenes radiográficas presentan características complicadas en cuanto a que sus procesos de fabricación exigen condiciones y calidades especiales, tal como se observa en la siguiente figura:

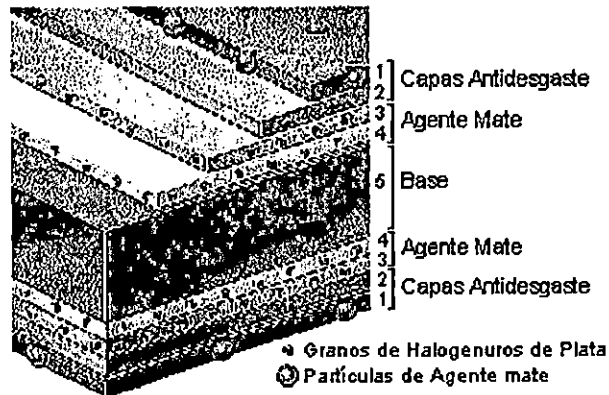



FIGURA 4-1. Esquema de la constitución de una película radiográfica de tipo industrial de la firma **AGFA** , las películas AGFA se fabrican de una doble capa antidesgaste al igual que una doble capa de agente mate para proporcionar mejor calidad de las imágenes y proteger una más a la película radiográfica misma.⁽⁴⁻¹⁾

La película para radiografías es fabricada sobre un plástico llamado BASE, el cual se reviste por ambas caras con una emulsión que contiene granos de sales de plata embebidas en gelatina.

Dichas sales son altamente sensibles a las radiaciones electromagnéticas, a los rayos X, los rayos

Gamma y a las ondas de luz visible. El film o película base se entinta en color azul y una capa de pegamento adhiere la emulsión a la película por ambas caras. Esto se hace con el propósito del aumentar la velocidad de reacción del film base, ya que la penetración afecta a la emulsión, en las dos caras de la cinta. Esto se hace cuando se desea ver la película a simple vista.

Si se requieren hacer ampliaciones a la radiografía, puede presentarse una doble imagen en ella, por lo que para este caso deben usarse películas a las que se aplica emulsión por una sola cara.

Cuando la radiación electromagnética de rayos X o Gamma bombardea con electrones la película, la emulsión reacciona por su sensibilidad y se fija una imagen latente que no es visible a simple vista ni por otros medios ópticos, como lentes, etc.

Es por ello que para hacer aparecer la imagen en la emulsión la película debe ser procesada. Esto se hace con un revelador seleccionado químicamente. Y la reacción química convierte los granos de sales de plata donde está latente la imagen proyectada, en una imagen visible, inmediatamente después, la película debe ser tratada con un fijador que permita que las partes no grabadas del compuesto de sales de plata, sean solubles al agua y solamente se fijen las imágenes grabadas en la película, que finalmente será secada.

Las películas aplicadas en radiografías son semejantes a las usadas en fotografía, sin embargo, difieren en cuanto a las características que posee la emulsión que se utiliza en cada una de ellas.

Las películas para radiografías industriales se fabrican en dos tipos: de exposición directa y de tipo de pantalla fluorescente, (la utilización de esta última es cada vez menos, y para el caso de la inspección de soldaduras según la AWS estas no deben utilizarse).

La selección del tipo de película será determinada por las necesidades de calidad de la radiografía y su costo, tomando en cuenta el tiempo de exposición requerido.

4.2 CALIDAD DE LA PELÍCULA RADIOGRÁFICA.^[4-2]

La calidad de la película depende, principalmente, de la densidad de la película, del gradiente radiográfico el cual depende del tipo de película radiográfica y del graneado y opacidad que la caractericen. Esto lo determinará el radiólogo, en función de la velocidad deseada, del tipo de exposición, de la radioactividad de la fuente de radiación, de la forma de la pieza, absorción de la energía radiada y de las características de la pantalla o pantallas empleadas.

4.2.1 DENSIDAD RADIOGRÁFICA.

Ahora sabemos que las imágenes de las películas son formadas por áreas claras y oscuras; o sea, cuando se expone a la radiación, la película sufre un cierto ennegrecimiento. Denominamos densidad al grado de ennegrecimiento de la película. Como las radiografías son examinadas colocándolas entre una fuente de luz y el ojo humano, podemos expresar matemáticamente la densidad a través de la ecuación.

$$D = \left(\text{Log} \frac{I_0}{I} \right)$$

(4-1)

Donde: D = Densidad
 I_0 = Intensidad de la luz incidente sobre la película
 I = Intensidad de la emergente, transmitida al ojo humano.

Por la fórmula, observamos que cuanto mayor sea la densidad de la película, menor será la relación I/I_0 . Eso significa que una película con densidad alta, absorbe más luz que otra película de menor densidad. De esa forma llamamos "Transparencia" o "Factor de Transmisión" al número resultante de la relación I/I_0 .

La TABLA siguiente muestra algunas relaciones entre transparencia, transparencia porcentual y densidad.

Transparencia I/I_0	Transparencia Porcentual $(I/I_0) \times 100$	Relación I_0/I	Densidad Log (I_0/I)
1.00	100	1	0
0.50	50	2	0.3
0.25	25	4	0.6
0.10	10	10	1.0
0.01	1	100	2.0
0.001	0.1	1000	3.0
0.0001	0.01	10.000	4.0

TABLA 4-1

En radiografía industrial, el intervalo de densidades usadas cubre una gama bastante amplia de densidades. Normalmente se establecen como valores mínimos y máximo, las densidades 1.8 y 4.0 (FIGURA 4-2). Es importante por eso recordar que la capacidad de visualización de pequeñas diferencias de densidad, es función de las capacidades y limitaciones del ojo humano. El intervalo de densidades comprendidas entre 1.5 y 1.8, es generalmente señalada como aquella para la cual el ojo humano no presenta una sensibilidad mayor.

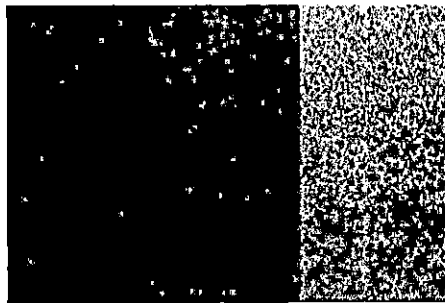


FIGURA 4-2. ESCALA DE DENSIDADES RADIOGRÁFICAS. [4-3]

4.2.2 VELOCIDAD DE LA PELÍCULA RADIOGRÁFICA.

4.2.2.1 FUNDAMENTOS DE LA VELOCIDAD DE LAS PELÍCULAS RADIOGRÁFICAS.

Antes de introducir el concepto de velocidad es preciso definir lo que entendemos por exposición. La exposición es una medida de la cantidad de radiación que recibe una película; ella está representada por el producto de la intensidad de la radiación por el tiempo en que la película es expuesta. Es evidente, por lo tanto, que cuanto mayor es la exposición a que sometemos la película, mayor es la densidad que

esa película alcanza.

Si sometemos dos películas diferentes a una misma exposición, notaremos que la densidades obtenidas en ellas serán diferentes. O sea, con una misma exposición, una película presenta mayor densidad que otra.

Definimos como velocidad a la rapidez con que una película radiográfica expuesta obtiene determinada densidad, cuando es comparada con otra película. Por lo tanto, una película rápida necesita de menor tiempo de exposición para obtener una determinada densidad, que otra más lenta. O sea que si una película rápida y una lenta fueran sometidas a una exposición idéntica, la película rápida obtendrá una densidad mayor.

La velocidad es una característica propia de cada película; esta depende, principalmente, del tamaño de los cristales de plata presentes en la emulsión. Cuanto mayor es el tamaño de los cristales más rápida es la película. Es claro que una imagen formada por granos de gran dimensión es más gruesa o sea, menos nítida, que una imagen formada por granos menores. Por lo tanto, cuanto más rápida es una película, menos nítida será la imagen formada por ésta.

Las películas de gran velocidad son usadas cuando se necesita de tiempos de exposición mas pequeños que si se empleasen películas más lentas. De una forma general, se usa la película más lenta posible que permitan los parámetros involucrados en una exposición radiográfica, tales como: tipo de material a radiografiar, distancia, fuente, película, etc. Como veremos más adelante.

4.2.2.2 TIPOS DE PELÍCULAS RADIOGRÁFICAS, ATENDIENDO A LA VELOCIDAD DE LAS MISMAS.

La clasificación de películas radiográficas es complicada, sin embargo la ASTM atendiendo al tipo de graneado que las películas posean las clasifica en cuatro tipos los cuales se explican de detalle en la TABLA 4-2.

TIPO 1	Velocidad – baja Gradiente – muy alto Grano muy fino
TIPO 2	Velocidad – mediana Gradiente – alto Grano fino
TIPO 3	Velocidad – alta Gradiente – mediano Grano – áspero
TIPO 4	Velocidad – muy alta Gradiente – muy alto Grano mediano

TABLA 4-2

Las películas tipo 4 puede utilizarse con pantallas fluorescentes, pero sus características difieren un poco con respecto a las indicadas en la TABLA 4-2.

Asimismo, cuando este tipo de películas se utiliza con pantallas de plomo o en exposición directa, presenta otras características:

- Velocidad – mediana
- Gradiente – mediano
- Grano – mediano

Espesor en pulg.	50 a 80 Kv	80 a 120 Kv	120 a 150 Kv.	150 a 250 Kv	Iridio 192	250 a 400 Kv	1 Mev	Co 60	2 Mev	Ra	6 a 31 Mev.
Hasta ¼	3	3	2	1							
¼ a ½	4	3	2	2	-	1					
½ a 1	-	4	3	2	2	2	1	-	1	2	
1 a 2	-	-	-	3	2	2	1	2	1	2	1
2 a 4	-	-	-	4	3	4	2	2	2	3	1
4 a 8	-	-	-	-	-	4	3	3	2	3	2
Más de 8	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	2

TABLA 4-3. Selección de películas radiográficas para usarse según el potencial y de acuerdo con el espesor del acero según especificaciones de la ASTM para usarse con rayos X o Gamma. ⁽⁴⁻⁴⁾

La velocidad de una película radiográfica es la relación inversamente proporcional al tiempo que se necesita para que la intensidad de una radiación produzca una particular densidad en la película. Esto significa que a menor tiempo de exposición radiactiva es más rápida la velocidad de la película. En unidades absolutas, la velocidad de la película es inversamente proporcional a la energía total radiada.

El gradiente de una película es la diferencia en densidad entre las áreas adyacentes de una radiografía. Si la diferencia es grande, se dice que el gradiente es alto, y si la diferencia es mínima, entonces es bajo.

El contraste es la medida en que observamos cómo responde la emulsión al bombardeo de rayos X, que graban la imagen.

El graneado. Una película radiográfica se forma por los pequeñísimos granitos de plata que componen la emulsión de la película. Si tomamos en cuenta que el espesor de la emulsión es de 0.0005 Pulg, entonces dichos granos sólo podrán verse con la ayuda de un microscopio electrónico; no obstante, por su acomodamiento en la exposición radiactiva, es factible apreciar el graneado después del revelado de la película, ya que los granos se unen en cantidades considerables.

Así cada tipo de "Film" tiene un graneado diferente, de acuerdo con la velocidad y el gradiente, por lo que el tipo uno es de grano bajo, el dos de grano mediano, y el tres, de alto grano.

Los conceptos presentados anteriormente, serán presentados en detalle, en los apartados siguientes.

4.2.3 CONTRASTE RADIOGRÁFICO.

Para que se forme una imagen en la película radiográfica es necesario que ocurran variaciones en la densidad que esta película presenta. En otras palabras, una imagen se forma a partir de áreas más claras y más oscuras. La diferencia de densidades entre dos regiones adyacentes en la película se le conoce como "Contraste" (FIGURA 4-3). Por ejemplo: si medimos la densidad de dos porciones adyacentes en una película radiográfica y encontramos los siguientes valores: $D_1 = 2.2$ y $D_2 = 1.8$ el contraste será: $C = D_2 - D_1 = 2.2 - 1.8 = 0.4$. por lo tanto, en este caso, el contraste será igual a 0.4.

Cuando nos referimos al contraste de una determinada película, estamos hablando de la capacidad que está película posee de detectar intensidades diferentes de radiación en forma de zonas de densidades diferentes. El contraste es también una característica del tipo de película usada. Se dispone comercialmente de películas fabricadas con una gran variedad de emulsiones, obteniendo diferentes valores de contraste.

Es importante notar que lo que definimos como contraste, no corresponde necesariamente a lo que el observador percibe. El contraste visto por el observador es lo que llamamos "Contraste Subjetivo" y depende de una serie de factores tales como intensidad de la luz, densidad de la radiografía, el tamaño de la región observada, la intensidad de la iluminación – ambiente, etc. Para que sea posible una buena interpretación radiográfica debemos examinarla en condiciones tales que tengamos un alto contraste subjetivo.



Bajo Contraste



Alto Contraste

FIGURA 4-3. Radiografías de Alto y Bajo Contraste. ^[4-5]

4.2.4 DEFINICIÓN RADIOGRÁFICA.

Ya sabemos que para la formación de una imagen, es necesario que la película presente diferentes densidades. Observamos, por ejemplo, que al pasar de una densidad a otra, en una región adyacente, el cambio de densidades no se hace en una forma brusca. Al contrario observamos que existe una zona más o menos amplia, en que se distingue una serie de densidades intermedias (FIGURA 4-4), entre la densidad de la imagen del objeto y la densidad de fondo. Cuanto menor o más estrecho sea este intervalo de transmisión, decimos que es mayor la definición de la imagen.

La definición ideal se lograría cuando cada punto del objeto radiografiado quedase reproducido en la radiografía por un punto, pero esto, como ya se ha indicado anteriormente es imposible de conseguir en la práctica radiográfica.

De la forma que para el contraste, podemos distinguir dos tipos diferentes de definición: la definición objetiva y la definición subjetiva.

La definición objetiva es determinada midiéndose la densidad de cada punto de la zona de transición. Cuanto mayor sea la zona, o sea, cuanto más gradual se la transición de densidades, peor será la definición objetiva. (VÉASE FIGURA 4-4)

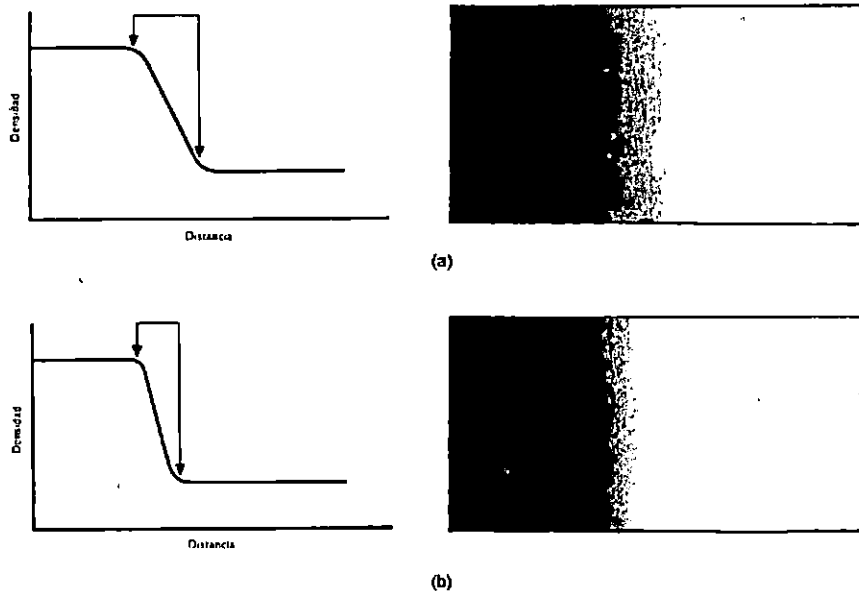


FIGURA 4-4.

De la figura, observaremos de la imagen de un objeto, que existe un pequeño halo alrededor de los bordes de la imagen con una densidad intermedia, entre la parte adyacente más oscura y la parte adyacente al halo, más clara. (a) Imagen con mala definición radiográfica; (b) Imagen con buena definición radiográfica⁽⁴⁻⁶⁾

La definición subjetiva, a su vez depende de la forma como el ojo humano puede entrever una imagen. De ese modo cuando observamos una imagen con bastante contraste, subjetivamente hallaremos que esa imagen posee una buena definición. Por tanto, si dos imágenes con definición objetiva igual, fueran sometidas a examen, un observador normal; apuntará la imagen de mayor contraste como teniendo mejor definición.

4.2.5 CURVAS CARACTERÍSTICAS Y EL GRADIENTE RADIOGRÁFICO.

4.2.5.1 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE LAS PELÍCULAS RADIOGRÁFICAS.

La curva característica de una película también llamada curva sensitométrica o curvas H – D (Hurter – Driffield) relaciona la exposición aplicada a una película con la densidad resultante. A través de las curvas características podemos, por ejemplo: comparar cualitativamente dos películas diferentes.

La curva característica de una película se construye haciéndose varias exposiciones bajo las mismas condiciones y leyéndose en un densitómetro las densidades obtenidas con cada exposición. En uno de los ejes del gráfico se colocan los valores de densidad y en el otro, el logaritmo de la exposición.

El hecho de usar el logaritmo de la exposición se debe a dos factores:

- La exposición en los rayos X se expresa en mA por tiempo para un cierto kilovoltaje, o para rayos gamma en Curies por tiempo para una cierta energía en particular. Como vemos no hay una unidad que pueda expresar todas las condiciones de exposición relativa para la construcción de la curva característica. De ese modo, cualquier exposición se expresa en términos de otra exposición cualquiera, cuyo resultado es una escala relativa.
- El uso del logaritmo de la exposición relativa permite comprimir la escala de exposiciones, que de otra forma sería muy grande.

La FIGURA 4-5, muestra las formas de las curvas características de los cuatro tipos de película radiográfica que existen; para el caso de la película tipo 4 (véase nuevamente la FIGURA 4-5 su forma es semejante para la mayoría de las películas radiográficas industriales), pero es utilizada de sobremanera en las aplicaciones de radiodiagnóstico. La primera característica de las curvas es que ninguna de ellas comienza a partir de una densidad cero; es decir que, en ausencia de exposición, ninguna película presenta un factor de transparencia del 100%. Esto acontece por que todas las películas poseen una base que no es perfectamente transparente. En segundo lugar, todas las películas presentan una pequeña densidad, que es inherente a la acción de los productos de revelado sobre la emulsión. El nombre que se le da a esa pequeña densidad, en las películas vírgenes es "Velo de Fondo".

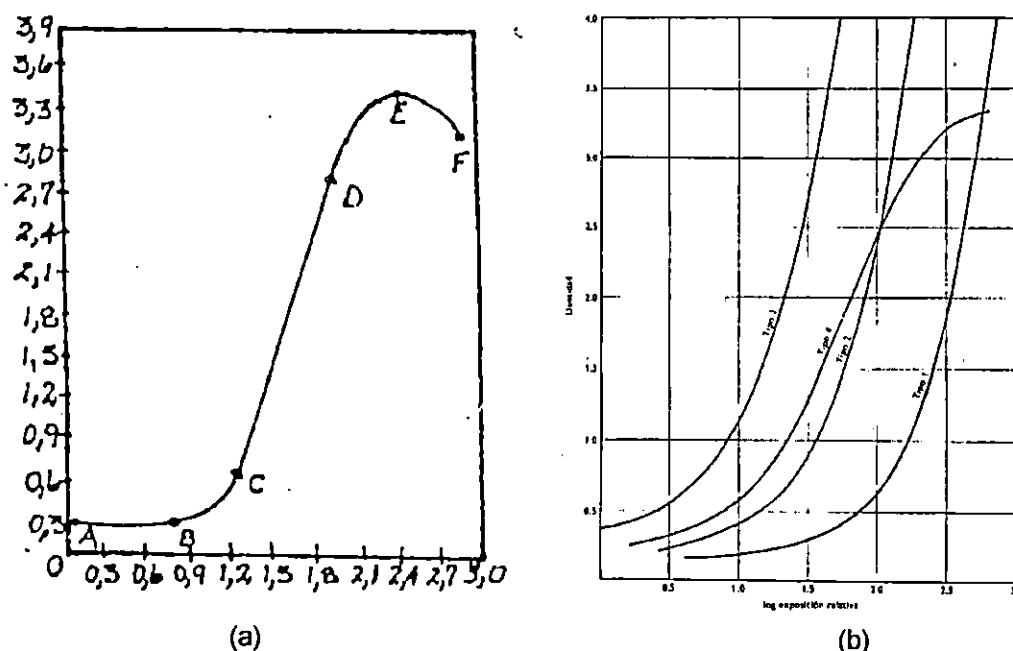


FIGURA 4-5
 (a) Logaritmo de la Exposición Relativa para una película tipo 4. [4-7]
 (b) Diferentes curvas sensitométricas de películas de uso industrial.

Continuando con la curva tipo 4 de la FIGURA 4-6, el trazo inicial de la curva es prácticamente plano (trazo A – B) y representa un intervalo dentro del cual las exposiciones no producen una densidad que pueda ser distinguida del velo de fondo. En el trecho siguiente (trecho B – C), la curva comienza a subir denominándose ese trecho "zona de subexposiciones".

Es posible determinar una densidad para cada exposición en el trecho BC, no existe una relación lineal entre el aumento de exposición y el aumento de densidad. El trecho siguiente (Trecho CD), es el más importante para nosotros porque es allí que se sitúa la fase utilizable de la película. Su principal característica es presentar, aproximadamente, una dependencia lineal entre exposición y densidad.

El trecho siguiente (trecho DE) se denomina "umbral de la curva" siendo también conocido como "zona de sobre exposiciones".

En el último trecho de la curva (Trecho E – P) notamos que a pesar del aumento de las exposiciones, la densidad comienza a disminuir. Ese fenómeno se denomina "solarización", y ocurre

cuando las películas tipo 4, son expuestas en demasía a la acción de la radiación. Nótese, como para una película tipo 4, el máximo valor de densidad que estas podrían proporcionar sería el comprendido entre 3.35 y 3.45, no así para los otros tipos de películas con las cuales se puede obtener densidades radiográficas mucho mayores.

Refiriéndose ahora a las curvas características, es más fácil comprender ciertos conceptos expuestos anteriormente. Con la descripción que dimos de exposición, podemos decir que una pieza con dos espesores diferentes transmitirá a la película dos exposiciones diferentes, resultando en dos densidades. Como dijimos anteriormente, existe una cierta limitación a la capacidad del ojo humano en distinguir dos densidades. Por lo tanto, observando en la FIGURA 4-7, notamos que en la exposición E_1 , la diferencia de densidades entre las exposiciones E_A y E_B es pequeña y difícilmente sea distinguida por el ojo humano.

4.2.5.2 GRADIENTE RADIOGRÁFICO.

Según lo que se muestra en la FIGURA 4-7, cuando se aumenta la exposición para E_2 , la densidad global de la película aumenta también, tornándose más fácilmente notable. Es fácil ver que esto acontece porque, aumentándose la exposición, caemos en una región más inclinada de la curva. Como la diferencia entre densidades es mayor, podemos afirmar que en las regiones más inclinadas de la curva tendremos un contraste mayor.

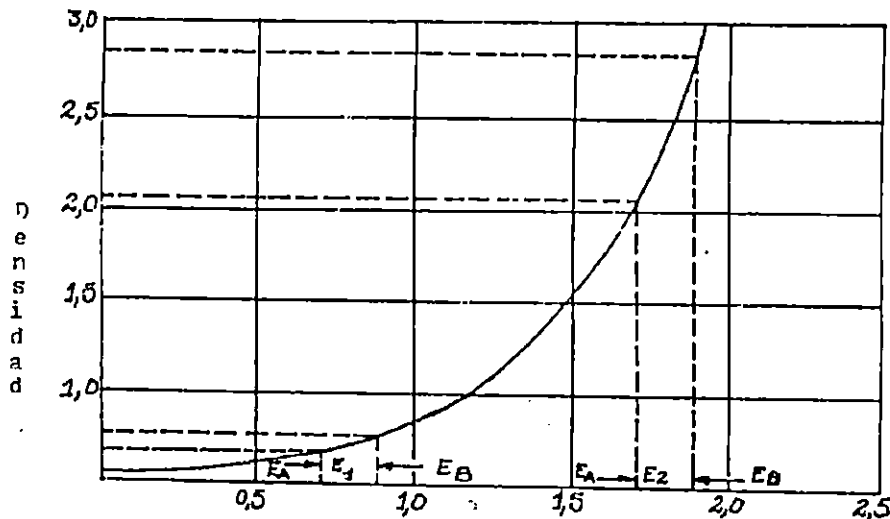


FIGURA 4-7. [4-8]

Para evaluar el efecto de la forma de la curva característica en el contraste de la película, podemos emplear un término denominado gradiente radiográfico, o simplemente conocido como gradiente. El gradiente de una película es numéricamente igual a la tangente en un cierto punto de su curva característica; supongamos una pieza con dos espesores diferentes de modo que para una cierta energía de radiación, la parte más fina transmite una intensidad de 20% mayor que otra. Si se toma una radiografía usando la película mostrada en la FIGURA 4-8, y haciendo que el intervalo de densidades caiga en la región de gradiente 0.8, notaremos que la diferencia del 20% en la intensidad transmitida, representa un contraste de 0.06. Si ese mismo experimento se repitiera, por ejemplo, haciendo que el intervalo de densidades caiga en la región de gradiente 0.5, veremos que la diferencia de densidades

obtenida es de 0.40.

A la conclusión que podemos llegar de ese experimento es de que las regiones de la curva poseen una gradiente mayor que 1.0, amplifican el contraste transmitido por la pieza. De la misma forma que en las regiones en que el gradiente es menor que 1.0, el contraste transmitido por la pieza es disminuido en la reproducción radiográfica. Esto explica una de las razones por las cuales se fija una densidad mínima para las radiografías. Esa región es hecha con base en el gradiente que la película presente para esa densidad en particular. De una forma general se debe evitar, siempre que sea posible, las regiones de la curva con gradientes menores que 1.0.

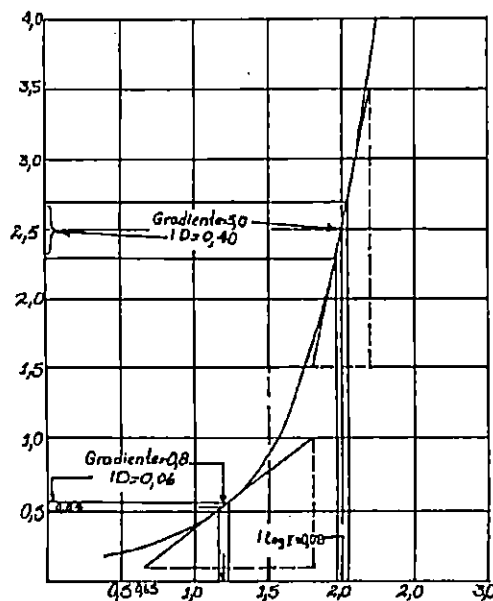


FIGURA 4-8. [4-9]

4.2.5.3 VELOCIDAD RELATIVA

Un termino importante definido a partir de las curvas características es la velocidad relativa. Ya dijimos anteriormente que una película es más rápida que otra, cuando en las mismas condiciones de exposición presenta una densidad más alta. En la FIGURA 4-9, puede apreciarse las velocidades relativas entre diferentes tipos de películas radiográficas, nótese como un tipo de películas radiográfica que posea una curva característica cuya tendencia se encuentra más hacia la izquierda, posee una velocidad relativa mucho mayor que aquellas para las cuales sus curvas característica se encuentran desplazadas hacia la derecha.

Para los fines prácticos, como ya ha sido explicado la forma de las curvas características permanecen constantes cualquiera que sea el tipo de radiación empleada. Ese tipo de radiación utilizada, puede en cambio, afectar a la situación de la curva con respecto al eje de las abscisas y, en consecuencia, si se dibujasen las curvas obtenidas con distintas calidades de radiación, presentarían distinta rapidez relativa pero conservarían la misma forma.

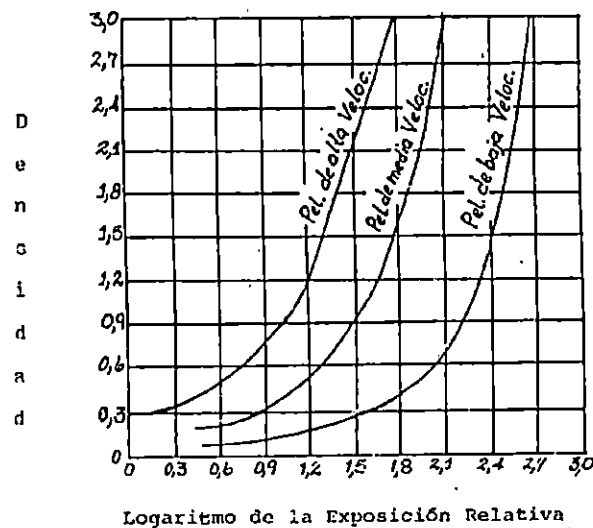


FIGURA 4-9. Curvas características de diferentes tipos de películas radiográficas, construidas en condiciones idénticas. De estas pueda apreciarse las diferencias existentes entre sus velocidades relativas. ^[4-10]

Si sobre las curvas características se miden los gradientes en un número de puntos y se comparan estos valores con los correspondientes de la densidad, es posible obtener una serie de curvas como las de la FIGURA 4-10, curvas que nos pueden ser útiles para llegar a establecer el valor de la 'densidad óptima'. En este gráfico, obtenido a partir de las curvas de la FIGURA 4-6, puede verse que el contraste máximo para la película tipo 4 utilizando pantallas reforzadoras salinas se alcanza un densidad radiográfica de aproximadamente 1.7 mientras que en las películas para ser utilizadas sin pantallas o con pantallas de plomo se pueden alcanzar valores de contraste muy altos.

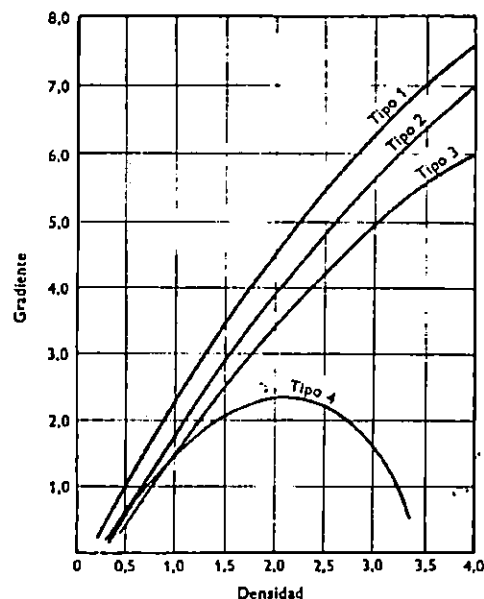


FIGURA 4-10. Variación del gradiente radiográfico con la densidad para diferentes tipos de películas radiográficas. ^[4-11]

Una vez estudiados todos los aspectos que se encuentran involucrados en la calidad de la imagen, basta mencionar que esta también depende en sobre manera del fabricante de la película, el radiografista lleva a familiarizarse con el tipo de película radiográfica de su preferencia, y las características y ventajas que estas le proporcionan.

A continuación mostramos dos figuras, las cuales muestran diferencias en la calidad de la imagen que pueden obtener con las películas STRUCTURIX de la firma AGFA, estas se benefician de los avanzados procesos de emulsión perfeccionados durante varios años de investigación y desarrollo, que le proporcionan un elevado contraste y un máximo de perceptibilidad de detalles. De hecho, en lo que se refiere a defectos, los mas finos detalles pueden interpretarse fácilmente.

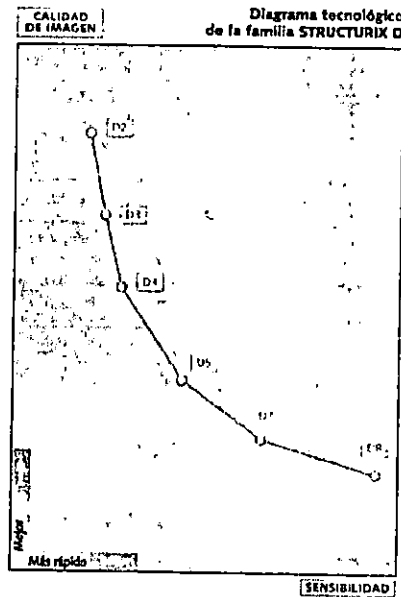



FIGURA 4-11. Alta calidad de imagen y perceptibilidad a través de la optimización de la relación "señal-ruido" de las películas de la familia STRUCTURIX de la firma AGFA  [4-12]

El contraste (señal) de todas las películas ha sido optimizado para acercarse al contraste máximo para un detector lineal (película de rayos X industrial), con lo cual se optimiza la calidad de la imagen y la perceptibilidad de detalles. Una excepción a la regla es la película D2, un detector super lineal, cuya calidad de imagen ha sido optimizado mediante mas que un contraste lineal (parte superior de la curva mostrada en la figura 4-12) en combinación con una úna muy baja radiación dispersa que pueda provocar borrosidades en las películas expuestas.

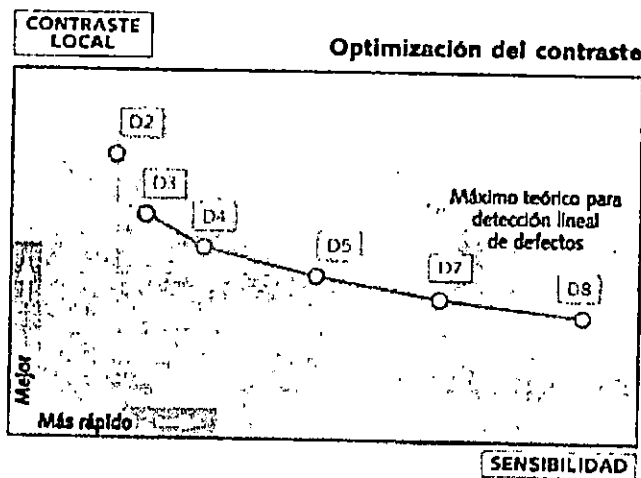



FIGURA 4-12. Optimización del Contraste de las películas de la familia STRUCTURIX de la firma AGFA  [4-13]

4.3 PANTALLAS DE PROTECCIÓN RADIOGRÁFICA

4.3.1 GENERALIDADES DE LAS PANTALLAS DE PROTECCIÓN RADIOGRÁFICA.

Las pantallas de protección radiográfica tienen su razón de ser, debido a una de las características de los rayos Gamma o de los rayos X, esto es el efecto de rebote y reflejo de los propios rayos que, al atravesar el cuerpo inspeccionado, rebotan en el piso o en las partes internas del objeto radiografiado.

El efecto de rebote provoca que la película grabe un imagen con borrosidades en la película, lo que hace más difícil su interpretación. Esto se debe a que la radiación se extiende en forma esférica y rebota, como lo hace la luz en un espejo, hacia el objeto radiografiado, dando como resultado imágenes sobrepuestas o distorsionadas.

El rebote más frecuente se presenta en el suelo o piso donde se encuentra la pieza; asimismo encontramos el rebote lateral de una pared o parte circular interna de un tubo; también el fenómeno mencionado es producido la pieza expuesta es muy gruesa.

El rebote de radiación no puede ser eliminado totalmente, sin embargo, existen medios para atenuar o reducir sus efectos, como por ejemplo, las pantallas de plomo, el uso de enmascaramiento, diafragmas, colimadores y filtros.

Es necesario tomar en cuenta que los medios que se utilicen para aminorar el efecto del rebote, deben ser mayores en los rayos Gamma, que en los rayos X.

Por ejemplo, una protección desarrollada para rayos X con 200 kV, requiere un 10% más en su tamaño, para proteger una exposición con Cobalto 60.

En todos los casos se tiene que tomar en cuenta el costo, tiempo y la disponibilidad de los materiales que se requieran para hacer pantallas, filtros, escudos, etc. De igual manera es necesario considerar los efectos de atenuación que pueden darse en el uso de pantallas de plomo (que pueden dar una imagen muy débil) o escudos (que pueden tener alta absorción y por tanto oscurecer las imágenes). Es por esto indispensable que el radiografo calcule todos estos detalles para lograr una radiografía clara y precisa.

Ahora que se conocen las principales características de los rayos X y γ , sobre las películas radiográficas, pero principalmente el efecto de los rayos Gamma sobre estas, se presentara a continuación los tipos de pantallas que se utilizan como protección para las radiografías, que son muy importantes ya que, su uso adecuado, permite la obtención de una radiografía de la más alta calidad, pudiendo, por lo tanto, hacer una mejor interpretación.

4.3.2 TIPOS DE PANTALLAS DE PROTECCIÓN RADIOGRÁFICA.

Los más frecuentes tipos de pantallas de protección utilizados en las inspección radiográfica se presentan en la TABLA 4-4, de una forma comparativa se puede apreciar las características de cada una, así como también sus ventajas y desventajas.

TIPO DE PANTALLA	CARACTERÍSTICAS	VENTAJAS	DESVENTAJAS
PANTALLAS DE ÓXIDO DE PLOMO	<p>Además de las pantallas de plomo que son las más conocidas, existen otras hechas con óxido de plomo.</p> <p>Este material se deposita sobre una base de papel o cartón, cuyo resultado es la obtención de una pantalla muy delgada y flexible, con un espesor de 0.0005 pulgadas. Estos pliegos son ligeros y libres de segregación de antimonio. Estas pantallas se obtienen en rollos y tienen óxido de plomo en ambas caras de la película.</p> <p>Los principios físico – químicos bajo los que actúan estas pantallas son los mismo que los del plomo.</p>	<p>Menor degradación en la filtración que en las de plomo.</p> <p>Mayor intensificación abajo del potencial de 140 Kv y algo menor a los 300 Kv.</p> <p>Tienen ventajas, respecto a las pantallas de plomo, para la radiografía de materiales de baja densidad o placas delgadas.</p> <p>Tienen aplicación en materiales pesados.</p>	<p>No muy buena Intensificación de la radiación absorbida, como es el caso de otras pantallas protectoras.</p>
PANTALLAS COMPUESTAS	<p>Son pantallas tipo emparedado formadas por hojas de plomo, cobre y aluminio.</p>	<p>Permiten controlar la emisión creciente que se presenta ocasionalmente con los altos voltajes en la inspección de piezas de acero gruesas.</p>	<p>No se les encuentra en forma de pliegos flexibles, por lo cual no son muy adecuadas para utilizarse en la inspección radiográfica.</p>
PANTALLAS DE URANIO	<p>Estas pantallas son raras y difíciles de fabricar debido, sobre todo, a la naturaleza quebradiza del Uranio y a su alto costo.</p>	<p>Poseen características iguales o mejores que las pantallas de óxido de plomo.</p>	<p>Son de alto costo, debido a las características de los materiales de que son fabricados.</p>
PANTALLAS DE COBRE.	<p>Hechas de lámina de cobre de diferentes espesores y que son ampliamente utilizadas con el isótopo de Cobalto 60 en cuyas radiografías el cobre tiene baja degradación en la filtración (inferior al plomo), además de contar con un factor de intensificación. El cobre aumenta la sensibilidad radiográfica.</p>	<p>Poseen una degradación en la filtración de radiación.</p> <p>Es muy frecuente encontrarlas no solo como pantallas protectoras, sino también como material del que se fabrican fantomas, para evaluar la calidad de imagen que proporcionan equipos de rayos X.</p>	<p>Sus resultados son mejores con fuentes de baja energía o bien con períodos de exposición muy cortos, por lo general menores que 1 segundo.</p>
PANTALLAS DE TANTALLO.	<p>Estas pantallas tienen mucho más baja filtración, pero mayor intensificación que el plomo, sin embargo, debido a sus características de rigidez y resorteo no permiten que se utilicen para cubrir y rodear piezas de geometría especial. Las hojas de Tantalio se utilizan principalmente en película radiográfica empacada en cartucho, pero es muy costosa.</p>	<p>Muy buena intensificación de la radiación absorbida.</p>	<p>Las pantallas no son flexibles, por lo cual únicamente pueden utilizarse con piezas planas.</p> <p>Por la desventaja anterior únicamente se les encuentra empaquetadas en cartuchos metálicos.</p> <p>Alto costo de adquisición.</p>
PANTALLAS DE ORO	<p>Estas pantallas trabajan también como las de plomo, pero su costo prohibitivo hace que tengan poca demanda.</p>	<p>Muy buena intensificación de la radiación absorbida, igual que las pantallas de plomo.</p>	<p>Alto costo de adquisición.</p>
PANTALLAS FLUORESCENTES.	<p>Una radiografía puede ser mejorada por medio de las pantallas fluorescentes las que a su vez emiten radiaciones en el rango de luz ultravioleta en una porción azul o verde del espectro electromagnético.</p> <p>Estas pantallas son excitadas por los rayos X o Gamma porque contienen elementos de calcio, tungsteno o bario con sulfato de plomo y fósforo, emitiendo una luz en el momento de recibir una radiación de onda corta excitando a los cristales de estos minerales. Se efectúa un compuesto con el que se pinta un cartón o plástico y obtenemos así la pantalla fluorescente.</p>	<p>Puede obtenerse radiografías muy buenas, si se utiliza la película adecuada</p>	<p>La radiografía tiende a crear conos de luz de cada uno de los cristales fluorescente, y esto tiende a dar un tono que hace difícil la definición de los contornos.</p> <p>En la filtración de rebote presenta una imagen heterogénea y no filtra las radiaciones de rebote.</p> <p>Este tipo de pantallas se les encuentra en cartuchos, en el interior de los cuales debe colocarse la película, por lo cual hace difícil la manipulación del conjunto en la inspección radiográfica industrial.</p> <p>El tipo de pantallas fluorescentes se utiliza de preferencia con películas para radiodiagnóstico y no en la radiografía industrial</p> <p>El código AWS D1.1 no permite la utilización de pantallas fluorescente durante la inspección radiográfica.</p>
PANTALLAS FLUOROMETÁLICAS.	<p>Estas pantallas se fabrican combinando el plomo con un pantalla fluorescente, es decir, a una pantalla adicional de plomo o de óxido de plomo, esto se hace con la finalidad de hacer una película fluorescente bañada con óxido de plomo y aprovechar las ventajas de la fluorescencia y de este metal.</p>	<p>El plomo absorbe el rebote de los rayos X.</p> <p>La pantalla fluorescente intensifica la radiación y reduce el tiempo de exposición.</p>	<p>Posee prácticamente las mismas desventajas que las pantallas fluorescentes.</p>

TABLA 4-4. *Diferentes tipos de pantallas protectoras utilizadas para fines industriales*

4.4 TRATAMIENTO DE LAS PELÍCULAS RADIOGRÁFICAS.

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

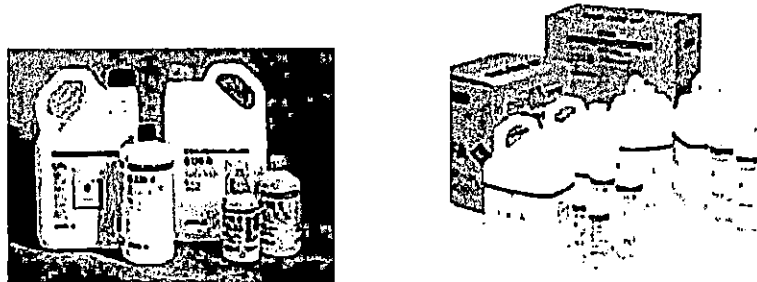

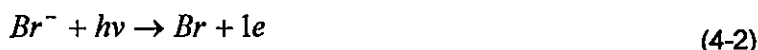


FIGURA 4-13. *Diferentes presentaciones de los productos Químicos STRUXTURIX, para el tratamiento de las películas STRUXTURIX de la firma AFGA. Los productos químicos STRUXTURIX han sido diseñados para obtener la mejor calidad de procesado de las películas radiográficas STRUXTURIX. AGFA*  (4-14)

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



los cuales se dirigen a los centros sensibles del cristal y crean una región cargada negativamente que atrae los iones plata libres, y éstos, al llegar a ella, se descargan



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

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

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

La iluminación del laboratorio o cámara oscura en que ha de realizarse el tratamiento de las películas es de la mayor importancia. Esta iluminación puede ser directa o indirecta, pero en cualquier caso la lámpara utilizada ha de estar provista de un filtro que absorba la radiación azul y transmitida solamente de espectro visible que no afecten a la emulsión. Con lámparas situadas en el techo y las paredes pintadas de color claro es posible alcanzar un grado de iluminación suficiente sin que la película se afecte; no obstante, es aconsejable manejar las películas a una distancia de unos 2 m de las

lámparas o de cualquier superficie sobre la cual la luz de la lámpara actué directamente. El filtro en este caso podrá ser de color claro, siempre que se utilicen lámparas de potencia no superior a 25 Watts.

Para la iluminación directa, el filtro ha de ser necesariamente más oscuro y las películas se mantendrán a una distancia de 1 m de ellas, sobre todo si se trata de películas rápidas o para ser utilizadas con pantallas reforzadoras salinas.

Las soluciones o baños para el tratamiento de las películas normalmente están contenidos en tanques de acero inoxidable, estrechos y profundos, en los cuales las películas son introducidas colgadas en unos marcos adecuados, de forma que queden suspendidos verticalmente en la solución.

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

4.4.1 REVELADO DE LAS PELÍCULAS RADIOGRÁFICAS.

4.4.1.1 EL PRINCIPIO DEL PROCESO DE REVELADO.

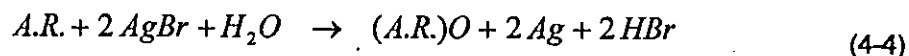
Cuando la película impresionada se introduce en el revelador, los granos de halogenuro de plata que no han sido expuestos no sufren ninguna acción; por el contrario, este baño actúa rápidamente sobre los granos expuestos y son reducidos rápidamente a plata metálica finamente dividida, que son las que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

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

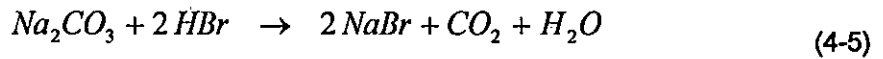
- agente revelador,
- agente acelerador,
- agente conservador,
- agente moderador,
- disolvente

Estos son explicado en detalle, a continuación:

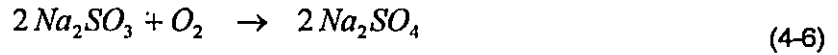
- ♦ AGENTE REVELADOR. El agente revelador es un reductor de acción suave y de naturaleza orgánica, tal como la hidroquinona o el metol, que reducen los granos expuestos y deposita plata metálica. El mecanismo de esta reacción de oxidación-reducción es el siguiente:



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



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



- AGENTE MODERADOR. El agente moderador ha de actuar sobre el agente revelador, evitando que actúe sobre los granos de halogenuro de plata que no han sido expulsados; es decir, actúa aumentando la estabilidad del bromuro de plata y en su consecuencia, el moderador tiene que ser el bromuro potásico o algún halogenuro soluble, pero el más frecuentemente es el KBr.
- DISOLVENTE. Se utiliza agua y, si es posible, agua destilada. Después de haber revelado un determinado número de películas en la solución contenida en el tanque, el baño revelador va perdiendo actividad y al mismo tiempo disminuye su volumen. Esto es debido a las siguientes causas. En primer lugar, el agente revelador se oxida y el álcali se va neutralizando por la acción del ácido bromhídrico, como segunda causa se puede indicar que cada película, al ser sacada del baño, retiene una cierta cantidad de la solución, lo cual hace disminuir el volumen del baño. Además se tiene que, a medida que se van revelando películas en el mismo baño, va aumentando en él la concentración de halogenuros solubles. Si bien en la mayoría de los casos no es posible actuar sobre esta concentración de halogenuros solubles y diluirles, sí resulta fácil corregir la actividad al tiempo que se mantiene el nivel del baño en el tanque.

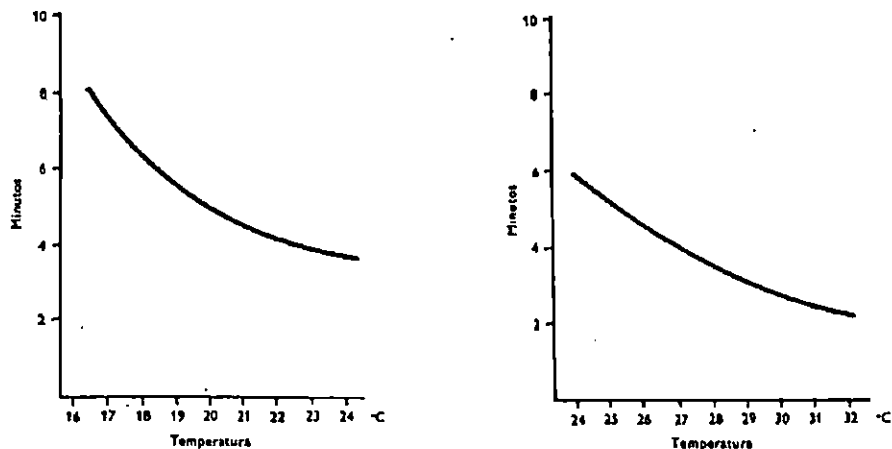
Mantener el nivel del baño revelador por adiciones de agua no es aconsejable, pues al diluir el baño que ya ha perdido actividad se disminuye ésta y, en su consecuencia, para conseguir el mismo grado de revelado se tendrá que aumentar el tiempo o la temperatura para compensar la pérdida de actividad.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

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

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

Para un revelador frecuentemente utilizado en radiografía industrial, para una composición química

adecuada, se recomienda un tiempo de revelado de 5 minutos a una temperatura del baño de 20°C. El gráfico mostrado en la FIGURA 4-14, indica como varía el tiempo de revelado con la temperatura de este tipo de revelador en particular, se debe siempre solicitar al fabricante del líquido revelador que se desea utilizar, las gráficas para el tiempo de revelado, pues es este el que ha efectuado las pruebas necesarias, para así establecer el comportamiento del ennegrecimiento de las películas al variar el tiempo de revelado y la temperatura del baño. Un factor muy importante, en el proceso de revelado es que tanto la película radiográfica como los líquidos de revelado deben de ser de la misma casa comercial, nunca se debe utilizar películas radiográficas de un fabricante y líquidos reveladores de otro, de no hacerlo así los resultados obtenidos podrían no ser los esperados.



(a) Variación del tiempo de revelado con la temperatura. Revelador Normal. (b) Variación del tiempo de revelado con la temperatura. Revelador con adición de sulfato sódico.

FIGURA 4-14 ^[4-15]

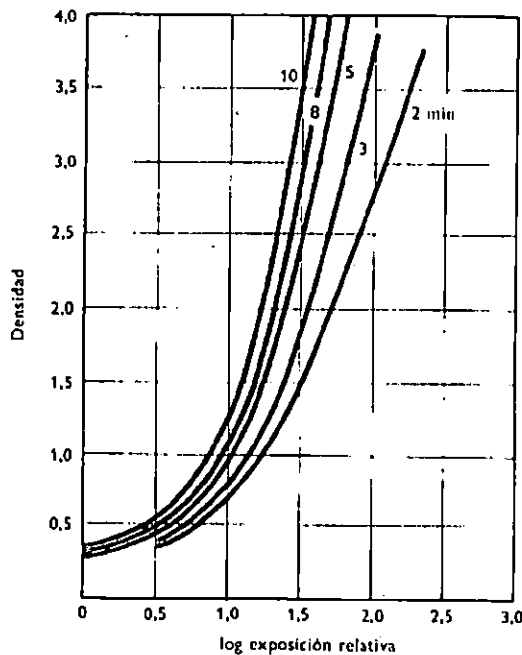
Puede ocurrir que en ciertos climas no sea posible mantener la temperatura del baño revelador a los 20°C. En este caso será preciso modificar el tiempo de revelado de acuerdo con los valores que nos da el gráfico de la FIGURA 4-14a. Sin embargo, si la temperatura es superior a los 24°C, la emulsión sensible tiende a desprenderse de la base y a dar películas defectuosas, sobre todo si el acabado posterior se hace con agua más fría, pues en este caso la gelatina queda cuarteada, dando lugar al defecto conocido bajo la denominación de 'reticulación'. Con el fin de evitar esto se debe añadir al revelador, siempre que tenga que ser utilizado a temperatura superior a los 24°C, sulfato sódico cristalizado, en la proporción de 105 gr/litro de revelador. En este caso el gráfico tiempo-temperatura de revelador es el de la figura FIGURA 4-14b.

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

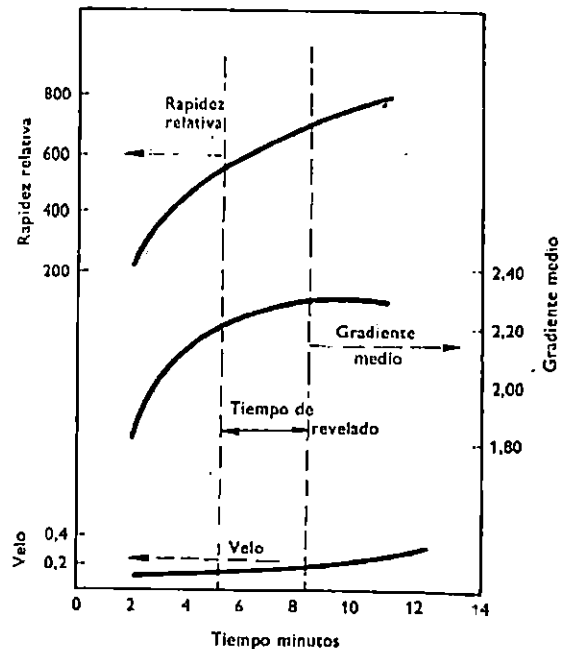
4.4.1.2 EFECTO DEL REVELADO SOBRE EL CONTRASTE Y LA RAPIDEZ.

Aunque la forma de las curvas características no es afectada por la calidad de la radiación X o gamma, sí lo es por el grado de revelado. Este grado de revelado, como ya se ha indicado, depende del tiempo de duración del revelado, de la actividad del revelador y de la temperatura del baño. Dentro de ciertos límites se puede decir que un aumento en el grado de revelado corresponde a un aumento del

contraste y velocidad relativa de las películas radiográficas; sin embargo, si este aumento es excesivo, puede ocurrir que se incremente el límite inferior del velo y que, en consecuencia, puedan decrecer tanto el contraste como la velocidad relativa de la película.



(a) Acción del tiempo de revelado sobre la curva característica de una película.



(b) Influencia del tiempo de revelado sobre la velocidad relativa y el gradiente de una película

FIGURA 4-15 [4-16]

En la FIGURA 4-15a, pueden verse una serie de curvas características correspondientes a una película sin pantalla con distintos tiempos de revelado en un baño de revelador rápido a 20°C. En este gráfico puede comprobarse cómo al aumentar el tiempo de revelado la curva característica va tomando más pendiente y al mismo tiempo se desplaza hacia la izquierda, esto es, aumenta su contraste y la velocidad relativa de esta. La forma en que varían el contraste, la velocidad relativa y el velo se muestra en el gráfico de la FIGURA 4-15b. Estas curvas dependen del tipo de película considerado y las películas de la FIGURA 4-15b corresponden a la película que sirvió para construir el gráfico de la FIGURA 4-15a.

Desde un punto de vista práctico, es necesario hacer constar que, aunque el gradiente medio de una película (contraste de la película) puede no ser afectado por cambiar en el tiempo de revelado, un aumento de este tiempo puede dar lugar a un aumento en el contraste radiográfico como consecuencia de las diferencias de densidad fotográfica a que puedan dar lugar los cambios en el tiempo de revelado. En la FIGURA 4-16, se han trazado las curvas características de una película radiográfica del tipo 1 reveladas durante 5 y 8 minutos en un revelador a 20°C. Estas curvas, cuya forma es la misma y que por tanto tendrán el mismo gradiente medio, muestran una diferencia en su velocidad relativa como consecuencia del cambio en el tiempo de revelado. Consideremos dos espesores ligeramente diferentes en el objeto que se radiografie, de tal forma que uno transmite un 25% más de radiación que el otro, en cuyo caso la diferencia del logaritmo de exposición entre ambas zonas será 0.1. Para una determinada exposición, exposición 1 y tiempo de revelado de 5 minutos, encontraremos una variación en la densidad $D_5 = 0.36$. Si se disminuye el tiempo de exposición, exposición 2, nos encontraremos que al revelar

durante 8 minutos se alcanza la misma variación de densidad de 0.36 que se obtenía antes con la exposición 1 y revelado de 5 minutos, con lo cual quedará compensado el aumento de la velocidad radiográfica motivado por el mayor tiempo de revelado. Estos resultados son meramente informativos, ya que las diferencias de densidad fotográfica correspondientes a determinadas variaciones en la exposición dependen de la zona de la curva característica de la película en que se actúe.

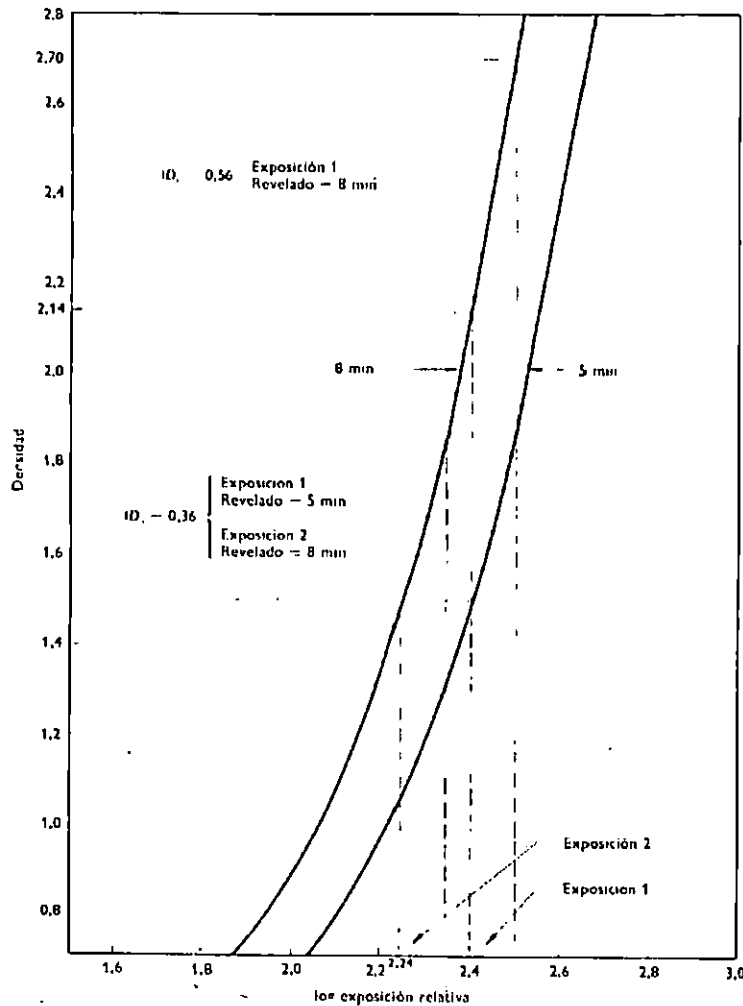


FIGURA 4-16. Efecto del tiempo de revelado sobre la velocidad relativa de una película tipo 1. [4-17]

4.4.2 BAÑO DE PARADA O ACLARADO.

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

El baño de parada es fundamentalmente un baño ácido, cuya acción principal es neutralizar el álcali del revelador y al mismo tiempo detener la acción del agente revelador. A este fin se utiliza el ácido acético en la concentración adecuada para impedir que el desprendimiento de anhídrido carbónico, que

se produce en su reacción con el carbonato sódico, pueda producir burbujas en la superficie de la película que puedan dañar a la gelatina.

Este tratamiento intermedio entre el revelado y el fijado tiene como consecuencia inmediata el conseguir una mayor duración del baño fijador.

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

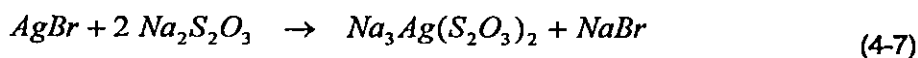
4.4.3 FIJADO DE LAS PELÍCULAS RADIOGRÁFICAS. ^[4-18]

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

- agente fijador
- agente ácido
- agente endurecedor,
- solución reguladora.

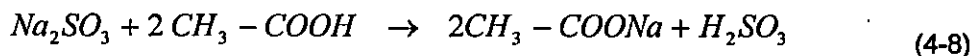
Todos los constituyentes anteriores, son explicados con mayor detalle a continuación:

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



quedando la emulsión desprovista de halogenuros sensibles.

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



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

- **AGENTE ENDURECEDOR.** Su misión es evitar que la gelatina se hinche y ablande durante el lavado posterior al fijado. Este agente endurecedor es el alumbre potásico, $\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 24\text{H}_2\text{O}$
El alumbre potásico presenta el inconveniente de formar un compuesto insoluble integrado por la gelatina, el alumbre y el tiosulfato. Sin embargo, es posible evitar la formación de este compuesto con la adición de una sal amónica, tal como el cloruro amónico que actúa sobre el tiosulfato impidiendo su absorción y evitando así la formación del compuesto insoluble.
- **SOLUCION REGULADORA.** Dada la sensibilidad del tiosulfato a las variaciones de acidez y alcalinidad, y debido a la incorporación al baño de fijador de las pequeñas cantidades de álcali que puedan llevar las películas, es preciso que el baño contenga una mezcla tampón o solución reguladora que actúe sobre estos cambios de acidez.
La solución tampón, en ese caso, está formada por el sulfito sódico y el ácido acético.
El tiempo de duración del fijador no ejerce, a diferencia, de lo que ya se ha indicado para el revelador, ninguna acción sobre las características de la película.
El fijador actúa disolviendo los halogenuros de plata que no han sido afectados por el revelado y, debido a esto, hace que vaya desapareciendo el aspecto lechoso que tienen las películas reveladas. Esto sirve de guía para saber cuándo ha terminado el fijado, pues entonces la emulsión aparecerá clara; de todas formas es aconsejable que las películas permanezcan en el fijador durante un tiempo que sea al menos el doble del que se ha necesitado para que la película se vea clara, para, que de esta forma, asegurar que el fijado es completo y la acción del endurecedor suficiente.
De una forma aproximada se puede decir que el tiempo para el fijado oscila entre 2 y 5 minutos, no obstante es frecuente prolongarlo hasta el doble del tiempo de revelado.

4.4.4 LAVADO Y SECADO DE LAS PELÍCULAS RÁDIOGRÁFICAS..

Cuando las películas son extraídas, la emulsión se encuentra saturada de los componentes de este baño, los cuales, de permanecer en ella, pueden descomponerse produciendo una decoloración de la imagen. Para evitar esto es preciso hacer desaparecer todos estos productos, lo que se consigue mediante el lavado de las películas.

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

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

Una vez que las películas hayan sido convenientemente lavadas y para que la radiografía quede terminada, es preciso secarlas. Esta operación tiene más importancia de la que a primera vista parece, ya que mientras la gelatina se encuentra húmeda es muy sensible a cualquier acción mecánica que puede dar lugar a la formación de arañazos o zonas en que pueda desprenderse del soporte y, al mismo tiempo, hay que evitar los depósitos de polvos, los cuales al adherirse a la película serían imposibles de remover.

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

A ser posible, las películas deben ser secadas bajo tensión. Por esto conviene quitarlas de los marcos que han sido empleados para su tratamiento, siempre que éstos sean del tipo de guía y ponerlas en otros ajustables. Si se utiliza este tipo de marcos, convendrá que a las películas se les redondeen las esquinas para quitarles las perforaciones que en ellas hacen este tipo de marcos y que pueden producir arañazos en otras películas.

4.5 REFERENCIAS DEL CAPÍTULO.

- [4-1] Información y Figuras obtenidos del sitio Web de AGFA Industrial Film, <http://ndt.agfa.com>
- [4-2] RUIZ RUBIO. "*Inspección Radiográfica de las Uniones Soldadas*", URMO S.A. De Ediciones, Bilbao, España, Capítulo 6, pág.120
- [4-3] RUIZ RUBIO. "*Inspección Radiográfica de las Uniones Soldadas*", URMO S.A. De Ediciones, Bilbao, España, Capítulo 5, pág. 109.
- [4-4] De la VEGA, Carlos. "*Control de Calidad en Soldadura Industrial por métodos radiográficos*", Editorial DIANA, México, 1991, Capítulo 6, pág. 50
- [4-5] SIE (Servicio de Ingeniería Electromecánica). "*Radiografía Industrial de las Uniones Soldadas*", Ciudad de Guatemala, Guatemala, 1989. Capítulo 4, pág. 92
- [4-6] De la VEGA, Carlos. "*Control de Calidad en Soldadura Industrial por métodos radiográficos*", Editorial DIANA, México, 1991, Capítulo 4, pág. 69
- [4-7] SIE (Servicio de Ingeniería Electromecánica). "*Radiografía Industrial de las Uniones Soldadas*", Ciudad de Guatemala, Guatemala, 1989. Capítulo 4, pág. 95.
- [4-8] SIE (Servicio de Ingeniería Electromecánica). "*Radiografía Industrial de las Uniones Soldadas*", Ciudad de Guatemala, Guatemala, 1989. Capítulo 4, pág. 96.
- [4-9] SIE (Servicio de Ingeniería Electromecánica). "*Radiografía Industrial de las Uniones Soldadas*", Ciudad de Guatemala, Guatemala, 1989. Capítulo 4, pág. 97
- [4-10] SIE (Servicio de Ingeniería Electromecánica). "*Radiografía Industrial de las Uniones Soldadas*", Ciudad de Guatemala, Guatemala, 1989. Capítulo 4, pág. 98
- [4-11] RUIZ RUBIO. "*Inspección Radiográfica de las Uniones Soldadas*", URMO S.A. De Ediciones, Bilbao, España, Capítulo 4, pág.77
- [4-12] Información y Figuras obtenidos del Catalogo del sistema NDT de Películas Radiográficas STRUCTURIX de la firma comercial AGFA Industrial Film, Catalogo que se puede obtener en <http://ndt.agfa.com>
- [4-13] Información y Figuras obtenidos del Catalogo del sistema NDT de Películas Radiográficas STRUCTURIX de la firma comercial AGFA Industrial Film, Catalogo que se puede obtener en <http://ndt.agfa.com>
- [4-14] Información y Figuras obtenidos del sitio Web de AGFA Industrial Film, <http://ndt.agfa.com>
- [4-15] RUIZ RUBIO. "*Inspección Radiográfica de las Uniones Soldadas*", URMO S.A. De Ediciones, Bilbao, España, Capítulo 4, pág. 81
- [4-16] RUIZ RUBIO. "*Inspección Radiográfica de las Uniones Soldadas*", URMO S.A. De Ediciones, Bilbao, España, Capítulo 4, pág. 83
- [4-17] RUIZ RUBIO. "*Inspección Radiográfica de las Uniones Soldadas*", URMO S.A. De Ediciones, Bilbao, España, Capítulo 4, pág. 84
- [4-18] RUIZ RUBIO. "*Inspección Radiográfica de las Uniones Soldadas*", URMO S.A. De Ediciones, Bilbao, España, Capítulo 4, pág. 79

CAPÍTULO V

Parámetros y Condiciones de Trabajo para la Exposición Radiográfica.

5.0 GENERALIDADES.

Para llevar a cabo la actividad de exposición de manera exitosa es necesario conocer y llevar a la practica una serie de aspectos que involucran desde el arreglo y montaje de la pieza hasta las características del equipo, así como también los parámetros respectivos de la exposición (tiempo, intensidad, distancias, etc.) los cuales garantizaran que la calidad de las películas expuestas sea aquella que brinde la información apropiada.

A continuación se abordaran cada uno de los puntos que se mencionaron anteriormente detallando en cada uno los aspectos principales a tener en cuenta.

5.1 MÉTODO RADIOGRÁFICO Y EQUIPO.

Las radiografías de las uniones soldadas, cualquiera que sea su tipo, se obtendrán por el método de transmisión, es decir, colocando el objeto a radiografiar entre la película y la fuente de radiación.

El equipo^[5-1] para realizar adecuadamente el ensayo radiográfico deberá estar compuesto por los siguientes elementos:

- Fuentes de radiación
Los equipos de Gammagrafía Industrial, sus características y funcionamiento fueron descritos en el CAPÍTULO III.

- Película radiográfica
Se usarán películas de grano fino y gran contraste correspondiente a los tipos 1 y 2 (CAPÍTULO IV. 4, TABLA 4-2).

La elección del tipo de película dependerá del espesor y material que se ha de radiografiar y de la calidad o categoría de la radiografía que se desea conseguir.
Para más detalle sobre este punto consultar CAPÍTULO IV.

- Pantallas reforzadoras
Las pantallas reforzadoras salinas no deben emplearse más que en aquellos casos en que exista una razón ineludible para ello; en este caso se deberán utilizar únicamente las denominaciones de alta definición. Debiendo ser citado su empleo en el informe de la inspección, ya que esta técnica entraña una pérdida de definición.
Para radiografía Gamma se recomienda el rango de espesores siguientes:

Esesor pantalla anterior	0.10 – 0.20 mm 004 – 0.01 pulg.
--------------------------	------------------------------------

Esesor mínimo pantalla posterior	0.12 mm 0.005 pulg.
----------------------------------	------------------------

La combinación de espesores más frecuentemente utilizada es la de 0.1 mm para la pantalla anterior y 0.15 mm para la posterior.

- Chasis o portapelícula
Las películas y las pantallas reforzadas, en el caso que éstas sean utilizadas, se colocarán en chasis o portapelículas que podrán ser rígidas o flexibles.

Dado que los chasis se han de colocar en íntimo contacto con la superficie de la pieza a radiografiar y que en las zonas donde éstas se solapan la separación entre la superficie de la pieza y el chasis no deberá ser superior a 4 mm, se utilizarán preferentemente chasis flexibles con la condición de que se asegure un buen contacto entre las películas y las pantallas reforzadas.

- Indicadores de calidad de imagen
Se utilizarán aquellos indicadores de calidad de imagen que estén de acuerdo con las normas establecidas por el código que indique los requerimiento para realizar la inspección radiográfica.

El indicador de calidad de imagen, construido de un material que tenga la misma densidad radiográfica del objeto radiografiado y de acuerdo con las medidas y tolerancias que en cada caso correspondan, se colocará en uno de los extremos de la sección a radiografiar sobre la superficie de la pieza expuesta directamente a la fuente emisora de la radiación y de forma que la parte más fina o el hilo más delgado del indicador quede en la zona en que el espesor atravesado por la radiación es mayor. Según sea su tipo, el indicador se colocará a lo largo de la soldadura o sobre ella. En el caso de que la superficie por la que incide la radiación no sea accesible, y solamente en este caso, el indicador se dispondrá sobre la película; esta posición tendrá que ser mencionada en el informe final, ya que la información que en este caso

proporciona no tienen el mismo significado que la que proporciona en su correcta posición.

Los indicadores de calidad de imagen se tratarán con más detalle en el CAPÍTULO VII.

- **Densidad fotográfica**

La técnica radiografía proporcionará radiografías cuya densidad fotográfica en la parte sana del cordón de soldadura, así como en la zona de metal base examinada y teniendo en cuenta el velo de la película, esté comprendida entre 2.5 y 3.5 para dos películas superpuestas, en ningún caso las películas obtenidas sin superposición presentarán densidades inferiores a 1.25 ni superiores a 1.75 (1.25 y 1.75 representa la mitad del valor de la densidad que presentaría una sola película).

La densidad para la película que haya de ser interpretada aisladamente no será inferior a 1.5 ni superior a 3.5.

En el caso, poco frecuente, de tener que utilizar película con pantallas reforzadoras salinas, la densidad deberá estar comprendida entre 1.5 y 3.0.

Con el fin de evitar densidades de velo excesivas motivadas por envejecimiento de la película, condiciones de revelado o temperatura, será conveniente verificar periódicamente su valor. Para ello se tomará una muestra de la película utilizada y no impresionada que se someterá al mismo tratamiento que las radiografías obtenidas con esta película. La densidad máxima de este velo químico no deberá ser superior a 0.2.

La densidad fotográfica se medirá con un densitómetro o visualmente por comparación con una cuña patrón.

5.2 PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE. MARCADO E IDENTIFICACIÓN.

La preparación de las superficiales a examinar puede no ser necesaria para la obtención de las radiografías, pero en el caso de que las irregularidades presentes en la superficie del cordón de soldadura puedan ocasionar dificultades en la detección de los defectos internos, estas irregularidades se eliminarán por un procedimiento mecánico que no produzca ninguna alteración metalúrgica. En general, el procedimiento más adecuado es el esmerilado ^[5-2].

El esmerilado del cordón se hará de forma que quede con un contorno uniforme y que en ningún caso se produzcan efectos de entalle.

El sobreespesor del cordón de soldadura, una vez esmerilado, no deberá ser superior a 1 milímetro para espesores de hasta 20 milímetros.

a) Localización de la soldadura sobre la radiografía.

Para localizar la unión soldada en la radiografía, esta se marca con hilo o flechas de plomo a lo largo de la soldadura y de forma que queden bien visibles en la radiografía. Esta disposición puede no ser necesaria si se mantiene el sobreespesor de la unión.

1. Identificación de las radiografías.

En todas las zonas que se radiografien se colocarán marcas, letras y números de plomo para la identificación de las radiografías obtenidas. Estas marcas se colocarán en el objeto que se radiografie, sobre el lado de la película, se ha de procurar que estas marcas no impidan el contacto entre la pieza y el chasis.

Cada radiografía contendrá, por lo menos, una indicación en la que aparezca el número de la orden de trabajo, el número de la unión, el número del plano al que pertenece el conjunto y, si el espacio lo permite, la fecha en que se ha obtenido. Aquellas indicaciones que no sea posible poner con letras o cifras de plomo se escribirán sobre la radiografía.

Una de las disposiciones corrientemente seguida para el marcado de las radiografías sobre uniones planas, y que permite la localización de los posibles defectos presentes en la soldadura, es la que se indica en la FIGURA 5-1.

Cuando se trate de uniones circulares y para la localización de los posibles defectos se seguirá la siguiente norma:

- Según el diámetro, del recipiente o tubo, la longitud de la circunferencia se dividirá en sectores, cuyo número será como mínimo 4;
- Estos sectores se marcarán con números correlativos;
- En el caso de tubos horizontales o inclinados, el número 1 se dispondrá en la parte más alta de la unión;
- Cuando se trate de tuberías verticales, el número 1 se situará en la posición norte de la unión;
- Como sentido de giro de la numeración se tomará el de las agujas del reloj considerando que la dirección del flujo incide normal al mismo.

a) Identificación y marcado de las piezas.

Después de obtenida la radiografía de la zona requerida, se procederá al marcado exacto y permanente de la pieza utilizando el punzonado, ataque electrolítico, máquina Vibro o plaquitas que lleven estampadas las marcas de identificación correspondiente.

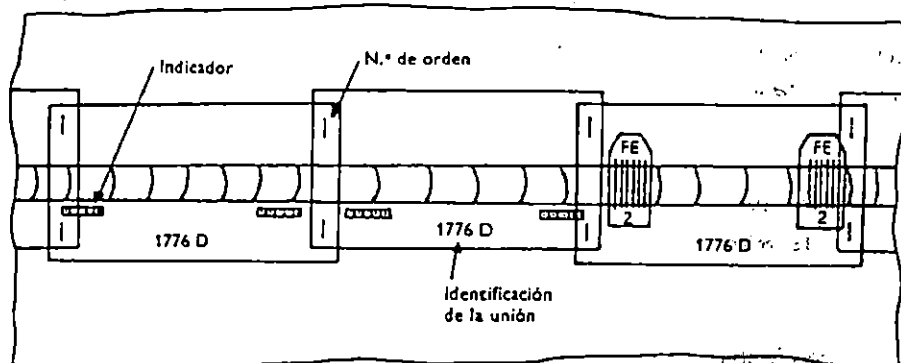


FIGURA 5-1. Disposición para la interpretación de las radiografías.

5.2.1 PROCEDIMIENTOS TÉCNICOS

El procedimiento técnico^[5-3] tiene por finalidad fijar los parámetros de ejecución del examen radiográfico. De esa forma creamos un documento técnico que describe el método de ensayo, el material ensayado y la calidad de las radiografías obtenidas.

Uno de los beneficios que podemos obtener del procedimiento técnico es con respecto a la repetibilidad del ensayo. Si fuere necesaria una verificación de los resultados obtenidos en el ensayo, es posible que repitamos el mismo dentro del mismo método usado inicialmente.

Del mismo modo, el procedimiento técnico sirve también como una guía para la ejecución del ensayo, orientado al equipo de trabajo en cuanto a los métodos y criterios a seguir.

Como otra característica importante, podemos decir que el procedimiento técnico es una norma de calidad a ser seguida durante la ejecución de los ensayos. Es importante citar que para que eso acontezca, es necesario que el método descrito en el procedimiento pruebe ser el adecuado para alcanzar la calidad radiográfica requerida.

Información contenida en el procedimiento técnico:

- **Material y espesor a ser radiografiado**
Describir el material a ser radiografiado en cuanto a tipo, dimensiones y forma.
- **Tipo de fuente**
Describirá la fuente de radiación empleada para la ejecución del ensayo precisando tipo de comando, blindaje, tipo de radioisótopo, radioactividad, etc.
- **Dimensiones máximas de la fuente**
El procedimiento deberá contener las dimensiones máximas de la pastilla de material radiactivo.
Para certificación de las dimensiones de la fuente, podrá ser usado el certificado expedido por el fabricante.
- **Técnica radiográfica**
En este punto debe ser relatada la técnica radiográfica escogida para la ejecución del ensayo: pared simple o doble, imagen simple o doble.
Siempre que se posible, se debe adoptar la técnica de pared simple e imagen simple. Las demás técnicas deberán ser usadas solamente cuando la técnica de imagen simple y pared simple fuere impracticable y respetando los requisitos de los artículos, normas y códigos aplicables.
- **Posición de la fuentes**
Citar si la fuente será colocada en el lado donde será colocado el equipo o en otro lado diferente.
- **Distancia mínima fuente – película.**
Detallar el valor de la distancia mínima, la fórmula mediante la cual fue calculada o los

parámetros tomados en cuenta para determinarla.

- Esquema indicativo del arreglo para exposiciones.
Describir mediante un croquis la posición relativa entre la fuente, el objeto y la película durante el ensayo, así como el de otros dispositivos utilizados.
- Películas
Se deberá detallar toda las características de la película utilizada tipo, marca comercial, dimensiones, cantidades de película por junta, etc.
- Pantallas intensificadoras
Si se hace uso de pantallas intensificadoras se deberá especificar sus espesores y las características de identificación (número o marca determinada) de su posición, así como para el tipo de película que se deberá usar.
- Sobreposición de las películas
Cuando exista la necesidad de calcular la sobreposición de películas se deberá especificar el valor y la forma como fue calculado.
- Densidad
Se especificará el intervalo de densidades empleado así como los medios utilizados para su lectura y verificación, se detallará también la norma o código que se ha tomado como referencia.
- Indicadores de Calidad de Imagen (IQI)
Deber ser indicada cada una de las características de los IQI, se deberá especificar el parámetro considerado como esencial según la norma o código utilizado, el posicionamiento, cantidad y uso de cuñas.
- Esquema y sistema de identificación de la radiografía.
Es esta parte se describe los métodos adoptados para marcación de la posición radiografiada y para identificación de la radiografía.
- Estado disponible de las superficies a ser examinadas y método y/o herramientas para preparación de la superficie, si es necesario.
Este punto describe las condiciones que la pieza ensayada debe presentar en términos de preparación de superficie, así como los métodos recomendados para la preparación superficial que se hiciera necesaria.
- Datos de laboratorio radiográfico
Describirá las características del local destinado al procesamiento de las películas, arreglo físico, potencia de la lámpara de seguridad, filtro de la linterna de seguridad y distancia de la misma hasta los puntos de manipuleo más cercanos de la película.
- Descripción de la ejecución del examen
Se describirán los puntos relativos al examen radiográfico y que no fueron abordados en puntos anteriores, tales como: acabado de la película, procesamiento, arreglo del chasis, etc.

Con respecto al acabado de la película, es importante resaltar que la misma no debe presentar marcas o manchas, de origen químico o mecánico, que puedan enmascarar o ser confundidas con discontinuidades, dentro del área de interés de la radiografía.

El procedimiento debe ser descrito en detalle, citándose:

- Marca y fecha de preparación de los productos químicos usados en los baños
- Etapas a ser cumplidas en el procesamiento
- Tiempo y temperatura de los productos químicos durante el procesamiento.
- Filtrado y renovación del agua usada para lavado.
- Capacidad de los tanques y plazos para cambio de los productos químicos.
Deben ser especificadas las condiciones de interpretación de las radiografías en lo que se refiere al tipo de negatoscopio usado en las condiciones de iluminación de la sala de protocolo.
- Protección radiológica
Se describirán los puntos tales como: manipulación y manejo de la fuente, control de zonas, almacenamiento del equipo, etc.
Se deberán incluir los procedimientos a seguir en caso de emergencias.
- Cuadro de registro de resultados
Incluirá todos los resultados obtenidos durante el ensayo
- Formulario para reporte
Contendrá toda la información técnica referente a la realización del ensayo, y que deberá ir junto a las radiografías cuando se le entregue al cliente.

5.3 FACTORES GEOMÉTRICOS

Para conseguir una radiografía con una nitidez satisfactoria, es necesario tener en cuenta los principios fundamentales de la formación de la sombra o imagen radiográfica, ya que durante la formación de la imagen intervienen diferentes aspectos tales como las características dimensionales de la fuente, características de la película y las características del procedimiento llevado a cabo durante el proceso.^[5-4]

Si consideramos una pantalla P , iluminada por una fuente luminosa puntual F , y situamos entre la pantalla y la fuente luminosa un objeto opaco ab , sobre la pantalla aparecerá una sombra o silueta del objeto ab (FIGURA 5-2).

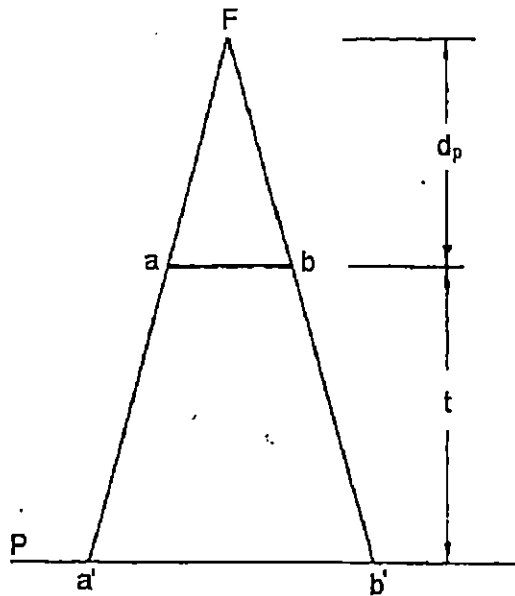


FIGURA 5-2. Imagen producida por una fuente puntual

Teniendo en cuenta la semejanza de los triángulos podemos escribir que:

$$\frac{ab}{a'b'} = \frac{d_o}{d_o + t}, \quad \text{o bien, } a'b' = \frac{ab \cdot (d_o + t)}{d_o},$$

Lo cual nos permite deducir que el tamaño de la sombra $a'b'$ será mayor que el tamaño del objeto, a no ser que éste, considerado su espesor despreciable, se encuentre en contacto con la pantalla, $d_o = t$, o que, por el contrario, el foco emisor se encuentre en el infinito, en cuyo caso el haz de rayos que incide sobre el objeto ab sería un haz de rayos paralelos y no se produciría ninguna deformación en la proyección.

Tubos de rayos X y las fuentes de radiación gamma, al igual que las fuentes luminosas, tienen en la práctica unas dimensiones finitas. En este caso, cada punto del foco o fuente emisora de radiación se comporta como si estuviera aislado y da lugar a la formación de una sombra; la superposición de estas sombras reduce las dimensiones de la sombra propiamente dicha, apareciendo ésta rodeada de una zona menos iluminada, que es la "penumbra" y que podemos designar como "penumbra geométrica".

La distancia foco-pantalla, o bien, en el caso de la radiografía, foco - película necesaria (FIGURA 5-3) para reducir a un valor mínimo el valor de la penumbra geométrica, depende de las dimensiones del foco emisor y de las distancias foco - objeto y objeto - película. El valor de esta penumbra viene dado por la ecuación:

$$U_g = \frac{Ft}{d_o} \tag{5-1}$$

en la cual:

- U_g : penumbra geométrica;
- F : Tamaño del foco o fuente de radiación;
- t : Espesor de objeto

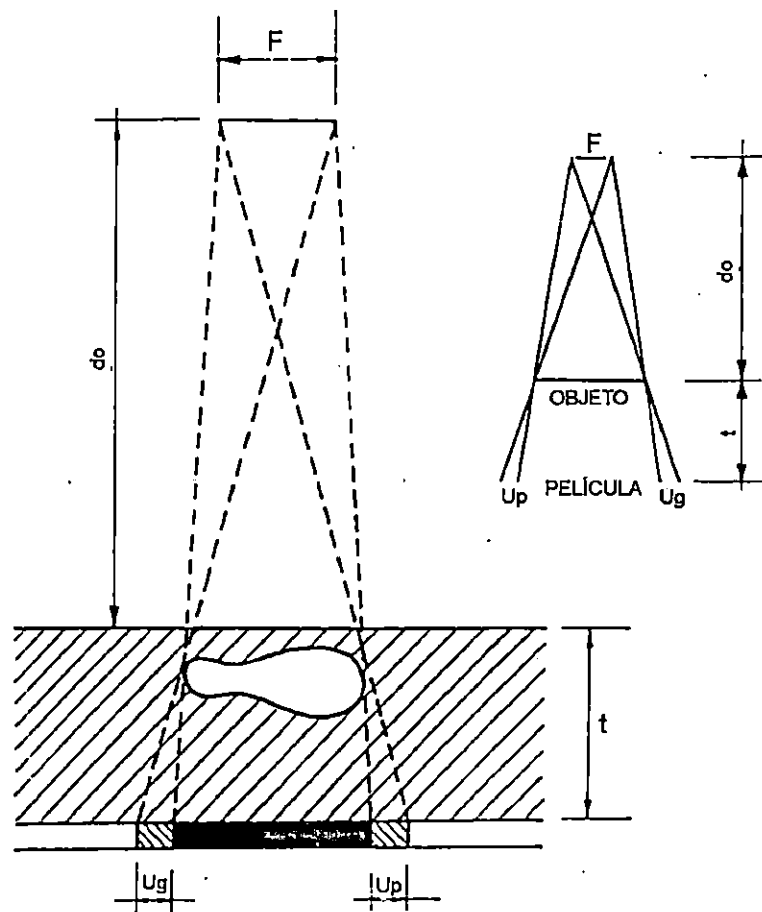


FIGURA 5-3. Penumbra geométrica.

Siempre que se fije el valor del tamaño del foco emisor F para un foco emisor o fuente de radiación dada, el valor de U_g , dependerá únicamente de la relación d_o/t .

Si durante la exposición radiográfica se mueve la fuente emisora de la radiación, el objeto que se radiografía o la película, los contornos de la imagen aparecerán borrosos. Dado que la falta de definición o nitidez ocasionada es análoga a la producida por la penumbra geométrica, se designa este factor como "penumbra del proceso" U_p , incluyéndose en él la penumbra que se produce a consecuencia del proceso de revelado y fijado de la película.

La nitidez de la imagen radiográfica es afectada, además de la penumbra geométrica (U_g) y de la debida al proceso (U_p), por otro factor que podemos denominar "penumbra interna o inherente" U_i , que depende del tipo de película radiográfica y de la energía de la radiación utilizada.

Cuando la radiación X o gamma penetra en una emulsión fotográfica choca contra los átomos que la forman y se da lugar a una emisión de electrones que, al dirigirse en todas direcciones, actúan sobre los granos de halogenuro de plata y los activan, de forma análoga a como ocurre con la radiación incidente. El resultado es que al revelar la película aparecen granos de plata, no solamente en las zonas sobre las que ha actuado la radiación, sino también en una zona próxima alrededor de la expuesta, originándose así una penumbra.

La magnitud de esta zona de penumbra inherente U_i depende de la distancia recorrida por los electrones liberados y, por tanto, es función de la energía de la radiación incidente.

En ausencia de la penumbra geométrica y de la debida al proceso o movimiento, la penumbra inherente se manifiesta por una zona de transición gradual entre la densidad fotográfica correspondiente al objeto radiografiado y la que presenta la película sobre la que la radiación ha actuado directamente. (FIGURA 5-4).

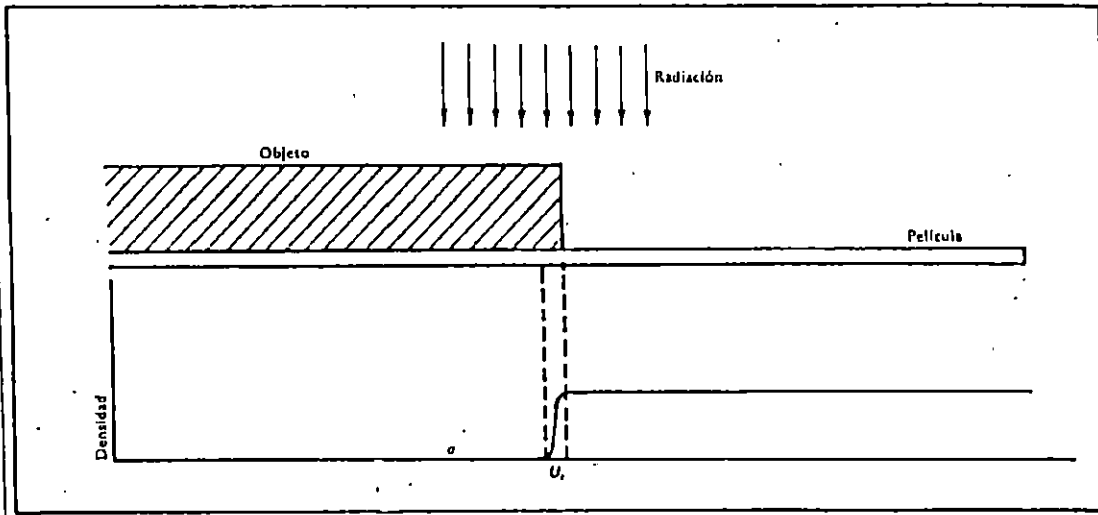


FIGURA 5-4. Penumbra inherente.

La penumbra total debida a todas las causas que la producen tienen el siguiente valor:

$$U_T = \sqrt{U_i^2 + U_g^2 + U_p^2 + \dots} \quad (5-2)$$

Si se admite que la falta de definición depende únicamente de la penumbra inherente U_i y de la geométrica U_g , incluyendo en ésta la debida al proceso, se tendrá que:

$$U_T = \sqrt{U_i^2 + U_g^2} \quad (5-3)$$

ahora bien, para una fuente emisora con una energía de radiación de tamaño determinado, el límite inferior de la penumbra total es una constante a la que se denomina "penumbra efectiva" (U_e), cuyo valor es:

$$U_e = \sqrt{U_i^2 + U_g^2} \quad (5-4)$$

esta ecuación resulta de la máxima utilidad para el cálculo de la distancia mínima óptima foco o fuente película (D.F.P).

Para una distancia foco o fuente objeto d , y un espesor de este t , la distancia foco película será:

$$D.F.P. = d + t \quad (5-5)$$

Por otra parte $U_g = \frac{(F \cdot t)}{d}$, sustituyendo valores y considerando el valor de la penumbra

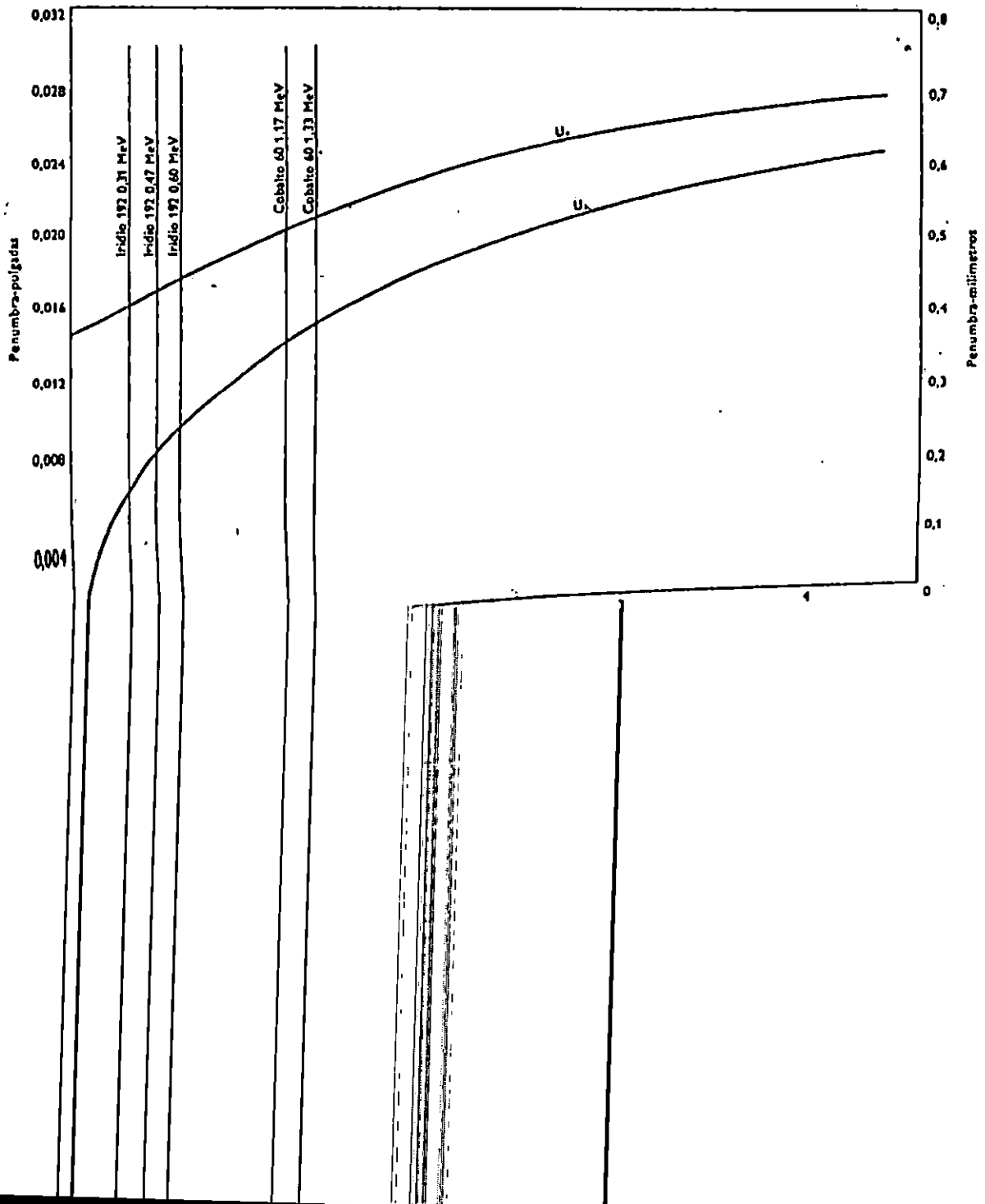
efectiva se distingue se tendrá que

$$Ug = \frac{(F \cdot t)}{Ue} + t$$

Expresiones en las cuales:

- D.F.P.* : distancia foco – película;
- F* : tamaño efectivo del foco o fuente emisora;
- t* : espesor atravesado por la radiación;
- d* : distancia foco – objeto;
- Ue* : penumbra efectiva.

Todo el valor de la penumbra como el valor de la distancia *D.F.P.* pueden ser calculados a través de gráficos, obteniéndose el valor de la penumbra en función de la energía de radiación (FIGURA 5-5) y el valor de *D.F.P.* en función del espesor del objeto, según el tipo de fuente radiactiva (FIGURA 5-6):



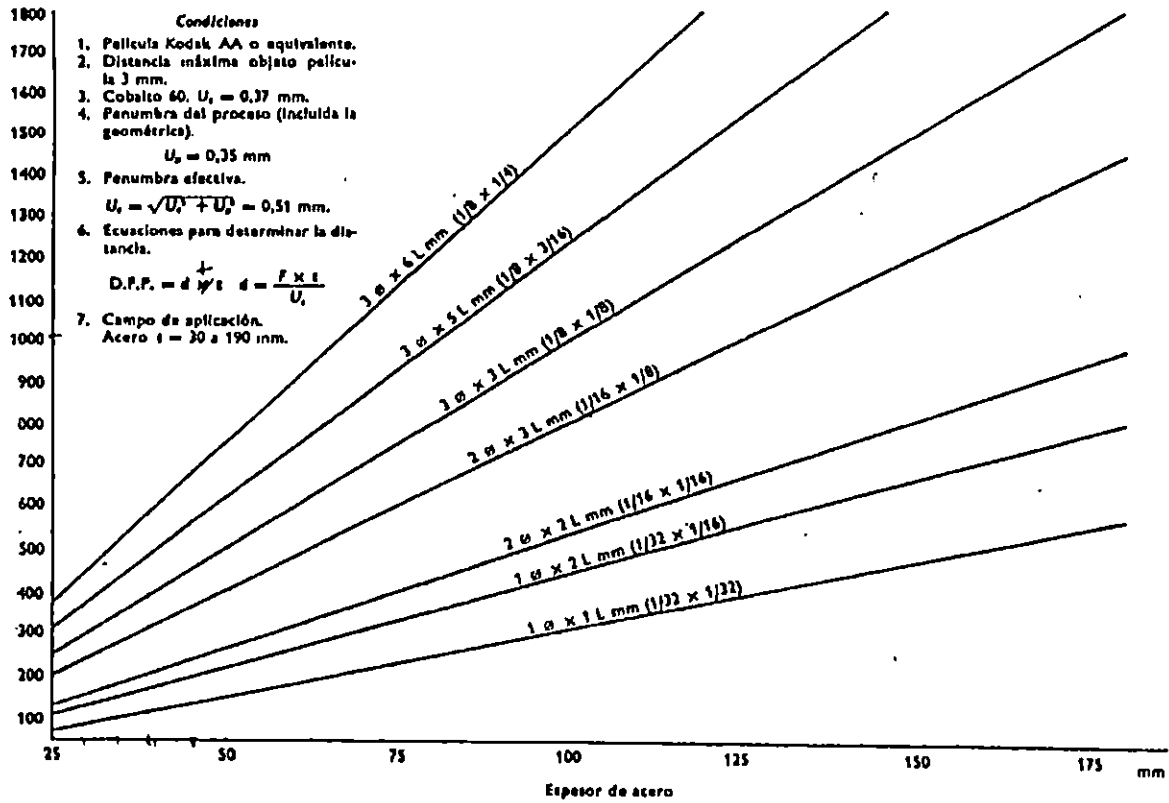
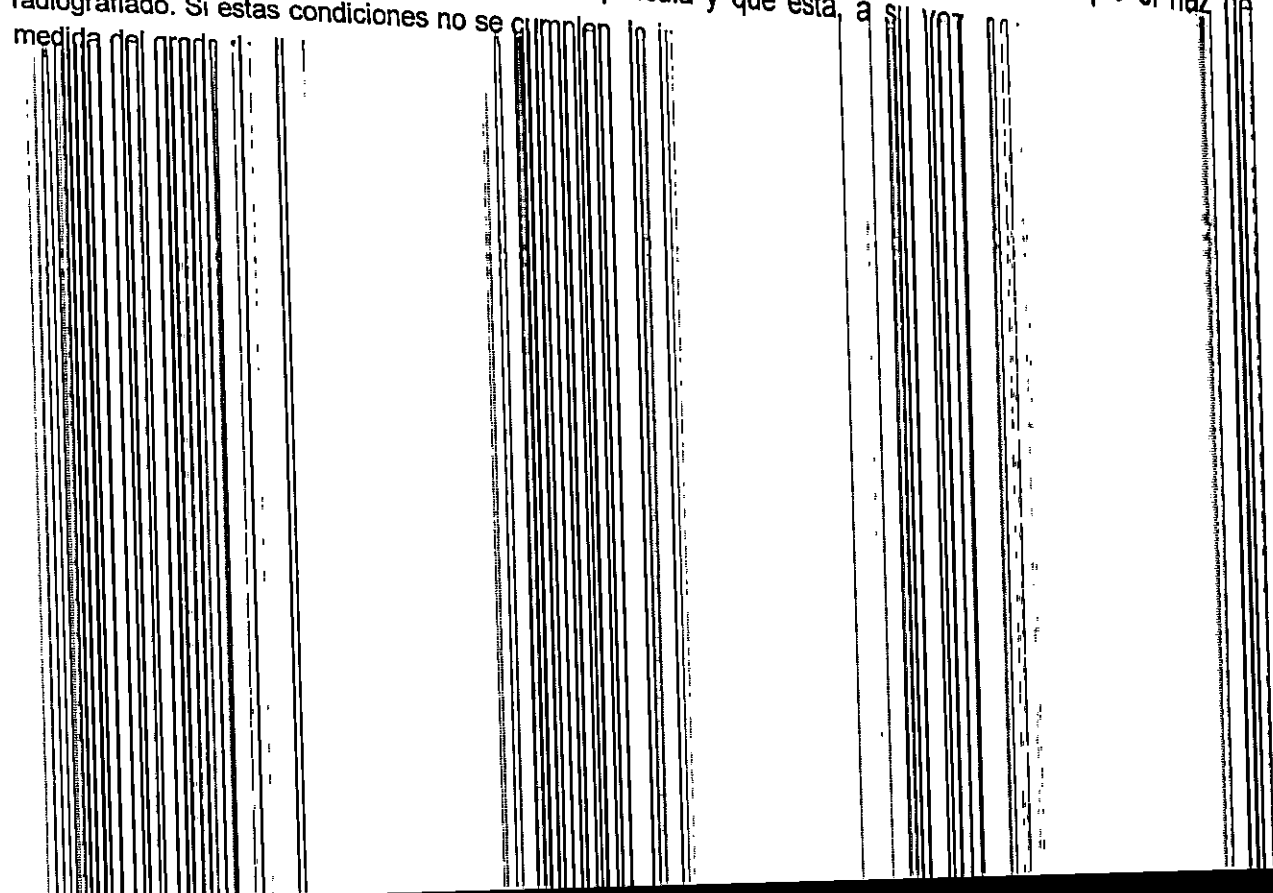


FIGURA 5-6. D.F.P. Mínima para cobalto 60, basada en una penumbra efectiva de 0.51 mm.

Dado que el haz de la radiación X y gamma es divergente, la imagen radiográfica de un objeto, o de un defecto presente en él, será mayor que el objeto o defecto. El grado de ampliación (FIGURA 5-7) dependerá de la distancia foco-objeto y objeto-película, disminuyendo cuando la primera aumenta y creciendo al alejarse la película del objeto.

Con el fin de evitar en lo posible los fenómenos de distorsión, se ha de procurar que el haz radiación (FIGURA 5-8) sea perpendicular a la película y que ésta, a su vez, sea perpendicular al objeto radiografiado. Si estas condiciones no se cumplen, se producirá una distorsión de la imagen, medida del grado de:



efectiva se distingue se tendrá que

$$Ug = \frac{(F \cdot t)}{Ue} + t$$

Expresiones en las cuales:

- D.F.P.* : distancia foco – película;
F : tamaño efectivo del foco o fuente emisora;
t : espesor atravesado por la radiación;
d : distancia foco – objeto;
Ue : penumbra efectiva.

Todo el valor de la penumbra como el valor de la distancia *D.F.P.* pueden ser calculados a través de gráficos, obteniéndose el valor de la penumbra en función de la energía de radiación (FIGURA 5-5) y el valor de *D.F.P.* en función del espesor del objeto, según el tipo de fuente radiactiva (FIGURA 5-6):

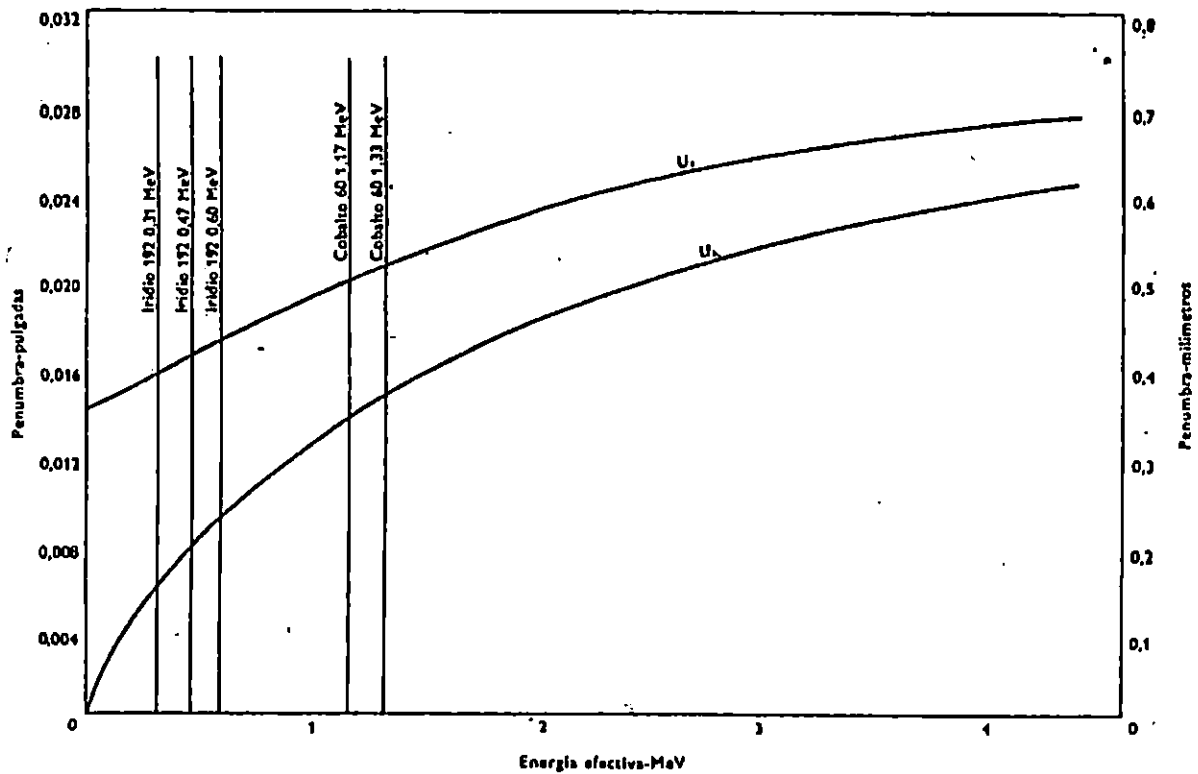


FIGURA 5-5. Determinación de la penumbra inherente y efectiva en función de la energía de radiación.

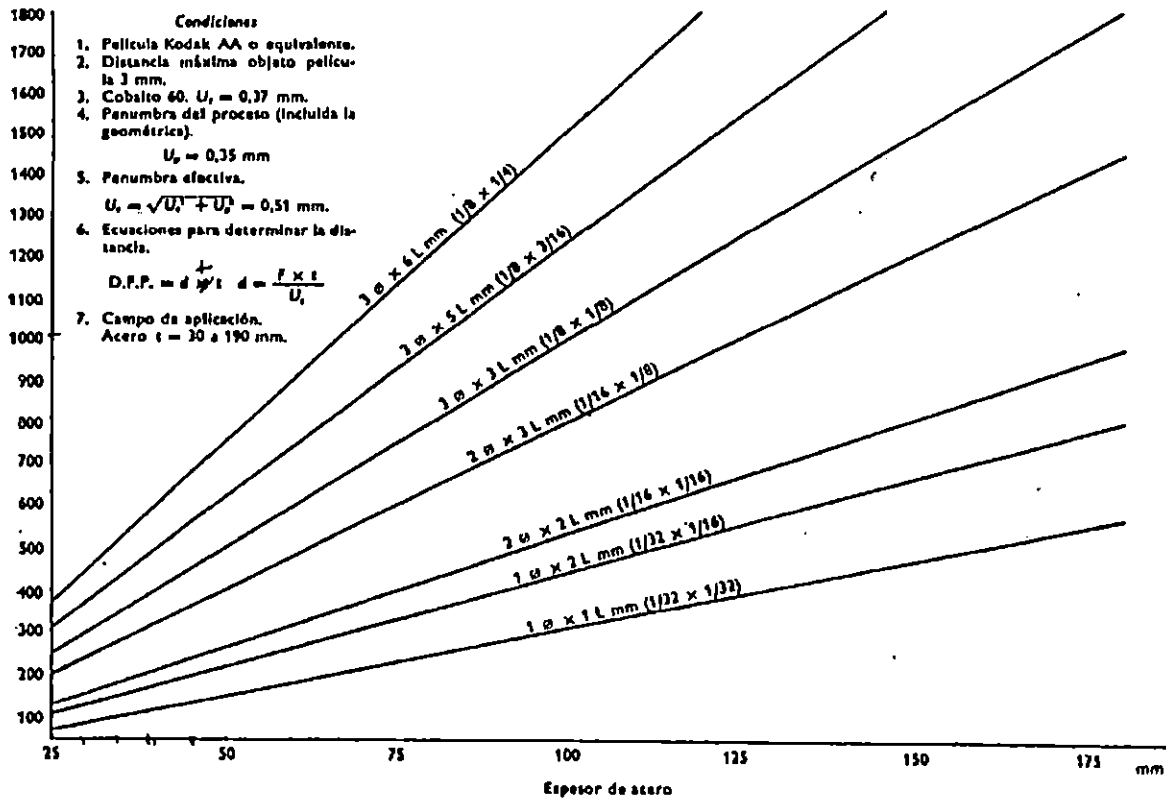


FIGURA 5-6. D.F.P. Mínima para cobalto 60, basada en una penumbra efectiva de 0.51 mm.

Dado que el haz de la radiación X y gamma es divergente, la imagen radiográfica de un objeto, o de un defecto presente en él, será mayor que el objeto o defecto. El grado de ampliación (FIGURA 5-7) dependerá de la distancia foco-objeto y objeto-película, disminuyendo cuando la primera aumenta y creciendo al alejarse la película del objeto.

Con el fin de evitar en lo posible los fenómenos de distorsión, se ha de procurar que el haz de radiación (FIGURA 5-8) sea perpendicular a la película y que ésta, a su vez, sea paralela al objeto radiografiado. Si estas condiciones no se cumplen, la imagen radiográfica se presentará deformada. La medida del grado de distorsión se puede deducir por la relación entre el tamaño de la imagen deformada y la que no ha sufrido distorsión.

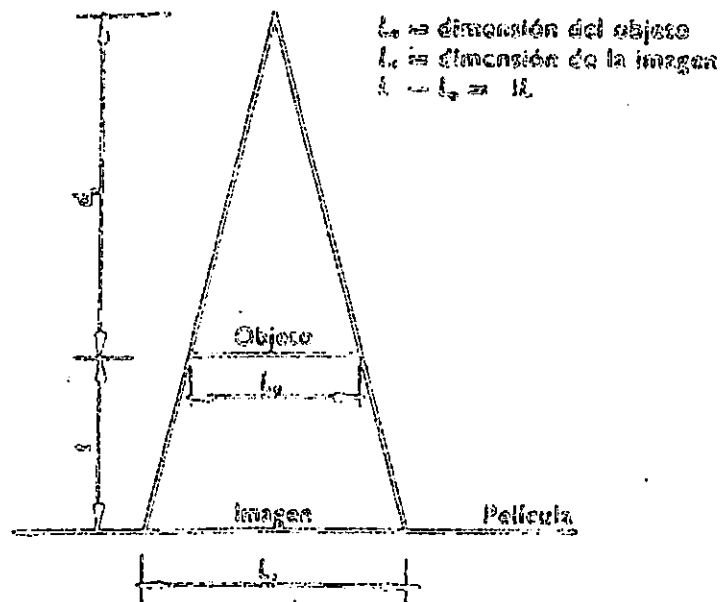


FIGURA 5-7. Grado de ampliación de la imagen radiografiada.

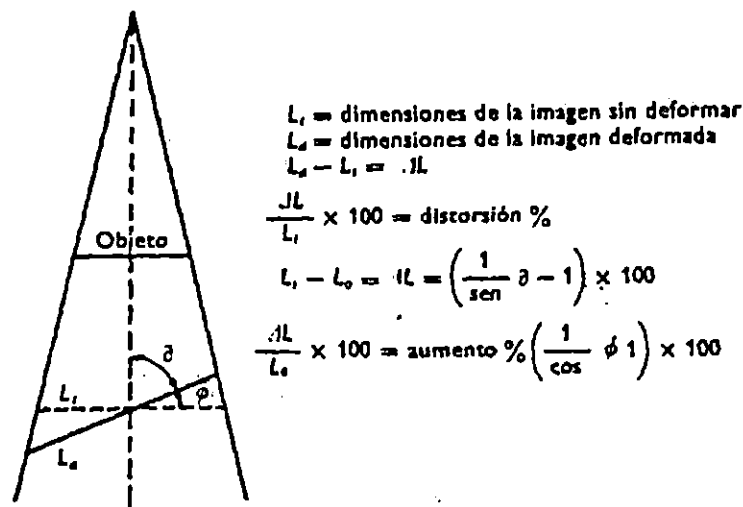


FIGURA 5-8. Distorsión de la imagen radiográfica.

En la práctica, no es siempre posible llegar a utilizar la distancia óptima fuente-película. Este es, por ejemplo, el caso que se presente en la radiografía de uniones soldadas en tubería, cuando se utiliza como fuente de radiación un isótopo radiactivo situado en el centro del tubo, ya que la distancia foco - película viene determinada por el radio del tubo.

Al establecer la fórmula para el cálculo de la distancia óptima D.F.P. se ha hecho referencia al tamaño efectivo del foco o fuente emisora de radiación. Si bien el tamaño real del foco o fuente emisora es un dato conocido, no ocurre lo mismo con su tamaño efectivo y en este caso será preciso determinarlo para poder aplicar correctamente la fórmula indicada para el cálculo de la D.F.P. El procedimiento a seguir es el siguiente. Se coloca entre el foco emisor y la película radiográfica una lámina de plomo en la cual se ha practicado un pequeño taladro (FIGURA 5-9). La distancia foco -

película adecuada para este trabajo puede ser de 500 mm y, en estas condiciones, se dispondrá la lámina de plomo a la mitad de esta distancia. Sobre la película aparecerá la imagen del foco y para conocer su tamaño efectivo se medirá la máxima longitud sobre la diagonal de la imagen.

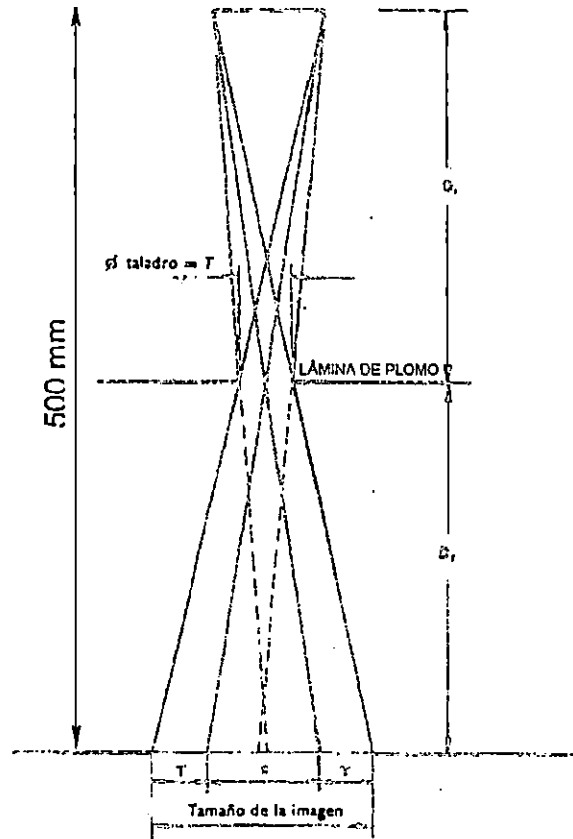


FIGURA 5-9. Determinación del tamaño efectivo del foco.

5.4 FACTORES DE EXPOSICIÓN.

5.4.1 LEY DE LA INVERSA DE LOS CUADRADOS DE LA DISTANCIA. ^[5-5]

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

Este principio, que matemáticamente se puede expresar en la forma siguiente:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{d_2^2}{d_1^2} \quad (5-6)$$

queda representado gráficamente en la FIGURA 5-10:

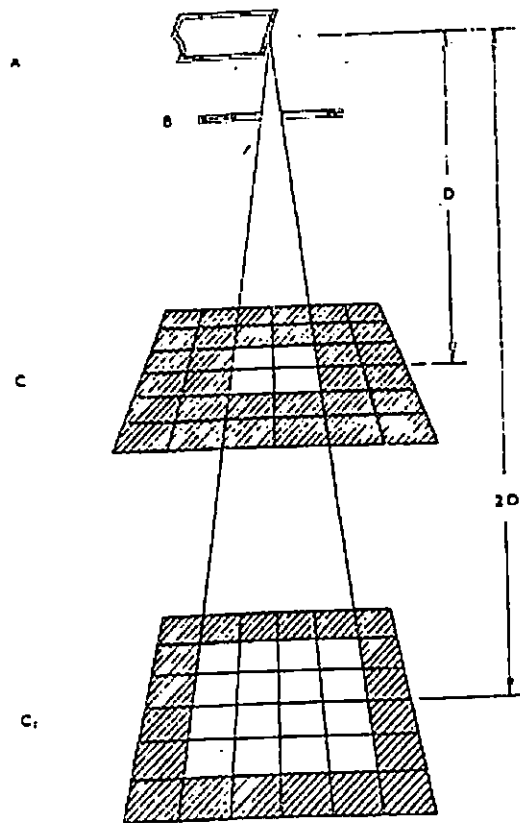


FIGURA 5-10. Representación esquemática de la ley de la inversa del cuadrado de la distancia.

5.4.2 ABSORCIÓN DE LA RADIACIÓN

El mecanismo de la transmisión y absorción^[5-6] de la radiación por los cuerpos es algo complicado. Esquemáticamente, la absorción de la radiación obedece a la siguiente ley:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu t}, \quad (5-7)$$

en la que:

- I_0 = intensidad de la radiación incidente;
- I = intensidad de la radiación emergente;
- t = espesor del material absorbente;
- m = coeficiente de absorción lineal;
- e = base de logaritmos neperianos.

Se puede admitir que, cuando la radiación atraviesa un cuerpo (FIGURA 5-11), las dos formas básicas de radiación que emergen son: radiación primaria transmitida no modificada y radiación secundaria modificada. La radiación primaria es la que ha seguido una trayectoria rectilínea desde la fuente emisora a través del material que se va a inspeccionar, sin que se hayan producido en ella fenómenos de absorción o desviación. Este es el componente de radiación útil registrado y medido en la inspección radiográfica.

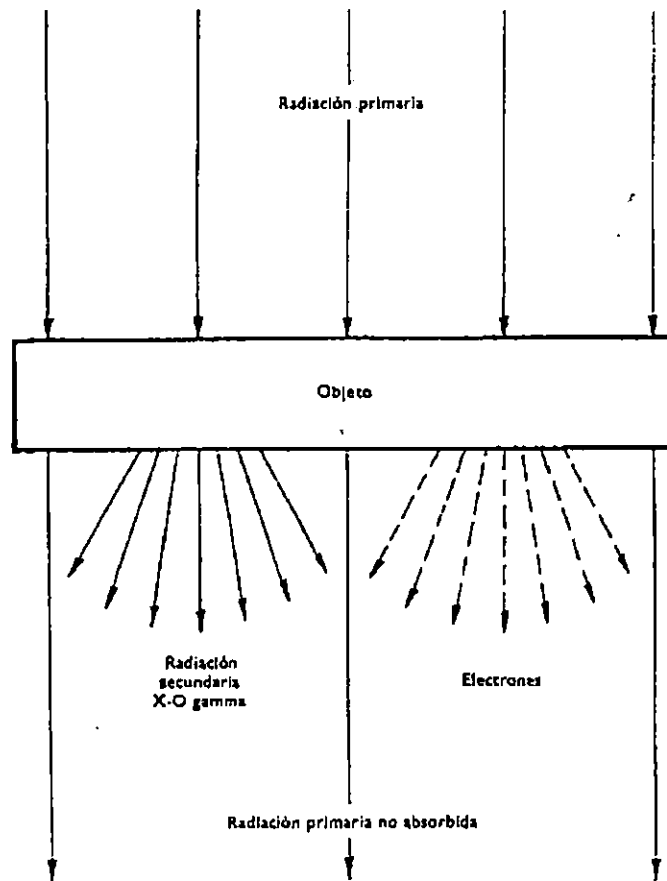


FIGURA 5-11. Transformación de la radiación incidente al atravesar un material absorbente.

La radiación que ha sufrido alteración o cambio por el mecanismo de absorción o difracción se denomina radiación secundaria o modificada. La absorción o difracción se denomina radiación secundaria o modificada. La longitud de onda de esta radiación varía entre amplios límites y, aunque gran parte de ella es sumamente blanda y carece de poder de penetración, una parte apreciable emerge del objeto examinado, dando lugar a efectos no deseados. Estos efectos no deseados causados por la radiación secundaria se ven reducidos a medida que el valor de la actividad de la fuente aumenta.

Una parte de la radiación que atraviesa un cuerpo, especialmente la radiación secundaria, es difundida en todos los sentidos por los átomos que constituyen el objeto radiografiado. Esta radiación, cuya intensidad crece al aumentar el espesor del objeto, produce sobre la película radiográfica un velo uniforme que reduce al contraste y resta definición a la imagen radiográfica.

En relación con la formación de esta radiación difusa, es preciso hacer constar que todos los cuerpos (soportes, suelo, muros, etc.) situados en las proximidades del objeto que se radiografía, y a los que puede llegar la radiación (FIGURA 5-12), la reflejan parcialmente bajo forma de radiación difusa, cuya acción puede llegar a ser de importancia en relación con la radiación transmitida por el objeto sometido a examen.

La radiación difusa puede ser interceptada por un filtro metálico, antes de que ésta incida sobre la película radiográfica, mientras que la radiación que provenga de los cuerpos situados detrás de la película puede ser absorbida por una lámina de plomo (FIGURA 5-13).

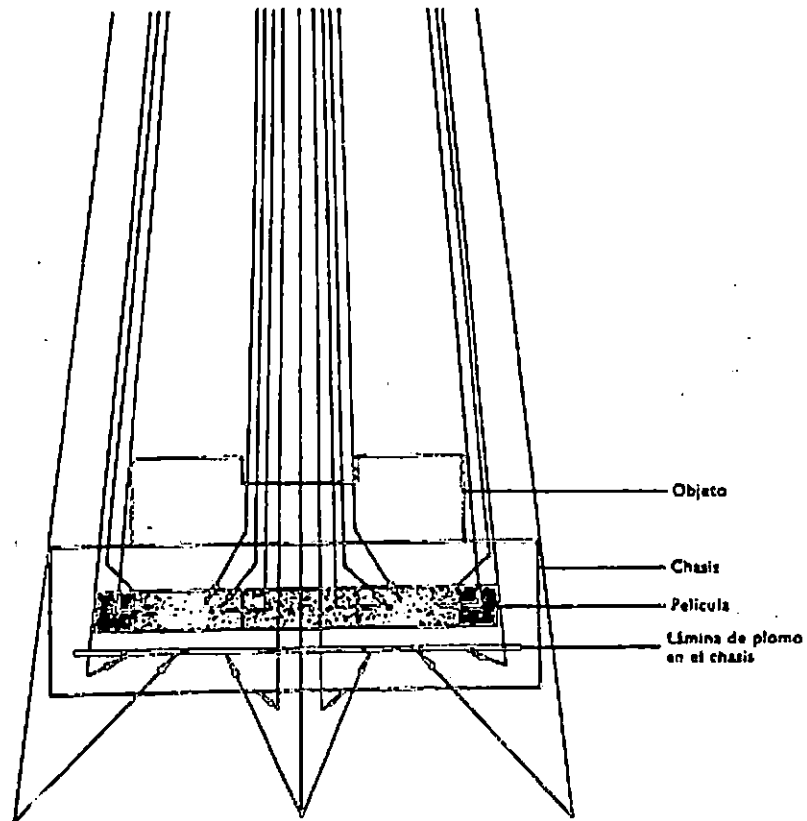


FIGURA 5-12. Formación de la radiación difusa.

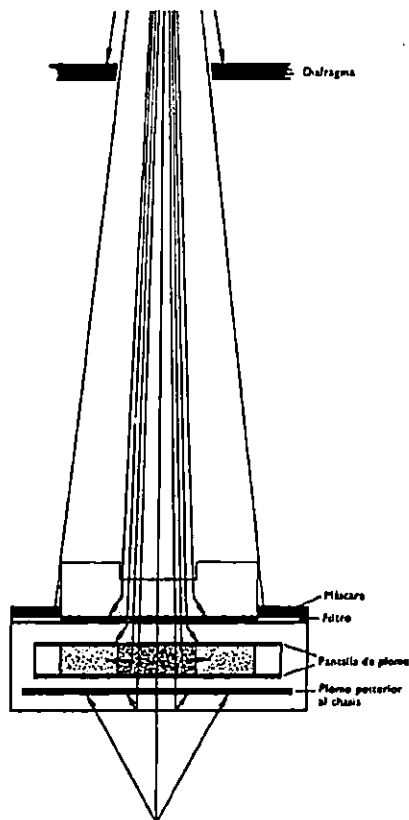


FIGURA 5-13. Eliminación de la radiación.

5.4.3 PANTALLA REFORZADORAS

El velo producido por la acción de la radiación difusa sobre la película puede ser considerablemente disminuido por el empleo de diagramas o colimadores y pantallas protectoras, pero sobre todo, con la utilización de pantallas reforzadoras de plomo.^[5-7]

Estas pantallas están constituidas por una lámina de plomo adherida a un soporte delgado que suele ser papel o cartón. Generalmente, se utilizan dos pantallas, una anterior y otra posterior, entre las que se coloca la película radiográfica. El espesor de la lámina de plomo de la pantalla anterior debe ser el adecuado a la calidad de la radiación que se emplee, de forma que permita el paso de la radiación primaria y detenga, tanto como sea posible, la radiación secundaria de mayor longitud de onda y menor poder de penetración. La pantalla anterior suele tener un espesor comprendido entre 0.02 y 0.1 mm.

La superficie de estas pantallas debe estar completamente pulida para conseguir un contacto íntimo con la película. Cualquier imperfección en la pantalla se verá reflejada en la imagen radiográfica.

El funcionamiento de la pantalla consiste en que el plomo al ser irradiado emite una radiación (electrones) la cual se suma a la radiación principal, dando lugar a la disminución del tiempo de exposición.

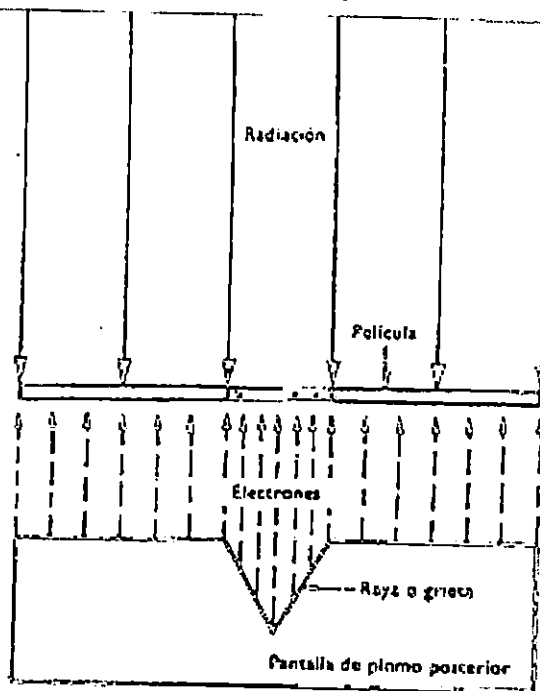


FIGURA 5-14. Efecto de una raya o grieta sobre la emisión de electrones en una pantalla.

Dado que la emisión de electrones por unidad de superficie es uniforme, al aumentar la superficie aumentará la emisión de electrones, y esto es lo que pasa cuando la pantalla posee algún arañazo y debido a que en esta zona habrá una mayor emisión de electrones esta imperfección se verá reflejada en la radiografía. Por otra parte si la pantalla posee suciedad, manchas o grasa debido a que los electrones poseen poca penetración pueden no llegar a atravesar la pantalla dando lugar a zonas claras en la radiografía (FIGURA 5-14).

De lo expuesto anteriormente se puede decir que las pantallas reforzadas de plomo se utilizan con

dos fines: reducir el tiempo de exposición y mejorar el detalle de la imagen radiografiada.

5.5 ARITMÉTICA DE LA EXPOSICIÓN

En el cálculo de las exposiciones de las radiografías intervienen tres aspectos inseparables los cuales son la Intensidad de la fuente de radiación, el tiempo que dura la exposición y la distancia a la cual se coloca la película respecto de la fuente, por lo tanto la relación entre estos aspectos y su control respectivo será necesario para la obtención de una buena exposición ^{[5-8], [5-9]}.

- Relación Intensidad-Tiempo

La intensidad de radiación requerida para una cierta exposición, es inversamente proporcional al tiempo de exposición.

Si se está utilizando una fuente Gamma la intensidad estará dada por la actividad en ese momento, quedando esta relación expresada por

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{T_2}{T_1} \quad (5-8)$$

donde

T_1 : Tiempo de exposición necesario al usar una fuente de actividad A_1 .

T_2 : Tiempo de exposición necesario al usar una fuente de actividad A_2 .

- Relación Intensidad-Distancia

La intensidad requerida para una cierta exposición es directamente proporcional al cuadrado de la distancia Foco-Película quedando expresada esta relación por

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{D_1^2}{D_2^2} \quad (5-9)$$

donde

D_1 : distancia Fuente-Película para una actividad A_1 .

D_2 : distancia Fuente-Película para una actividad A_2 .

- Relación Tiempo-Distancia.

El tiempo de exposición requerido para una cierta radiografía, es directamente proporcional al cuadrado de la distancia, quedando expresada esta relación como

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{D_1^2}{D_2^2} \quad (5-10)$$

5.6 CALCULO DEL TIEMPO DE EXPOSICIÓN. ^[5-10]

El grado de ennegrecimiento de la película (densidad fotográfica) dependerá de la cantidad de radiación recibida por dicha película y, en consecuencia del tiempo de exposición.

Un tiempo de exposición corto dará lugar a densidades bajas generando poco contraste; al contrario tiempos demasiado prolongados darán densidades elevadas pudiendo presentarse dificultades para su observación si no se cuenta con el debido negatoscopio.

Como regla general se ha establecido que el valor de la densidad no debe ser menor a 1.5, y que siempre se debe de trabajar en el rango de 2.0 a 3.0, pudiendo ser esta mayor si se cuenta con el negatoscopio con potencia de iluminación suficiente.

Para llegar a establecer formulas o gráficas que permitan el calculo de la exposición radiografía, se hace necesario establecer la relación entre la densidad fotográfica (D) y el tiempo de exposición (T).

Esta relación queda prácticamente señalado en las curvas características de las radiografías donde se relaciona la densidad con el valor de la exposición E , que es directamente proporcional a la cantidad de radiación recibida por la película. La cantidad de radiación es a su vez función de la distancia foco o fuente-película, del tiempo de exposición y de la intensidad de radiación I .

Esta relación en forma de ecuación queda expresada como:

$$E = \frac{I \cdot T}{F^2} \quad (5-11)$$

Si durante el trayecto de la radiación se interpone un material absorbente, entonces de acuerdo a la ley exponencial que rige la absorción de la radiación por la materia la exposición quedara expresada como:

$$E = E_o e^{-\mu \cdot t} \quad (5-12)$$

donde:

- E : Valor de la exposición con interposición de material absorbente;
- E_o : Valor de la exposición sin interposición de material absorbente;
- m : Coeficiente de absorción;
- t : espesor del material absorbente.

En consecuencia, el valor del tiempo de exposición se podrá determinar con facilidad si se conoce:

- La curva característica de la película;
- La curva de absorción del material que se va examinar;
- Los factores que definen la exposición, o sea la intensidad de radiación (I) y la distancia fuente-película (F).

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

$$T = T_o e^{-\mu \cdot t} \frac{F^2}{I} \quad (5-13)$$

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

Esta última expresión puede ser transformada en forma de hacer intervenir directamente la densidad D .

Estudios teóricos sobre el ennegrecimiento de las emulsiones radiográficas, han demostrado que la densidad óptica D de una película revelada en condiciones bien definidas está relacionada con el tiempo de exposición por la expresión:

$$T^a = A \cdot \frac{F^2}{I} \cdot D^\delta \cdot 2^{\frac{t}{t_0}} \quad (5-14)$$

en la cual:

- T : tiempo de exposición;
- F : distancia fuente película;
- I : intensidad de la radiación;
- t : espesor del material radiografiado;
- t_0 : espesor o capa de semiabsorción del material radiografiado.

Siendo el exponente a igual a 1 tanto para la exposición por rayos X o gamma, siempre y cuando no se utilicen pantallas fluorescentes.

Los valores de A y d , son característicos de la película y de la radiación utilizada.

Si nos limitamos a la radiación Gamma y a películas con pantallas reforzadoras de plomo entonces el valor de I será de 1, simplificándose la expresión anterior a la forma

$$T = K \cdot F^2 \cdot D^\delta \cdot 2^{\frac{t}{t_0}} \quad (5-15)$$

o de otra forma

$$\log \frac{T}{F^2} = \log K + \delta \cdot \log D + \frac{\log 2}{t_0} \cdot t \quad (5-16)$$

la cual nos permitirá encontrar los valores de A , d y t_0 para una película determinada y llegar al establecimiento de un tiempo de exposición para una radiación dada.

Con objeto de aumentar la precisión y obtener sobre una misma película una amplia serie de densidades crecientes, se prepara una placa de material a radiografiar (p. ej. Acero), en la que se tallan una serie de escalones con espesores que aumentarán en progresión aritmética pudiendo presentar hasta 40 escalones con un espesor mínimo de 5 mm y un máximo de 50 mm.

Obteniéndose así sobre una misma película para un determinado valor de T/F^2 una serie de densidades cuya progresión será casi aritmética entre 0.5 y 3.0 aproximadamente.

Pudiendo de esta manera llegar a conocer los valores de T , F , t y D ; en los cuales solo se pueden

presentar errores de medida en la determinación fotométrica de las densidades pero que permitirán el planteamiento de las ecuaciones que contengan las incógnitas K , d y $1/t_0$.

Debido a que la solución de estas ecuaciones no es nada fácil siempre se recurre a la solución gráfica siendo mas rápido y con la suficiente precisión requerida.

Para la resolución gráfica se opera de la siguiente manera. Con los valores encontrados y sobre un papel doble logarítmico, se trazara un haz de líneas $t = \text{constante}$., colocando en las ordenadas los valores de T/F^2 y en, abscisas , densidades D (FIGURA 5-15). En este gráfico, y en virtud de la relación (5-16), las líneas del haz son rectas paralelas, cuya pendiente, común a todas ellas, será igual a d , con lo cual será suficiente medir esta pendiente para tener el valor del exponente d , por otra parte y sobre papel semilogarítmico se llevan en ordenadas los valores de T/F^2 y en abscisas los espesores t , con lo cual se obtendrá un haz de rectas para $D = \text{constante}$. (FIGURA 5-16), cuya pendiente de acuerdo a la expresión X, será igual a $\log 2/t_0$ y que permite conocer el valor de t_0 , pues puede ser determinado directamente sobre el gráfico, ya que resulta ser igual a la diferencia de las abscisas correspondientes a los puntos P y Q , sobre una cualquiera de las rectas D , cuyas ordenadas son una doble de la otra .

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

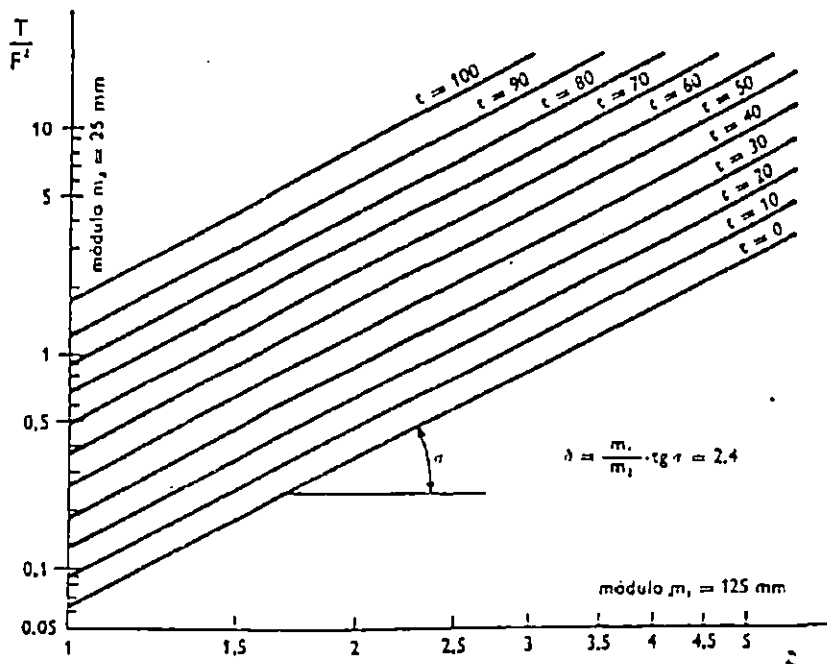


FIGURA 5-15. Determinación gráfica del exponente.

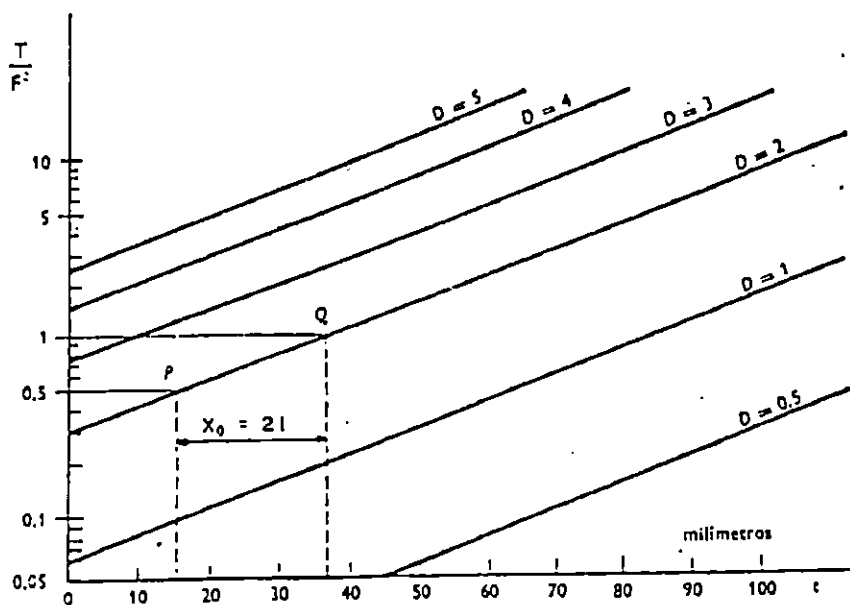


FIGURA 5-16. Determinación gráfica del valor de la capa de semiabsorción.

5.7 TÉCNICA DE LA EXPOSICIÓN.^[5-11]

La disposición relativa de la película y la fuente de radiación en función de la forma, dimensiones de la pieza y accesibilidad de la unión soldada puede corresponder a uno de los siguientes casos.

5.7.1 UNIONES PLANAS.

Este caso no suele presentar ninguna dificultad, ya que, en general, la unión suele ser accesible por ambos lados y, en consecuencia, la disposición de los distintos elementos puede ser la que se indica en la FIGURA 5-17.

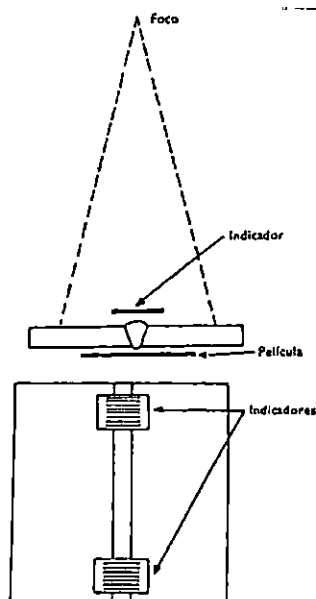


FIGURA 5-17. Disposición de los distintos elementos que intervienen en la obtención de una radiografía.

Las uniones en ángulo pueden ser consideradas como un caso particular de uniones planas y para ellas la posición de la película y la fuente de radiación será la que se da en la FIGURA 5-18, en la que puede apreciarse la necesidad de emplear una cuña metálica con el fin de uniformizar los espesores que han de ser atravesados por la radiación.

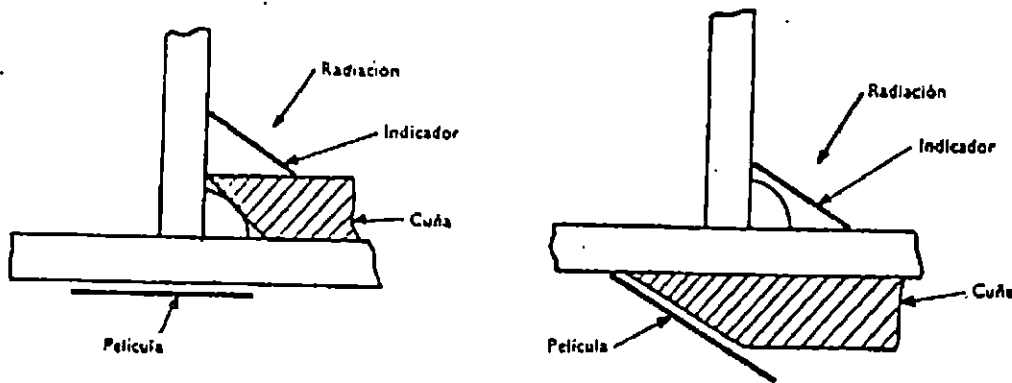


FIGURA 5-18. Posición relativa del foco emisor de radiación y la película para la radiografía de uniones de ángulo.

5.7.2 UNIONES CIRCULARES.

Según sea el diámetro y accesibilidad de la unión, las posibilidades para la obtención de la radiografía serán las siguientes:

- Radiografía de una sola pared

- 1a) Tubo con extremo abierto o con orificio de acceso.

En los tubos con extremo abierto o con orificio de acceso para la fuente y en los recipientes visitables se dispondrá la fuente en el plano de la unión y la película en el exterior, (FIGURA 5-19) de esta forma, será posible radiografiar toda la unión en una sola exposición siempre que la distancia fuente-película se igual o mayor a la mínima requerida por el espesor de la unión.

Cuando el diámetro del cilindro o tubo al que pertenece la unión a inspeccionar lo permita, se podrá colocar la película en el interior y el equipo emisor de radiación en el exterior de forma que el eje del haz de radiación sea normal a la unión, (FIGURA 5-20) en este caso, la longitud de radiografía útil para su interpretación dependerá del diámetro y espesor de la unión y de la distancia foco-película.

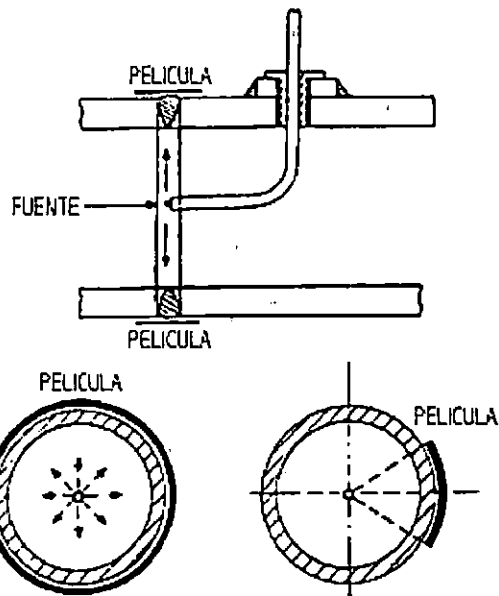


FIGURA 5-19. Exposición panorámica. Tubo con orificio de acceso.

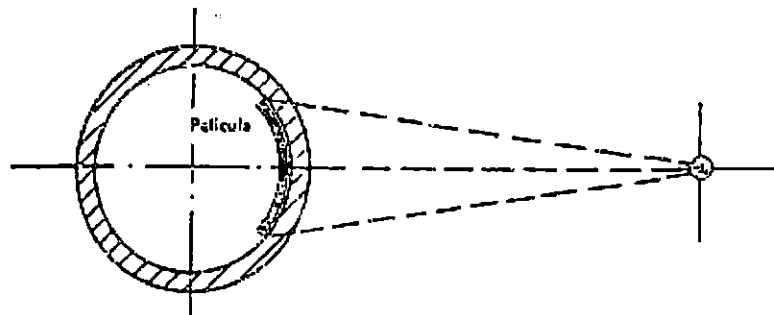


FIGURA 5-20. Radiografía de una sola pared interior accesible.

- 1b) **Tubo sin orificio de acceso.** Si no existe orificio de acceso próximo a la soldadura, la fuente emisora de radiación se colocará en el exterior del tubo, (FIGURA 5-21) de forma que se consiga la distancia fuente – película mínima compatible con las dimensiones de la fuente y el espesor a radiografiar. La película se situará en la superficie opuesta del tubo en contacto con la soldadura.

Según sea la distancia foco – película requerida, la fuente podrá o no ser colocada en contacto con el tubo.

Es este caso, al estar situados la película y el foco emisor en el exterior del tubo, el haz de radiación tiene que atravesar las dos paredes del tubo y, por lo tanto, puede ser considerado como un caso de la radiografía de doble pared, aunque la interpretación se hace sobre la de una sola pared.

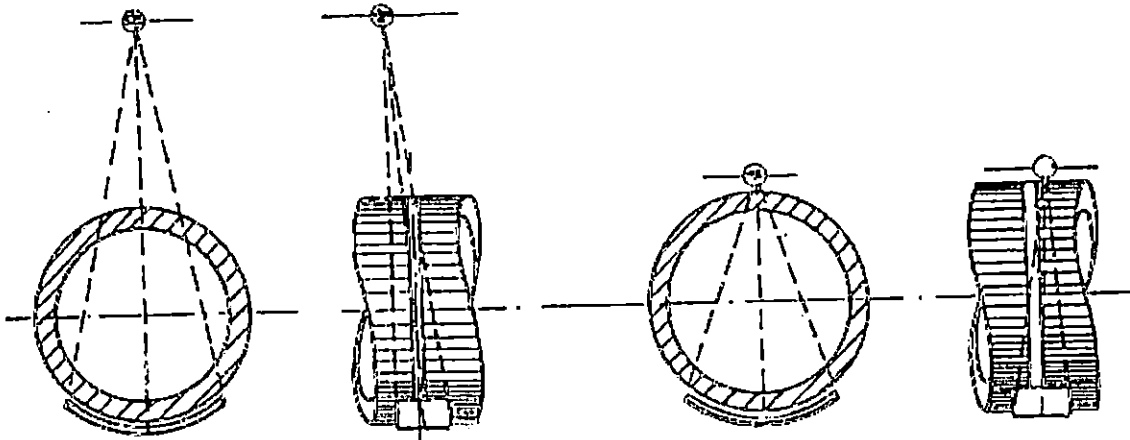


FIGURA 5-21. Radiografía de doble pared. Vista de una sola pared

- Radiografía de doble pared

- 2a) Tubos o piezas de diámetro inferior a 100 mm (4"). Corresponden al caso más representativo de la técnica de doble pared, pues, además de tener que colocar la película y la fuente en el exterior del tubo, la interpretación de la radiografía se hace sobre la imagen de las dos paredes atravesadas por la radiación.

La disposición de la película y la fuente es la que se indica en la (FIGURA 5-22) será preciso hacer un mínimo de dos exposiciones a 90° y la fuente se colocará de forma que el eje del haz de radiación quede inclinado con relación al del tubo y pase por el centro de la circunferencia que contiene la soldadura.

En este caso, para el cálculo de la distancia foco – película se tomará como espesor el diámetro exterior del tubo.

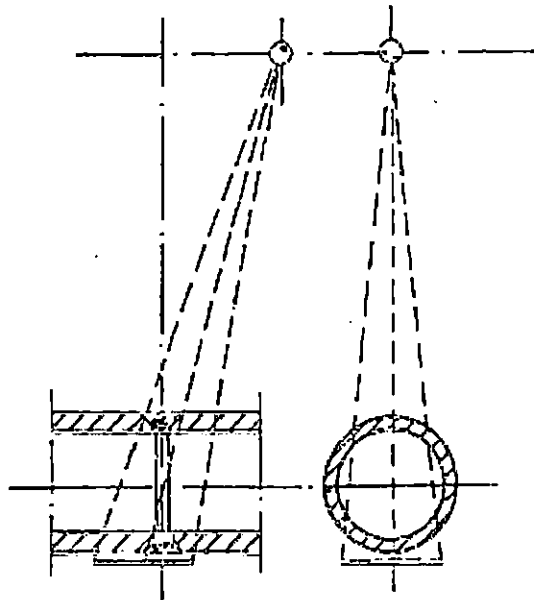


FIGURA 5-22. Radiografía de doble pared. Vista de doble pared.

DIÁMETRO EXTERIOR		ESPESOR DE LA PARED		DFP	FUENTE	Diámetro de la fuente o tamaño efectivo del foco emisor. Valores Máximos
mm	pulg	mm	pulg	mm		
115	4.500	2.0-3.0	0.083-0.120	115	Rayos X-60 kv	3x3 mm
115	4.500	6.0-8.3	0.237-0.337	115	Rayos X-150 kv	3x3 mm
115	4.500	6.0-8.5	0.237-0.337	115	Iridio	Ø 1.8
115	4.500	13.5-17.0	0.531-0.674	115	Iridio	Ø 1.16
140	5.563	6.5-9.5	0.258-0.375	140	Rayos X-150 Kv	2.5x2.5 mm
140	5.563	6.5-9.5	0.258-0.375	140	Iridio	Ø 1.8
140	5.563	16.0-19.0	0.625-0.750	140	Iridio	Ø 1.16
170	6.625	7.0	0.28	170	Rayos X-150 kv	5x5 mm
170	6.625	7.0	0.28	170	Iridio	Ø 1.8
170	6.625	10.9	0.43	170	Iridio	Ø 1.8
170	6.625	18.0-22.0	0.718-0.864	170	Iridio	Ø 1.16
220	8.625	8.0-12.0	0.322-0.500	220	Iridio	Ø 1.8
220	8.625	23.0	0.906	220	Iridio	Ø 1.16
275	10.750	9.0-15.0	0.365-0.593	275	Iridio	Ø 1.8
275	10.750	18.0-25.0	0.718-1.00	275	Iridio	Ø 1.8
275	10.750	28.5-38.0	1.125-1.500	275	Iridio	Ø 1.16
325	12.750	9.5-17.5	0.375-0.687	325	Iridio	Ø 1.8
325	12.750	21.0-25.4	0.843-1.00	325	Iridio	Ø 1.8
325	12.750	28.5-34.0	1.125-1.312	325	Iridio	Ø 1.16
325	12.750	38.0	1.50	325	Iridio	Ø 1.16
360	14.000	11.0-28.0	0.438-1.093	360	Iridio	Ø 1.8
360	14.000	32.0-38.0	1.25-1.50	360	Iridio	Ø 1.16
410	16.000	12.5-31.0	0.50-1.218	410	Iridio	Ø 1.8
410	16.000	36.5-40.5	1.438-1.593	410	Iridio	Ø 1.16
460	18.000	12.5-40.0	0.500-1.562	460	Iridio	Ø 1.8
510	20.000	12.5-25.0	0.500-1.500	510	Iridio	Ø 1.8
610	24.000	12.5-39.0	0.500-1.531	610	Iridio	Ø 1.8

TABLA 5-1. Condiciones para la radiografía a doble pared, con interpretación de una sola fuente en contacto con la superficie.

- 2b) **Tubos o piezas de diámetro superior a 100 mm (4").** Este tipo de tubo se puede radiografiar siguiendo la técnica de doble pared e interpretación de una sola o por exposición e interpretación de pared simple. Sin embargo, en este último caso es, por lo general, necesario que el tubo presente orificio de acceso. En muchos casos, las condiciones de servicio de la tubería y las económicas de su construcción impedirán o limitarán el número de estos orificios, siendo preciso seguir para su inspección la técnica de doble pared con interpretación de un solo espesor.

La radiografía a través de dos paredes presenta ciertas limitaciones motivadas por los espesores que tienen que ser atravesados por la radiación y, en su consecuencia, el peso y manejabilidad de los equipos necesarios. Por tanto, el límite práctico para esta técnica de doble pared e interpretación sobre un solo espesor, se ha fijado en un espesor máximo de 40 mm (1.6 ") y un diámetro exterior máximo de

610 mm (24 ").

Debe entenderse que no hay inconveniente en utilizar esta técnica para espesores y diámetros superiores a los indicados. Sin embargo, la obtención de la radiografía, para que la inspección sea eficaz, requiere el empleo de fuentes de radiación o equipos de rayos X con actividades o potencias para que los tiempos de exposición resulten económicos, que implica la utilización de equipos que no son portátiles, con lo cual la radiografía en obra resulta difícil y cara.

La TABLA 5-1 nos muestra una serie de ejemplos, en los que se puede utilizar esta técnica de la doble pared para la interpretación sobre pared simple.

5.8 REFERENCIAS DEL CAPÍTULO.

- [5-1] RUIZ RUBIO, Alfonso. "*Inspección Radiográfica de las Uniones Soldadas*", URMO, S.A. De Ediciones, Bilbao, España, 1981, pág. 170.
- [5-2] RUIZ RUBIO, Alfonso. "*Inspección Radiográfica de las Uniones Soldadas*", URMO, S.A. De Ediciones, Bilbao, España, 1981, pág. 174.
- [5-3] SIE (Servicio de Ingeniería Electromecánica). "*Radiografía Industrial de las Uniones Soldadas*", Ciudad de Guatemala, Guatemala, 1989, pág. 208
- [5-4] RUIZ RUBIO, Alfonso. "*Inspección Radiográfica de las Uniones Soldadas*", URMO, S.A. De Ediciones, Bilbao, España, 1981, pág. 39.
- [5-5] SIE (Servicio de Ingeniería Electromecánica). "*Radiografía Industrial de las Uniones Soldadas*", Ciudad de Guatemala, Guatemala, 1989, pág. 132.
- [5-6] SIE (Servicio de Ingeniería Electromecánica). "*Radiografía Industrial de las Uniones Soldadas*", Ciudad de Guatemala, Guatemala, 1989, pág. 59.
- [5-7] SIE (Servicio de Ingeniería Electromecánica). "*Radiografía Industrial de las Uniones Soldadas*", Ciudad de Guatemala, Guatemala, 1989, pág. 63
- [5-8] RUIZ RUBIO, Alfonso. "*Inspección Radiográfica de las Uniones Soldadas*", URMO, S.A. De Ediciones, Bilbao, España, 1981, pág. 134.
- [5-9] SIE (Servicio de Ingeniería Electromecánica). "*Radiografía Industrial de las Uniones Soldadas*", Ciudad de Guatemala, Guatemala, 1989, pág. 91.
- [5-10] SIE (Servicio de Ingeniería Electromecánica). "*Radiografía Industrial de las Uniones Soldadas*", Ciudad de Guatemala, Guatemala, 1989, pág. 96.
- [5-11] RUIZ RUBIO, Alfonso. "*Inspección Radiográfica de las Uniones Soldadas*", URMO, S.A. De Ediciones, Bilbao, España, 1981, pág.176.

CAPÍTULO VI

Radiografías de Referencia de Soldaduras en Aceros Estructurales de uso Frecuente en El Salvador

6.0 INTRODUCCIÓN.

La soldadura es la forma más eficaz y la única posible de unir dos o más piezas de metal en forma permanente para hacerlas actuar como una sola.

La soldadura es un concepto de diseño que permite libertad y flexibilidad, que no son posibles en la fabricación de piezas fundidas. Se pueden soldar materiales de diferentes espesores; materiales de diferentes calidades, en una pieza se puede recubrir su superficie con depósitos metálicos especiales para mejorar su resistencia al desgaste o su resistencia a la corrosión.^[6-1]

La soldadura también es un método económico de producción para ser usado en donde exista la necesidad de unir partes en forma permanente. En las industrias con producción en serie es común ver operaciones de soldadura combinadas con el doblado, fresado, conformado, etc. y en donde se consigue obtener productos metálicos de alta calidad y bajo precio.

En el caso de los aceros, que en su mayoría son materiales de fácil soldabilidad ya sea para espesores muy finos o para espesores muy gruesos, se utilizan procedimientos y técnicas especiales de soldadura para aplicaciones específicas y obtener productos de calidad.

Las propiedades físicas y mecánicas, la disponibilidad y su precio ayudan a determinar si un metal puede ser usado en aplicaciones que requieren soldadura. Por lo general los metales con mayor

resistencia se sueldan con mayor frecuencia.

En la FIGURA 6-1, se muestra los principales tipos de metales y aleaciones metálicas, que se producen en la actualidad.

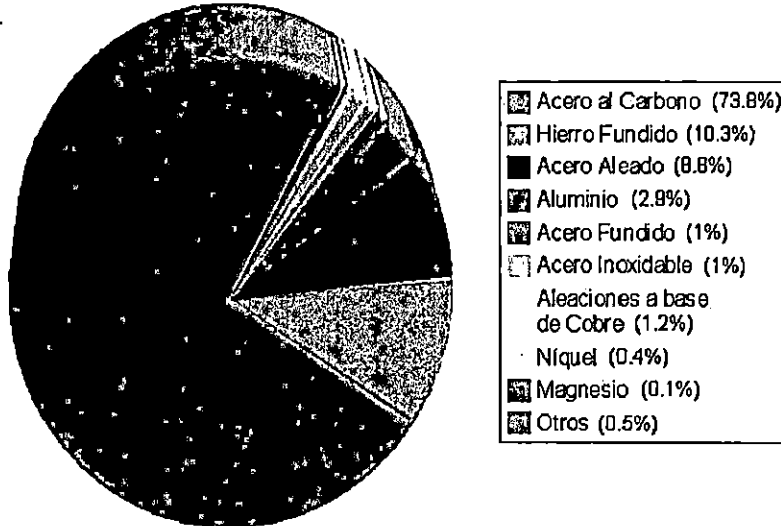


FIGURA 6-1. Producción Mundial de Aceros y Aleaciones Metálicas en la Actualidad.^[6-2]

De la FIGURA 6-1, podemos notar que el acero al carbono es el metal más usado para las mas variadas aplicaciones y sin lugar a dudas entre estas, en los diferentes procesos de soldadura.

Así mismo, los aceros se producen en muchas y diferentes formas, en la FIGURA 6-2 se muestra las formas en que los productos de acero son comercializados.

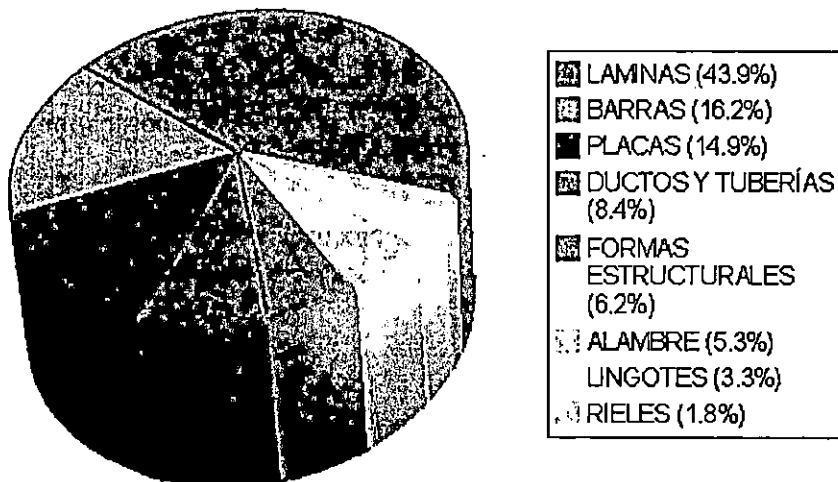


FIGURA 6-2. Producción Mundial de Aceros en diferentes formas.^[6-3]

Al estudiar detalladamente las FIGURAS 6-1 y 6-2, notamos el amplio uso de los diferentes tipos de aceros y su forma estructural como la soldadura se relaciona con ellos, para soldar cada tipo de

acero en sus múltiples formas.

Todos los metales pueden soldarse, pero algunos son más fáciles de soldar que otros, existen también metales difíciles de soldar y para poder realizar esto se requieren ciertas precauciones y procedimientos específicos para producir uniones de calidad.

El mayor desarrollo de la industria de la soldadura ha sido y sigue siendo la producción de materiales para unir metales y aleaciones diferentes. Estos materiales, o metal de aporte como se les denomina comúnmente, forma el cordón de soldadura y proporciona uniones tan resistentes como la del metal que se esta soldando (metal base). El término metales de aporte incluye electrodos, varillas y bobinas de alambres.

Los aceros al carbono y los aceros de alta resistencia de baja aleación son los materiales de combate en los equipos de construcción, transporte y para la industria.^[6-4]

Estos tipos de aceros comprenden mas del 70% de la producción de metales en el mundo..Este grupo de materiales industriales constituyen un campo muy importante.

De este tipo de aceros es muy importante conocer el comportamiento que sufren las diferentes propiedades mecánicas, físicas y químicas de los mismos, para poder utilizarse eficientemente en los diferentes procesos de fabricación y resultar de estos productos aptos para ser utilizados en los fines para los cuales han sido diseñados.

La mayoría de los aceros pueden ser soldados, pero juntas satisfactorias no pueden ser producidas en todos los grados con la misma facilidad. Un metal es considerado que posee una buena soldabilidad si este puede ser soldado sin la necesidad de procedimientos especiales o costos y además cuando la junta soldada resultante posee propiedades superiores o iguales a las del metal base. La soldabilidad del acero varia con el grado, la composición química y las propiedades mecánicas del acero.

Un tipo de propiedades que afectan la soldabilidad del acero y que muchas veces no se toma en cuenta, son las propiedades o características metalúrgicas del mismo, es decir, el tamaño de grano del acero, el tipo de estructura cristalina del mismo, el tipo de fase que estos presentan, etc.

Todas las variables anteriores deben de ser tomadas en cuenta para que al momento de seleccionar y ordenar, los materiales de aporte y material base sean los adecuados para el trabajo de soldadura que hay que efectuar.

Es así que abordando los hechos mencionados anteriormente, así como también otros muchos mas a lo largo del presente capitulo, se estudiará la soldabilidad de los aceros estructurales, haciendo énfasis en el proceso de soldadura de uniones a tope con electrodo revestido, dando suma importancia a la selección y especificaciones de los mismos, las condiciones de operación durante el proceso de soldadura, y otros elementos necesarios para formular los procedimientos de soldadura los cuales se utilizan para obtener una soldadura de determinada calidad. Para finalizar, en el presente capitulo se diseñarán los procedimientos de soldadura necesarios para construir los especímenes de soldadura, cada uno con determinados defectos de soldadura, los cuales serán posteriormente radiografiados para contar con un conjunto de radiografías de referencia, los cuales servirán durante la inspección radiográfica.

6.2 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS.^[6-5]

Muchos métodos utilizados para identificar y clasificar los aceros se basan en la composición química de estos, sus propiedades mecánicas y en el hecho de ser reconocidos como un estándar aceptado como práctica de la industria, o por el hecho de utilizarse para la fabricación de cierto tipo de productos.

6.2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS ACEROS POR LA COMPOSICIÓN QUÍMICA.

Una composición química deseada puede ser obtenida en cualquiera de las tres formas siguientes: no sobrepasando un límite máximo, o en porcentajes en peso de sus elementos aleantes menores que los límites establecidos, o bien como es mas frecuente estableciendo aceros cuyos porcentajes en peso se encuentran dentro de determinados límites.

Para propósitos económicos, y para una alta velocidad de soldadura, las placas de acero deben de poseer una composición química ideal, la cual resulta en una buena soldabilidad del acero, esta se muestra en la TABLA 6-1.

Elemento	Composición Química* (% en peso)	
	Ideal	Alto
Carbono	0.06 a 0.25	0.35
Manganeso	0.35 a 0.80	1.40
Silicio	0.10 o menos	0.30
Sulfuro	0.035 o menos	0.05
Fósforo	0.030 o menos	0.04

* Cantidades iguales o mayores a las consideradas como altas, resultan en una mayor dificultad en la soldadura de los aceros, y por ende mayor atención al momento de realizar dicho proceso de fabricación.^[6-6]

TABLA 6-1. *Composición química deseada para lograr buena soldabilidad de los mismos.*

Si uno de los elementos de aleación en el acero, se encuentran fuera del rangos de la TABLA 6-1, es posible asociar al acero una falta de soldabilidad del mismo, es necesario tal vez aplicar procedimientos especiales de soldadura con un consecuente aumento en los costos de fabricación.

Los aceros al carbono y aceros aleados mas conocidos y aceptados en el mundo son identificados por las clasificaciones realizadas por la AISI, SAE o por la ASTM.

6.2.2 CLASIFICACIÓN POR SU PROPIEDADES FÍSICAS.

Un fabricante de aceros puede alterar dentro de los límites aceptables la composición química de un acero para obtener determinadas propiedades mecánicas, las cuales son verificadas por diversos ensayos mecánicos.

Generalmente los ensayos mecánicos han sido establecidos acorde a especificaciones aprobadas por la SAE o por la ASTM, o de otras organizaciones como la ASME y la API; para evaluar las propiedades mecánicas y metalúrgicas del mismo.

Muchos aceros son producidos por especificaciones de normativas de organizaciones que velan por la seguridad y el bienestar de la población en general expuesta a las aplicaciones en las que sean

utilizado los aceros. El mas grande e importante cuerpo regulatorio de este tipo es la ASTM, otras organizaciones de mucho prestigio son la SAE, la ASME, la AAR, la AWWA. Para el caso de la ASTM sus especificaciones son muy bastas y cubren los requerimientos de muchas industrias y para diferentes tipos de materiales y los procesos a los cuales estos deben ser sometidos. Algunos grupos industriales formulan especificaciones de propiedades mecánicas de acuerdo a necesidades especificas e intereses de las mismas industrias.

6.2.3 CLASIFICACIÓN POR PRODUCTO TERMINADO.

Mucho mas importante que las propiedades mecánicas o la composición química del acero es la capacidad de un acero para utilizarse en la fabricación de un producto especifico terminado.

Procesos de fabricación tales como soldadura o embutido profundo pueden mejorar las propiedades mecánicas del acero, mucho mas de lo que hacen la composición química o el método de fabricación del acero mismo, estos métodos que mejoran las propiedades del acero producen materiales adecuados para productos en particular. Consecuentemente muchos aceros colados, resultan en placas, laminas y platinas y son especificados de acuerdo a determinadas propiedades mecánicas que resultan de estos diferentes procesos de fabricación a los que son sometidos los productos terminado.

Las características para un producto especifico ya terminado le dice al fabricante del acero cuales procesos de fabricación debe utilizar, los requisitos de acabado y las especificaciones de servicio del producto.

Las clasificaciones anteriores corresponden a las mas importantes en las especificaciones de los aceros utilizados hoy en día.

6.2.4 ACEROS ESTRUCTURALES.

Dentro del grupo de los aceros estructurales podemos identificar dos tipos: los aceros Estructurales al Carbono y los aceros de alta resistencia de baja aleación, estos últimos conocidos como aceros HSLA siglas de las palabras en ingles High Strength Low Allow.

6.2.4.1 ACEROS ESTRUCTURALES AL CARBONO.

Las especificaciones de las normativas ASTM^[6-7] de los aceros al carbono de calidad estructural en barras, laminas y platinas son A283, A36, A515 y A516. Estos aceros son utilizados en puentes, edificios, recipientes sometidos a presión y estructuras de uso general.

Especificaciones de otros aceros ASTM tales como el A7, A373, A212 y A201, fueron utilizados para los mismos tipos de aplicaciones de los aceros mencionados anteriormente, pero este tipo de aplicaciones han sido desplazados para los aceros mencionados anteriormente.

El acero ASTM A37, es un acero obsoleto aún cuando se le continua utilizando en Estados Unidos, pero con mayor frecuencia en los países latinoamericanos. Las especificaciones de este acero estipulan un porcentaje máximo de aleación para el acero entre 0.25 a 0.28% de carbono, para varios espesores y el rango del manganeso es de 0.60 a 0.90%. Las especificaciones para el acero A36 son las mismas en

el contenido de carbono, pero el contenido del manganeso es significativamente mayor, este se encuentra en el rango comprendido entre 0.60 a 1.2%.

Ambas especificaciones limitan tanto el contenido de sulfuro y fósforo entre 0.05% y 0.04%, así como también ambos poseen porcentajes de cobre 0.20% o mas. Poseen cobre para mejorar la resistencia a la corrosión. El valor mínimo para la resistencia a la fluencia para el acero A373 es de 32000 psi, y para el acero A36 es de 36000 psi. Estas propiedades mecánicas corresponden a cualquier producto terminado cuyos espesores son hasta de 4 pulgadas, para el caso del acero A373 y hasta mayores de 8 in, para el acero A36. Los aceros A373 y el A36 son fácilmente soldables por procesos manuales automáticos y semiautomáticos, utilizando procedimientos normales de soldadura. En ocasiones es necesario realizar los precalentamientos y temperatura de interfase, esto se discute con mas detalle en el apartado de procedimientos de soldadura^[6-9].

6.2.4.2 ACEROS DE ALTA RESISTENCIA Y BAJA ALEACIÓN.

Valores mejorados en las propiedades mecánicas acompañadas de una excelente resistencia a la corrosión, en comparación con los aceros estructurales al carbono, son tan solo algunas de las características de los aceros de alta resistencia y baja aleación (Aceros HSLA). Estas mejoras en las propiedades mecánicas son logradas gracias a la adición de pequeñas cantidades de elementos de aleación. Algunos de los tipos de aceros HSLA son aceros al carbono manganeso; otros contienen diferentes cantidades en los elementos de aleación gobernadas por mejores propiedades del acero mismo tales como la soldabilidad, la conformabilidad, su tenacidad o bien el costo del acero. La resistencia que poseen los aceros HSLA se encuentra entre la resistencia de los aceros al carbono del tipo estructurales y los aceros de alta resistencia que son templables y revenidos^[6-9].

Los aceros HSLA son utilizados directamente luego de haber sido conformados en frío o en caliente, aunque en algunas ocasiones se requiere de estos algún tipo de tratamiento térmico luego de su fabricación, para mejorar u obtener así, determinadas propiedades mecánicas las cuales no se obtienen durante los procesos de fabricación del acero ni tampoco con la composición química del acero. Por lo general las propiedades mecánicas de los aceros conformados varían de acuerdo al espesor del producto final, es así como se les agrupa en grupos o bien se les clasifica por espesores^[6-10]. Para el grupo de los aceros HSLA, las propiedades mecánicas de los mismos se clasifican por lo general en tres grupos:

- a) Aquellos que poseen una resistencia a la fluencia comprendida entre 42,000 y 70,000 psi.
- b) Mínima Resistencia a la Tensión comprendida entre 60,000 y 85,000 psi.
- c) La Resistencia a la corrosión de estos se clasifica a su vez en: igual a la de los aceros estructurales al carbono, dos veces mejor que la de los aceros estructurales al carbono, o bien cuatro o seis veces mejor que los aceros estructurales al carbono.

Los aceros HSLA se encuentran disponibles en muchas formas comerciales y son utilizados en productos y estructuras que requieren una alta resistencia, aplicaciones típicas de estos materiales en nuestro país se encuentran: partes o elementos mecánicos de rastras cañeras, camiones y trailers, equipos de transporte, maquinaria pesada, estructuras metálicas tales como vallas publicitarias, maquinaria agrícola, así como también maquinaria utilizada en el movimiento de tierras, estructuras de acero de edificios, puentes y otras obras similares.

Algo muy importante es no confundir los aceros HSLA, con los aceros de alta resistencia templeables y revenidos (High Strength quenched tempered alloy Steels). Pues al ser vendidos ambos como aceros de alta resistencia y se les encuentra en productos terminados que poseen las mismas formas, y suelen confundirse. Los aceros templados y revenidos son aceros de alta aleación que son tratados térmicamente para obtener propiedades mecánicas óptimas, estos son generalmente aceros de estructura martensítica, en comparación con los aceros HSLA que son aceros de matriz ferrítica principalmente; estos hechos son las diferencias sustanciales en lo que respecta a la metalurgia y la fabricación de estos dos tipos de aceros. Después de rolar los aceros HSLA, como se decía anteriormente, se encuentran constituidos de una matriz ferrítica por lo que son relativamente suaves y dúctiles; los aceros martensíticos son duros, y constituyentes quebradizos que requieren de un tratamiento térmico para producir de ellos las propiedades de alta resistencia del acero.

Por otro lado, la resistencia de los aceros HSLA es alcanzada por las pequeñas cantidades de elementos de aleación disueltos en la matriz ferrítica. El contenido de carbono rara vez excede 0.28% y este usualmente se encuentra entre 0.15 y 0.22%. El contenido de Manganeso se encuentra en rangos de 0.85% a 1.60%, del contenido de este elemento de aleación y de la presencia de otros depende el grado del acero, elementos tales como cromo, níquel, silicio, fósforo, cobre, vanadio, columbium, nitrógeno, se encuentran frecuentemente en porcentajes menores al 1%. Procesos tales como la soldadura, conformado y las características de maquinado de muchos grados de los aceros HSLA, no difieren mucho de los acero estructurales al carbono.

Para soldar los aceros de alta resistencia, estos deben poseer la suficiente ductilidad para no producirse rajaduras debido a las rápidas velocidades de enfriamiento que se presentan durante el proceso de soldadura. Para soldar los aceros HSLA deben de tener de preferencia bajo carbono y bajo manganeso, y determinados elementos que le proporcionen una buena penetración de la dureza, y que la formación de martensita tenga lugar debido a la tasa de enfriamiento. Una resistencia superior es proporcionada por una solución de los elementos de aleación en la ferrita de los aceros rolados. La resistencia a la corrosión en los aceros HSLA, también es incrementada debido a la presencia de determinados elementos de aleación.

La adición de cobre en cantidades de 0.20% usualmente producen aceros con el doble de la resistencia a la corrosión durante una exposición a condiciones ambientales normales. Aceros que poseen una resistencia a la corrosión cuatro o seis veces la resistencia a la corrosión de los aceros estructurales al carbono, son obtenidos de varias formas, pero comúnmente se obtienen con adiciones de níquel y/o cromo, frecuentemente acompañadas de mas de 0.10% de fósforo. Estos elementos de aleación son utilizados en adición con el cobre.

Las especificaciones de las normativas o recomendaciones practicas cubren la mayoría de los tipos de aceros HSLA y dichas especificaciones son emitidas por instituciones tales como la ASTM, SAE, ASME y el Departamento de Defensa de los Estados Unidos^[6-11].

Otros organismos de normalización tales como el AISC, AAR, y el departamento de Transporte de los Estados Unidos han establecido especificaciones o practicas para el uso de los aceros HSLA en ciertas industrias y ciertas aplicaciones dentro de la unión americana.

Las especificaciones de los aceros según la ASTM^[6-12] están orientadas principalmente a las propiedades mecánicas que estos deben de poseer luego de un proceso de laminación; por otro lado las especificaciones y practicas según la SAE incluyen además mas información referente a otras

propiedades mecánicas que resultan de los procesos de fabricación, entre algunas de estas se encuentran la tenacidad, soldabilidad y conformabilidad. En el Anexo 6-1 se aprecian especificaciones de los principales tipos de aceros estructurales de la ASTM^[6-13], aprobados por la ASIC.^[6-14]

6.3 DISEÑO DE UNIONES O JUNTAS EN SOLDADURA.

6.3.1 GENERALIDADES.

Una vez estudiados los principales tipos de aceros estructurales que existen, es necesario conocer en detalle el tipo de unión, así como el tipo y la preparación adecuada de la juntas de las piezas al momento de ser soldados, esto se constituye en un factor muy importante que mantiene o desmejora la resistencia de los aceros en el punto donde se efectúe la soldadura^[6-15]

Como uniones de soldadura se identifica a las manera como se colocan las piezas o elementos mecánicos que serán soldados, es decir, uno perpendicular respecto del otro, o bien ambos en posición horizontal y paralelos uno del otro, etc.

Los cinco tipos básicos de uniones utilizadas en soldadura son la unión a tope, uniones a solape, uniones en ángulo interior (rincón), uniones en ángulo exterior (esquina) y uniones sobre cantos, (ver FIGURA. 6-3). Cada una tiene ventajas y limitaciones, y el soldador debe conocer unas y otras, puesto que, en muchos casos, la efectividad de la soldadura depende tanto del tipo de unión como de la habilidad para depositar un cordón de calidad.

Como junta de soldadura, se entiende la forma geométrica que poseen los bordes de unión de soldadura.

Para el diseño de la junta hay que tener en cuenta numerosos factores^[6-16], entre los que podemos destacar los siguientes: costo de preparación, facilidad de acceso, adaptabilidad al producto que se trata de fabricar y tipo de cargas que debe soportar la soldadura.

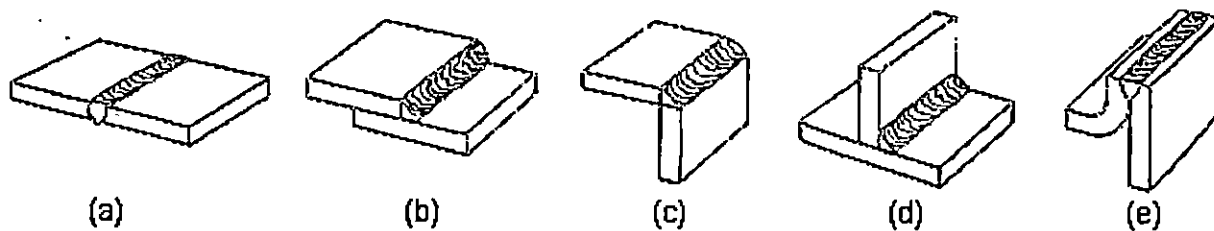


FIGURA 6-3. *Diferentes tipos de uniones*

(a) Unión a Tope; (b) Unión de Solapa o Traslape; (c) Unión de Canto; (d) Unión en T; (e) Unión de Bordes

6.3.2 TIPOS DE SOLDADURAS.

Sobre las distintas uniones^[6-17] se pueden realizar los siguientes tipos de soldaduras: soldadura de recargue, soldadura mediante cordones en ángulo, soldadura a tope, soldaduras en entalla y soldaduras de tapón. (FIGURA. 6-4).

La soldadura de recarque, también conocida como soldadura de calzar, o simplemente como calzado, consiste en depositar una o más capas de material de aportación, mediante cordones o pasadas, sobre una superficie continua, con vistas a conseguir unas dimensiones o características superficiales determinadas.

La soldadura mediante cordones en ángulo es la que se emplea para conseguir uniones a solape, en ángulo interior y en ángulo exterior. El cordón presenta una sección aproximadamente triangular y se deposita entre dos superficies formando ángulo recto.

La soldadura a tope es la que se deposita en el espacio que queda entre las piezas a soldar, que están dispuestas una en prolongación de la otra. Según la preparación de los bordes se pueden distinguir las siguientes soldaduras a tope: con bordes rectos, con bordes en V, bordes en X, en doble U, en J, en doble J, etc.

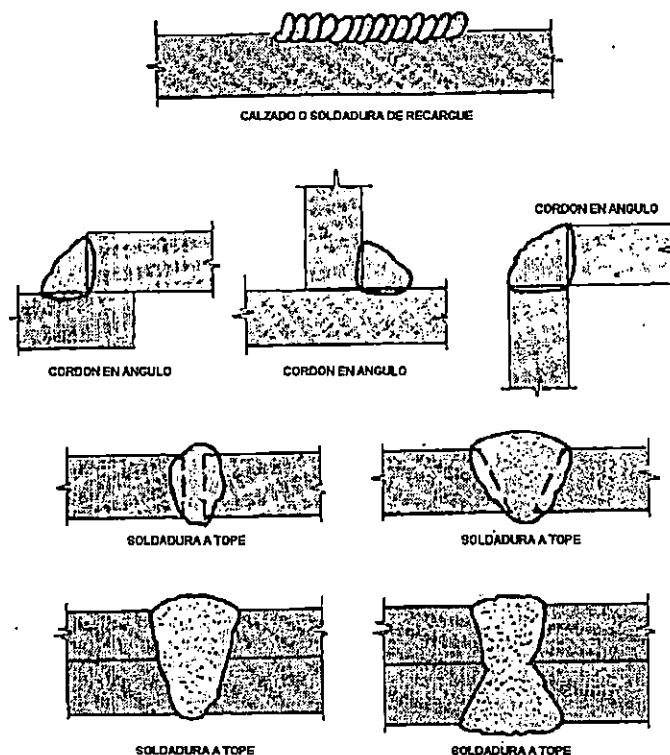


FIGURA 6-4. *Diferentes tipos de soldaduras.*

Las soldaduras de entalla o de tapón se emplean para enlazar piezas solapadas mediante el depósito de cordones en el interior de ranuras o agujeros realizados sobre una de las piezas. Tanto por su disposición como por su comportamiento, son muy parecidas a los remaches.

6.3.3 SELECCIÓN DEL TIPO DE JUNTA.

En la selección del tipo de junta más adecuada para cada trabajo, hay que tener en cuenta numerosos factores.^[6-18] Aunque el responsable directo en la determinación de la unión a realizar es el proyectista o el Ingeniero, si el soldador conoce algo acerca del diseño de uniones siempre producirá soldaduras que responderán mejor a las especificaciones establecida para cada trabajo. En general, se pueden citar cinco consideraciones básicas para la selección de cualquier junta soldada:

- Tener en cuenta si los esfuerzos son los esfuerzos de tracción, compresión, flexión, cargas combinadas en relación a la junta.
- Espesor de las piezas.
- Costo de preparación de la junta.

Con los factores mencionados con anterioridad y la información mostrada en el Apartado 6.3.2, los cuales mejor se adecuan a las condiciones de la carga existentes y al resto de variables de soldadura, se puede realizar la mejor selección de la junta que debe soldarse.

6.3.4 UNIONES A TOPE.

El estudiar cada uno de los diferentes tipos de uniones de soldadura es una tarea muy extensa y un hecho como este se encuentra fuera de los propósitos del presente trabajo de graduación, pero si lo constituye el estudio de los diferentes tipos de uniones a tope, porque en ellas se centrara los estudios en el control de calidad de las mismas, esto es lo que se detalla en los apartados siguientes.






Tipo de Unión	Esquema	Descripción
Uniones a tope con bordes rectos.		Este tipo de preparación se emplea para espesores de hasta 4 mm. Para conseguir una resistencia óptima es necesario fundir los bordes completamente, para lo cual debe dejarse una separación adecuada. Por el procedimiento de arco sumergido, se pueden soldar con esta preparación espesores hasta de unos 10 mm, con una separación de unos 3 mm. Este tipo de junta es razonablemente resistente a esfuerzos estáticos, pero no es recomendable para casos sometidos a fatiga o a cargas de impacto, especialmente a bajas temperaturas. Las preparaciones de la junta es relativamente fácil, pues sólo requiere igualar los bordes de las piezas. Consecuentemente, el costo de preparación es bajo.
Uniones a tope con borde en V.		Esta preparación se emplea para espesores superiores a unos 8 mm. Sin embargo, no es recomendable para espesores superiores a 20 mm. Es más costosa que la preparación con bordes rectos debido a que exige el achafianado de las piezas y además, precisa una mayor cantidad de material de aportación. Presenta buena resistencia a cargas estáticas, pero no es particularmente adecuada para soportar esfuerzos de flexión que produzcan tracciones en el cordón de raíz.
Unión a tope con bordes en X.		Es la que presenta el mejor comportamiento ante todo tipo de cargas. Se suele recomendar para espesores superiores a unos 18 ó 20 mm. Para conseguir una buena penetración debe ser completa desde ambos lados. El costo de preparación es mayor que en las uniones en V, pero esto se puede compensar por el ahorro que presenta en material de aportación. Para mantener la simetría de la junta y reducir al mínimo la deformación, los cordones deben depositarse alternativamente, a un lado y otro de la junta.
Unión a tope con bordes en U		Este tipo de juntas responden correctamente a todas las condiciones ordinarias de carga, por lo que se suelen utilizar para trabajos que requieran una gran cantidad. Su campo de aplicación más adecuado se encuentra entre 13 y 20 mm de espesor, aunque exige una preparación más costosa que las anteriores, requiere menos material de aportación y origina menos deformaciones.
Unión a tope con bordes en doble U		Es recomendable para espesores superiores a 20 mm y siempre que la soldadura pueda realizarse fácilmente desde ambos lados de la pieza. Es la preparación que presenta un mejor comportamiento ante cualquier condición de carga. Por el contrario, es la que exige unos costos de preparación más elevados.

TABLA 6-2. Características y Propiedades Mecánicas de los diferentes tipos de uniones a tope.

En las uniones a tope la soldadura se realiza entre los bordes de las piezas a enlazar (véase TABLA 6-2) la preparación de los bordes se hará de acuerdo con el espesor de las piezas a soldar. Los

principales tipos de uniones a tope que existen son las siguientes:

- Uniones a tope con bordes rectos.
- Uniones a tope con borde en V.
- Unión a tope con bordes en X.
- Unión a tope con bordes en U.
- Unión a tope con bordes en doble U.

Las características, ventajas y desventajas de cada uno de estos tipos de uniones se aprecian de manera breve en la TABLA 6-2.

En la tabla anterior, la preparación de la junta y las dimensiones del talón, han sido mostradas acorde a determinados espesores de placa. Es importante mencionar que esta relación es dada como sugerencia de la AWS^[6-19], y pueda que resulten un poco grandes para determinados espesores de placas, en definitiva la información presentada pretende servir como referencia para las fines que el trabajo a realizar demande.

6.3.5 COMO REALIZAR UNA UNIÓN A TOPE.

Las uniones a tope se emplean con mucha frecuencia en la soldadura de chapas, como por ejemplo, en tanques, calderas y en gran variedad de elementos de máquinas y estructuras^[6-20]

Como se muestra en la FIGURA 6-5, las uniones a tope pueden realizarse con bordes rectos sin separación, con bordes rectos y una cierta separación, o con bordes achaflanados.

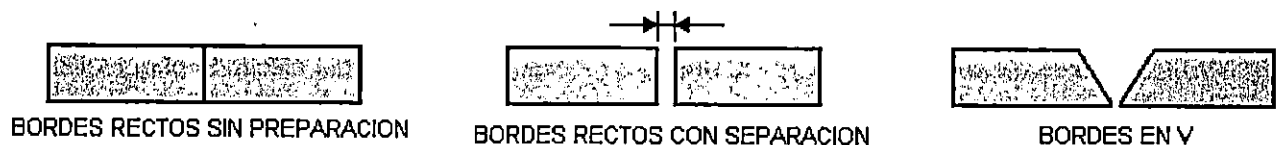


FIGURA 6-5 Algunas Preparaciones de las Juntas de las Uniones a Tope.

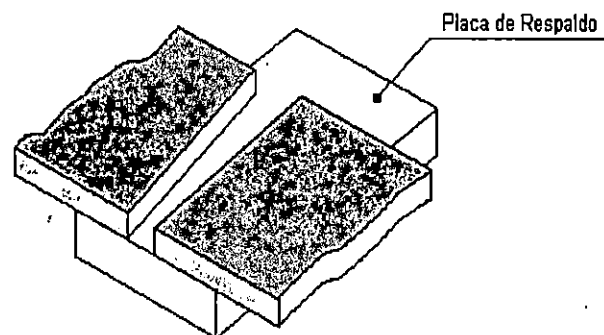


FIGURA 6-6. En las uniones a tope con bordes rectos y con separación, es recomendable utilizar una placa soporte por el reverso.

Para la unión a tope con bordes rectos sin separación, los extremos de las chapas, cortados a escuadra, se disponen en contacto directo sin dejar ninguna abertura. En chapas de acero, este tipo de junta sólo es aplicable *hasta unos 3 ó 4 mm de espesor*, como máximo. Aunque trabajando con mayores diámetros de electrodos y fuertes intensidades de corriente, se puede ampliar este límite, hay que tener siempre presente que a medida que aumenta el espesor resulta mas difícil el conseguir una penetración completa en una sola pasada.

En el segundo tipo de preparación, los bordes también van rectos, pero las chapas se disponen con una separación de 2 ó 3 mm. En este caso es recomendable disponer por el reverso una placa soporte de acero o cobre, como se indica en la FIGURA 6-6, para evitar los desfondamientos del baño.

Cuando el espesor de las piezas rebasa los límites mencionados para las preparaciones anteriores, es necesario achaflanar los bordes. El achaflanado de los bordes puede realizarse mediante oxicorte, por mecanizado en distintas máquinas – herramientas o por esmerilado. Con vistas a reducir el material de aportación y las deformaciones que se presentan durante el enfriamiento, el ángulo total de la V no debe exceder los 60°. Según sea el espesor de las piezas, la preparación admite distintas variantes, como puede verse en la FIGURA 6-7. Hay que destacar que a medida que aumenta el espesor, se recomienda achaflanar los bordes desde ambos lados. Con esta preparación en X, se asegura mejor la penetración completa, se requiere menos metal de aportación y disminuye las deformaciones.

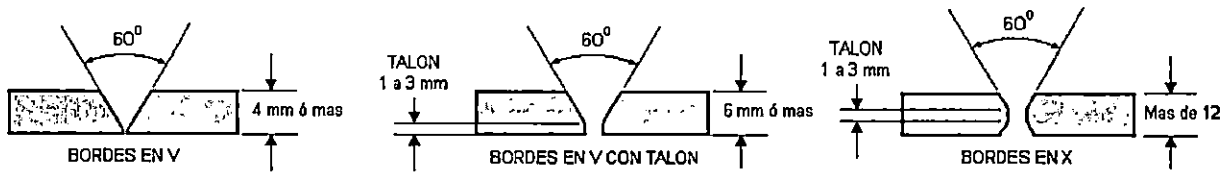


FIGURA 6-7. Diversas preparaciones de Junta con bordes achaflanados.

Procedimiento de soldadura. En la FIGURA 6-8 se indica la posición del electrodo para realizar uniones a tope. El electrodo se mantiene en el plano medio de la junta, sin inclinación lateral, y con un ángulo de inclinación longitudinal de unos 15°. No obstante, cuando se trate de realizar la soldadura de dos piezas de espesor diferentes, debe corregirse la posición del electrodo de forma que la mayor concentración de calor se produzca sobre la pieza más gruesa.

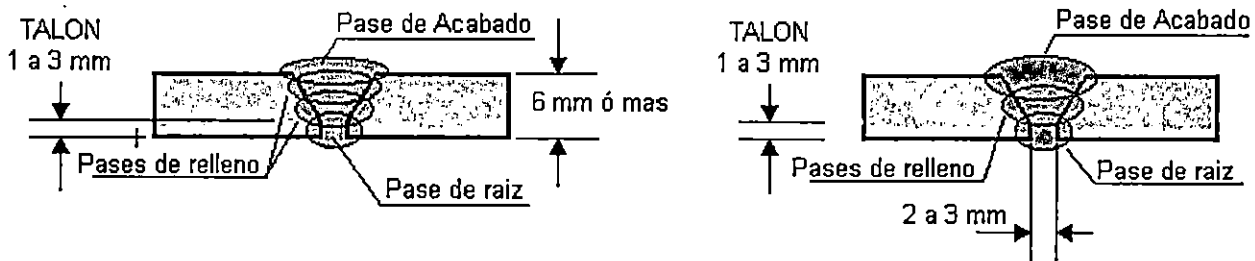


FIGURA 6-8. Ejemplos de Secuencias de Pases de Soldadura en uniones a tope con bordes en V.

En la soldadura de espesores finos, en una sola pasada el electrodo se desplaza a lo largo de la junta sin algún balanceo lateral. La velocidad de avance debe ser tal que permita una fusión completa de

los bordes sin que lleguen a producirse perforaciones de las chapas.

En las uniones en V, para depositar el cordón de penetración, debe llevarse el electrodo muy cerca del fondo de la junta, de forma que casi toque los bordes de ambas piezas. La velocidad de avance y la posición del electrodo deben ser tales que la escoria vaya quedando hacia atrás, sobre la soldadura ya depositada. Si la velocidad de desplazamiento del electrodo no es suficiente, la escoria puede pararse delante del baño quedando aprisionada en la parte inferior de la junta y dificultando la fusión correcta de los bordes.

Una vez depositado el cordón de penetración, se completará la soldadura a base de una o más pasadas de relleno, seguidas de la pasada de remate o acabado (ver FIGURA. 6-8). Recordar que siempre debe eliminarse perfectamente la escoria después de cada pasada. Cualquier partícula de escoria que quede aprisionada en la soldadura disminuye la resistencia de la misma.

6.3.6 ASPECTOS IMPORTANTES DE LA GEOMETRÍA DE LA JUNTA.

La geometría de la junta se basa en los siguientes principios.

- La preparación debe ser uniforme a lo largo de toda la junta.* En las uniones a solape y en la mayor parte de uniones en ángulo, las piezas deben acoplarse firmemente, sin separación, en toda su longitud. En las uniones a tope, debe vigilarse la uniformidad de chaflanes y separaciones. Cualquier falta de uniformidad en la preparación obligará al soldador a disminuir la velocidad de soldeo y a modificar la técnica operatoria para adaptarse a la distinta preparación.
- Para conseguir un cordón de forma correcta y con la penetración adecuada es fundamental trabajar con un ángulo de chaflán suficiente* (ver FIGURA 6-9). Un ángulo insuficiente dificulta la entrada del electrodo hasta el fondo de la junta. Una junta profunda y estrecha puede quedar con falta de penetración, siendo además muy sensible a que se presenten fisuras.

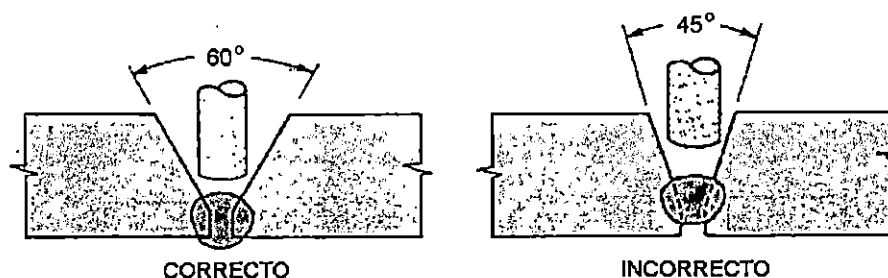


FIGURA 6-9. Para obtener una buena soldadura debe utilizarse la abertura adecuada.

- Una abertura excesiva desperdicia material de aportación* (ver FIGURA. 6-10) dado que el material de aportación, tanto en forma de electrodos como de alambres, es relativamente caro, cualquier aumento del ángulo de los bordes con relación a los valores recomendables supone un aumento del costo de fabricación por dos conceptos: un mayor consumo de material de aportación y mayor tiempo para depositarlo.

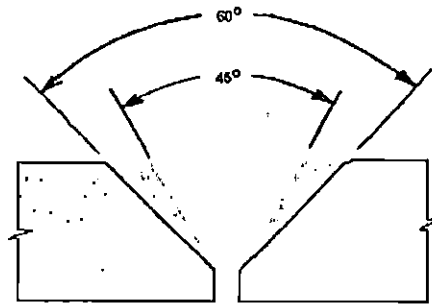


FIGURA 6-10. Los chaflanes demasiado abiertos encarecen la soldadura. El área sombreada corresponde al material de aporte que es depositado inútilmente, el cual provoca el encarecimiento de la soldadura.

- d) Para conseguir una penetración completa es necesario dejar una separación suficiente (ver FIGURA 6-11). Una junta soldada sin una penetración adecuada no será capaz de soportar las cargas que se le apliquen. Aunque la penetración correcta depende en gran medida de la habilidad del soldador, es siempre fundamental el preparar los bordes con una separación adecuada.

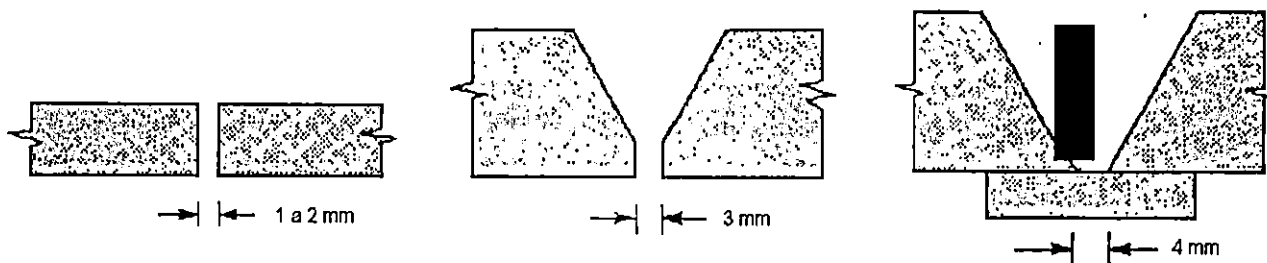


FIGURA 6-11. Para obtener una soldadura sana es muy importante utilizar la separación correcta.

- e) Para conseguir una unión de calidad con una buena velocidad de soldeo, deben prepararse los bordes con un talón de unos 3 mm o, en caso contrario, utilizar un soporte por el reverso (ver FIGURA 6-12). Los preparativos sin talón hacen más lenta y costosa la ejecución del cordón de penetración. Sin embargo, en las uniones a tope con bordes en X, se puede facilitar la preparación prescindiendo del talón y compensándolo con una separación de bordes algo menor (en vez de 3 mm, dejar unos 2).

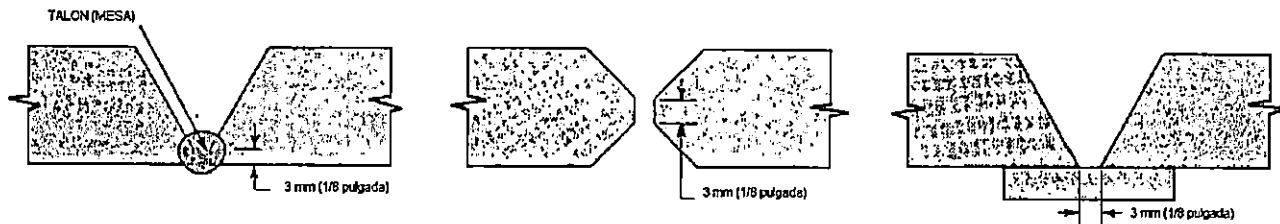


FIGURA 6-12. Para facilitar la operación debe dejarse un talón adecuado.

6.4 ELECCIÓN DEL MATERIAL DE APORTE ADECUADO.

6.4.1 GENERALIDADES DE LOS MATERIALES DE APORTE UTILIZADOS EN LA SOLDADURA DE ACEROS ESTRUCTURALES.

Una vez estudiado el material base, el tipo de unión y la junta a ser soldada, es necesario conocer las características y el tipo de material de aporte a utilizar; en vista de que el proceso de soldadura en

estudio será el de arco eléctrico, el tipo de material de aporte corresponde al electrodo revestido.

El electrodo ideal es aquel que suministra una buena estabilidad de arco, un cordón de soldadura liso y bien presentado, una buena velocidad de depósito, escasez de proyecciones, máxima resistencia y fácil eliminación de la escoria. Para alcanzar estas características hay que considerar diversos factores a la hora de seleccionar el electrodo. A saber:

Características del metal base: una soldadura de buena calidad debe tener tanta resistencia como el metal base. Esto quiere decir que debe utilizarse un electrodo que deposite un material con las mismas características mecánicas que el metal base.

Existen electrodos para el soldeo de distintas clases de materiales. Así, algunos electrodos se destinan a la soldadura de aceros al carbono, otros son más adecuados para el soldeo de aceros aleados y algunos se destinan específicamente a la soldadura de aceros aleados de alta resistencia. Según esto, antes de acometer cualquier operación de soldadura debemos asegurarnos de la composición química del metal base y seleccionar el electrodo recomendado para este material. La mayoría de los fabricantes de material de soldadura suelen suministrar este tipo de información.

Diámetro del electrodo. Como regla general, no deben utilizarse nunca electrodos de diámetro superior al espesor de las piezas a soldar. Algunos soldadores prefieren los diámetros grandes debido a que permiten conseguir mayores depósitos sin interrupción, lo que aumenta la velocidad de soldeo. Sin embargo, este tipo de electrodos exige una mayor habilidad. Por ejemplo, para depositar una cierta cantidad de material con electrodos para aceros ordinarios, de 6 mm de diámetro, se emplea, aproximadamente, la mitad de tiempo que si el trabajo se realiza con electrodos del mismo tipo, pero de diámetro 4. Los grandes diámetros no sólo permiten el empleo de mayores intensidades de corriente, sino que además disminuyen el número de paradas para cambiar el electrodo.

De acuerdo con esto, desde el punto de vista de la economía, siempre es recomendable el empleo del mayor diámetro posible que sea compatible con el trabajo a realizar.

Cuando se suelda en vertical o sobre cabeza, independientemente del espesor de las piezas a soldar, el mayor diámetro recomendable es el de 4 mm. Los diámetros mayores hacen muy difícil el control del metal depositado. Normalmente, para el soldeo en estas posiciones se recomienda el empleo de electrodos de *gota fría*^[8-21] (véase ANEXO 6-1)

El diámetro de electrodo también está influenciado por la geometría de la junta. Así, para depositar el cordón de penetración en uniones a tope, de espesores grandes, es decir, mayores a ½ pulgada, con preparaciones en V de pequeña abertura, se emplean siempre electrodos de pequeño diámetro. Esto se hace para facilitar la penetración hasta el fondo de la junta. Por el contrario, las pasadas sucesivas de relleno se depositan con diámetros mayores.

Tipo de junta y preparación de bordes. Las uniones con una abertura de chaflán insuficiente exigirán el empleo de electrodos de gota relativamente caliente y con gran poder de penetración. Los electrodos que reúnen estas características suelen exigir una mayor habilidad del soldador. Por el contrario, para preparaciones con bordes muy separados, será conveniente el empleo de electrodos de penetración media y de gota más fría, para que se quede fácilmente entre los bordes. En la tabla 6-3 se citan algunas características de los electrodos de empleo frecuente.

Posiciones de soldadura. La posición de soldadura es uno de los factores más importantes en la elección del electrodo. Algunos electrodos dan mejores resultados cuando se aplican en horizontal.

Otros, por el contrario, están diseñados para soldeo en vertical, cornisa o techo.

Corriente de soldadura. Hay electrodos que sólo funcionan en corriente continua con una polaridad determinada. Otros funcionan bien en corriente continua y en corriente alterna.

Rendimiento en el trabajo. La velocidad de aportación es un factor muy importante en cualquier trabajo de producción. Cuanto mayor es la velocidad de soldadura, menor es el costo. Aunque al aumentar la intensidad de corriente aumenta la velocidad de aportación, no todos los electrodos están preparados para dar una gran velocidad de aportación con cordones en buenas condiciones. Si esta gran velocidad se intenta conseguir con un electrodo que no sea el adecuado, el soldador encontrará grandes dificultades y la soldadura no quedará con buenas características.

Condiciones de servicio. Los requerimientos en servicio de la pieza que se trata de soldar, pueden demandar una soldadura de características especiales. Por ejemplo, gran resistencia a la corrosión, gran ductilidad o elevada resistencia a tracción. En estos casos, los electrodos deben seleccionarse para responder a esas características específicas.

6.4.2 CONSERVACIÓN Y ALMACENADO DE ELECTRODOS.

La mayoría de los electrodos son caros. Por consiguiente, hay que tratar de aprovecharlos al máximo. No deben dejarse "colillas" de más de 30 ó 40 mm de longitud.

Los electrodos deben almacenarse en lugares secos, a temperatura ambiente y con una humedad relativa que no exceda del 50%. Cuando el electrodo se expone a la humedad su revestimiento tiene tendencia a desintegrarse. Al manipular los electrodos para su almacenaje, procurar no golpearlos, flexarlos o pisarlos, pues hay peligro de que se desconche el revestimiento, con lo que el electrodo queda inservible.

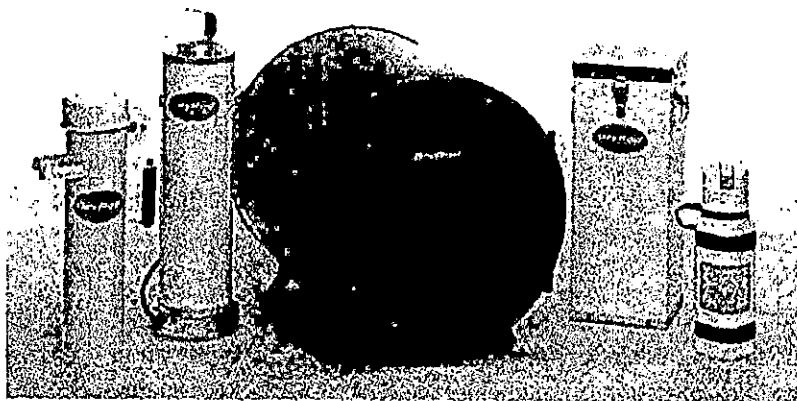


FIGURA 6-13. *Típicos Hornos de Secado de Electrodos Distribuidos en El Salvador*^[6-22]

6.4.3 CLASIFICACIÓN DE LOS ELECTRODOS ATENDIENDO A LA FORMA DE APORTACIÓN.

Atendiendo a la forma en que se realiza la aportación, los electrodos para el soldeo de aceros ordinarios pueden clasificarse en electrodos de *gota fría*, *gota caliente*, y *de gran rendimiento*^[6-23]

Los electrodos de *gota caliente* dan lugar a un arco duro y de gran poder de penetración aunque algunos funcionan con corriente alterna, cuando se utilizan con corriente continua suelen exigir polaridad inversa (electrodo al +). Son electrodos de poca escoria y producen cordones planos. Son ampliamente utilizados para todo tipo de trabajos, en todas posiciones, tanto en el campo de la fabricación como en el de las reparaciones.

Los electrodos de *gota fría* producen un arco más suave y con menor poder de penetración. Se les suele llamar electrodos de polaridad directa, pues cuando se utilizan en corriente continua suelen exigir esta polaridad. También suelen funcionar con corriente alterna. Producen una escoria abundante y fácil de eliminar, se emplean en todo tipo de trabajos, tanto en producción como en reparaciones. Se adaptan bien al soldeo de piezas con grandes separaciones.

Los electrodos de *gran rendimiento* son de revestimiento grueso y contienen polvo de hierro. Producen un arco suave y tienen una gran velocidad de aportación. Desprenden gran cantidad de escoria y dan cordones lisos y de muy buen aspecto. Se emplean en trabajos de producción en los que se necesitan grandes aportaciones y siempre que las piezas se puedan posicionar en horizontal.

6.4.4 TIPOS DE ELECTRODOS PARA EL SOLDEO DE ACEROS AL CARBONO Y ACEROS HSLA

6.4.4.1 ELECTRODOS CON POLVO DE HIERRO (GRAN RENDIMIENTO)^[6-24]

Son aquellos que contienen en el revestimiento una gran cantidad de polvo de hierro. Se emplean en la soldadura de aceros ordinarios cuando se requiere una gran velocidad de aportación. Los tres tipos principales son los E6027, E7014, y E7024. Todos dan pocas salpicaduras y una escoria de fácil eliminación. Entre las aplicaciones típicas podemos citar fabricaciones tales como material ferroviario, equipos para movimiento de tierras, tuberías y barcos.

Los E7014 y E7024 se utilizan con frecuencia cuando se quieren conseguir juntas de gran resistencia.

6.4.4.2 ELECTRODOS DE BAJO HIDRÓGENO^[6-25]

Estos electrodos se destinan al soldeo de aceros con alto contenido en azufre y con alto contenido en carbono. Cuando se sueldan estos aceros, tienden a absorber hidrógeno de la atmósfera del arco, lo que provoca porosidades y pequeñas fisuras bajo el cordón. Los electrodos de bajo hidrógeno están diseñados para evitar la absorción de este gas y los defectos motivados por el mismo. Los más utilizados son los E7016, E7018 y E7028.

6.4.5 VARIABLES QUE INFLUYEN EN LA SELECCIÓN DEL ELECTRODO.

Aunque existen gran cantidad de catálogos en los que figuran las características y aplicaciones de los distintos tipos de electrodos, así como las diferencias entre los mismos, muchas de las variables que aparecen en los trabajos de fabricación obligan con cierta frecuencia a la realización de pruebas para determinar la adaptabilidad de un electrodo a una aplicación específica de soldeo.

El análisis ponderado de las variables que intervienen en una operación de soldadura puede llevar grandes esfuerzos y mucho tiempo. Como una ayuda a este tipo de inconvenientes, diversas firmas comercial proporcionan información técnica figuran las variables asociadas normalmente con cualquier

operación de soldadura la cual es una excelente referencia para las tareas que deben llevarse a cabo en los procesos de soldadura.^[6-26]

6.4.6 ELECTRODOS ESPECIALES

Los electrodos normales son los que se emplean en la mayoría de trabajos generales de soldadura. Con estos electrodos se funde el metal base y sobre él se deposita el metal de aportación hasta conseguir una unión permanente. El éxito de la operación depende de la generación del calor suficiente para conseguir un baño de fusión perfectamente fundido. Sin embargo, hay algunos metales que pueden experimentar transformaciones desfavorables como consecuencia del intenso calor a que se ven sometidos, y en estos casos hay que tomar las precauciones adecuadas para evitar tensiones, deformaciones y modificaciones estructurales.

Para las soldaduras en las que deba limitarse la aportación de calor, existe una amplia gama de electrodos que exigen una pequeña aportación de calor y que reciben el nombre de *eutécticos*. Estos electrodos están diseñados para conseguir uniones suficientemente resistentes sin necesidad de calentar el metal base hasta la completa fusión. Estas soldaduras se realizan con intensidades considerablemente más bajas, sin comprometer por ello la resistencia de la junta. Por ejemplo, para el soldeo en frío de la fundición pueden utilizarse electrodos de alto contenido en níquel, que exigen menores calentamientos que los electrodos ordinarios. Estos electrodos deben utilizarse con un arco muy corto.

Los electrodos de baja aportación de calor pueden utilizarse para el soldeo de todo tipo de metales, férricos y no férricos. Información especial sobre este tipo de electrodos puede solicitarse a Eutectic Welding Alloys Corporation.

También se conoce ampliamente por electrodos especiales, aquellos diseñados específicamente para soldar aceros de aleación, tales como un AISI 4340, AISI 4140 con estos electrodos se consigue al final después de la solidificación del material de aporte, una junta la cual en efecto es exactamente igual en propiedades mecánicas y químicas a las del metal base.

6.4.7 PUNTOS A RECORDAR.

- a) Utilizar el electrodo adecuado para cada trabajo.
- b) Recordar que aunque algunos electrodos funcionan con corriente alterna, hay otros que sólo pueden emplearse con corriente continua.
- c) Cuando se suelda con corriente continua, tener muy en cuenta la polaridad a utilizar.
- d) En espesores finos o medios, seleccionar un electrodo cuyo diámetro sea aproximado al espesor a soldar.
- e) Utilizar el electrodo hasta que queda una "colilla" de 40 mm o menos.
- f) Almacenar los electrodos en lugares secos, en los que no se deteriore el revestimiento.

6.5 INTRODUCCIÓN A LOS PROCEDIMIENTOS DE SOLDADURA.

Las Especificaciones de un procedimiento de soldadura identificadas con las letras de WPS por sus siglas en inglés y como EPS por sus siglas en español, poseen mucha importancia en lo que respecta a obtener el nivel de calidad en el proceso de soldadura a realizar. La EPS ideal es aquel que proporciona

una soldadura con la calidad deseada y con el menor costo de fabricación.^[6-27] Son muchos los factores o variables que intervienen en un proceso de soldadura,^[6-28] por lo cual es difícil establecer procedimientos de soldaduras con los cuales se logren controlar en su totalidad estas variables, y el intentar hacerlo repercute en altos costos de fabricación, hecho por el cual lo más recomendable es estudiar todas las variables que intervienen en el proceso de soldadura y formular el procedimiento de soldadura con el cual se establezca un control de las variables en que afectaran la calidad de las soldaduras.

Es así como un procedimiento de soldadura debe contener los elementos,^[6-29] principales que deben de ser tomadas en cuenta para la soldadura de aceros estructurales, entre éstos se encuentran las siguientes:

a) Identificación del Procedimiento de Soldadura.

En un procedimiento de soldadura es necesario colocar el nombre de la persona que redactó el procedimiento mismo, así como también la empresa a la cual este pertenece y toda la información relacionada con esta (dirección, teléfono, número de fax, etc.)

Además por cuestiones de orden es necesario establecer el respectivo código de identificación del procedimiento de soldadura, así como también la fecha de elaboración del mismo.

b) El tipo de proceso de soldadura que se este utilizando.

Algo que no hay que perder de vista, es que un proceso de soldadura por muy simple o familiar que nos parezca, se encuentra bajo la influencia de muchos variables, las cuales como puedan que se encuentren de un proceso de soldadura a otro, pueda que no, pero lo importante es conocer en detalle el proceso de soldadura, para poder formular el procedimiento de soldadura más adecuado para el mismo.

En ocasiones es necesario combinar dos procesos de soldadura diferentes para obtener óptimos resultados, es decir soldaduras de una calidad especificada según algún código en particular, es así como, esta practica esta teniendo lugar en la soldadura de tuberías de transporte de combustible, en las cuales, el pase de raíz se realiza con un proceso GTAW para obtener un cordón con buena penetración y los subsiguientes pases se realizan con procesos SMAW. Por lo que se hace necesario especificar los procesos de soldadura utilizados y el resto de variables de los que cada uno esta compuesto.

c) La selección, diseño y preparación de la junta.

Es importante, detallar claramente dos aspectos: el primero es diseño de la unión y la junta, conocido más frecuentemente como diseño de la junta; y el segundo es la preparación de la junta misma. Estos aspectos se explican más ampliamente a continuación.

- Diseño de Junta.

Este debe de cubrir entre otras cosas el tipo de unión, y el tipo de junta, la posición de soldadura, la forma como se realizará el procedimiento de soldadura (manual, semiautomático, o automático), el hecho de que la soldadura sea efectuada desde ambos lados, o bien en uno solo, o también la posibilidad de incluir un respaldo de la soldadura (material y dimensiones), el nivel de calidad de la soldadura, la soldabilidad del acero y las técnicas de soldeo empleadas durante la soldadura. Es importante mencionar el proceso de fabricación de la junta (esmerilado, por limado mecánico, torneado in situ si se trata de tuberías de gran diámetro, o bien simplemente por oxicorte), esto se

discutirá con mayor detalle en lo que respecta a la preparación de la junta.

En lo que se refiere a la soldabilidad del metal, esta depende de las propiedades mecánicas, químicas y físicas del metal base. Dependiendo de la forma como un procedimiento de soldadura esté formulado, así la soldabilidad del acero se vera favorecida o no.

En general podemos describir o medir la soldabilidad de un acero en tres niveles:

Buena Soldabilidad. Este calificativo es utilizado para indicar que el acero a soldar posee una composición química tal que se favorece la soldadura del acero.

Soldabilidad Aceptable. Este calificativo indica que alguno o varios elementos de aleación del material base, se encuentra fuera de los limites establecidos por la composición química ideal (VÉASE TABLA 6-1).

Estos aceros requieren lentas velocidades de soldadura o leves precalentamientos, o una combinación de ambas cosas para minimizar la aparición de defectos tales como porosidades, rajaduras y socavaciones.

Pobre soldabilidad. Estos aceros son aquellos cuya composición química definitivamente se encuentra fuera del rango de preferencia, requieren tratamientos térmicos previos.

Estos aceros requieren bajas velocidades de calentamiento, precalentamientos, posibilidades de post calentamientos y cuidadosas selección de materiales de aporte y una cuidadosa formulación de los procedimientos de soldadura, para obtener soldaduras satisfactorias.

La adición de elementos de aleación mejoran las propiedades mecánicas o la templabilidad del acero, pero no sucede así con la soldabilidad. En general, la soldabilidad de los aceros nunca es mejor que aceptable.

Para el nivel de calidad de la soldadura, podemos mencionar al respecto que cuando la mayoría de las variables del proceso de soldadura, mencionadas anteriormente son tomadas en cuenta para la realización de un proceso de soldadura en particular, podemos establecer dos tipos de calidades de las uniones soldadas, estas son: Calidad según código y calidad comercial

Calidad de Código o según una normativa en particular. Para garantizar, que la soldadura posee una calidad acorde a un código o reglamento en particular, se hace necesario el uso de una inspección la cual corrobore la calidad de la misma, todo esto es llevado a cabo gracias a controles específicos de calidad.

La inspección de la soldadura como control de calidad de la misma, realizado en este tipo de soldadura, requiere laboriosas practicas de inspección las cuales van desde la inspección visual, líquidos penetrantes, hasta inspecciones radiograficas con las cuales se confirma o no que la soldadura cumplirá las tareas de servicio para las cuales ha sido proyectada.

En la actualidad existen muchos procedimientos de soldadura, los cuales son formulados para obtener calidad de soldaduras según especificaciones de códigos tales como AWS Structural Welding Code, AISC Buildings and Bridges, ASME Pressure Vessels, AASHO Bridges y otros mas. La calidad de una soldadura según código se encuentra libre de defectos o bien en un valor de aceptabilidad, la cual ha sido diseñada para un tipo de aplicación en particular, para lo cual la resistencia de la misma, es la correcta.

Calidad Comercial. Soldadura calidad comercial no implica una soldadura de calidad

deplorable, al contrario la calidad comercial de una soldadura implica que su apariencia y resistencia mecánica son las que generalmente son realizadas para fines comerciales en los cuales se puede o no utilizar un código en particular durante la fabricación de las mismas, además lo que se persigue es obtener una soldadura de apariencia aceptable y de bajo costo.

En las soldaduras de calidad comercial prevalecen altas velocidades de soldadura, altos amperajes de soldeo. Soldaduras de calidad comercial hechas acorde a un código en particular, podrían poseer ligeros defectos lo cual podría provocar que sean objetables por algunos códigos, y repercutir en el rechazo de las mismas.

- Preparación de la junta.

Una vez realizada la preparación de la junta elegida hay que asegurarse que los bordes estén completamente achaflanados. Una correcta preparación de la junta no solo disminuye los efectos de distorsión sino que asegura una buena penetración de la junta. Aunque en algunos casos el ángulo entre bordes puede reducirse (lo que disminuye la deformación) hay que asegurarse siempre de que queda suficiente espacio entre las piezas para permitir el manejo adecuado del electrodo durante la operación de soldadura.

Es importante mencionar que la preparación de la junta debe de ser uno de los aspectos mas importantes que debe ser tomado en cuenta antes de realizar el proceso de soldadura, pero nunca deben soldarse juntas cortadas por oxicorte, y si se sigue esta practica deben esmerilarse como mínimo media pulgada desde el borde de la placa donde se realizo el oxicorte y allí realizar la preparación de la junta para su posterior soldadura. El oxicorte cambia grandemente las propiedades física, mecánicas y metalúrgicas del metal base, problemas de descarburización lo cual es una señal de alerta sobre los malos resultados que se obtendrán de la soldadura de las juntas que se encuentren en las condiciones mencionadas. En definitiva este tipo de juntas será soldado incluso puede suponerse que la calidad de la misma será aceptable, pero el principal problemas radica en que no se esta soldando el material que se deseaba, y lo mas probable es que la soldadura del mismo, no se desempeñen eficientemente cuando ya se encuentre en condiciones de servicio.

En lo que se refiere a la fabricación por soldadura, es necesario efectuar preparaciones de la junta, hasta actividades tales como esmerilar los cordones de soldadura, entre cada pase para garantizar una completa remoción de escoria y de cualquier defecto que se suponga podría haber ocurrido al momento de realizar el cordón de soldadura.

Para el caso de preparación de uniones a tope en tramos de tubería, la preparación de la junta se convierte en uno de los aspectos mas importantes para el buen desempeño de las mismas al momento de circular por ellas, o mantener a ciertos valores de presión de fluidos en particular, es así como se hace necesario realizar una adecuada preparación de la junta, con equipos especiales que no son mas que tornos portátiles, los cuales se montan sobre la tubería y estos realizan la preparación de la junta en cuestión. Equipos de este tipo se aprecian en la FIGURA 6-14.



FIGURA 6-14. Tornos portátiles para preparación de juntas de soldadura.^[6-30]

Pero para el caso de tuberías como en placas y platinas de acero, no basta con tener una buena preparación de la junta incluso es necesario escuadrar los elementos a soldar, o como sucede en el caso de tuberías una correcta alineación de las piezas donde será realizada la unión, un caso de esto es apreciado en la FIGURA 6-15.

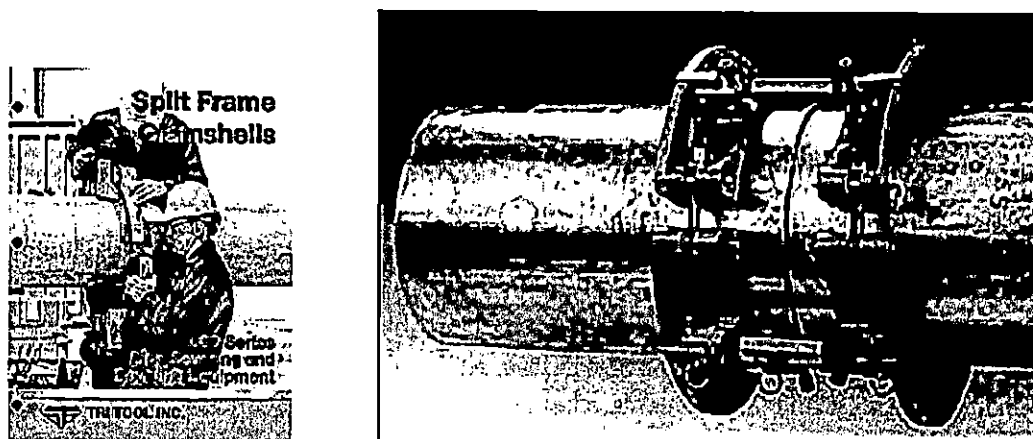


FIGURA 6-15. Sujetadores para soldeo de tuberías.^[6-31]

d) IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL BASE.

El material base a ser soldado debe de ser claramente identificado, esto involucra mencionar su composición química detallado por su especificación y grado del mismo, su espesor y algunos requerimientos especiales en el mismo. La identificación del material base debe de efectuarse individualmente por cada una de las placas que serán soldadas. Además debe identificarse la condición del metal a soldar, es decir en tubo, platina, o placa.

e) IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL DE APORTE.

Al igual que el material base, el material de aporte debe de ser también claramente identificado, y lo mas important, e seleccionado para soldar satisfactoriamente ambas placas metálicas. Y es muy importante, mencionar en la identificación del material de aporte, el nombre del fabricante del mismo y el nombre comercial por el cual se conoce este electrodo, así como también la denominación AWS a la cual corresponde, y algunos parámetros de la manipulación y/o almacenamiento del mismo.

f) LOS PARAMETROS INHERENTES AL PROCESO DE SOLDADURA.

Como se mencionaba en apartados anteriores los procedimientos de soldadura han sido desarrollados para proporcionar soldaduras de una calidad en particular y lo mas económicas posibles. En algunos casos, mas de un tipo o tamaño de electrodo puede ser el recomendado para un tipo y tamaño de junta en particular. En talleres pequeños, la selección de electrodos puede depender de variables tales como tipos de fuentes de potencia, pero incluso se dan casos que determinados tipos de juntas pueden requerir tanto AC como DC indistintamente pero es importante conocer el rango de magnitudes en los cuales debe de realizarse la soldadura. La magnitud de la fuente de alimentación, ya sea amperaje constante o voltaje constante deben de ser especificados dentro de un rango en particular. Y en la manera de lo posible establecer la tasa de depositación del material de aporte.

Para algunos procedimientos de soldadura, algunos tipos y tamaños de juntas pueden requerir indistintamente diferentes tipos de electrodos, por ejemplo E7014 o E7024, E7018 o E7028. En este caso, se selecciona y especifica en el procedimiento de soldadura, aquel con el cual se puedan obtener las mejores características para la calidad de la soldadura especificada. En cualquier procedimiento de soldadura independientemente del tipo de calidad de soldadura deseada es necesario utilizar un acero que posea el mayor grado de soldabilidad posible.

La velocidad de soldadura debe de ser especificado dentro de un rango; debe de especificarse el nombre del electrodo a utilizar así como también la clasificación AWS a la cual corresponde.

g) TRATAMIENTO TÉRMICO.

El tratamiento térmico del acero responde al tipo de soldabilidad del acero y a las dimensiones del mismo, en el sentido de que estas sean o no favorables a la soldabilidad de las placas de acero. En este apartado sobre el tratamiento térmico, es necesario mencionar aspectos tales como la temperatura mínima de precalentamiento del acero, así como también el tiempo de precalentamiento, la temperatura mínima de interpase, y la temperatura máxima de interpase, así como también la temperatura de post calentamiento y el tiempo que este debe de efectuarse.

Cualquier observación que debe realizarse durante este proceso es muy importante y por ende deben de quedar incluidas en el procedimiento de soldadura. En vista de que la realización de un proceso de tratamiento térmico en una unión soldada, incrementa el costo de la misma, las condiciones bajo las cuales se efectuará el tratamiento térmico del acero deberán ser revisadas por una persona conocedora del tema y de preferencia ajena a quien formuló el procedimiento de soldadura, con el fin de proporcionar los comentarios mas acertados al respecto.

h) Autorización del Procedimiento de Soldadura.

Se recomienda que la persona que autorice un procedimiento de soldadura en particular, sea el gerente técnico de la institución que realizará el proceso de soldadura en cuestión, y en su defecto el jefe del departamento ya sea de proyectos, el jefe de la unidad de ensayos no destructivos, o bien una persona de jerarquía mayor que la de la persona que formuló el procedimiento de soldadura.

i) comentarios y esquemas adicionales.

Todos los elementos presentados anteriormente son los mas importantes en un procedimiento de soldadura, otros aspectos de menor importancia, pero que contribuyen a explicar en que consiste el procedimiento de soldadura y los fines para los cuales este esta destinado, ya sea para un técnico, un ingeniero o bien una persona no familiarizada con los procedimientos de soldadura son los comentarios o bien cualquier esquema adicional que se estime conveniente que podría contribuir a ejecutar de mejor manera el procedimiento de soldadura.

Todos los elementos de las EPS mencionados anteriormente se encuentran resumidos en la siguientes figura.

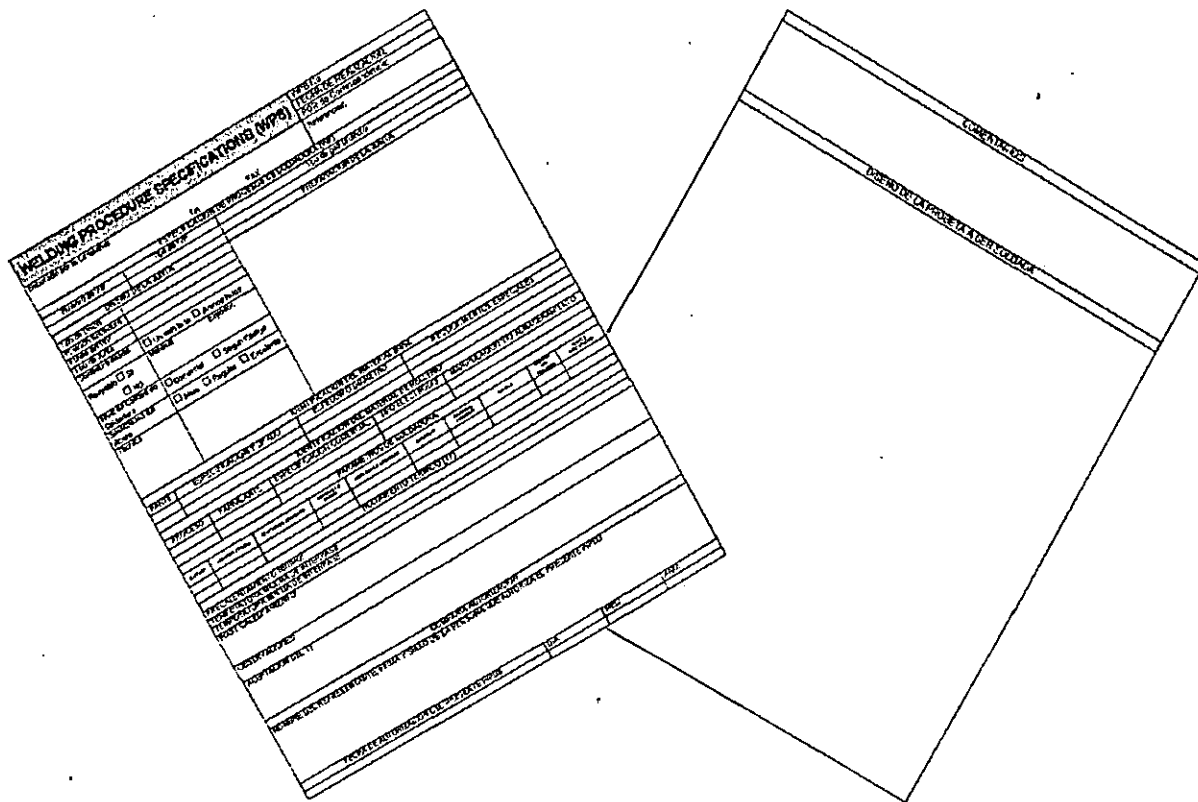


FIGURA 6-16. Esquema de EPS utilizadas en los diferentes tipos de procesos de soldadura^[6-32]

Es importante mencionar que el formato de las EPS presentado con anterioridad es típico y es una referencia para aquel trabajo de soldadura por arco que halla que efectuar, en definitiva a estos procedimientos de soldadura deberán realizarse los respectivas ajustes que se estimen convenientes para que con ellos, se puedan obtener soldaduras satisfactorias.

En definitiva calidad de la soldadura depende del diseño y la accesibilidad de la junta, así como también del metal de aporte, la técnica utilizada y la habilidad del soldador. Para obtener soldaduras de calidad comercial, bastan que no se tomen en cuenta aspectos tales como una limpieza adecuada entre pases, incorrecta selección del metal de aporte en relación al metal base que se encuentra soldando, mala o inexistente preparación de la junta, etc. Soldaduras de excelente calidad pueden ser obtenidas utilizando procedimientos de soldadura y realizando posteriormente las inspecciones respectivas según los códigos o reglamentos utilizados^[6-33]

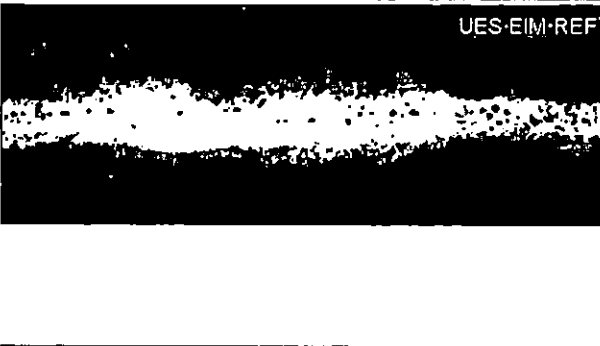
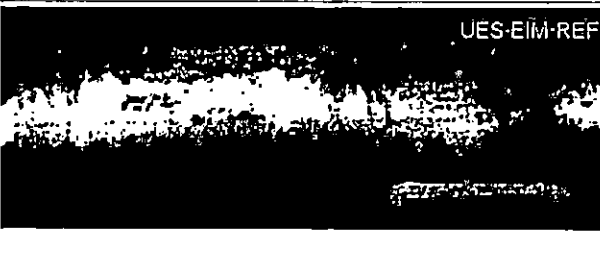

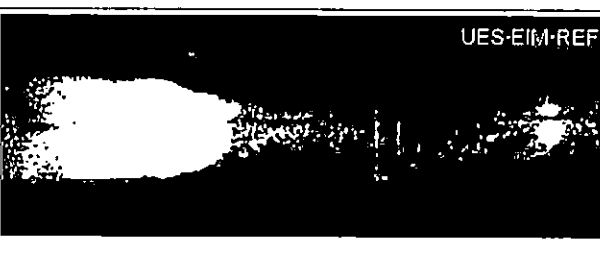
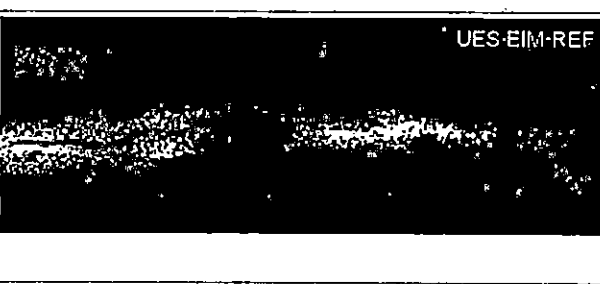
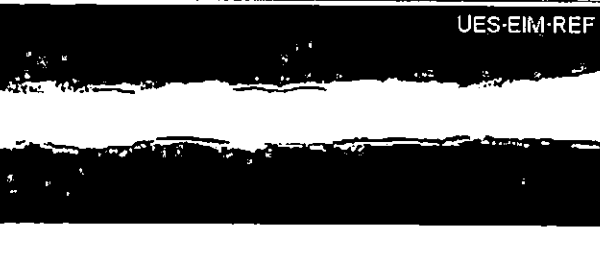
6.6 RADIOGRAFÍAS DE REFERENCIA.

Una practica muy frecuente en la inspección radiográfica es la utilización de un conjunto de radiografías de referencia, las cuales proporcionan una interpretación de una radiografía en particular y ayuda a realizar mejor la discriminación de los defectos que se presentan.

Como se mencionaba en exposiciones anteriores, una radiografía de una soldadura, permitirá determinar la existencia y localización de los defectos de soldadura, así como también su importancia. Pero muchas veces las radiografías que se obtienen presentan formas muy peculiares, y aún para las personas con mucho tiempo de experiencia en el campo de inspección radiográfica, así como los que se inician en las mismas es importante contar con un grupo de radiografías de referencias las cuales permiten discriminar fácilmente entre un defecto y otro, o bien entender la razón de determinada apariencia de una radiografía en particular.

De todo lo mencionado anteriormente es necesario enfatizar, que a pesar del objetivo deseo de los manuales de radiografía industrial y de las colecciones de radiografías tipo para reducir a un mínimo cualquier empirismo y subjetividad del examen radiográfico, se ha de tener presente que los casos encontrados en la practica rara vez son tan claros como aparecen en los ejemplos citados con anterioridad. La explicación de un defecto y de su posible imagen radiográfica se deduce mediante una larga experiencia y conocimiento de las técnicas operatorias. En consecuencia, cualquier esfuerzo encaminado a expresar el resultado mediante una simple operación matemática es, a menudo imposible, e incluso aventurado.

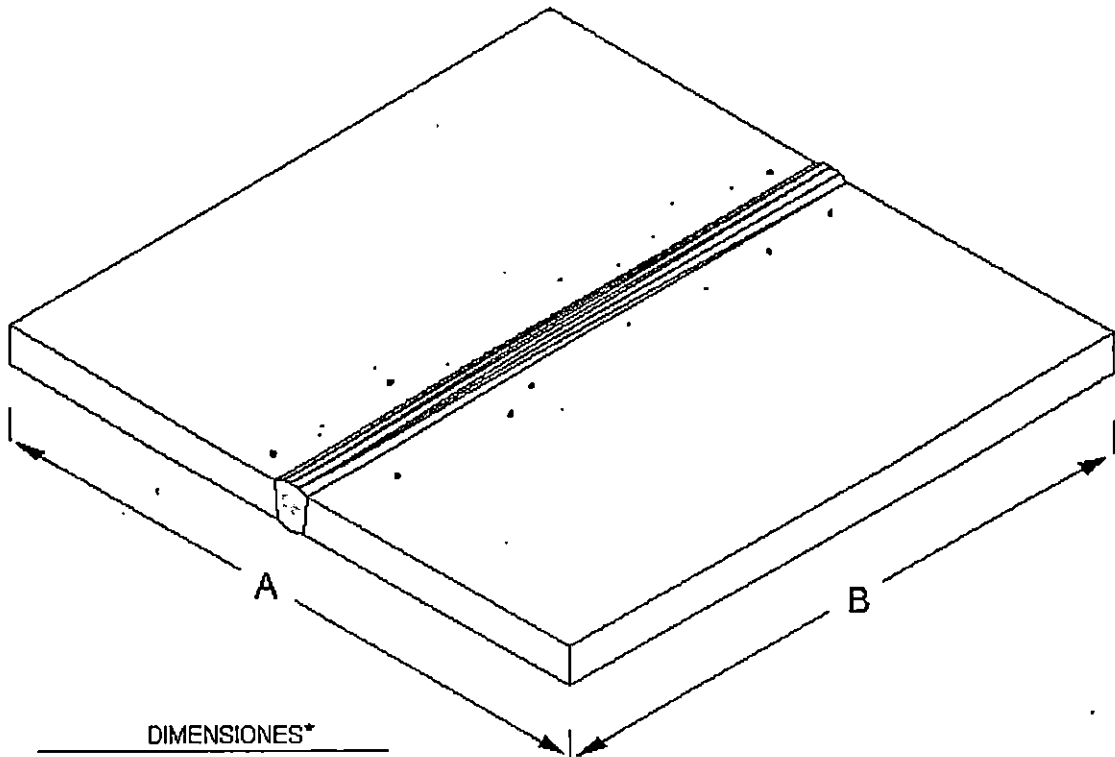
Con el objetivo de poner en practica los conocimientos de ingeniería referentes a la metalurgia de la soldadura, se han formulado diversos procedimientos de soldadura con los cuales se reproducirán ciertos defectos de soldaduras con el objeto de radiografiar posteriormente dichos especímenes y obtener así un conjunto de radiografías de referencia de los principales defectos de soldadura. Es importante mencionar que estas radiografías de referencia corresponderán a la soldadura de los aceros estructurales mas recuentes soldados en nuestro país.

Defecto de Soldadura	Generalidades	Radiografía
<p>POROSIDADES</p>	<p>Para este tipo de defectos, su imagen radiografica suele ser redondeada ya que las inclusiones gaseosas tienden a ocupar el menor volumen y adoptar la forma esférica. Al momento de que el baño de fusión del metal de aporte comienza a solidificarse, los gases contenidos en el mismo tienden a desplazarse desde el interior del cordón de soldadura hasta el exterior del mismo, abriéndose camino por las partes sólidas del mismo, y por lo general tienden a escapar por los lugares donde se encuentre la mayor temperatura, es decir justo en el arco eléctrico, es por esta razón que es frecuente que los defectos de porosidades se encuentren en las direcciones descritas por el electrodo, según el movimiento que el soldador le imprima a la soldadura.</p>	
<p>INCLUSIONES DE ESCORIA.</p>	<p>En vista de que los fragmentos de escoria atrapados en el cordón de soldadura son de menor densidad que el metal de la soldadura, permiten un mayor paso de radiación por ellos, es así como aparecen en las radiografías como manchas oscuras de contorno irregular, perfectamente diferenciables de la imagen redondeada producida por la porosidad.</p>	
<p>FALTA DE FUSION.</p>	<p>En un simil con los defectos de escoria, la imagen de la falta de fusión suele aparecer en la radiografía como una línea oscura y fina con bordes muy diferenciados. La línea puede tender a ser ondulada y difusa, según sea la orientación del defecto respecto a la dirección de la radiación.</p>	
<p>FALTA DE PENETRACION.</p>	<p>La falta de penetración no es mas que una falta de material de aporte en el metal de raíz, producto de una falta de fusión entre el mismo y el talón de la junta. Esta falta de material de aporte produce zonas de mayor y menor densidad radiografica en las radiografías, por lo cual en las mismas aparecen como una línea oscura, continua o no, localizada en el centro del cordón de soldadura.</p>	
<p>RAJADURAS.</p>	<p>Como se mencionaba anteriormente las rajaduras únicamente son visibles si el haz de radiación incide sobre la piezas con una dirección sensiblemente paralela a la superficie de la grieta. Es así como las grietas o fisuras, cuya imagen radiografica son líneas finas y oscuras, se pueden diferenciar de la falta de fusión o penetración porque las grietas dan lugar, generalmente, a una línea ondulada, esto se aprecia en la figura adyacente Cuando se radiografías grandes espesores (mayores de 1/2 pulgada), las grietas finas pueden o no ser detectadas en la radiografía.</p>	
<p>MORDEDURA DE BORDES.</p>	<p>En las radiografía aparece como líneas oscuras exactamente en los limites laterales del cordón de soldadura.</p>	

Poniendo en practica todo lo expuesto anteriormente se formularon varias EPS en especímenes según especificaciones de la AWS⁽⁶⁻³⁴⁾, estos serán luego radiografiados para contar con un grupo de radiografías de referencia, hecho que será de utilidad para las futuras actividades que se desarrollen durante el desarrollo del trabajo de graduación.

Defecto a Reproducir	Variables a Alterar	Procedimiento de Soldadura	Radiografía de Referencia
Inclusiones de Escoria	No se realizó una correcta limpieza (esmeritado deficiente) al finalizar un cordón de soldadura e iniciar otro.	EPS No. PRUEBA-1	VÉASE FIGURA 6-18
Rajaduras	Un enfriamiento rápido luego de haberse efectuado la soldadura.	EPS No. PRUEBA-2	VÉASE FIGURA 6-19
Porosidades	Se realizó la soldadura sobre una superficie mal preparada, la cual se encontraba engrasada y pintada.	EPS No. PRUEBA-3	VÉASE FIGURA 6-20
Falta de Penetración	Electrodo no adecuado para realizar una buena penetración.	EPS No. PRUEBA-4	VÉASE FIGURA 6-21
Falta de Penetración	Talón (Mesa) de la junta demasiado grande.	EPS No. PRUEBA-5	VÉASE FIGURA 6-22

TABLA 6-4. Radiografías de Referencia obtenidas al manipular variar diferentes variables durante el proceso de soldadura.



DIMENSIONES*

A = 6 pulgadas como mínimo

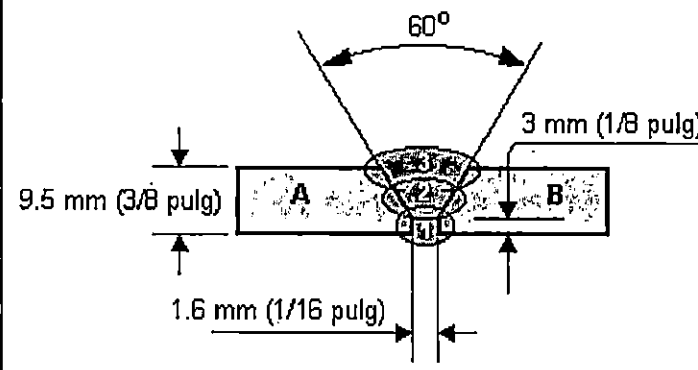
B = 6 pulgadas como mínimo

* Según Especificaciones del Código Estructural
ANSI/ASV D1.1

FIGURA 6-17. Especificaciones utilizadas para fabricar los diferentes especímenes soldados, los cuales serían radiografiados para obtener el conjunto de radiografías de referencia.

ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (EPS)	EPS No. PRUEBA-1
	FECHA DE REALIZACIÓN: 29/JUN/00
	RCC* de Correspondencia:
Elaborado por: Ernesto Napoleón Vides Alvarado, Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador.	Referencias: ANSI/AWS D1.1 Structural Welding Code NTC 2057, Weld_IT®
Dirección de la Institución: Edificio de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Final 25 Av Norte, San Salvador Tel. 235-4235 FAX 225-2506	


ESPECIFICACIÓN DE PROCESOS DE SOLDADURA (WP)

Numero de PS** P1	Tipo de PS SMAW	Tipo de gas protector.
DISEÑO DE LA JUNTA		PREPARACIÓN DE LA JUNTA
Tipo de Unión	A tope	
Posición Soldadura	Horizontal	
Forma del WP	Manual	
Tipo de Junta	En V	
Soldadura desde:	<input checked="" type="checkbox"/> Un solo lado <input type="checkbox"/> Ambos lados	
Respaldo <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO	Material: Espesor:	
Nivel de Calidad de Soldadura	<input type="checkbox"/> Comercial <input type="checkbox"/> Según Código <input checked="" type="checkbox"/> Especial	
Soldabilidad del Acero	<input type="checkbox"/> Mala <input checked="" type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Excelente	
Técnica		

IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL BASE

PARTE	ESPECIFICACIÓN Y GRADO	ESPESOR O DIAMETRO	REQUERIMIENTOS ESPECIALES
(A)	ASTM - A36	Platinas 3/8 in de espesor	-
(B)	ASTM - A36	Platinas 3/8 in de espesor	-

IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL DE RELLENO

PROCESO	FABRICANTE	ESPECIFICACIÓN COMERCIAL	TIPO ELECTRODO	MANIPULACIÓN Y/O ALMACENAMIENTO
P1		Fleetweld 7	E6011	
P1		Fleetweld 35	E6012	

PARAMETROS DE SOLDADURA

PASES DE SOLDADURA	PROCESOS DE SOLDADURA A UTILIZAR	MATERIAL DE APORTE A UTILIZAR	DIMENSIONES DEL MATERIAL DE APORTE	VELOCIDAD DE SOLDADURA	CORRIENTE	POLARIDAD CORRIENTE	VOLTAJE	FLUJO DE GAS PROMEDIO	TASA DE DEPOSITACION
1	P1	Fleetweld 35	ϕ 3/16	8.0 - 10.0 in/min	120 - 200	DCEN	110 - 180		0.241 lb/ft
2, 3	P1	Fleetweld 7	ϕ 3/16	14.5 - 17.5 in/min	155 - 250	DCEN	170 - 275		

TRATAMIENTO TÉRMICO (TT)

PRECALENTAMIENTO MINIMO: Ninguno.
 TEMPERATURA MÁXIMA DE INTERPASE: -
 TEMPERATURA MÍNIMA DE INTERPASE: -
 POST CALENTAMIENTO: Ninguno.

ACEPTACIÓN DEL TT

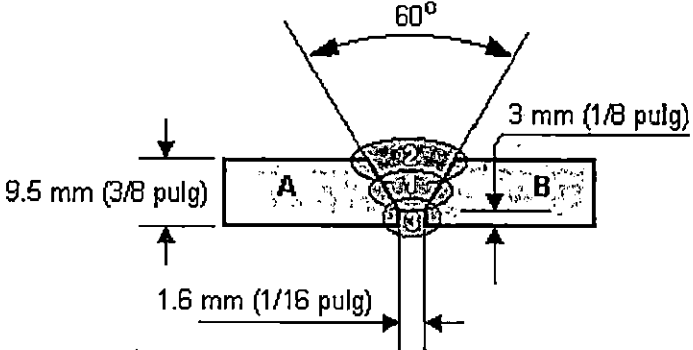

OBSERVACIONES: La formulación del presente EPS, fue con la idea de obtener escorias atrapadas en el cordón de soldadura, para esto en el pase número 2 se hizo una parada en el proceso de soldadura a la mitad del mismo y luego se continuo soldando hasta donde se había soldado, sin esmerilar, para que quedara suficiente escoria atrapada en el cordón de soldadura. Las dimensiones de el espécimen soldado puede apreciarse en la FIGURA 6-17.

FECHA DE AUTORIZACIÓN DEL PRESENTE WPDS	DÍA:	MES:	AÑO:
	5	Abril	2000

* RCC = Reporte de Control de Calidad del Proceso de Soldadura, realizado siguiendo el EPS
 ** PS = Proceso de Soldadura

ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (EPS)				EPS No. PRUEBA-2					
Elaborado por: Ernesto Napoleón Vides Alvarado, Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador. Dirección de la Institución: Edificio de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Final 25 Av Norte, San Salvador Tel. 235-4235 FAX 225-2506				FECHA DE REALIZACIÓN: 29/JUN/00					
				RCC* de Correspondencia:					
				Referencias: ANSI/AWS D1.1 Structural Welding Code NTC 2057, Weld_IT®					
ESPECIFICACIÓN DE PROCESOS DE SOLDADURA (PS)									
Número de PS**		Tipo de PS		Tipo de gas protector.					
P1		SMAW							
DISEÑO DE LA JUNTA			PREPARACIÓN DE LA JUNTA						
Tipo de Unión		A tope							
Posición Soldadura		Horizontal							
Forma del WP		Manual							
Tipo de Junta		En V							
Soldadura desde:		<input checked="" type="checkbox"/> Un solo lado <input type="checkbox"/> Ambos lados							
Respaldo <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO		Material: Espesor:							
Nivel de Calidad de Soldadura		<input type="checkbox"/> Comercial <input type="checkbox"/> Según Código <input checked="" type="checkbox"/> Especial							
Soldabilidad del Acero		<input type="checkbox"/> Mala <input checked="" type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Excelente							
Técnica									
IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL: BASE									
PARTE	ESPECIFICACIÓN Y GRADO	ESESOR O DIAMETRO	REQUERIMIENTOS ESPECIALES						
(A)	ASTM - A36	Platinas 3/8 in de espesor	-						
(B)	ASTM - A36	Platinas 3/8 in de espesor	-						
IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL DE RELLENO									
PROCESO	FABRICANTE	ESPECIFICACIÓN COMERCIAL	TIPO ELECTRODO	MANIPULACIÓN Y/O ALMACENAMIENTO					
P1		Fleetweld 7	E6011						
P1		Fleetweld 35	E6012						
PARAMETROS DE SOLDADURA									
PASES DE SOLDADURA	PROCESOS DE SOLDADURA A UTILIZAR	MATERIAL DE APORTE A UTILIZAR	DIMENSIONES DEL MATERIAL DE APORTE	VELOCIDAD DE SOLDADURA	CORRIENTE	POLARIDAD CORRIENTE	VOLTAJE	FLUJO DE GAS PROMEDIO	TASA DE DEPOSITACION
1	P1	Fleetweld 35	φ 3/16	8.0 - 10.0 in/min	120 - 200	DCEN	110 - 180		0.241 lb/ft
2, 3	P2	Fleetweld 7	φ 3/16	14.5 - 17.5 in/min	155 - 250	DCEN	170 - 275		
TRATAMIENTO TÉRMICO (TT)									
PRECALENTAMIENTO MINIMO: Ninguno									
TEMPERATURA MÁXIMA DE INTERPASE: -									
TEMPERATURA MÍNIMA DE INTERPASE: -									
POST CALENTAMIENTO: Ninguno									
ACEPTACIÓN DEL TT:									
OBSERVACIONES: La idea fundamental del presente EPS era obtener una rajadura en el cordón de soldadura, al utilizar en el pase de raíz un material de aporte adecuado de buena penetración, continuando el resto de pases con un material de aporte de poca ductilidad de esta forma reduciendo la libertad de deformación del cordón de soldadura, aumentando la sensibilidad de fisuración, producto de la contracción y expansión que experimenta el pase de raíz, al momento de realizarse el resto de cordones de soldadura, esto incrementado con un enfriamiento lo más rápido posible de la junta soldada, produjo una grieta en el cordón de soldadura. Las dimensiones de el espécimen soldado puede apreciarse en la FIGURA 6-17.									
FECHA DE AUTORIZACIÓN DEL PRESENTE WPDS				DÍA:	MES:	AÑO:			
				5	Abril	2000			

* RCC = Reporte de Control de Calidad del Proceso de Soldadura, realizado siguiendo el EPS
 ** PS = Proceso de Soldadura

ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (EPS)		EPS No. PRUEBA-3							
		FECHA DE REALIZACIÓN: 29/JUN/00							
		RCC* de Correspondencia:							
Elaborado por: Ernesto Napoleón Vides Alvarado, Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador. Dirección de la Institución: Edificio de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Final 25 Av Norte, San Salvador Tel. 235-4235 FAX 225-2506		Referencias: ANSI/AWS D1.1 Structural Welding Code NTC 2057, Weld_IT®							
ESPECIFICACIÓN DE PROCESOS DE SOLDADURA (PS)									
Numero de PS**	Tipo de PS	Tipo de gas protector.							
P1	SMAW								
DISEÑO DE LA JUNTA		PREPARACIÓN DE LA JUNTA							
Tipo de Unión	A tope								
Posición Soldadura	Horizontal								
Forma del WP	Manual								
Tipo de Junta	En V								
Soldadura desde:	<input type="checkbox"/> Un solo lado <input checked="" type="checkbox"/> Ambos lados								
Respaldo <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO	Material: _____ Espesor: _____								
Nivel de Calidad de Soldadura	<input type="checkbox"/> Comercial <input type="checkbox"/> Según Código <input checked="" type="checkbox"/> Especial								
Soldabilidad del Acero	<input type="checkbox"/> Mala <input checked="" type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Excelente								
Técnica									
IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL BASE									
PARTE	ESPECIFICACIÓN Y GRADO	ESESOR O DIAMETRO	REQUERIMIENTOS ESPECIALES						
(A)	ASTM - A36	Platinas 3/8 in de espesor	-						
(B)	ASTM - A36	Platinas 3/8 in de espesor	-						
IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL DE RELLENO									
PROCESO	FABRICANTE	ESPECIFICACIÓN COMERCIAL	TIPO ELECTRODO	MANIPULACIÓN Y/O ALMACENAMIENTO					
P1		Jetweld 2	E6027						
P1		Fleetweld 35	E6012						
PARAMETROS DE SOLDADURA									
PASES DE SOLDADURA	PROCESOS DE SOLDADURA A UTILIZAR	MATERIAL DE APORTE A UTILIZAR	DIMENSIONES DEL MATERIAL DE APORTE	VELOCIDAD DE SOLDADURA	CORRIENTE	POLARIDAD CORRIENTE	VOLTAJE	FLUJO DE GAS PROMEDIO	TASA DE DEPOSITACION
1	P1	Fleetweld 35	φ 3/16	15 - 17 in/min	110 - 180	DCEP	120 - 200		0.241 lb/ft
2, 3	P1	Jetweld 2	φ 3/16	20 - 22 in/min	230 - 270	DCEP	250 - 300		0.366 lb/ft
TRATAMIENTO TÉRMICO (TT)									
PRECALENTAMIENTO MINIMO: -									
TEMPERATURA MÁXIMA DE INTERPASE: -									
TEMPERATURA MÍNIMA DE INTERPASE: -									
POST CALENTAMIENTO: -									
ACEPTACIÓN DEL TT:									
OBSERVACIONES: El presente WPS fue diseñado para producir porosidades en el cordón de soldadura, para esto se eligió un acero estructural (ASTM-A36), el cual fue preparado (humedecido, engrasado, etc.) de tal forma que este tenga mucha afinidad por el hidrogeno reteniéndolo, es así como con velocidades de depositación relativamente grandes se pretendió mantener el baño lo menos fluido posible evitando que los gases liberados rápidamente, quedaran retenidos en el cordón de soldadura. Las dimensiones de el espécimen soldado puede apreciarse en la FIGURA 6-17. Además se selecciono polaridad inversa para que el baño de fusión se enfriara lo más rápidamente al aportar más calor al electrodo que a la pieza que se esta soldando. Con el objeto de retener hidrogeno en el cordón de soldadura, se realizó un enfriamiento lo mas rápido posible de la junta, Hecho por el cual no se realizo un tratamiento térmico de la soldadura.									
FECHA DE AUTORIZACIÓN DEL PRESENTE EPS					DÍA:	MES:	ANO:		
					5	Abril	2000		

* RCC = Reporte de Control de Calidad del Proceso de Soldadura, realizado siguiendo el EPS
** PS = Proceso de Soldadura

ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (EPS)		EPS No. PRUEBA-4							
		FECHA DE REALIZACIÓN: 29/JUN/00							
		RCC* de Correspondencia:							
Elaborado por: Ernesto Napoleón Vides Alvarado, Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador. Dirección de la Institución: Edificio de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Final 25 Av Norte, San Salvador Tel. 235-4235 FAX 225-2506		Referencias: ANSI/AWS D1.1 Structural Welding Code							
ESPECIFICACIÓN DE PROCESOS DE SOLDADURA (PS)									
Numero de PS**	Tipo de PS	Tipo de gas protector.							
P1	SMAW								
DISEÑO DE LA JUNTA		PREPARACIÓN DE LA JUNTA							
Tipo de Unión	A tope								
Posición Soldadura	Horizontal								
Forma del WP	Manual								
Tipo de Junta	En V								
Soldadura desde:	<input checked="" type="checkbox"/> Un solo lado <input type="checkbox"/> Ambos lados								
Respaldo <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO	Material: Espesor:								
Nivel de Calidad de Soldadura	<input type="checkbox"/> Comercial <input type="checkbox"/> Según Código <input checked="" type="checkbox"/> Especial								
Soldabilidad del Acero	<input type="checkbox"/> Mala <input checked="" type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Excelente								
Técnica									
IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL BASE									
PARTE	ESPECIFICACIÓN Y GRADO	ESPESOR O DIAMETRO	REQUERIMIENTOS ESPECIALES						
(A)	ASTM - A36	Platinas 3/8 in de espesor							
(B)	ASTM - A36	Platinas 3/8 in de espesor							
IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL DE RELLENO									
PROCESO	FABRICANTE	ESPECIFICACIÓN COMERCIAL	TIPO ELECTRODO						
P1		Fleetweld 37	E6013						
P1		Jetweld 2	E6027						
PARAMETROS DE SOLDADURA									
PARES DE SOLDADURA	PROCESOS DE SOLDADURA A UTILIZAR	MATERIAL DE APORTE A UTILIZAR	DIMENSIONES DEL MATERIAL DE APORTE	VELOCIDAD DE SOLDADURA	CORRIENTE	POLARIDAD CORRIENTE	VOLTAJE	FLUJO DE GAS PROYECTO	TASA DE DEPOSITACION
1	P1	Fleetweld 37	φ 3/16	15 - 17 in/min	190-235	DCEP	205 - 260		
2, 3	P2	Jetweld 2	φ 3/16	14.5 - 17.5 in/min	230-270	DCEP	250 - 300		0.366 lb/ft
TRATAMIENTO TÉRMICO (TT)									
PRECALENTAMIENTO MÍNIMO: -									
TEMPERATURA MÁXIMA DE INTERPASE -									
TEMPERATURA MÍNIMA DE INTERPASE -									
POST CALENTAMIENTO: -									
ACEPTACIÓN DEL TT									
OBSERVACIONES: Con el objeto de obtener un cordón de raíz con falta de penetración se utilizo en el pase de raíz un electrodo el cual tiene pobre penetración, además se decidió soldar desde un solo lado con el objeto de aumentar mas la falta de penetración. Las dimensiones de el espécimen soldado puede apreciarse en la FIGURA 6-17.									
FECHA DE AUTORIZACIÓN DEL PRESENTE EPS		DÍA:	MES:						
		5	Abril						
		ANO: 2000							

* RCC = Reporte de Control de Calidad del Proceso de Soldadura, realizado siguiendo el EPS
 ** PS = Proceso de Soldadura

ESPECIFICACIONES DEL PROCEDIMIENTO DE SOLDADURA (EPS)	EPS No. PRUEBA-5
	FECHA DE REALIZACIÓN: 29/JUN/00 RCC* de Correspondencia:
Elaborado por: Ernesto Napoleón Vides Alvarado, Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador. Dirección de la Institución: Edificio de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Final 25 Av Norte, San Salvador Tel. 235-4235 FAX 225-2506	Referencias: ANSI/AWS D1.1 Structural Welding Code NTC 2057, Weld_IT®

ESPECIFICACIÓN DE PROCESOS DE SOLDADURA (PS)		Tipo de gas protector.
Numero de PS** P1, P2	Tipo de PS SMAW	-
DISEÑO DE LA JUNTA		PREPARACIÓN DE LA JUNTA
Tipo de Unión	A tope	
Posición Soldadura	Horizontal	
Forma del WP	Manual	
Tipo de Junta	En V	
Soldadura desde:	<input type="checkbox"/> Un solo lado <input checked="" type="checkbox"/> Ambos lados	
Respaldo <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO	Material: Esesor:	
Nivel de Calidad de Soldadura	<input type="checkbox"/> Comercial <input type="checkbox"/> Según Código <input checked="" type="checkbox"/> Especial	
Soldabilidad del Acero	<input type="checkbox"/> Mala <input checked="" type="checkbox"/> Regular <input type="checkbox"/> Excelente	
Técnica		

IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL BASE			
PARTE	ESPECIFICACIÓN Y GRADO	ESESOR O DIAMETRO	REQUERIMIENTOS ESPECIALES
(A)	ASTM – A36	Platinas 3/8 in de esesor	-
(B)	ASTM – A36	Platinas 3/8 in de esesor	-

IDENTIFICACIÓN DEL MATERIAL DE RELLENO				
PROCESO	FABRICANTE	ESPECIFICACIÓN COMERCIAL	TIPO ELECTRODO	MANIPULACIÓN Y/O ALMACENAMIENTO
P1	LINCOLN	Fleetweld 35	E6011	
P2	LINCOLN	Jetweld 2	E6027	

PARAMETROS DE SOLDADURA									
PASES DE SOLDADURA	PROCESOS DE SOLDADURA A UTILIZAR	MATERIAL DE APORTE A UTILIZAR	DIMENSIONES DEL MATERIAL DE APORTE	VELOCIDAD DE SOLDADURA	CORRIENTE	POLARIDAD CORRIENTE	VOLTAJE	FLUJO DE GAS PROMEDIO	TASA DE DEPOSITACION
1	P1	Fleetweld 35	φ 3/16	8.0 – 10.0 in/min	110 – 180	DCEP	120 – 200		0.148 lb/ft
2, 3	P2	Jetweld 2	φ 3/16	14.5 – 17.5 in/min	230 – 270	DCEN	250 – 300		0.366 lb/ft

TRATAMIENTO TÉRMICO (TT)	
PRECALENTAMIENTO MINIMO:	
TEMPERATURA MÁXIMA DE INTERPASE	
TEMPERATURA MÍNIMA DE INTERPASE	
POST CALENTAMIENTO:	

ACEPTACIÓN DEL TT

OBSERVACIONES: El presente EPS fue diseñado para reproducir falta de penetración debido a un talón de la junta demasiado grandes específicamente, un talón demasiado ancho. El resto de variables del proceso de soldadura se han mantenido para obtener una soldadura de buena calidad. Además el diseño de un talón demasiado grande fue con el objeto, de aumentar la falta de fusión en la junta. Las dimensiones de el espécimen soldado puede apreciarse en la FIGURA 6-17.

FECHA DE AUTORIZACIÓN DEL PRESENTE EPS	DÍA: 5	MES: Abril	AÑO: 2000
--	--------	------------	-----------

* RCC = Reporte de Control de Calidad del Proceso de Soldadura, realizado siguiendo el EPS
 ** PS = Proceso de Soldadura

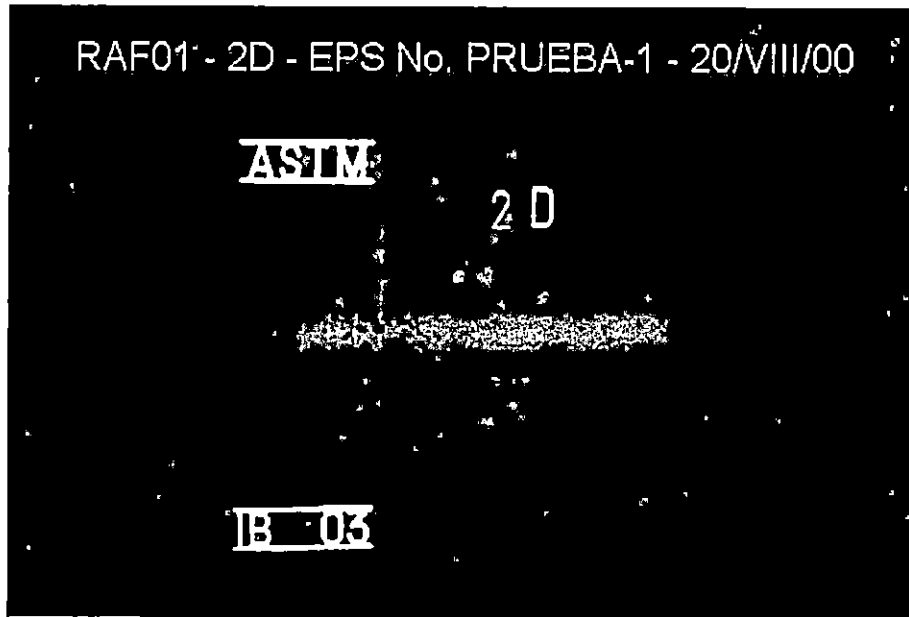


FIGURA 6-18. Radiografía en la cual se muestran Inclusiones de Escoria en un cordón de soldadura y el defecto superficial de salpicaduras. Radiografía identificada con el código RAF01, realizada en una chapa de identificada con el código 2D, Correspondiente a las especificaciones proporcionadas por las EPS No. PRUEBA-1. Trabajo Radiográfico realizado el 20/VIII/00. Para mayor información consultar la TABLA 6-4.

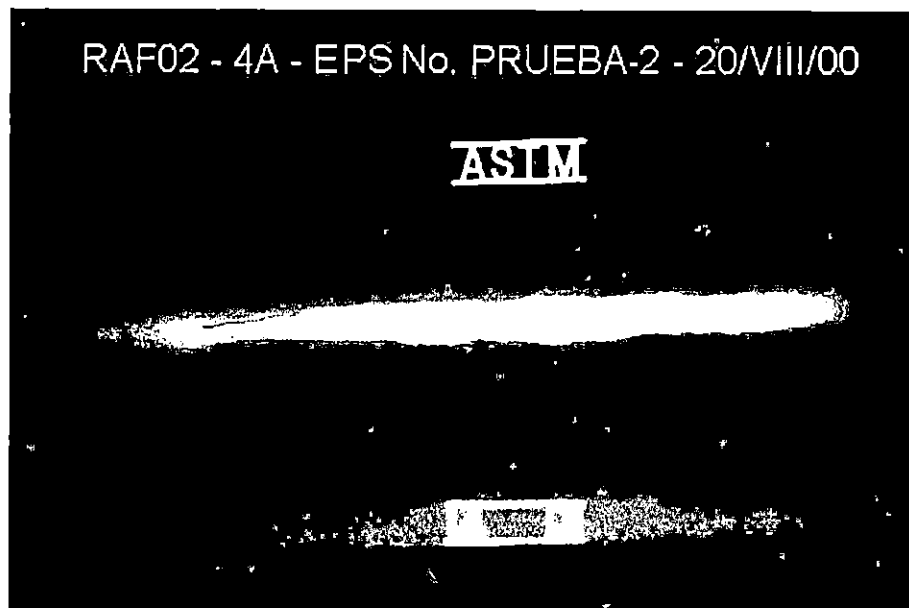


FIGURA 6-19. Radiografía en la cual se muestra una grieta en un cordón de soldadura. Radiografía identificada con el código RAF02, realizada en una chapa de identificada con el código 4A, Correspondiente a las especificaciones proporcionadas por las EPS No. PRUEBA-2. Trabajo Radiográfico realizado el 20/VIII/00. Para mayor información consultar la TABLA 6-4.

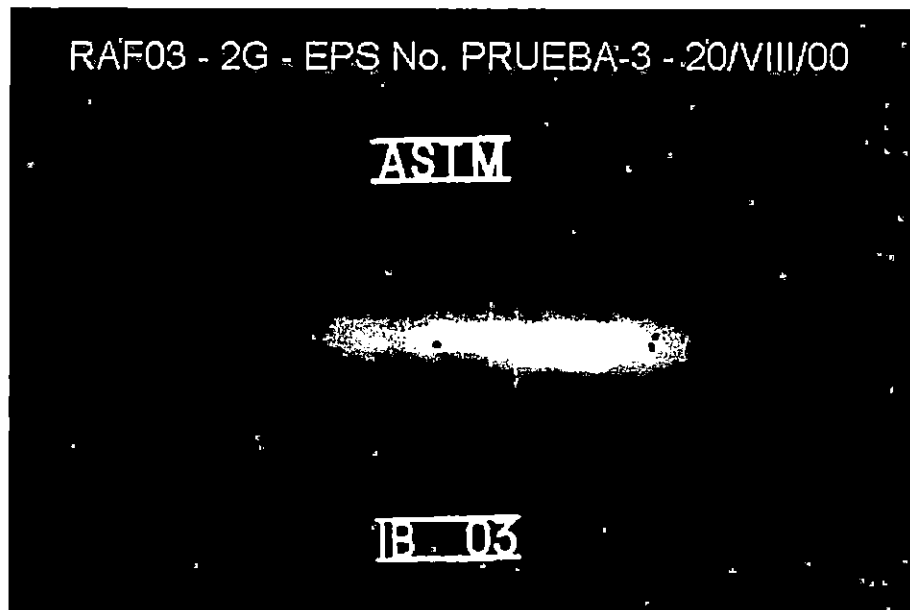


FIGURA 6-20. Radiografía en la cual se muestran porosidades en un cordón de soldaduras. Radiografía identificada con el código RAF03, realizada en una chapa de identificada con el código 2G, Correspondiente a las especificaciones proporcionadas por las EPS No. PRUEBA-3. Trabajo Radiográfico realizado el 20/VIII/00. Para mayor información consultar la TABLA 6-4.

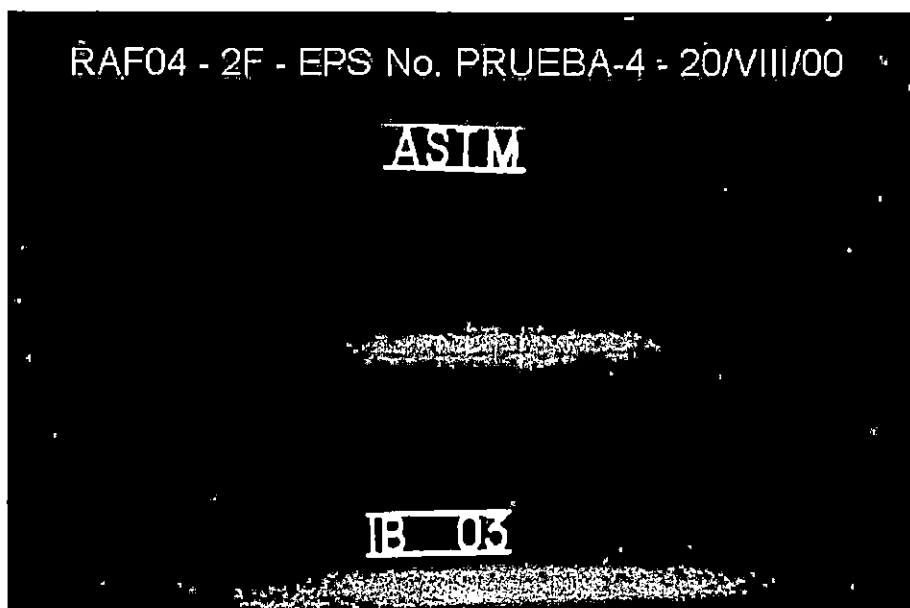


FIGURA 6-21. Radiografía en la cual se muestra la falta falta de penetración en un cordón de soldadura.. Radiografía identificada con el código RAF04, realizada en una chapa de identificada con el código 2F, Correspondiente a las especificaciones proporcionadas por las EPS No. PRUEBA-4. Trabajo Radiográfico realizado el 20/VIII/00. Para mayor información consultar la TABLA 6-4.

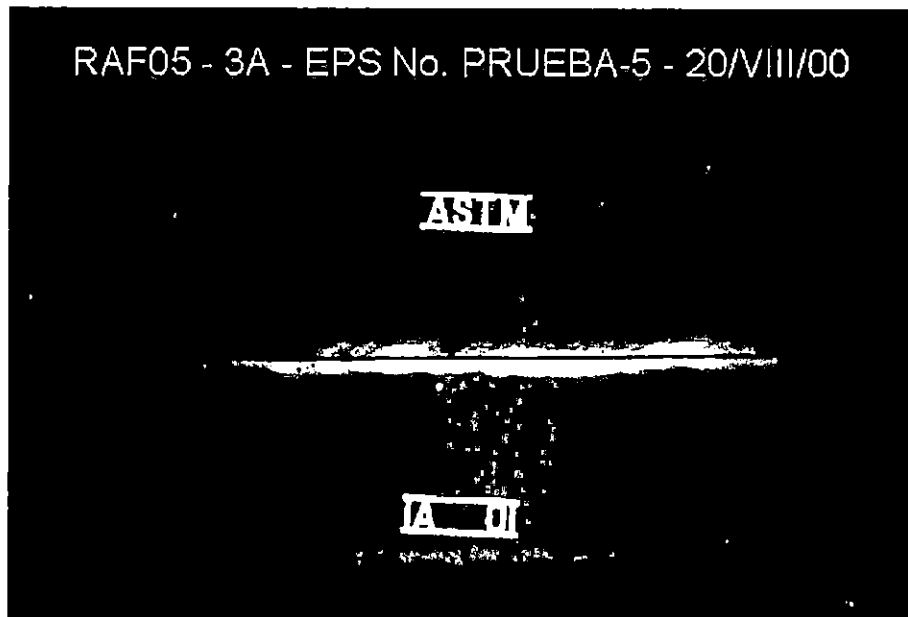


FIGURA 6-22. Radiografía en la cual se muestra la falta de penetración en un cordón de soldadura. Radiografía identificada con el código RAF05, realizada en una chapa de identificada con el código 3A, Correspondiente a las especificaciones proporcionadas por las EPS No. PRUEBA-5. Trabajo Radiográfico realizado el 20/VIII/00. Para mayor información consultar la TABLA 6-4.

6.7 REFERENCIAS DEL CAPÍTULO.

- [6-1] Tomado de Apuntes de las clases de la Asignatura: "Técnica General de la Soldadura", Ciclo II-99, Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador.
- [6-2] Tomado de la Revista "Machine Design", Volumen XII, Edición 3, Año 1994.
- [6-3] Tomado de la Revista "Machine Design", Volumen XII, Edición 3, Año 1994.
- [6-4] The Lincoln Electric Company "The Procedure Handbook of Arc Welding", 12th Edition, Ohio, USA, 1973 - Section 6.1, page 6.1-1
- [6-5] Sitio WEB Machine Design Virtual Magazine- Apartado de selección de materiales - Basics of Design Engineering Materials Section about Carbon Steel and HSLA Steel.
<http://www.machinedesign.com>
- [6-6] The Lincoln Electric Company "The Procedure Handbook of Arc Welding", 12th Edition, Ohio, USA, 1973 - Section 6.1, page 6.1-1
- [6-7] Especificaciones de las normativas ASTM de los Aceros al Carbono de Calidad Estructural en barras, laminas y platina son A283, A36, A516, A516 VEA5E ANEXO 6-1
- [6-8] Sitio WEB Machine Design Virtual Magazine- Apartado de selección de materiales - Basics of Design Engineering Materials Section about Carbon Steel.
<http://www.machinedesign.com>
- [6-9] Sitio WEB Machine Design Virtual Magazine- Apartado de selección de materiales - Basics of Design Engineering Materials Section about HSLA Steel.
<http://www.machinedesign.com>
- [6-10] The Lincoln Electric Company "The Procedure Handbook of Arc Welding", 12th Edition, Ohio, USA, 1973 - Section 6.1, page 6.1-12.
- [6-11] Tomado de Apuntes de las clases de la Asignatura: "Técnica General de la Soldadura", Ciclo II-99, Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad de El Salvador.
- [6-12] Annual ASTM Standard Book of 1994
- [6-13] The Lincoln Electric Company "The Procedure Handbook of Arc Welding", 12th Edition, Ohio, USA, 1973 - Section 6.1, page 6.1-15
- [6-14] AISC, "Specifications for the Design, Fabrication and Erection of Structural Steel for Buildings", Chicago Illinois, USA, 1999, info tomada del Sitio WEB <http://www.aisc.org>
- [6-15] GIACHINO, Joseph "Técnica y Practica de la Soldadura", 1a Edición, Editorial Reverte S.A., Barcelona España, 1998 - CAPITULO 4, pagina 43.
- [6-16] ANSI/AWS D1.1:1998, 16th Edition by AWS Committee on Structural Welding, Miami, Florida, NOV 1998 Sumario realizado de la sección 2.0.
- [6-17] GIACHINO, Joseph "Técnica y Practica de la Soldadura", 1a Edición, Editorial Reverte S.A., Barcelona España, 1998 - CAPITULO 4, pagina 42.
- [6-18] GIACHINO, Joseph "Técnica y Practica de la Soldadura", 1a Edición, Editorial Reverte S.A., Barcelona España, 1998 - CAPITULO 4, pagina 43.
- [6-19] ANSI/AWS D1.1:1998, 16th Edition by AWS Committee on Structural Welding, Miami, Florida, NOV 1998 Sumario realizado de las secciones 6.2, 6.2-21, 6.2-22, 6.2-23, 6.2-24
- [6-20] GIACHINO, Joseph "Técnica y Practica de la Soldadura", 1a Edición, Editorial Reverte S.A., Barcelona España, 1998 - CAPITULO 4, pagina 47.
- [6-21] Información Recopilada de Diversas Publicaciones de la firma comercial Lincoln Electric. Véase ANEXO 6-2.
- [6-22] Homos para Secado de Electrodo, Distribuidor Autorizado en el El Salvador, CONSULMET S.A. De C.V., (Consultores en Ingeniería Metalurgica) Mayor información con el Ing. Manuel Pineda, a los teléfonos 257-7306, 846-9808, FAX 278-1901.
CONSULMET Se encuentra ubicada en el Pasaje Acuario, No. 9, Block D, En la Ciudad Satelite, San Salvador, El Salvador.
- [6-23] Información Recopilada de Diversas Publicaciones de la firma comercial Lincoln Electric. Véase ANEXO 6-3.
- [6-24] Información Recopilada de Diversas Publicaciones de la firma comercial Lincoln Electric. Véase ANEXO 6-4.

- [6-25] Información Recopilada de Diversas Publicaciones de la firma comercial Lincoln Electric. Véase ANEXO 6-4.
- [6-26] Información Recopilada de Diversas Publicaciones de la firma comercial Lincoln Electric. Véase ANEXO 6-5.
- [6-27] Norma Colombiana ICONTEC 2057, "Código para calificar el procedimiento para soldar y la habilidad del Soldador", Instituto Colombiano de Normas Técnicas - ICONTEC - 1995.
- [6-28] GIACHINO, Joseph "Técnica y Practica de la Soldadura", 1a Edición, Editorial Reverte S.A., Barcelona España, 1998 - CAPITULO 4, pagina 19.
- [6-29] ANSI/AWS D1.1:1998, 16th Edition by AWS Committee on Structural Welding, Miami, Florida, NOV 1998 Sumario realizado de las secciones 4.0, 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8
- [6-30] Tri Tool Inc. Equipment for a Wide Range of Sizes and Solution.
Pipe weld preparation equipment falls into several distinct types. Which is best for you depends on the pipe's size, wall thickness, material, and the weld to be performed. Machines are arranged into classifications based on their method of mounting and/or the machining operations they perform.
More information in <http://www.tritool.com/>
- [6-31] Imagenes tomadas respectivamente de los siguientes sitios WEB:
Tri Tool Inc. Equipment for a Wide Range of Sizes and Solution, <http://www.tritool.com/>
Walholde Tools, Inc. Tube and Pipe Alignment Tools, <http://www.walholde.com>
- [6-32] WPS generados por el Software WEL_IT, elaborador por The Canadian Welding Society.
- [6-33] ASM HANDBOOK Shielded Metal Arc Welding.
- [6-34] ANSI/AWS D1.1:1998, 16th Edition by AWS Committee on Structural Welding, Miami, Florida, NOV 1998

CAPÍTULO VII

Diseño de los Indicadores de Calidad de la Imagen Radiográfica, Negatoscopio y el Prototipo Experimental de Gammagrafía Industrial

7.0 INTRODUCCIÓN.

Previo al desarrollo de los diferentes diseños del prototipo experimental de gammagrafía, de los Indicadores de Calidad de la Imagen radiográfica y del negatoscopio, cabe mencionar que todos estos han sido elaborados minuciosamente utilizando las referencias y especificaciones del caso, con el fin de que una vez fabricados proporcionen los mejores resultados posibles.

Con el fin de proporcionar un orden lógico del trabajo realizado, el presente capítulo ha sido dividido en tres partes las cuales corresponden a cada uno de los diseños ya mencionados.

Para el diseño de los indicadores de calidad de imagen, llamados IQI (por sus siglas en inglés), se presentan los diferentes tipos de IQI existentes, así como los diferentes tipos de sensibilidad que se aplican a los mismos, para concluir con el diseño de los IQI que serán utilizados en las pruebas que se llevaran a cabo.

Luego se procede a desarrollar el diseño del negatoscopio para este caso, se presenta ampliamente la teoría del fenómeno de la iluminación, para poder comprender mejor los parámetros con los cuales se lleva a cabo el diseño del negatoscopio, diseño el cual se presenta al final de esta parte.

Para concluir se presenta el diseño del equipo experimental de gammagrafía industrial, diseño en el

cual se incluyen todos los bosquejos en las respectivas escalas para su mejor comprensión, además de todos los cálculos utilizados en el diseño del mismo, para que puedan ser utilizados fácilmente y sin presentar inconvenientes en materia de protección radiológica.

7.1 CALIDAD DE LA IMAGEN RADIOGRÁFICA Y DISEÑO DE LOS INDICADORES DE CONTROL DE CALIDAD DE LA IMAGEN RADIOGRÁFICA.

7.1.1 CALIDAD E LA IMAGEN RADIOGRÁFICA.^[7-1]

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

En muchos trabajos radiográficos ambos términos, '*calidad*' y '*sensibilidad radiográfica*', se consideran sinónimos, muy especialmente dependen de la detección de defectos de estructuras metálicas o piezas mecánicas, es aquí donde la capacidad para evidenciar un defecto muy pequeño, demanda un aumento de la sensibilidad radiográfica, y es así como un aumento en la sensibilidad radiográfica es considerada por el radiólogo como una mejora en la calidad radiográfica. Sin embargo, al inspeccionar piezas moldeadas de espesor irregular, la posibilidad de cubrir una diversidad de espesores en una sola radiografía que ofrezca una sensibilidad aceptable en todas partes, puede ser considerada como un criterio de calidad, y puede ser preferido a tener un máximo de sensibilidad para un determinado espesor de la pieza. La calidad radiográfica, en el ejemplo anterior, requiere tener en cuenta tanto la visualización de los distintos espesores como la sensibilidad de los mismos. Se pueden radiografiar determinados agujeros con el fin de medir una dimensión, tal como el diámetro de un hilo o un agujero taladrado o la orientación de una parte del conjunto, entonces el criterio más importante puede ser la definición del detalle, la nitidez de la imagen de los bordes, o incluso la posición angular correcta del componente con respecto al haz de radiación. En estos casos la sensibilidad radiográfica puede ser un factor relativamente secundario en la definición de una radiografía de alta calidad.

No obstante, una gran proporción de trabajos radiográficos corresponden a la detección de defectos de soldaduras de estructuras metálicas o bien coladas en piezas fundidas, y entonces la sensibilidad radiográfica es un factor importante. En el examen radiográfico existen limitaciones para las dimensiones de los defectos que pueden ser detectados mediante la radiografía. Estos límites y los factores que rigen la sensibilidad han sido presentados en la etapa anterior del trabajo de graduación, en la cual se habló de los conceptos de contraste y definición radiográfica.

Con relación a la sensibilidad radiográfica, en su definición se utilizan una serie de términos con frecuencia son empleados de una manera ambigua y que, por lo tanto, conviene dejar bien claros, estos son los *penetrómetros* e *indicadores de control de calidad de la imagen*, todo esto y mas será explicado en detalle en el apartado siguiente.

7.1.2 PENETRÓMETROS E INDICADORES DE CALIDAD DE LA IMÁGENES.^[7-2]

En consecuencia a lo expuesto en el apartado anterior, en relación a la sensibilidad que puede ser obtenida en un ensayo radiográfico, se puede asegurar que la percepción de los posibles defectos que en ella se puedan presentar depende de la calidad radiografía obtenida.

Esta calidad de imagen, que es consecuencia de la técnica radiográfica seguida, es necesario plasmarla en un valor en particular y para ello se recurre a los '*Indicadores de Calidad de Imagen*', conocidos por IQI, por sus siglas en inglés, y por muchos especialistas de la radiología tanto médica como industrial son llamados '*objetos de prueba*' o bien incluso como '*fantomas*'. o '*penetrometros*'. ^[7-3]

La denominación '*Indicador de Calidad de Imagen*', aceptada por el IIV, sustituye a la palabra '*penetrómetro*', anteriormente utilizada en Europa y aún hoy de uso muy corriente en muchos países, sobre todo en aquellos de habla inglesa. En la actualidad la ISO viene utilizando desde hace mucho tiempo, el término indicador de calidad de la imagen, en vez del de penetrómetro. El término penetrómetro puede prestarse a equívocos, en el sentido de no haber ninguna relación entre la indicación proporcionada por el IQI (defectos provocados de formas regulares y aristas vivas) y los más pequeños defectos que pueda presentar el objeto examinado (defectos de formas irregulares y contornos imprecisos). Esta demás decir, que si se utiliza el término penetrómetro, da la impresión que el fin para el cual se utiliza es el de penetrar el objeto a radiografiar, cuando quien en realidad penetra es la radiación tanto el objeto de prueba y la pieza a examinar; por ello lo mejor es utilizar los términos de indicador de calidad de la imagen, porque en efecto este sí es el fin para el cual se utilizan los objetos de prueba.

El indicador de calidad de imagen, que en general es un pequeño dispositivo constituido por un material de naturaleza idéntica o de propiedades análogas desde el punto de vista de su poder de absorción de la radiación de la pieza que se ha de radiografiar, puede tener una serie de fines distintos, tales como los siguientes:

- a) Un método corriente de especificar técnicas radiográficas es el de referirse a un valor de sensibilidad del IQI de imagen que ha de ser alcanzada para que la radiografía sea considerada como aceptable.
- b) La sensibilidad radiográfica alcanzada en partes diferentes de un mismo objeto, incluso sobre la misma radiografía puede no ser constante, debido a variaciones de espesor, etc. Entonces el IQI puede ser utilizado para señalar la sensibilidad obtenida en las distintas zonas de la radiografía;
- c) Incluso en técnicas rigurosamente controladas pueden presentarse variaciones inesperadas e imprevisibles que afectan a la radiografía obtenida. La importancia de cualquiera de tales efectos ha de ser juzgada y el método corrientemente utilizado es el empleo de un IQI.
- d) Existe una cierta relación entre la sensibilidad para detectar un defecto y la sensibilidad del IQI, sobre todo cuando se trata de un defecto complejo. Casi siempre, si se tiene una mayor sensibilidad para el indicador, la correspondiente para la detección del defecto será mayor.

La calidad de la radiografía es mucho mejor cuanto más visibles son sobre ellas las partes más delgadas o diminutas del IQI. Sin embargo, los IQI no pueden garantizar detección de los defectos cuyas dimensiones sean iguales al valor de la sensibilidad obtenida en la radiografía, ya que la detección de los defectos depende, por un lado, de su tamaño y, por otro, de su orientación con respecto a la dirección del haz de radiación. Es, por tanto, un error el considerar los resultados de la sensibilidad radiográfica como una medida absoluta del tamaño y forma de los defectos de las piezas a inspeccionar.

Por otra parte, y aunque se acostumbra a caracterizar la calidad de imagen por una dimensión del IQI expresada en tanto por ciento del espesor radiografiado (para mayor explicación véase el Apartado 7.1.5.1), es preciso hacer constar el hecho de que, para una misma calidad de imagen, las sensibilidades calculadas a partir de los diferentes tipos de indicadores son muy distintas. Así, por ejemplo, un escalón de espesor determinado es más fácil de ver que un fino alambre metálico del mismo

diámetro, el cual a su vez se distingue más fácilmente que un agujero taladrado de igual diámetro y profundidad, pues la visibilidad de éste depende a su vez de esas dos dimensiones, diámetros y profundidad.

La características esenciales que debe poseer un IQI son las siguientes:

- a) Ha de ser sensible en sus lecturas a los cambios en la técnica radiográfica seguida para la obtención de la radiografía.
- b) El método de lectura de su imagen debe ser lo más sencillo y concreto posible. Su interpretación debe ser siempre la misma, cualquiera que sea la persona que efectúe las inspecciones de las radiografías. El valor obtenido para la sensibilidad radiográfica debe de ser concreto y exacto. Todos estos criterios requieren una elección muy cuidadosa de los elementos que han de utilizarse como IQI.
- c) El IQI ha de ser versátil y de aplicación sencilla. Los objetos que han de ser radiografiados no tienen espesores normalizados y es conveniente que no sea preciso utilizar una gran variedad de IQI.
- d) El IQI debe ser pequeño. Su imagen, que ha de aparecer en la radiografía, no ha de ocultar zonas o partes útiles de la imagen. La imagen del IQI debe de ser de tal naturaleza que nunca pueda ser confundida con un posible defecto presente en el objeto radiografiado.
- e) El IQI ha de ser preferentemente de fabricación económica y de fácil normalización.
- f) El IQI ha de incorporar alguna marca o identificación de su tamaño.

De lo expuesto se deduce, por una parte, que el literal a) es fundamental y, por otra parte, un buen IQI, si bien ha de ser sensible a cualquiera de los posibles cambios en contraste y definición radiográfica, no debe serlo a aquellos factores que afectan al contraste o a la definición radiográfica.

La historia del proyecto de los IQI es un tópico que cambia de continuo, de tal forma que cualquier descripción de los tipos en uso tiende a resultar anticuada en el espacio de pocos años. Aún las instituciones o asociaciones más importantes del caso que vienen utilizando determinados tipos de IQI desde hace tiempo, revisan constantemente los estudios llevados a cabo y en estos, principalmente los resultados y valores experimentales obtenidos de estos, para confrontarlos con las nuevas especificaciones y normalizaciones de los mismos, que van surgiendo día con día.

7.1.3 TIPOS DE INDICADORES DE IMÁGENES.^[7-4]

Son muchos los diversos tipos de IQI que se encuentran en uso en la actualidad, pero en lo que respecta a la radiografía industrial en película, en general podemos agruparlos por sus características, resultando en cuatro tipos, los cuales mencionamos a continuación:

- a) IQI del tipo de alambres (IQI de hilos).
- b) IQI de peldaños con agujeros taladrados.
- c) IQI de placas de espesor constante y agujeros taladrados.
- d) IQI de doble hilos.

Mucho se ha hablado y escrito al respecto de cada uno de los tipos de IQI, tanto por cuerpos gubernamentales como instituciones privadas, proporcionando recomendaciones o instrucciones en lo que se refiere a la selección, utilización y la fabricación misma de estos, siempre con el fin de asegurar radiografías de calidad adecuada. Para una mejor comprensión de cada uno de estos, en los apartados

que siguen a continuación, presentamos una breve descripción de cada uno de ellos.

7.1.3.1 IQI DEL TIPO DE ALAMBRES.

El IQI de alambres o IQI de hilos como también se le conoce, es probablemente el IQI más ampliamente utilizado en la radiografía en película. Diversos modelos de IQI de alambres han sido estudiados desarrollados y se encuentran siendo utilizados por organizaciones de países tales como Alemania, Escandinavia, Inglaterra, Rusia, Japón, China, Estados Unidos y desde hace algún tiempo por la ISO.

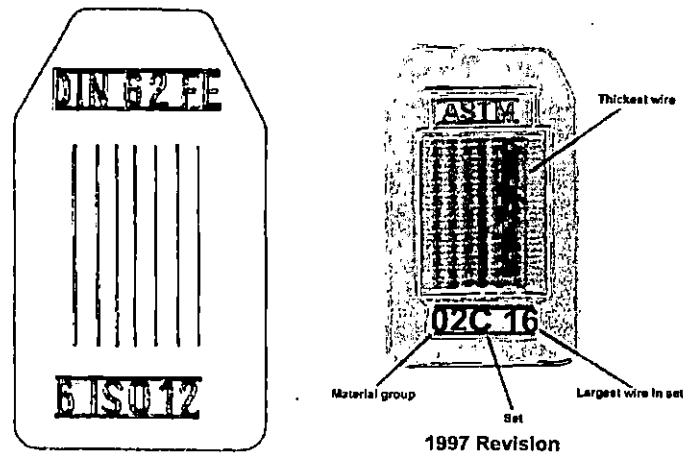


FIGURA 7-1. Esquemas de IQI de hilos.

Los IQI de hilos consisten de un grupo de alambres metálicos los cuales han sido alargados, y colocados con cierto espaciamento unos de otros. Estos por lo general son del mismo tipo de material que el objeto por radiografiar. Los diámetros ampliamente utilizados varían según la serie en la cual estos son agrupados, entre estas podrían encontrarse las series 0.10, 0.125, 0.16, 0.20, 0.25, 0.32, 0.40, 0.50, 0.63, 0.80, 1.00; cada una denota un grupo de características muy particulares del IQI. ^[7-5]

Los alambres pueden poseer longitudes que van desde 10, 20, 30 ó hasta 50 mm, dependiendo de los estándares bajo los cuales estos han sido fabricados para una aplicación en particular. Los alambres se colocan paralelos unos de otros, y junto con los respectivos símbolos de identificación del IQI, se encuentran dentro de un empaque de plástico de baja densidad, tal y como se aprecia en la FIGURA 8-1.

Un típico IQI de hilos, esta compuesto de seis a siete hilos, dependiendo de la serie a la cual pertenece

La características esenciales que debe poseer un IQI varían un poco de una norma a otra, pero son muy similares, pero siempre se trata de conservar en estas una facilidad en cuanto a la adquisición del material del que deben fabricarse los mismos, así como una facilidad en cuanto al proceso de fabricación que en estos debe llevarse a cabo. En nuestro medio, son muy populares las especificaciones de la ASTM^[7-5] en cuanto a la utilización de los IQI de alambres.

El IQI de hilos: es colocado sobre la pieza a examinar y el menor diámetro del hilo debe ser visible, este valor es una medida de la sensibilidad del IQI. Es muchos estándares la sensibilidad del IQI de hilos es expresado como un porcentaje, y es calculado de la forma siguiente:

$$S(\text{IQI de alambres}) = \frac{\text{diámetro del esperor que puede ser visible}}{\text{espesor del objeto radiografiado}} \cdot 100\% \quad (7-1)$$

El uso de porcentajes como valores de la sensibilidad del IQI de hilos, puede llevar a confusiones, sobre todo en la radiografía de película efectuada en tuberías, pero a pesar de esto, modernos estándares aceptan que el diámetro del IQI de hilos sea una medida de la sensibilidad del mismo (como es el caso de las GOST Russian Standard) o el número de alambres (como es el caso de la norma europea EN 462-1). Por otro lado la ASTM proporciona ecuaciones y gráficos para obtener el equivalente del IQI de hilos en sus respectivos valores de sensibilidad de espesor, es decir, a 1T y 2T.

7.1.3.2 IQI DE DOBLE HILOS.

Como el tipo de IQI presentado con anterioridad, el IQI de doble hilos se constituye en una importante variable del mismo, aunque este tipo de IQI ya no es utilizado rutinariamente en la radiografía industrial de película, debido al alto costo de fabricación del mismo, lo cual resulta básicamente de los materiales que debe construirse el mismo y a causa de los costosos procesos de fabricación que deben realizarse para producirlo.

El IQI de doble hilo, consiste de una serie de parejas de hilos de diámetros (d), materiales de una alta densidad (tungsteno y platino), donde cada pareja de hilos se encuentra a una cierta separación (D). Como se observa a lo largo de la FIGURA 7-2, la imagen radiografiada de la pareja de alambre puede ser observada claramente como dos hilos individuales, o bien puede ser que las imagen radiográficas se combinen de tal forma que brinden la impresión de que la imagen radiografiada corresponde aun solo hilo. El resultado obtenido es el que importa, esto se compara con el diámetro de los alambres, esto es una medida de la falta de definición total que el equipo posee, para aplicaciones de radioscopia, es decir, radiología en tiempo real, la falta de definición radiográfica actúa simultáneamente con otras variables las cuales si no se controlan afectarían grandemente los resultados que el equipo pueda proporcionar, es por ello la necesidad de utilizar este tipo de IQI con este equipo de inspección en particular. En la actualidad los detalles que deben poseer los IQI de alambre de doble hilo se encuentran detallados ampliamente sobretodo por estándares de la Unión Europea. [EN-462, part 5:1996]

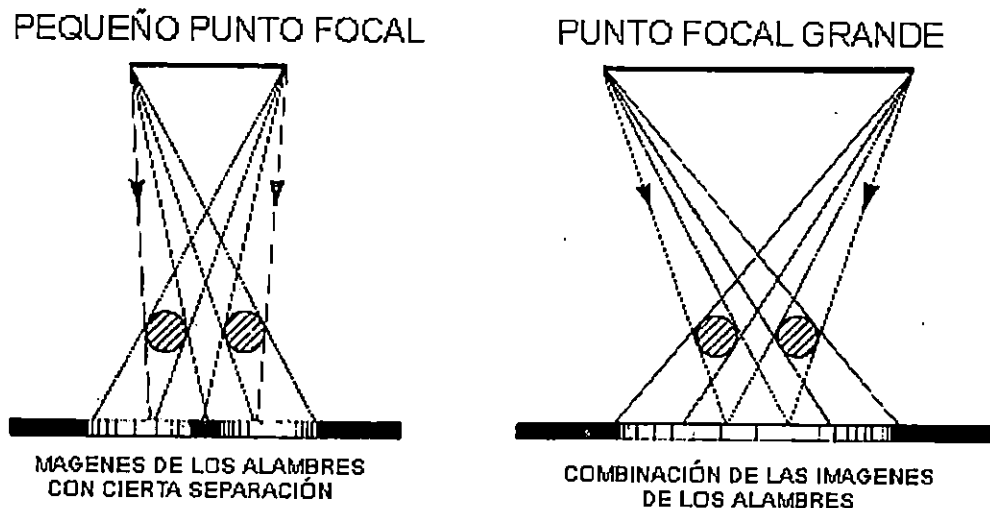


FIGURA 7-2. Resultados que proporciona un IQI de doble hilo, dependiendo de las características del tamaño focal de la fuente de radiación.

7.1.3.3 IQI DE PELDAÑOS CON AGUJEROS TALADRADOS.

Otro tipo de IQI ampliamente utilizado lo constituye el IQI de peldaños con agujeros taladrados, el cual se continua utilizando en America, pero sobre todo en Europa, pues muchos países del viejo continente (Europa) han preferido la utilización de este, en vez del IQI de hilos, debido a que resulta mas fácil su construcción, además de que puede fabricarse de materiales similares a los objetos a radiografiar, muy diferente como sucede con los IQI de hilos, los cuales muchas veces deben de fabricarse de materiales que presentan serios problemas económicos al utilizarlos, entre estos podemos mencionar el tungsteno y el platino. Es así como países como Inglaterra y Francia han popularizado y normalizado el uso del IQI de peldaños con agujeros taladrados, en Francia se le conoce como el indicador AFNOR o IQI AFNOR, por el Instituto de normalización de dicho país.

Por lo general están constituidos de cinco a seis peldaños, (Véase FIGURA 7-3) la altura relativa de un peldaño respecto del peldaño inferior, varia de una normativa a otra, tal podría tener un valor arbitrario limite máximo de 0.8 mm, o bien corresponder al diámetro del agujero taladrado en el peldaño mismo. Por lo general, los espesores de los peldaños y los diámetros de los agujeros corresponde a los diámetros especificados en alguna normativa relacionada con los IQI de hilos.

Prácticamente la sensibilidad del IQI de peldaño se basa en el hecho de la visibilidad del agujero de menor diámetro del IQI, no en la visibilidad del peldaño, por ejemplo si en un peldaño se encuentran dos agujeros y estos son los más pequeños de todos, los agujeros taladrados del IQI entonces ambos deberán ser visibles.

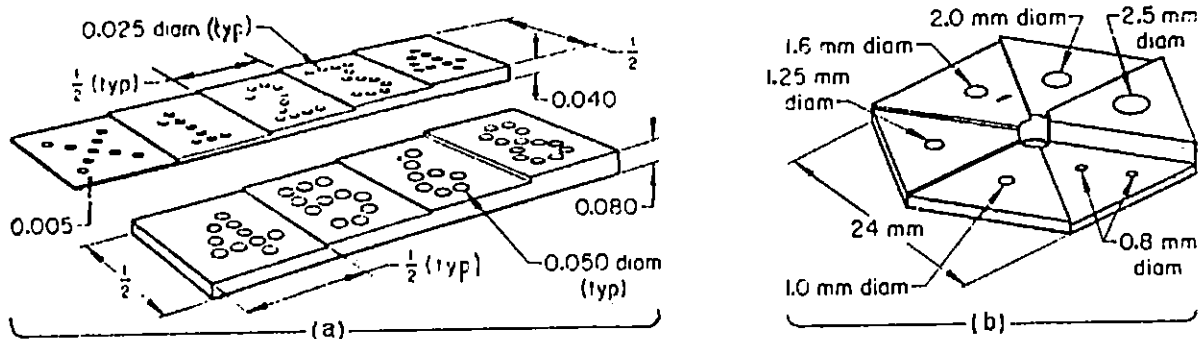


FIGURA 7-3. IQI de peldaños y agujeros taladrados. (a) Penetrametro Inglés. (b) Penetrametro Francés

Uno de los inconvenientes de este tipo de IQI, respecto del de hilos es el hecho de durante el proceso de proceso de fabricación, debe llevarse a cabo perforaciones en el IQI con diámetros y tolerancias muy pequeñas. Por lo general el agujero mas pequeño que debe ser taladrado debe tener una dimensión de 0.125 ± 0.005 mm

7.1.3.4 IQI DE PLACAS DE ESPESOR CONSTANTE Y AGUJEROS TALADRADOS.^[7-7]

En Estados Unidos existen varios tipos de IQI de espesor constante, a los que generalmente se les denomina 'penetrómetros' tal como mencionábamos en apartados anteriores, con el riesgo de confusión que este hecho puede provocar. Los IQI de placas de espesor constante y agujeros taladrados se construyen de acuerdo con las especificaciones de diversos códigos de fabricación o recepción de materiales.

Estos IQI se dividen en dos grupos principales caracterizados por el diámetro de los agujeros taladrados que lleva cada uno de ellos. Si el espesor de la placa que forma el indicador es T, los diámetros de los taladros para cada uno de los grupos o tipos de indicadores son los siguientes:

- a) tipo 4T - T - 2T
- b) tipo 4T - 3T - 2T

Para identificar exactamente cualquiera de estos IQI es necesario detallar los siguientes puntos:

- a) Material con el que está constituido el IQI o la pieza que ha de ser examinado;
- b) Espesor a radiografiar. Espesor de la plancha en el caso de la soldadura, salvo prescripción especial de la norma;
- c) Referencia exacta de la especificación o norma que debe ser cumplida;
- d) Cifras de identificación del IQI, con su tamaño expresado en pulgadas o milímetros;
- e) Croquis o plano acotado del IQI, en lugar, y sobre todo en ausencia, de referencia de norma.

En la versión actual de las siguientes especificaciones americanas: MIL-STD-453, sustituida a partir de octubre de 1962 por MIL-I-6865 B No 2, ASTM, ASME, NAV-SHIP-250-1500-1 (modulo No. 3-23, mayo 1962), MIL-R-11 471-ORD (Am No. 3). Las dimensiones externas de los IQI, así como las marcas de identificación o referencia son diferentes, pero en todas ellas existe uniformidad en cuanto se refiere al espesor del indicador, que ha sido sistemáticamente normalizado al valor 2% del espesor a radiografiar, y los diámetros mínimos de los agujeros taladrados cuyas dimensiones normalizadas son:

- para 4T 0.04 pulgadas = 1 mm;
- para 2T 0.02 pulgadas = 0.5 mm;
- para 1T 0.01 pulgadas = 0.25 mm

valores que corresponden al indicador para un espesor de ½ pulgada (12.7 mm).

7.1.3.4.1 INDICADORES TIPO 4T - 1T - 2T (ASTM).

Este es el grupo más importante de los indicadores americanos, siendo además, el más ampliamente utilizado dentro y fuera de los Estados Unidos, puede apreciarse en la FIGURA 7-4.

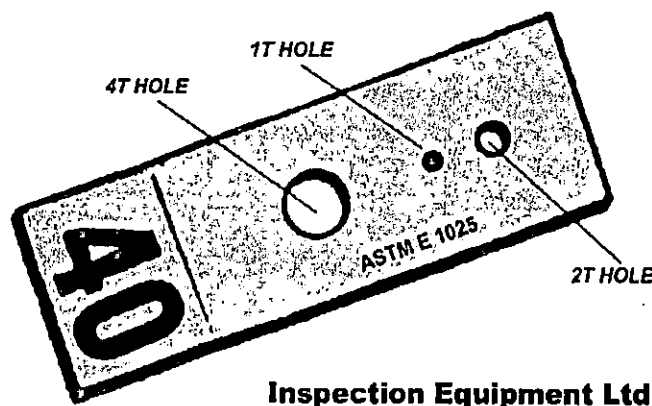


FIGURA 7-4. IQI del tipo de espesor constante del tipo 4T - 1T - 2T (ASTM).⁽⁷⁻⁸⁾

Según la ASTM⁽⁷⁻⁹⁾ en sus normativas, señala la necesidad mandatoria de utilizar un IQI para evaluar la calidad de radiografías industriales las cuales luego se utilizarán para determinar la calidad de una soldadura en particular. La ASTM⁽⁷⁻¹⁰⁾ es bien clara al indicar que la calidad radiográfica se determinará con la ayuda de un IQI, de acuerdo con los siguientes requerimientos:

- a) Los IQI a utilizar deberán haberse construido de un material radiográficamente análogo al examinado. Se entiende que los coeficientes de absorción para la radiación sean aproximadamente iguales; en general, no es preciso que el indicador sea de la misma aleación que el material radiografiado.
- b) Los IQI se construirán de acuerdo con los dibujos y especificaciones que se muestran en la FIGURA 7-5, excepto en aquellos casos que se indican en C). La ASTM sostiene que pueden ser admitidas algunas variaciones en su ancho y largo;
- c) Se admiten otros diseños para los IQI, siempre que su espesor y diámetro esté de acuerdo con lo indicado en la FIGURA 7-5;
- d) Los IQI llevarán una marca de identificación formada por una cifra de plomo. Este número representa el espesor del IQI expresado en milésimas de pulgada.

El espesor del IQI para los distintos niveles de inspección, se elegirá de acuerdo con lo expuesto en la TABLA 7-1.

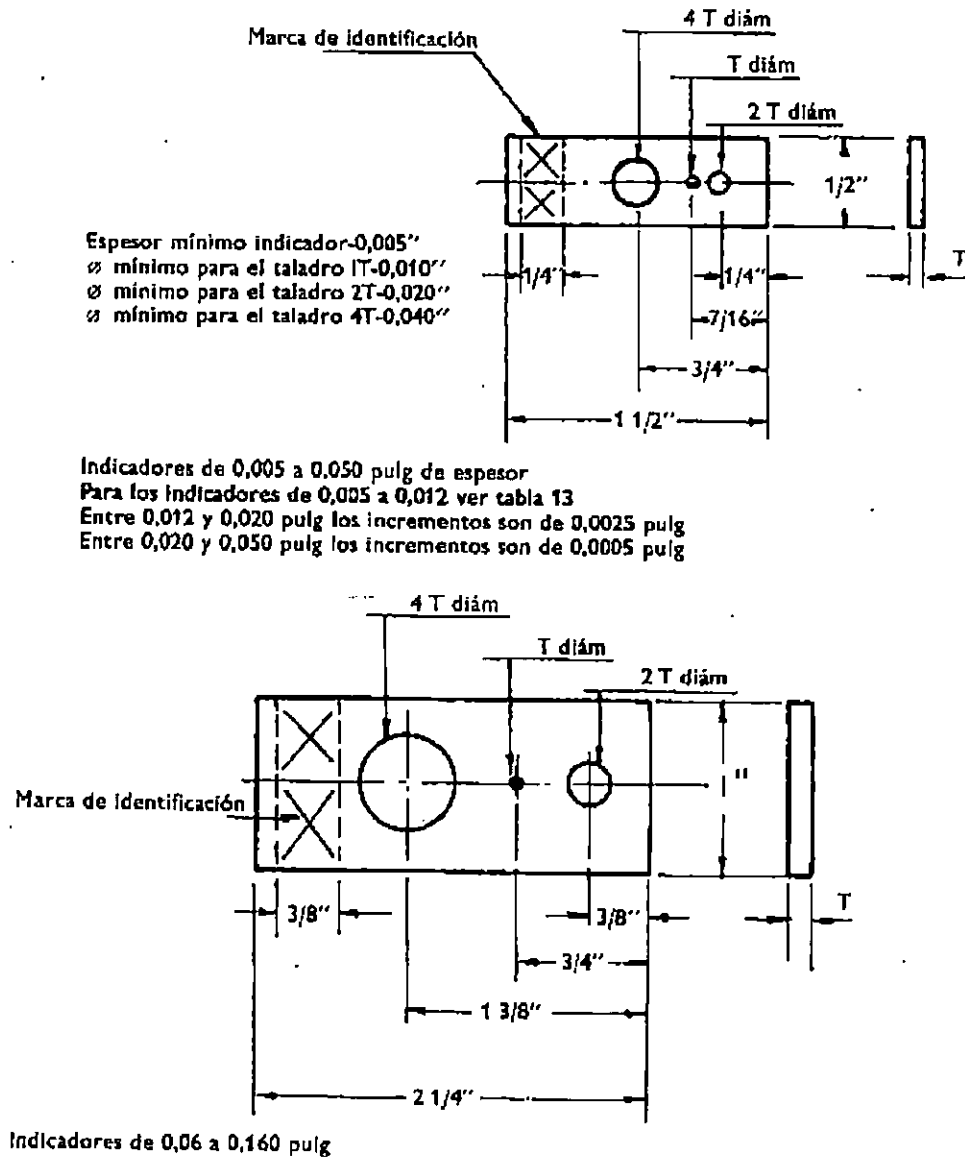
Marca Identificación	Espesor del IQI [milésimas de pulgada]	Espesor mínimo del Objeto [pulgada]		
		Categoría 2-1T, 2-2T, 2-4T	Categoría 1-1T y 1-2T	Categoría 4-2T
5	0.005	¼	½	1/8
6	0.006	5/16	5/8	...
8	0.008	3/8	¾	3/16
9	0.009	7/16	7/8	..
10	0.010	½	1	¼
11	0.011	9/16	1 1/16	...
12	0.012	5/8	1 ¼	...
20	0.020	1	2	½
100	0.100	5	10	2 ½
150	0.150	7 ½	15	3 ¼

TABLA 8-1

- e) Los indicadores, que contrariamente a estos requerimientos no lleven marcas de identificación; pueden ser provistos de ella colocando junto al indicador la cifra de plomo correspondiente a su espesor;
- f) En el caso de los IQI circulares, la marca de identificación se colocará junto a él para que quede constancia en la radiografía.

Las especificaciones de la ASTM no exigen que se vea necesariamente sobre la radiografía la imagen de los tres agujeros taladrados 4T - T - 2T. Todo depende de las condiciones impuestas en el control de la obra, ya que la especificación puede imponer el que sean visibles, uno, dos o los tres agujeros taladrados para un mismo espesor.

De acuerdo con las condiciones impuestas para la inspección, se distinguen las siguientes cuatro categorías de radiografías:



Nota. Tolerancias: espesor y diámetro de los taladros $\pm 10\%$; largo y ancho 0,5 de los incrementos de espesor.

FIGURA 7-5. Especificaciones dimensionales de un IQI de espesor constante según la norma ASTM E142-85 Radiografía de categoría 2-1T. En estas radiografías debe ser visible el agujero taladrado de diámetro 1T, del IQI correspondiente al 2% del espesor radiografiado.

Radiografía de categoría 2 - 2T. Debe de verse el agujero taladrado de diámetro 2T del indicador correspondiente al 2% del espesor radiografiado.

Radiografía de categoría 2 - 4T. En ellas, y utilizando el indicador correspondiente al 2%, deberá verse el agujero taladrado de diámetro 4T.

Radiografía de categoría especial. En este grupo se incluyen las categorías 1-1T, 2-2T y 4-2T. Todos las distintas categorías de radiografías quedan resumidas en la TABLA 7-2.

Categoría	Espesor indicador en %E	Ø agujero taladrado Mínimo Visible	Sensibilidad equivalente %
2-1T	2	1T	1.4
2-2T	2	2T	2.0
2-4T	2	4T	2.8
1-1T	1	1T	0.7
1-2T	1	2T	1.0
4-2T	4	2T	4.0

E = espesor a radiografiar

TABLA 7-2.

La sensibilidad equivalente del indicador es considerada como el 2% cuando el agujero taladrado de diámetro 2T es visible sobre el indicador de 2%. En la TABLA 7-2 puede verse cómo varía esta sensibilidad equivalente en función de las diferentes categorías de radiografías, mostrando claramente la graduación de la severidad exigida.

La sensibilidad radiográfica equivalente del indicador, más conocida como sensibilidad radiográfica es considerada como el 2% cuando el agujero taladrado de diámetro 2T es visible sobre el indicador de 2%. En la TABLA 7-2 puede verse cómo varía esta sensibilidad equivalente en función de las diferentes categorías de radiografías, mostrando claramente la graduación de la severidad exigida.

Cuando se han de radiografiar uniones soldadas, las reglas para la colocación del IQI son análogas a las ya expuestas por la AWS⁽⁷⁻¹¹⁾ para este tipo de tareas.

En principio el espesor a considerar es el espesor nominal de la plancha de metal base aumentado en el sobreespesor del cordón de soldadura. Normalmente, es necesario intercalar entre la plancha y el indicador una lámina o galga del mismo material, para que el espesor total sea igual al espesor de la soldadura. Los espesores de estas galgas son las mismas que se darán para los indicadores ASME.

Cuando se tengan que radiografiar tubos utilizando la técnica de doble pared, situando la fuente emisora de la radiación fuera del tubo, el IQI se colocara sobre el tubo a lo largo de la unión soldada, y del lado por el que incida la radiación. Como consecuencia de esto, el IQI que se debe utilizar es el correspondiente a dos veces el espesor de pared aumentando eventualmente en el sobreespesor del cordón y el soporte de raíz.

7.1.3.4.2 INDICADORES DEL TIPO 4T - 3T - 2T (ASME).

Este indicador de calidad de imagen, FIGURA 7-5, responde a las especificaciones de la ASME.^[7-12] El espesor normal del indicador es igual al 2% del espesor a radiografiar, este espesor se indica con números de plomo cuya altura no ha de ser inferior a 3/32 pulgadas (2.4 mm); este IQI puede apreciarse en la FIGURA 7-6.

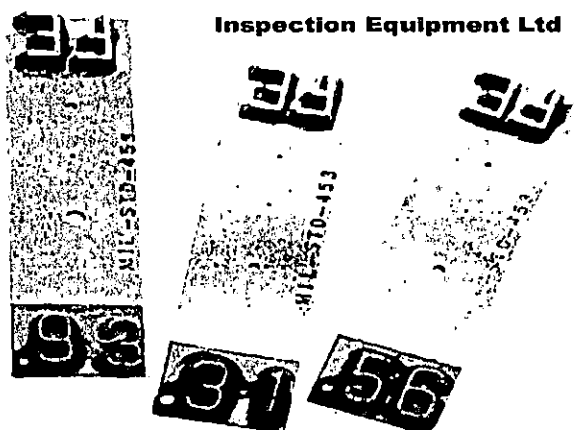


FIGURA 7-6. IQI tipo MIL, fabricados por la Firma Comercial NDT Equipment Service Ltd ^[7-13]

Los espesores normales de los indicadores utilizados en la inspección de uniones soldadas, la marca de identificación que han de llevar y su campo de aplicación, en cuanto se refiere al espesor que se va a radiografiar, son las que se dan en la TABLA 7-3.

Espesor de la Soldadura	Espesor del IQI colocado del lado de la fuente	Designación del IQI	Espesor del IQI colocado del lado de la película	Designación del IQI
Hasta ¼ pulgada incluido	0.005	5	0.005	5
De ¼ a 3/8 pulgada	0.0075	6	0.0075	7
De 3/8 a ½ pulgada	0.010	10	0.010	10
De ½ a 5/8 pulgada	0.0125	12	0.010	10
De 5/8 a ¾ pulgada	0.015	15	0.012	12
De ¾ a 7/8 pulgada	0.0175	17	0.015	15
De 7/8 a 1 pulgada	0.020	20	0.017	17
De 1 a 1 ¼ pulgada	0.025	25	0.020	20
De 1 ¼ a 1 ½ pulgada	0.030	30	0.025	25
De 1 ½ a 2 pulgadas	0.035	35	0.030	30
De 2 a 2 ½ pulgada	0.040	40	0.030	30
De 2 ½ a 3 pulgadas	0.045	45	0.035	35
De 3 a 4 pulgadas	0.050	50	0.040	40
De 4 a 6 pulgadas	0.060	60	0.050	50
De 6 a 8 pulgadas	0.080	80	0.060	60
De 8 a 10 pulgadas	0.100	100	0.080	80
De 10 a 12 pulgadas	0.120	120	0.100	100
De 12 a 16 pulgadas	0.160	160	0.120	120
De 16 a 20 pulgadas	0.200	200	0.160	160

TABLA 7-3. Espesores, marcas de identificación y elección de indicador ASME según su situación.

Como ya se ha indicado anteriormente, en el caso de la inspección de uniones soldadas, en general, es necesario intercalar entre el indicador y la chapa una lámina o galga, de tal forma que el grueso de ésta más el del indicador sea equivalente al sobreespesor de la soldadura.

De acuerdo con lo establecido en el código ASME^[7-14] el grueso de estas galgas es el siguiente:

Espesor de la Chapa	
pulgadas	milímetros
1/16	1.6
3/32	2.4
1/8	3.2
5/32	4.0
Hasta 1/2	12.7
1/2 a 1	12.7 a 25
1 a 2	25 a 50
superior a 2	superior a 50

TABLA 7-4

Para el empleo de estos IQI se han de tener en cuenta los siguientes requerimientos:

- a) Para valorar la calidad de la radiografía será preciso utilizar el IQI adecuado.
- b) El IQI se colocará sobre la pieza a radiografiar, sobre la pieza en el lado por el que incide la radiación. En aquellos casos en que estos sea prácticamente imposible, el indicador se podrá colocar del lado de la película, siempre que la técnica operatoria y la calidad del trabajo sean los adecuados.

Un procedimiento para comprobar que la técnica seguida es la adecuada consiste en obtener una radiografía sobre una probeta análoga a la pieza que se ha de radiografiar. Para obtener esta radiografía se sitúan en la probeta dos indicadores, uno sobre el lado por el que incide la radiación y otro por el que emerge, suficientemente separados entre sí para que sus imágenes sean bien visibles. Cada uno de los IQI llevará una marca que indique claramente su situación. Se sugiere poner una marca "F" en el indicador que esté cerca de la película y una "S" para el que se sitúa más próximo a la fuente de radiación. Las imágenes de ambos indicadores deberán presentar la misma distorsión.

En el código ASME está prevista esta posibilidad y en la TABLA 7-3 puede verse que indicador será preciso utilizar en cada caso.

- c) Para cada radiografía se utilizará un IQI que se colocará en un plano que sea normal al haz de radiación.

El IQI deberá encontrarse en una zona de densidad radiográfica uniforme. Si la densidad varía en más o menos entre 15% al 30% de la densidad observada en la zona en que se esta situado el indicador, será preciso utilizar un indicador adicional en esta zona o zonas.

La densidad fotográfica en la zona de la unión soldada será como mínimo de 1.3 cuando se trabaja con una sola película y de 1.8 cuando se utilice película doble.

- d) El material de que este constituido el IQI ha de ser radiográficamente equivalente al metal que forma la pieza a examinar. Por ejemplo, cualquier tipo de acero, preferentemente acero inoxidable, para el acero; aluminio, etc. Si el metal de la pieza no fuera radiográficamente análogo al del indicador, se colocará sobre este una plaquita del mismo metal que la pieza.
- e) El IQI se situará junto al cordón de soldadura y paralelamente al mismo. Si no ha sido quitado el sobreespesor o la placa de raíz, será preciso utilizar las galgas adecuadas para conseguir

que el espesor total radiografiado en la zona en que se ha situado el indicador sea el correspondiente al de la unión examinada

- f) Cada indicador tendrá tres agujero taladrados. El diámetro de uno de ellos será igual a dos veces el espesor nominal del indicador (2T), pero nunca será inferior a 1/16 de pulgada (1.6 mm). El diámetro de los otros dos agujeros taladrados será igual a 3T y 4T.

Aunque los diámetros no serán inferiores a 1/16 de pulgada, en ciertos casos especiales pueden ser permitidos taladrados de menores diámetros.

Estos orificios han de ser normales a la superficie del indicador, no deberán ser avellanados.

Para las uniones soldadas cuyo espesor sera inferior a 1/2 pulgadas (12.7 mm), el indicador tendrá una ranura de 1/4 de pulgada (6.35 mm) de largo, por 0.01 pulgada de ancho. La situación de esta ranura es la que se indica en la FIGURA 7-7.

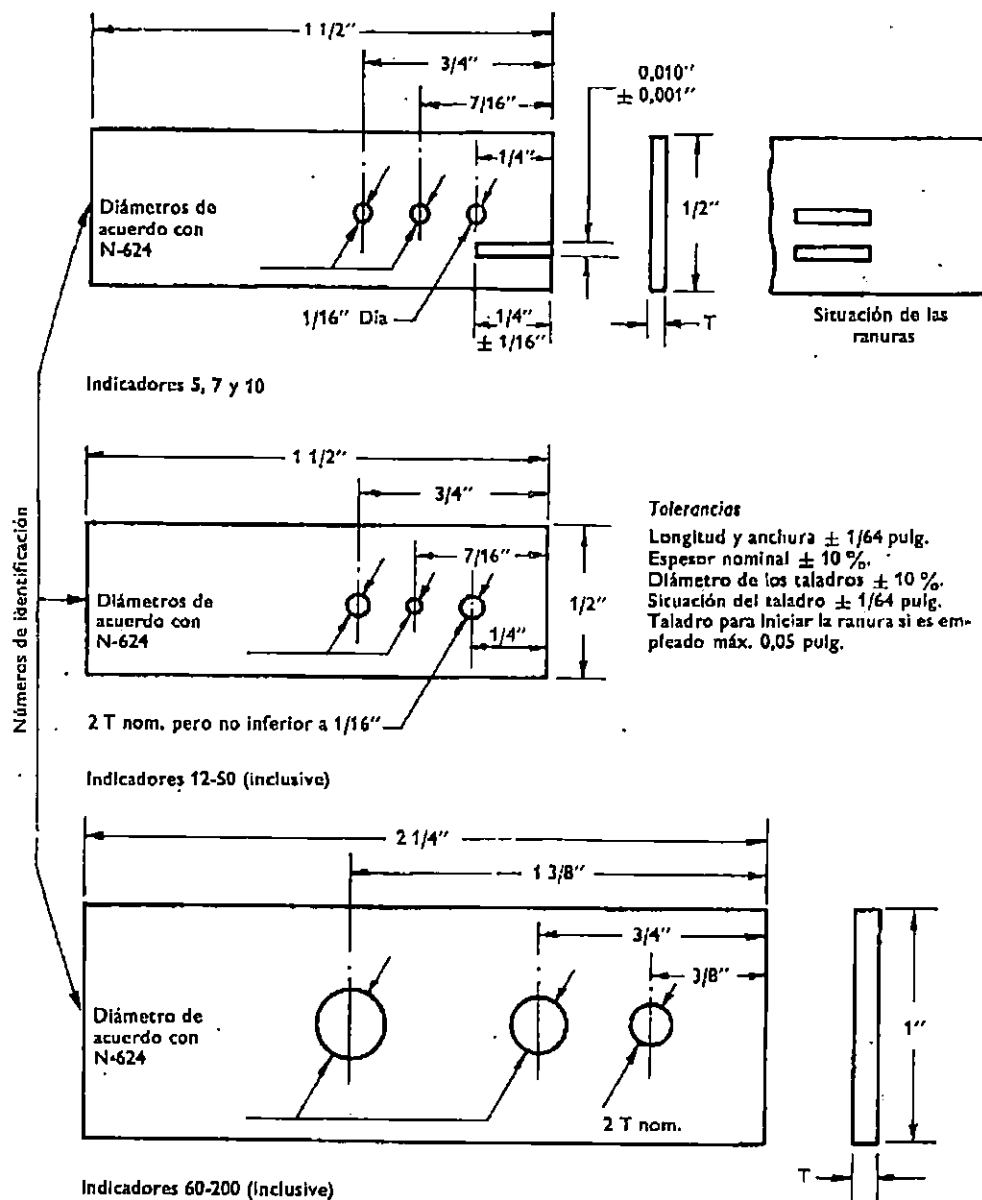


FIGURA 7-7. Especificaciones Dimensionales de los IQI ASME.



- g) Tanto los agujeros taladrados, como la ranura en aquellos casos en que es necesaria, deben ser perceptibles sobre la radiografía en la forma que se indica en *h*).
- h) Las imágenes de los números de identificación, del indicador y del agujero taladrado de diámetro 2T, son las que definen la calidad de la imagen y deben verse con claridad en la radiografía. En el caso de los indicadores 5,7 y 10, la ranura deberá verse con claridad aunque el agujero taladrado no sea netamente visible.

La diferencia de densidad entre la imagen de los agujeros taladrados o ranura y la imagen del indicador deberá ser la misma que la existente entre el borde del indicador y la zona adyacente. Todo cuando se ha expuesto en relación a los indicadores del tipo 4T-3T-2T, corresponde a lo especificado por las normativas ASME^[7-15] correspondientes.

Los indicadores ASME pueden ser adaptados a las especificaciones ASTM sin mas que hacer un agujero taladrado de diámetro 1T entre los taladros 2T y 3T existentes entre ellos.

A este grupo de indicadores 4T-3T-2T, corresponde el indicador API, es decir, el indicador de la American Petroleum Institute. El indicador normal de 2% tiene un grueso que es igual al 2% del espesor a radiografiar, este grueso se indica con números de plomo, FIGURA 7-8, que deberá aparecer en la radiografía.

Los diámetros de los taladros son 4T-3T-2T, con un valor mínimo de 1/16 de pulgada (1.6 mm) para la radiografía industrial con rayos X y de 3/32 de pulgada para cuando se realice por gammagrafia industrial.

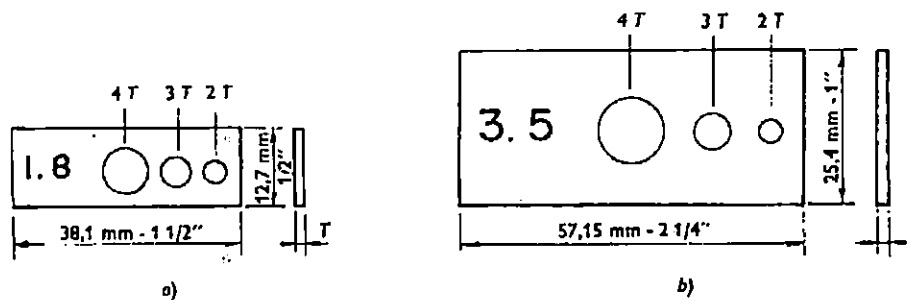


FIGURA 7-8. IQI API de espesor constante.

Las especificaciones exigen, en general, que los tres agujeros taladrados sean visibles en la radiografía. En este caso la sensibilidad del indicador es considerada igual a 2%. Este valor no debe confundirse con el hecho que se tendría al considerar el diámetro del agujero taladrado más pequeño, ya que éste corresponde al 4% del espesor. Con un indicador del 4%, la sensibilidad del indicador será del 2% si es visible el agujero taladrado 2T (cuyo diámetro es el 8% del espesor de la pieza). Esta sensibilidad del 4% puede ser obtenida con un indicador del 2%, para lo cual bastará con emplear el indicador adecuado para un espesor doble al de la pieza que se va a radiografiar.

Esta sensibilidad del indicador del 4% se fija entre otras en las especificaciones 5L y 5LX del código API.

7.1.5 SENSIBILIDAD DE LA INSPECCIÓN.

7.1.5.1 SENSIBILIDAD DEL ESPESOR.

Como se mencionaba en los apartados anteriores, uno de los métodos más antiguos para medir la sensibilidad es el de colocar sobre la pieza una serie de placas delgadas de diferentes espesores. Estas placas, hechas con el mismo material de la pieza a radiografiar, suelen tener unas dimensiones aproximadas 10 x 10 mm. Obtenida la radiografía, se toma como criterio de sensibilidad la placa más fina cuyo contorno no se puede ver sobre la película impresionada; el espesor de esta placa es una medida de la sensibilidad conseguida en esa pieza determinada con la técnica empleada. La sensibilidad radiográfica rara vez se expresa directamente como un espesor; generalmente se define en forma de un tanto por ciento del espesor real de la pieza, así:

$$(e/t) \cdot 100 = S \% \quad (7-2)$$

donde: e = espesor de la placa más delgada visible colocada sobre la pieza

t = espesor de la pieza

S = sensibilidad de la placa

Es así como al resultado obtenido de la expresión (7-2) se le denomina '*sensibilidad de espesor porcentual*' o más corrientemente '*sensibilidad del espesor*', llegando a llamarse algunas veces '*sensibilidad de espesor*', o también '*sensibilidad del contraste*'. Así, por ejemplo, una placa de 0.1 mm de espesor, colocada sobre una pieza de 10 mm de grosor, se dirá que representa una sensibilidad del 1%. La utilización del término '*sensibilidad de espesor*' implica que el espesor adicional se coloca en el lado de la pieza más alejado de la película; si se coloca del lado de ésta, se obtendrá un valor distinto para la sensibilidad.

De acuerdo con este método para expresar la sensibilidad como un tanto por ciento, hay que hacer constar que, si se consigue una sensibilidad mejor con otra técnica radiográfica diferente, en el sentido de que puede apreciarse una placa más delgada, el valor numérico de la sensibilidad porcentual es menor. Quiere esto decir, que una sensibilidad de 2% no es tan buena como una de 1% si la sensibilidad se toma como criterio de calidad. Por tanto, términos tales como '*mayor sensibilidad*' y '*menor sensibilidad*' son ambiguos, ya que pueden significar mayor sentido de mejor calidad, o mayor numéricamente, lo cual significa lo contrario. Estos términos deben evitarse y emplear los de '*mejor sensibilidad*' y '*peor sensibilidad*' que son expresiones más definidas y que no serán mal interpretadas.

Cuando se estudian la absorción y difusión de la radiación al atravesar un determinado espesor de material absorbente, se llega al establecimiento de dos formulas fundamentales, las cuales de manera combinada se muestran a continuación:

$$S = \frac{\Delta t}{t} 100 = \frac{2.3 D}{\mu G_D x} \frac{I_S}{I_D} \cdot 100 \quad (7-3)$$

Para el caso mas general cuando una parte de la radiación llega a la película se considera que es la radiación difusa producida en el interior de la pieza radiografiada.

En estas ecuaciones, Δt es la variación mínima apreciable del espesor para un espesor total t de la pieza; ΔD es la diferencia mínima apreciable de la densidad fotográfica en la película

Como la ecuación (7-3) es la base de varios de los métodos que se han propuesto para calcular la sensibilidad, los parámetros que en ella intervienen merecen ser considerados en detalle, pues, mientras que es relativamente fácil asignar valores prácticos a algunos de estos términos, otros son más fáciles de evaluar.

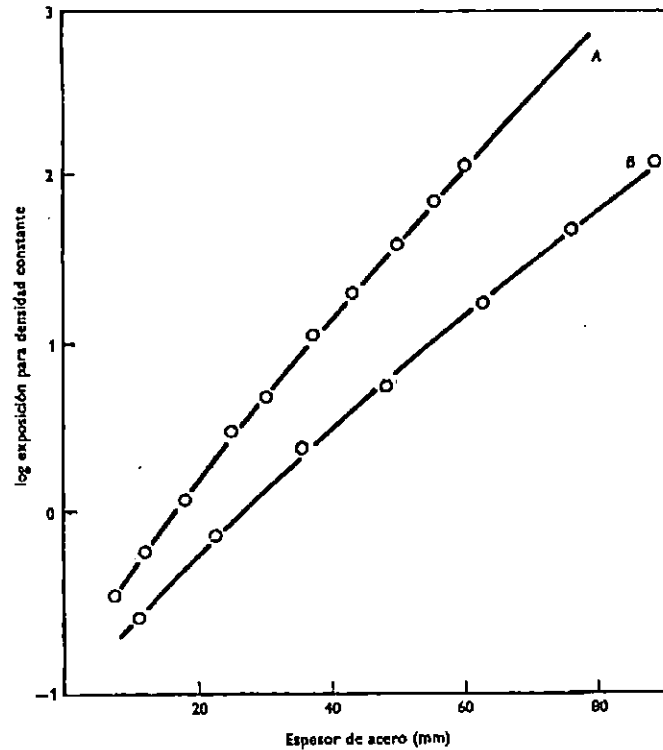


FIGURA 7-9. Curvas de absorción para Rayos X de 400 kV. A, haz estrecho; B haz ancho.

Considerando en primer lugar el haz de radiación, conviene indicar que para la determinación experimental de los valores μ e I_s/I_D son necesarias dos curvas de absorción correspondientes a las condiciones de haz ancho y haz estrecho, en los que el espesor de la pieza se relaciona con la exposición, para una densidad radiográfica constante, generalmente en escala logarítmica. En la FIGURA 7-9 se representa un par de curvas de este tipo.

El valor de μ necesario en las ecuaciones (7-2) y (7-3) está directamente relacionado con la pendiente de la curva correspondiente al haz fino, o sea:

$$\mu = \frac{0.693}{0.303 m} = \frac{2.25}{m} \quad (7-4)$$

donde m es la pendiente de la curva t versus $\log E$. Puede verse que esta pendiente no es constante y que en su consecuencia μ , para la misma radiación primaria, depende del espesor t . La variación de μ , sin embargo, es muy gradual a lo largo de la variación de espesor de la pieza que va a ser radiografiada con una determinada energía de radiación. En la FIGURA 7-3 las curvas son para radiación de 400 kV y los espesores que normalmente pueden ser radiografiados con ella y que pueden estar comprendidos entre 35 y 100 mm de acero. Entre estos valores μ varía solamente un 6%, razón por la cual su valor puede obtenerse con bastante exactitud. La FIGURA 7-10 muestra una curva de los valores de equilibrio de μ , o sea, los valores para grandes espesores de la pieza y para las energías

consideradas; existiendo correspondencia entre los valores experimentales y los calculados.

La relación I_s/I_D se obtiene a partir de la distancia que separa las curvas de los dos haces, ancho y estrecho. Como esa distancia es generalmente pequeña, los pequeños errores experimentales, que presentan en su posición las curvas básicas, tienden a hacerse mucho mayores en los valores de I_s/I_D . El valor de este cociente depende mucho también del cuidado de la preparación experimental.

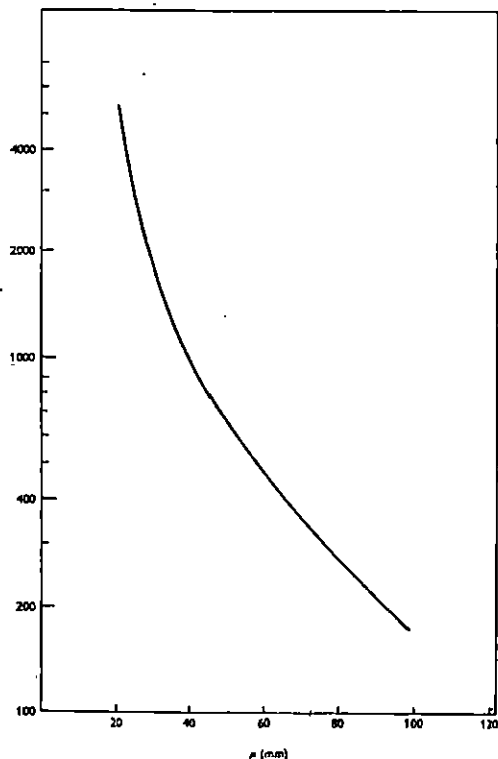


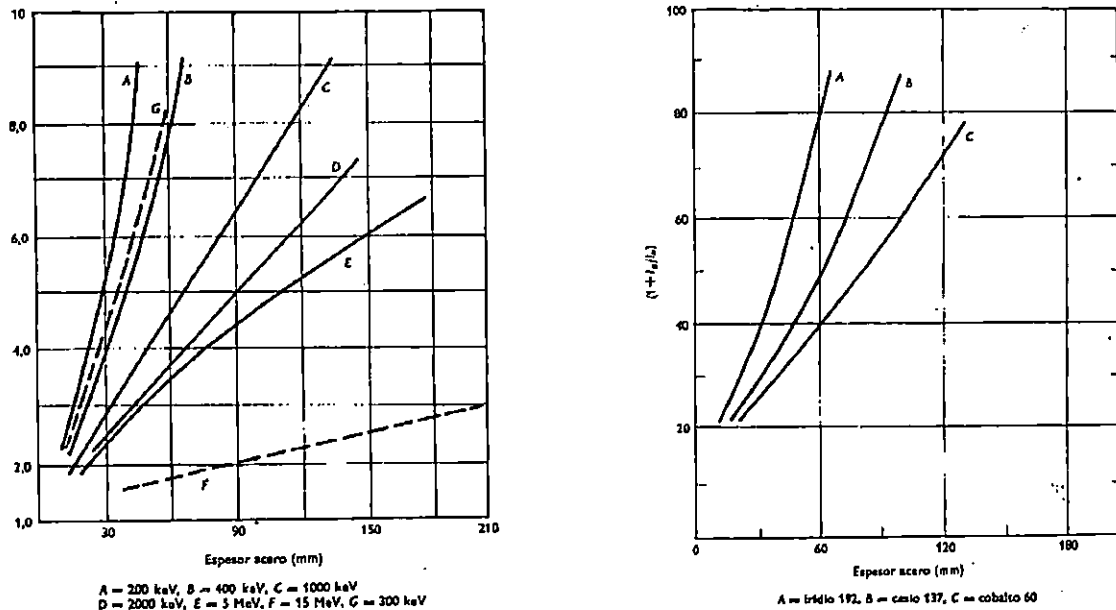
FIGURA 7-10. Valores de equilibrio μ para grandes espesores de acero.

Los resultados obtenidos sobre una amplia gama de espesores en plancha de acero son los que se dan en las FIGURAS 7-11. De todas formas se puede afirmar que los valores I_s/I_D no es probable que sean más precisos de $\pm 10\%$.

El valor de G_D , gradiente de la curva característica para la densidad considerada, se obtiene fácilmente a partir de las curvas $D - \log E$ para el tipo de película empleada. Las pruebas realizadas muestran que el valor de G_D es razonablemente constante para diferentes lotes y edades de películas, siempre que las condiciones de trabajo estén convenientemente normalizadas en cuanto a su tratamiento se refiere. Para el cálculo puede tomarse un valor de $G_D = 4.0$, que es el que corresponda a una película de grano fino sin pantallas y una densidad igual a 2.0.

El último factor de la ecuación es el valor ΔD . Si Δt es el valor mínimo de la variación de espesor que se puede evidenciar, entonces ΔD se convierte en la variación mínima de la densidad radiográfica que el ojo puede apreciar en la radiografía. Esto puede depender de la densidad fotográfica en sí, así como de las condiciones de observación de las radiografías y de la definición de la imagen radiográfica. Si se supone que las condiciones en que se efectúa la lectura de la radiografía son adecuadas para la densidad que se emplea y que la imagen tiene buena definición, parece estar justificado admitir un valor $\Delta D_{min} = 0.006$, en particular para la visibilidad del borde de un solo escalón y cuando no existen

consideraciones sobre el tamaño de la imagen. Valores de ΔD tan pequeños como 0.004 pueden ser posibles siempre que se utilicen intensidades de iluminación óptimas, pero la estructura granular de la imagen producida en la película radiográfica probablemente impedirá que estos valores tan bajos puedan ser alcanzados. Por otra parte, el valor $\Delta D = 0.02$, que con frecuencia se menciona en algunos trabajos antiguos, debe ser considerado como pésima.



(a) Variaciones de I_s/I_D para radiaciones X de distintas energías.

(b) Variaciones de I_s/I_D para radiación gamma.

FIGURA 7-11

7.1.5.2 VALORES EXPERIMENTALES DE LA SENSIBILIDAD DE ESPESOR.

Mediante el empleo de galgas de diferentes espesores, colocadas sobre la superficie de una serie de planchas, y obteniendo radiografías con técnicas adecuadas para que los valores I_s/I_D y G_D sean conocidos o permitan su determinación, es posible comprobar la validez de la ecuación (7-3) y los valores propuestos para los diversos parámetros. En la TABLA 7-7 figuran una serie de valores calculados y experimentales para la sensibilidad del espesor.

Los valores que se encuentran en la TABLA 7-7, corresponden a una gran variedad de técnicas, pudiéndose observar que la concordancia entre los valores calculados y las determinadas experimentalmente es lo suficientemente estrecha como para justificar el empleo de la ecuación (7-3) para el cálculo.

Conviene insistir en el hecho de que los valores de la sensibilidad que FIGURAN en la TABLA 7-7 son sensibilidades referidas al cambio de espesor, es decir, sensibilidad de contraste, y no guarda relación alguna con la posibilidad de detección de defectos. Así, para una pieza de espesor dado y una determinada energía de radiación, una variación en la distancia foco-película (DFP.) tendrá poco o ningún efecto sobre la sensibilidad de espesor, excepto en el caso extremo de que esta distancia sea tan pequeña que la imagen del escalón fuera muy borrosa. Sin embargo, estas variaciones de la DFP. Sí tienen efecto sobre la visibilidad del detalle fino.

Antes de concluir este apartado sobre la sensibilidad del espesor o sensibilidad de contraste será conveniente mencionar una conclusión que está implícita en la ecuación (7-3) y que ha proporcionado grandes adelantos a la técnica radiográfica. Si, para un espesor dado de la pieza que se ha de radiografiar, se aumenta la energía de la radiación utilizada, el coeficiente de absorción μ se hace menor, y si los otros factores que intervienen en la ecuación (7-3) permanecen constantes, la sensibilidad obtenida será peor. No obstante, la cambiar el valor de I_s/I_D , y si el aumento de energía se traduce en una disminución de el valor proporcionado por el termino $[1 + (I_s/I_D)]$, el cual es proporcionalmente mayor que la disminución de μ , la sensibilidad conseguida será mejor. A partir de los datos disponibles se pueden calcular curvas para la variación de espesor mínimo discernibles, con diversas energías de radiación. Estas curvas muestran que, para espesores comprendidos entre los 25 y 50 mm de acero, cuanto menor sea la energía (kV en el caso de la radiación X) tanto mejor será la sensibilidad. En cambio, para espesores de acero del orden de los 100 mm ocurre lo contrario y se obtendrán mejores sensibilidades de espesor con altas energías (del orden de los MV). Mas adelante se verá que, por lo que respecta a la sensibilidad del detalle, el problema es más complejo; pero las conclusiones obtenidas para la sensibilidad de espesor o contraste son suficientes para promover un gran interés sobre la posible aplicación de la radiografía con radiación X de gran energía.

<i>Radiación</i>	<i>Material y espesor [mm]</i>	<i>D.F.P. [cm]</i>	<i>Tipo de Pelicula</i>	<i>Densidad</i>	<i>Sensibilidad</i>	
Cobalto 60	25 acero	25	C	0.9	1.4	1.45
Cobalto 60	50 acero	50	C	1.7	0.6	0.60
Cobalto 60	75 acero	60	C	1.6	0.6	0.57
Iridio 192	12 acero	50	C	2.2	0.8	0.80
Iridio 192	25 acero	50	C	2.0	0.6	0.57
Iridio 192	50 acero	50	C	1.9	0.5	0.55
Iridio 192	75 acero	50	C	1.9	0.6	0.66
Rayos X - 150 kV	75 aluminio	100	CX	2.0	0.4	0.43
4 MV	50 acero	150	C	1.3	0.7	0.70
4 MV	100 acero	150	C	1.7	0.4	0.42
4 MV	150 acero	150	C	2.0	0.5	0.35
4 MV	250 acero	150	C	2.0	0.3	0.28
4 MV	300 acero	150	C	1.3	0.6	0.51
210 kV	25 acero	90	C	2.2	0.2	0.22
250 kV	50 acero	90	CX	2.5	0.3	0.29
140 kV	12 acero	90	C	1.9	0.3	0.33
135 kV	25 acero	90	S	1.2	0.4	0.38
1 MV	100 acero	150		1.8	0.5	0.45

C = Iford Industrial C
 CX = Kodak Crystallex
 S = Kodak Industrex S con pantallas salinas

TABLA 7-5

7.1.5.3 SENSIBILIDAD DEL DETALLE.

Son tantas las variables que intervienen en la obtención de una radiografía y que pueden influir en la sensibilidad radiográfica alcanzada, que cualquier ecuación que relacione estas variables y que indique cómo influyen en el valor obtenido, será de considerable interés.

Una ecuación como la que se describe es difícil de establecer. Los factores de contraste son tenidos en cuenta en la ecuación (7-3); pero el problema de la definición radiográfica y, en particular, de la definición radiográfica de la imagen cerca del límite de la perceptibilidad visual y cuando se emplea una película de grano grueso, no es nada fácil de expresar cuantitativamente. La gran mayoría de los autores han utilizado los conceptos de definición de imagen según se han descrito anteriormente, y han tratado de combinarlos con los de la ecuación (7-3). Generalmente, esto ha sido intentado para alguna forma determinada de detalle de la imagen, tal como un alambre de sección circular o un agujero

taladrado que forma parte de un IQI, de tal modo que los valores calculados pueden comprobarse experimentalmente.

7.1.5.4 SENSIBILIDAD DEL IQI

Como ya se ha mencionado anteriormente, la calidad de la imagen se caracteriza frecuentemente por un parámetro del indicador expresado en tanto por ciento, o sensibilidad del indicador.

Este valor de la sensibilidad no es más que una medida convencional de la calidad de la técnica radiográfica seguida; demostrando que la radiografía está correctamente realizada, sin autorizar ninguna otra deducción en lo que concierne a las dimensiones del defecto más pequeño que se pueda detectar.

La radiografía de un mismo objeto obtenida en condiciones exactamente iguales, pero utilizando diferentes indicadores de calidad de imagen, proporcionará sensibilidades distintas, lo cual implica que para calificar una sensibilidad en tanto por ciento, sea preciso especificar con exactitud cuál ha sido el tipo de indicador utilizado. El ejemplo que se da a continuación y que corresponde a un trabajo de la revista *Metal Fabrication*¹⁸, demuestra esta necesidad. En él se da cuenta de una amplia serie de resultados al trabajar en condiciones operatorias correctas sobre 38 mm de espesor y con un mismo tipo de película encontrándose las siguientes sensibilidades.

<i>Tipo de Indicador</i>	<i>Sensibilidad %</i>
De hilos DIN	0.7
De escalones (USA Bureau of Ships)	0.4
De escalones con cifras de referencia (BWRA)	1.0
De escalones con taladros calibrados (AFNOR)	2.0

TABLA 7-6.

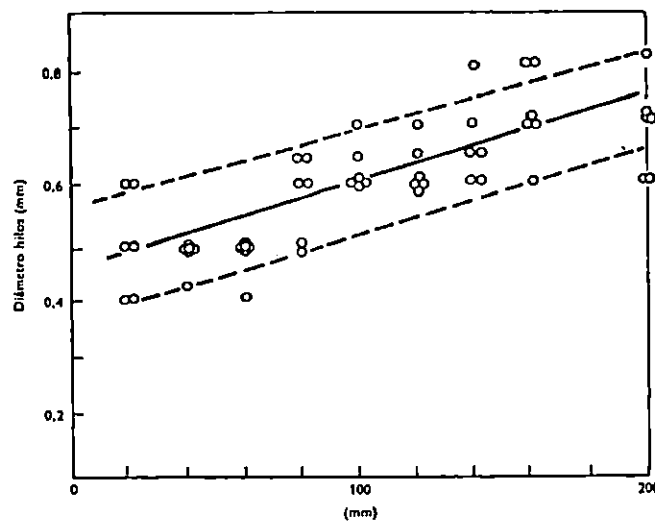


FIGURA 7-12. Valores de la sensibilidad según distintos observadores.

Por otra parte, al considerar la sensibilidad del indicador, no se debe olvidar que sus resultados son subjetivos, ya que, si un cierto número de observadores experimentados juzgan una determinada radiografía en las mismas condiciones de observación, es muy poco probable que todos lleguen a ver el mismo número de hilos, agujeros taladrados o escalones del indicador de que se trate. En la FIGURA 7-12, pueden observarse los resultados alcanzados por seis observadores. Si las diferencias de tamaño entre dos elementos sucesivos del indicador son grandes, la dispersión de las observaciones será

pequeña; en cambio, si estas diferencias entre los elementos son pequeñas, la dispersión de los resultados será mayor, lo cual constituye uno de los factores más importantes que han de ser tenidos en cuenta en el proyecto de un indicador. Además, los diferentes observadores pueden tener distintos criterios sobre el límite de discernibilidad e incluso distintos niveles de visión, lo que puede influir en la dispersión de los resultados.

Las condiciones en que se hace la lectura de las radiografías tienen una considerable influencia en la interpretación de la imagen y, si los observadores trabajan en distintos lugares, cuyas condiciones de iluminación raramente están normalizadas, no es sorprendente que con frecuencia se encuentra ligeras diferencias en los valores de la sensibilidad en radiografías obtenidas con la misma técnica operatoria.

En algunas normas y especificaciones se incluyen reglas a seguir en la interpretación de las radiografías, tales como el grado de iluminación deseable, limitación de luces extrañas, trabajo en habitación oscurecida, etc. las cuales pueden servir para enjuiciar la imagen del indicador. En el caso del indicador de escalones y agujeros taladrados AFNOR, un criterio razonable es el que deben ser visibles los dos agujeros taladrados que hayan en cada escalón, mientras que en el indicador de hilos o tipo son posibles dos posiciones: una, la de tomar el último hilo más fino que se ve en toda su longitud y, la otra, considerar el último hilo del cual hay evidencia. Si bien ambas son justificadas, consideramos mejor esta última.

Finalmente, si se especifica un indicador determinado conviene recordar que las sensibilidades que se obtienen para cualquier espesor son una serie de valores discretos y no una curva continua. De este modo, en la FIGURA 7-13 la curva continua representa los mejores valores de la sensibilidad que se pueden conseguir para distintos espesores de acero, empleando indicadores de escalones con agujeros taladrados, tal como el AFNOR, mientras que la línea quebrada representa los valores máximos que se pueden alcanzar y ser enjuiciados con los espesores normales de este indicador.

Resumiendo, para enjuiciar los valores experimentales de la sensibilidad del indicador, es necesario tener en cuenta:

- a) Los diferentes criterios de visibilidad empleados por los distintos radiólogos.
- b) La discreta y no continua naturaleza de los tamaños de los elementos del indicador.
- c) La natural dispersión de valores consecuencia del error experimental.

Teniendo esto en cuenta, los valores relacionados con valores obtenidos por investigadores de la radiología industrial⁽⁷⁻¹⁷⁾ (véase TABLA del Anexo 7-1), se puede afirmar de ellos en general, que son consistentes y explicables, poniéndose de manifiesto el relativo efecto de los diferentes tipos de película, la densidad fotográfica, la influencia de la distancia foco-película, tamaño del foco emisor, el efecto de la energía de la radiación y factores análogos. En ella se incluyen datos correspondientes a dos tipos de indicadores y la sensibilidad relativa de cada uno de ellos. Conviene hacer constar que la relación entre la sensibilidad del indicar de hilos y el AFNOR no es constante y que varía entre 1.6 : 1 y 3.3 : 1.

Pocos son los datos de que se dispone sobre la sensibilidad con indicadores de espesor constante americanos. En una publicación⁽⁷⁻¹⁸⁾ realizada por el comité V-A del Netherlands' Centre for Welding Technique de la Haya, presentan los valores mostrados en la TABLA 7-7, todas las técnicas establecen que tienen que ser visibles los tres agujeros taladrados del indicador ASME, al tiempo que el trabajo experimental solamente se requiere indicadores del 2% de tal suerte que todas las técnicas permiten alcanzar un nivel de sensibilidad de 2-2T, el cual es aproximadamente igual a una sensibilidad del 3%

empleando el indicador AFNOR.

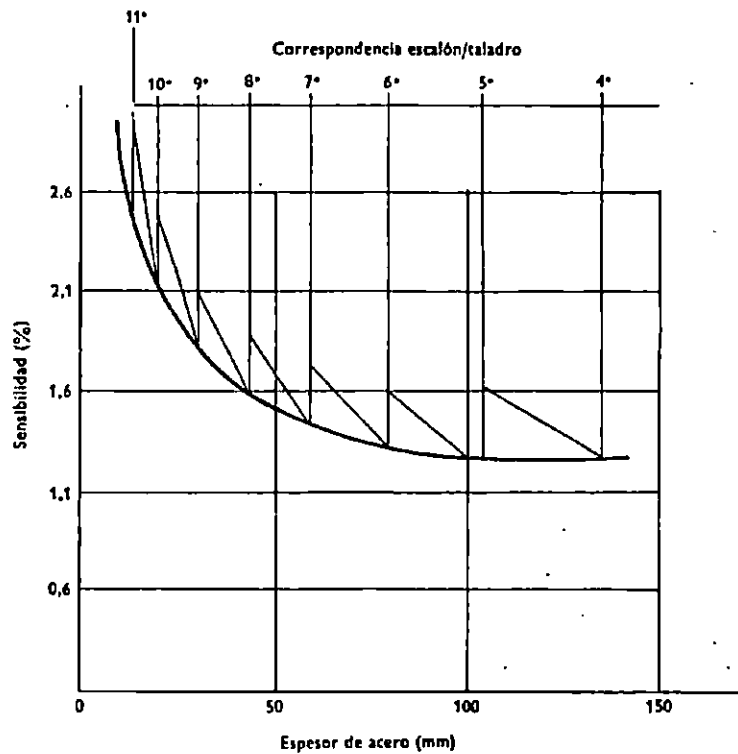


FIGURA 7-13. Valores de la sensibilidad determinadas con el indicador AFNOR.

En general los datos de que se dispone demuestran que en la mayoría de las técnicas radiográficas permiten alcanzar un nivel de sensibilidad de 2-2T; empleando película de grano fino y rayos X se pueden lograr un nivel de 2-1T y las mejores técnicas pueden seguir niveles de sensibilidad de 1-2T. Excepto, posiblemente, en espesores de acero superiores a 100 mm, es poco probable que en la actualidad se alcance el nivel de sensibilidad de 1-1T.

A partir de los valores de la TABLA 7-7 es posible construir curvas que representen el máximo de sensibilidad que se puede alcanzar para una gama de espesores de acero, y esto es lo que se ha hecho en la FIGURA 7-14 para el indicador AFNOR y un indicador de hilos. Las curvas han sido trazadas en el supuesto de que es utilizado el equipo mas conveniente para cada espesor y que el indicador no quede restringido a un número limitado de escalone o hilos. La técnica requerida para alcanzar estas sensibilidades se siempre es posible y está basada en el empleo de tiempos de exposición razonables. Utilizando técnicas de laboratorio especiales, que normalmente requieren tiempos de exposición más largos, estas sensibilidades pueden aumentarse, pero el aumento que se consigue es relativamente pequeño.

No existe mucha información publicada sobre sensibilidades de indicador en materiales distintos del acero. Los valores máximos para la sensibilidad que se pueden alcanzar con el indicador DIN sobre aluminio son los que se dan en la FIGURA 7-15 y TABLA 7-7

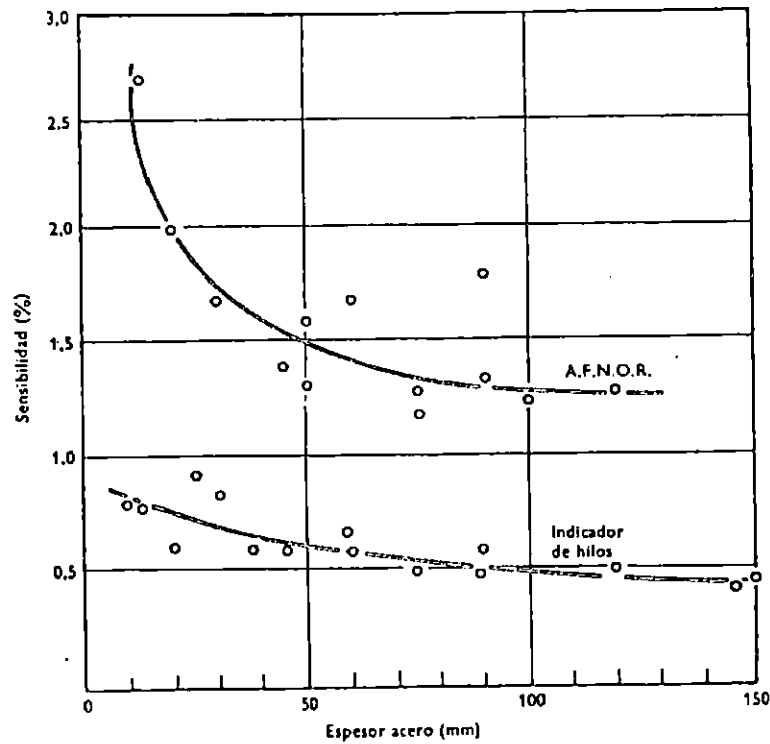


FIGURA 7-14. Valores de la sensibilidad obtenidos sobre distintos espesores de acero.

Espesor de aluminio [mm]	Exposición		D.F.P. [m]	Densidad	Pantallas	Sensibilidad %
	kV	MA min				
12	70	50	2	2.3	Plomo	1.2
25	90	40	2	2.1	plomo	0.8
40	100	50	2	2.2	plomo	0.7
50	110	55	2	2.0	plomo	0.5
65	125	50	2	2.2	plomo	0.5
100	175	50	2	2.0	plomo	0.5

TABLA 7-7. Condiciones operatorias y valores de la sensibilidad obtenidas sobre distintos espesores de aluminio

Experiencias aisladas indican que es posible conseguir valores de la sensibilidad, con indicadores de hilos, comprendidos entre 0.5 y 1% sobre muchos materiales con tal que se aplique una adecuada técnica radiográfica.

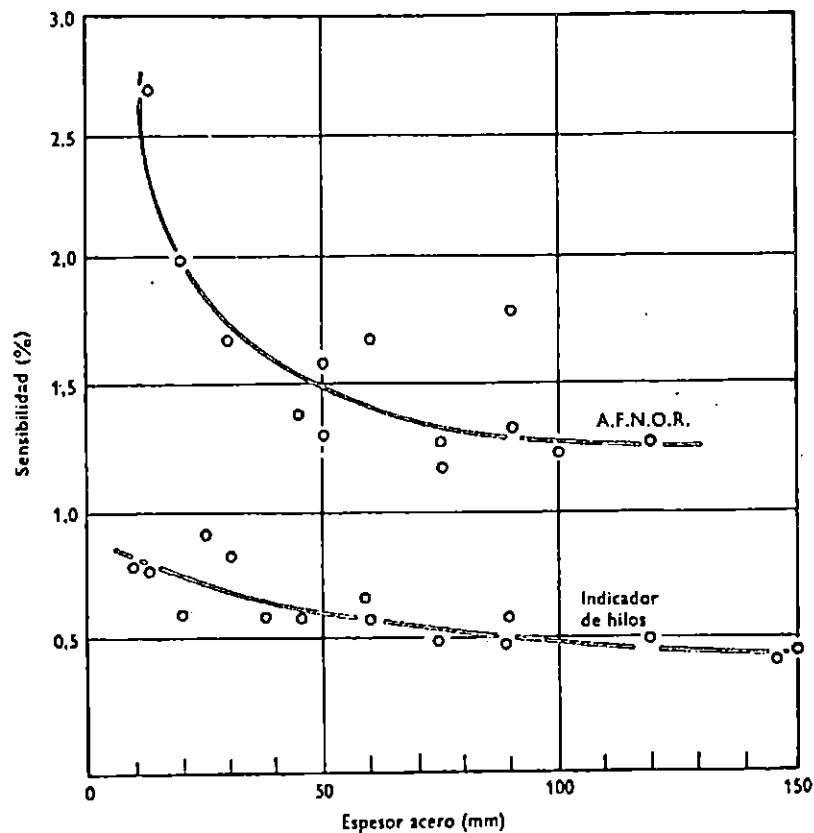


FIGURA 7-15. Valores de la sensibilidad en distintos espesores de aluminio, empleando un IQI de hilos.

7.1.6 DISEÑO DEL IQI

7.1.6.1 PROPUESTA DE DISEÑO DEL IQI.

Luego de presentar una amplia información sobre los IQI procedemos a mostrar la propuesta de diseño de los mismos, la cual consiste en la elaboración de dos diseños IQI de espesor constante, dichos diseños se han realizado sobre la base de los siguientes factores:

a) **ECONÓMICO.** Se ha elegido este tipo de IQI, porque es el que resulta mas económico en su fabricación y los materiales de que este se fabricaría se pueden obtener con facilidad. Incluyendo costo de materiales, fabricación y de herramental.

b) **INFORMACIÓN DISPONIBLE.** En definitiva es el IQI del que se posee más información incluso se dispone de las normas respectivas para su fabricación.

c) **DE FÁCIL FABRICACIÓN.** La fabricación del IQI en cuestión, puede realizarse con mucha facilidad y se pueden realizar perforaciones con herramientas de corte de hasta 1/64 in, con las cuales se podrían obtener

El IQI que hemos descrito se presenta en la FIGURA 7-16.

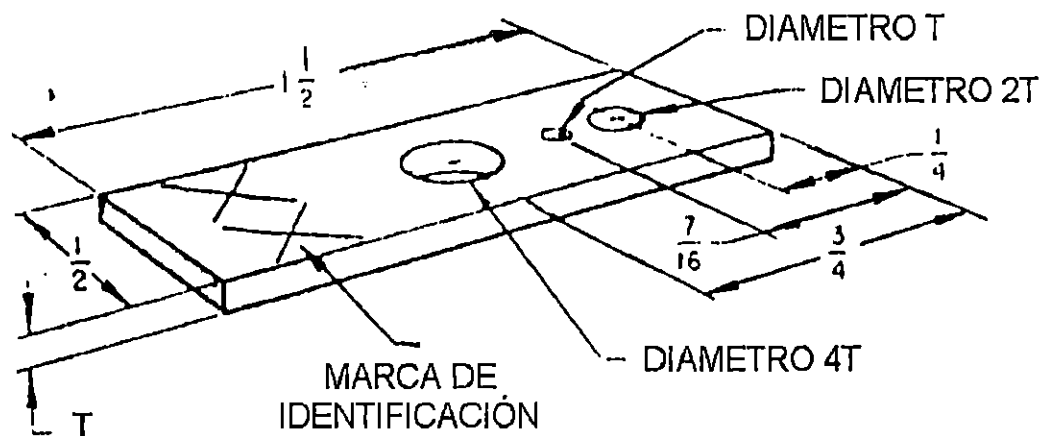


FIGURA 7-16. Propuesta del IQI ha construir. Para un espesor y diametro T de 1/64 pulgada

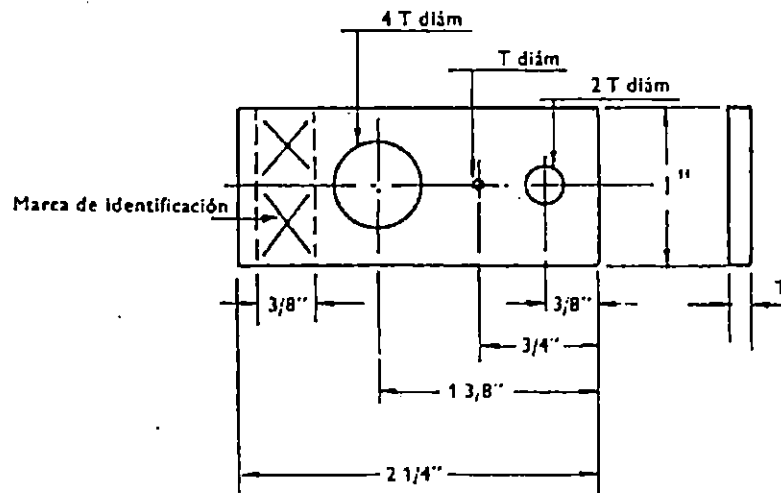
7.1.6.2 DISEÑO DEL IQI DE ESPESOR CONSTANTE.

Según lo que especifica la ASTM, el IQI se diseña a partir del agujero mas pequeño que puede ser taladrado en el indicador. Para este hecho la herramienta de corte (broca) más pequeña que se encontró acorde a los factores mencionados en el apartado 7.1.6.1, fue una de 1/64 de pulgada Retomando los espesores de $\frac{1}{4}$ y $\frac{3}{8}$ in, si se taladra un agujero de diámetro $T = 1/64$ pulgada, la sensibilidad del espesor de los IQI sería respectivamente 6% y 4%, estos resultados se resumen en la TABLA 7-8.

IQI No.	Espesor del material a Radiografiar	Diámetro de la broca que utilizara para taladrar se el agujero 1T	% Sensibilidad del Espesor
1	$\frac{1}{4}$ in	1/64	6
2	$\frac{3}{8}$ in	1/64	4

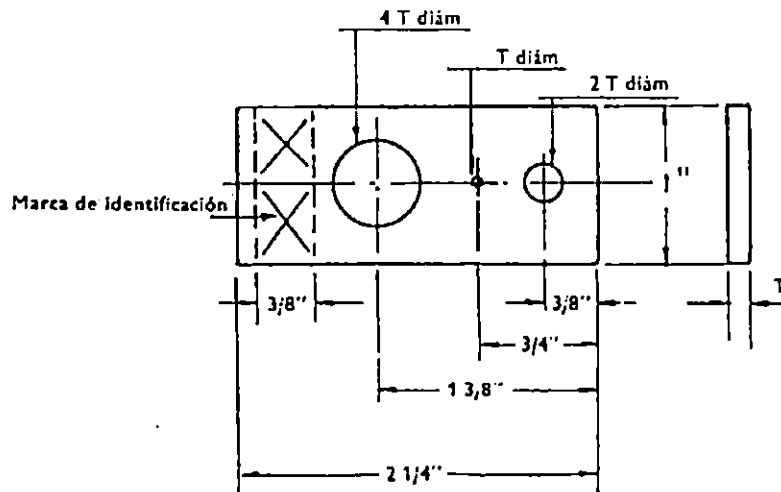
TABLA 7-8.

El material del que se fabricaran los IQI acorde a lo especificado por la ASTM será de hierro, este servirá únicamente para radiografiar acero, las dimensiones del IQI dependen del valor que posee el espesor del indicador, valor que es idéntico al agujero más pequeño de los tres agujeros que deben taladrarse en el IQI, todas estas dimensiones se presentan en la FIGURA 7-5, para mayor claridad de lo expuesto, en las FIGURAS 7-17 y 7-18 se presentan los diseños los IQI en cuestión.



Indicadores de 0,06 a 0,160 pulg

Donde $T = 1/64$ pulgada, IQI 4T-T-8T
FIGURA 7-17.



Indicadores de 0,06 a 0,160 pulg

Donde $T = 1/64$ pulgada, IQI 24T-6T-12T
FIGURA 7-18.

7.2 EL PRINCIPIO DE LA ILUMINACIÓN Y EL DISEÑO DEL NEGATOSCOPIO.

7.2.1 NATURALEZA DE LA LUZ. INTRODUCCIÓN AL PRINCIPIO DE LA ILUMINACIÓN LUMINOSA. ⁽⁷⁻¹⁹⁾

Según estudios realizados en lo que respecta a la naturaleza de la luz y el origen de la moderna teoría cuántica, se ha descubierto que la luz es dual en su naturaleza; en algunas circunstancias se comporta como partículas y en otras ocasiones como ondas. Las características ondulatorias pueden explicarse adecuadamente en términos de la teoría electromagnética de la radiación descrita en las ecuaciones de Maxwell, en la que la luz sólo representa una porción reducida dentro de un espectro mucho más amplio.

La luz, que se propaga a una velocidad de 3×10^8 m/s es la responsable de todo lo que se percibe directamente a través del sentido de la vista. En los apartados siguientes se estudiarán dos aspectos de la luz que afectan directamente dicho sentido. El primero se refiere a la propagación rectilínea de la luz; el segundo establece las bases sobre las cuales se estudia su intensidad y la iluminación de superficies, aspecto que nos será muy útil en el diseño del negatoscopio que se utilizará para la visualización de radiografías de soldaduras.

7.2.2 RAYOS DE LUZ Y SOMBRA.

Una de las primeras propiedades de la luz que han sido estudiadas fueron su propagación rectilínea y la formación de sombras. Instintivamente, se depende mucho de esta propiedad para estimar distancias, direcciones y formas. La formación de sombras nítidas o bien delineadas se emplea en un reloj de sol para estimar el tiempo. En los siguientes apartados, se presentará como puede predecirse la formación de sombras.

Según el principio de Huygens, todo punto que se encuentra en un frente de onda en movimiento puede considerarse como una fuente de pequeñas ondas secundarias. De este modo, la luz emitida en todas direcciones por una fuente puntual de luz, en la FIGURA 7-19, puede representarse mediante una serie de frentes de onda esféricos alejándose de la fuente a la velocidad de la luz. Para los propósitos que aquí se persiguen, una fuente puntual de luz es aquella cuyas dimensiones son pequeñas en comparación con las distancias consideradas. Nótese que los frentes de onda esféricos pueden considerarse básicamente como frentes de onda plano en cualquier dirección específica a gran distancia de la fuente. Una línea imaginaria dibujada perpendicularmente al frente de onda en la dirección del movimiento de éste se llama rayo. O sea, naturalmente, que hay un número infinito de rayos que parten de la fuente puntual.

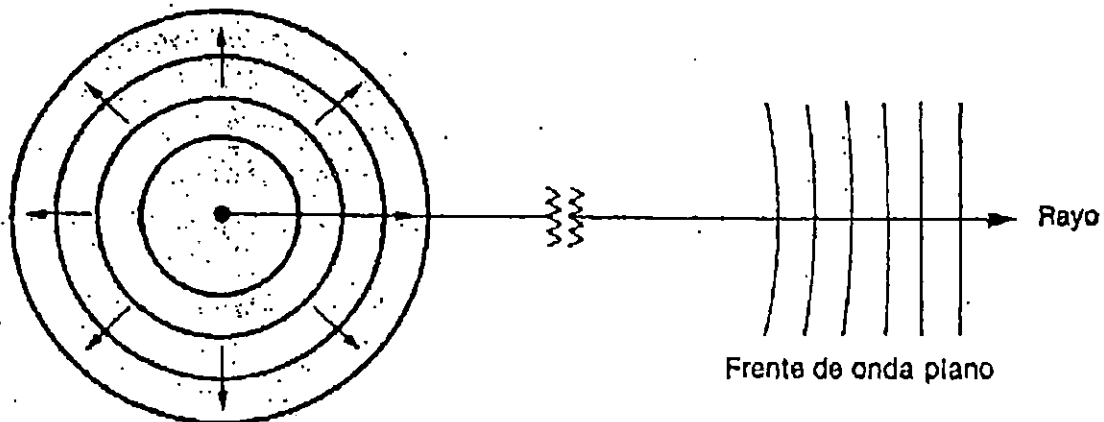


FIGURA 7-19. *Un rayo es una línea imaginaria dibujada perpendicularmente a los frentes de onda en movimiento e indica la dirección de propagación de la luz.*

Cualquier objeto de color oscuro absorbe luz, pero uno negro absorberá la mayor parte de la que incide sobre él. La luz que no se absorbe al incidir sobre un objeto se refleja o transmite. Se dice que un objeto es opaco si toda la luz que incide sobre él se emite o absorbe. Ya que la luz no puede pasar a través de un cuerpo opaco, se producirá una sombra detrás del objeto. En la FIGURA 7-20 se muestra la sombra formada por una fuente de luz puntual. Puesto que la luz se propaga en línea recta, los rayos dibujados desde la fuente pasan por los bordes del objeto opaco y forman una sombra nítida que es proporcional a la forma del mismo. A la región en la cual no entra la luz se le llama umbra o sombra.

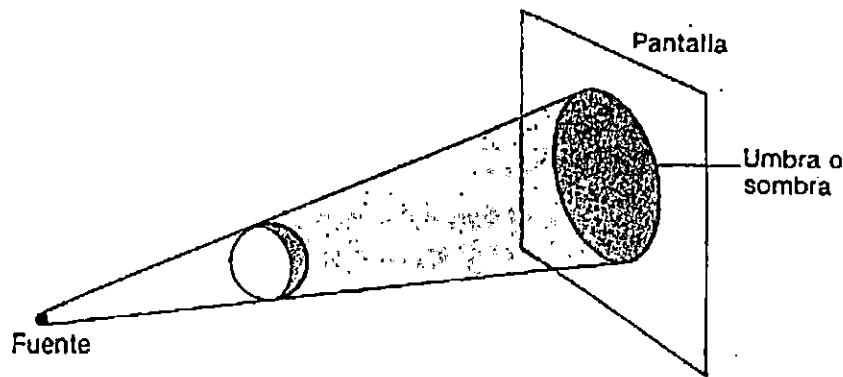


FIGURA 7-20. *Umbral o sombra formada por una fuente puntual de luz.*

Si en lugar de una fuente puntual de luz se considera una fuente extendida, la sombra resultante constará de dos porciones, como se muestra en la FIGURA 7-21. La porción interna no recibe luz de la fuente y por lo tanto es la umbral o sombra. A la porción externa se le llama penumbra. Un observador dentro de la penumbra verá sólo una parte de la fuente, pero no toda. Uno fuera de ambas regiones verá toda la fuente. Los eclipses solares y lunares pueden estudiarse mediante una construcción similar de sombras.

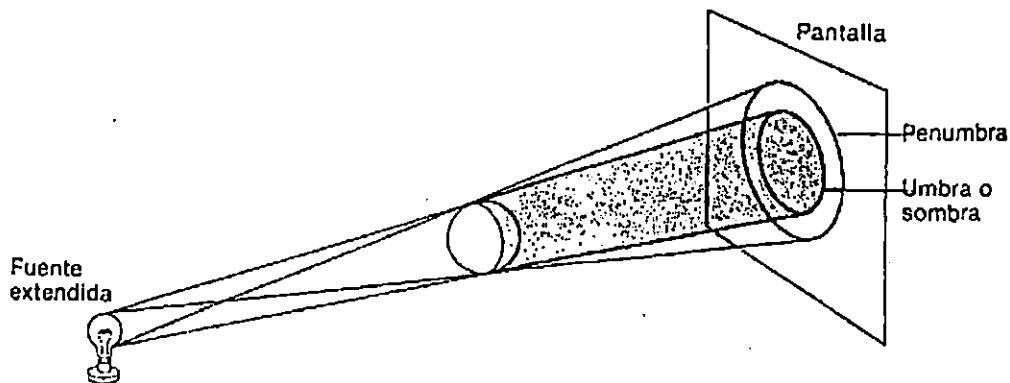


FIGURA 7-21. *Sombra formada por una fuente extendida de luz.*

Resumiendo, los aspectos importante de la información presentada con anterioridad durante el presente apartado, es el hecho de utilizar preferentemente fuentes de iluminación del tipo puntual, conocidas popularmente como '*spotfocus*' o '*spotlight*', este tipo de emisores luminosos reducen las sombras que se obtienen al utilizar fuentes convencionales (fuentes extendidas de luz).

7.2.3 FLUJO LUMINOSO

La mayor parte de las fuentes de luz emiten energía electromagnética que se distribuye en muchas longitudes de onda. Se suministra energía eléctrica a una lámpara y ésta emite radiación.

Se llama *potencia radiante* o *flujo radiante* a la energía radiante que emite una lámpara por unidad de tiempo. Solamente una pequeña porción de la energía radiante emitida estará en la región visible, es decir, en la región comprendida entre 400 y 700 nm. La sensación de la visión sólo depende de la energía radiada visible o luminosa por unidad de tiempo.

El flujo luminoso es aquella fracción de la potencia radiante total emitida por una fuente de luz capaz de afectar el ojo.

En una lámpara común de luz incandescente, sólo alrededor del 10% de la energía radiante es flujo luminoso. La mayor parte de la potencia radiante no es luminosa.

El ojo humano no es igualmente sensible a todos los colores, es decir, una misma potencia radiante de diferentes longitudes de onda no produce igual brillo; una lámpara de 40 watts de luz verde es más brillante que una lámpara de 40 watts de luz azul. En la FIGURA 7-22, se muestra una gráfica de la respuesta del ojo humano a diferentes longitudes de onda. Adviértase que la curva de sensibilidad tiene forma de campana centrada aproximadamente en la región media del espectro visible. En condiciones normales el ojo es más sensible a la luz amarilla-verde de longitud de onda de 550 nm. Para longitudes de onda mayores y menores la sensibilidad decae rápidamente.

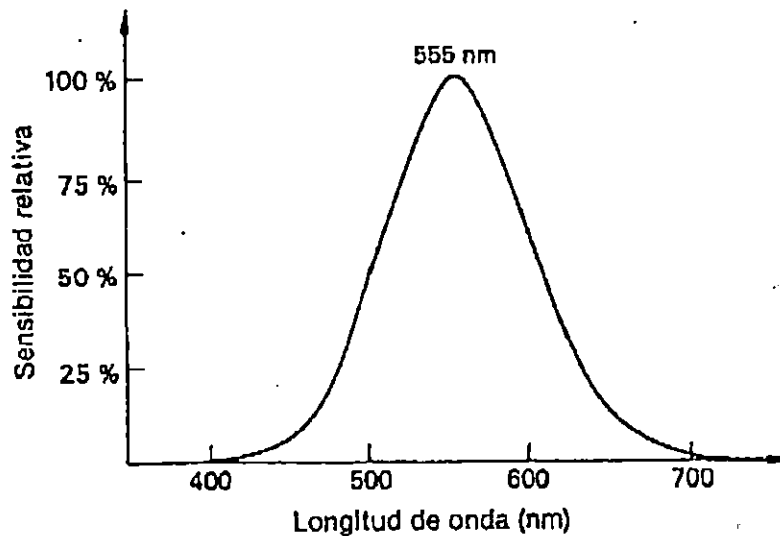


FIGURA 7-22. Curva de sensibilidad

Si la unidad escogida para el flujo luminoso es la correspondiente a la respuesta sensitiva del ojo humano, debe definirse una nueva unidad; el watt (W) no es suficiente, ya que para diferentes colores las sensaciones visuales no son las mismas. Lo que realmente se requiere es una unidad que mida el brillo. Tal unidad es el lumen (lm), que se determina por comparación con una fuente de luz estándar.

Para comprender la definición del lumen en términos de la fuente tipo, primero debe desarrollarse el concepto de ángulo sólido. Un ángulo sólido en esterorradianes (sr) se define de la misma forma que un ángulo plano en radianes. En la FIGURA 7-23 el ángulo θ es:

$$\vartheta = \frac{S}{R} \text{ [rad]} \quad (8-5)$$

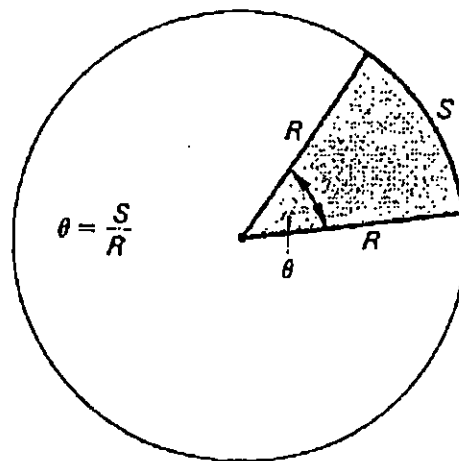


FIGURA 7-23. Definición de un ángulo plano Ω expresado en radianes.

donde S es la longitud del arco y R es el radio. Similarmente se define el ángulo sólido Ω en la FIGURA 7-24, no es otra cosa que la abertura del extremo de un cono subtendido por un segmento de área sobre la superficie esférica.

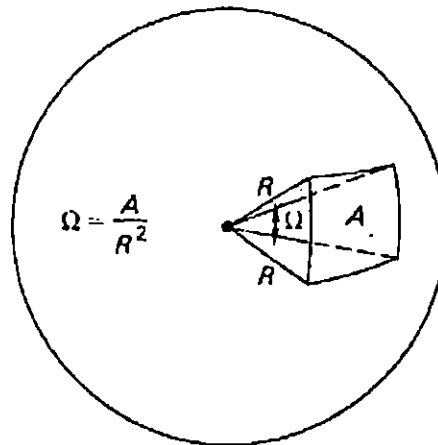


FIGURA 7-24. Definición de un ángulo sólido Ω expresado en estereorradianes.

Un estereorradián (sr) es el ángulo sólido subtendido en el centro de una esfera por una área A sobre una superficie que es igual al cuadrado de su radio R .

En general, el ángulo sólido en estereorradianes está dado por:

$$\Omega = \frac{A}{R^2} \text{ [sr]} \quad (7-6)$$

Al igual que el radián, el estereorradián es una cantidad adimensional.

Así como en un círculo completo hay $2\pi \text{ rad}$, puede demostrarse mediante la ecuación (7-7) que hay $4\pi \text{ sr}$ en una esfera completa.

$$\Omega = \frac{A}{R^2} = \frac{4\pi R^2}{R^2} = 4\pi \text{ [sr]} \quad (7-7)$$

Nótese que el ángulo sólido es independiente de la distancia a la fuente; hay 4π estereorradianes

en una esfera independientemente de la longitud de su radio.

Ya se está en condiciones de aclarar la definición de una unidad que mida el flujo luminoso. El lumen se define al compararlo con una fuente estándar reconocida internacionalmente.

Es así como se define al lumen (lm) como el flujo luminoso (o potencia radiante visible) emitido por una fuente tipo a través de una abertura de $1/60 \text{ cm}^2$ realizada en un ángulo sólido de 1 sr .

la fuente estándar consiste en un recipiente hueco que se mantiene a la temperatura de solidificación del platino, alrededor de $1773 \text{ }^\circ\text{C}$. En la práctica es más conveniente usar lámparas incandescentes tipo que han sido calibradas por comparación con dicha lámpara.

Otra definición conveniente del lumen utiliza la curva de sensibilidad (FIGURA 7-22) como una base para establecer el flujo luminoso. Al referirse a la fuente estándar, se define 1 lm en términos de la potencia radiante de la luz verde-amarilla.

Un lumen es equivalente a $\frac{1}{680 W}$ de luz verde-amarilla de 555 nm de longitud de onda.

Para determinar el flujo luminoso emitido por luz de diferente longitud de onda, debe emplearse la curva de luminosidad para compensar la sensibilidad visual.

7.2.4 LUMINANCIA O INTENSIDAD LUMINOSA.

Una fuente pequeña, en comparación con sus alrededores, emite radialmente hacia afuera en líneas rectas; para una fuente de luz de este tipo, el flujo luminoso comprendido dentro del ángulo sólido Ω continúa siendo el mismo a todas las distancias desde la fuente. Por tanto, muchas veces es más útil hablar del *flujo por unidad de ángulo sólido* que simplemente expresar el flujo total. La cantidad física que expresa esta relación se llama **intensidad luminosa**, antiguamente se le llamaba **luminancia o brillo luminoso**.

La intensidad luminosa I de una fuente de luz es el flujo luminoso (F) emitido por unidad de ángulo sólido (Ω), es decir:

$$I = \frac{F}{\Omega} [cd] \quad (7-8)$$

La unidad de intensidad luminosa es el lumen por estereorradián $\left(\frac{lm}{sr}\right)$ y se le denomina candela (cd). La candela o bujía, como se le llamó algunas veces. Este nombre de bujía, surgió cuando el estándar internacional se definió en términos de la cantidad de luz emitida por la llama de cierta bujía, pero luego se comprobó que este estándar era insatisfactorio, y se reemplazó finalmente por el estándar de platino.

Nótese que las unidades de intensidad luminosa (cd) y las unidades de flujo luminoso (lm) son dimensionalmente las mismas. Esto es cierto, ya que el ángulo sólido en estereorradianes es adimensional.

7.2.5 ILUMINACIÓN.

Si se incrementa la intensidad luminosa de una fuente, el flujo luminoso transmitido a cada unidad de área de superficie en la vecindad de la fuente se incrementa. La superficie aparece más brillante. El Ingeniero, al medir la eficiencia o rendimiento de la luz, se interesa básicamente en la densidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie. Por consiguiente, se procederá a estudiar la iluminación de una superficie.

La iluminación (E) de una superficie (A) se define como el flujo luminoso F por unidades de área, es decir:

$$I = \frac{F'}{A} \text{ [lx]} \quad (7-9)$$

Cuando el flujo luminoso F se mide en lúmenes y el área A en metros cuadrados, la iluminación (E) tiene las unidades de lúmenes por metro cuadrado, o lux (lx); pero debido a que los lúmenes son dimensionalmente equivalentes a las candelas, podemos decir que un lux es igual a una candela por metro cuadrado de área iluminada. Cuando el área iluminada (A) se expresa en pies cuadrados, y la iluminación se da en lúmenes por pie cuadrado, en algunas ocasiones se refiere a esta iluminación como bujía - pie.

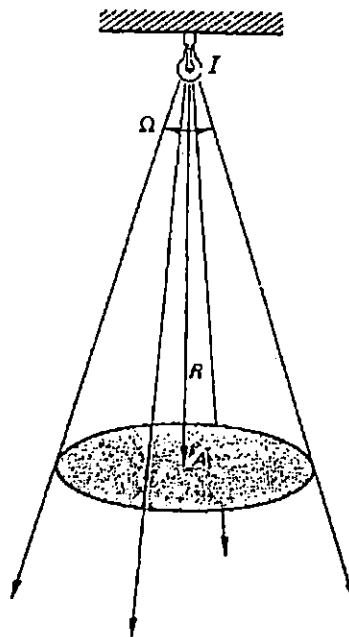


FIGURA 7-25. *Calculo de la Iluminación de una superficie perpendicular al flujo luminoso incidente.*

La aplicación directa de la ecuación (7-9) requiere un conocimiento del flujo luminoso que incide sobre cierta superficie dada; desafortunadamente, es difícil determinar el flujo luminoso de las fuentes comunes. Por esta razón se utiliza con mucha frecuencia la ecuación (7-9) para calcular el flujo luminoso cuando A es conocida, y E se calcula a partir de la intensidad luminosa medida.

Para ver la relación entre la intensidad y la iluminación, considérese una superficie A ubicada en una posición perpendicular y a una distancia R de una fuente puntual de intensidad I , como se muestra en la FIGURA 7-25. El ángulo sólido Ω subtendido por la superficie en la fuente es:

$$\Omega = \frac{A}{R^2} \quad (7-10)$$

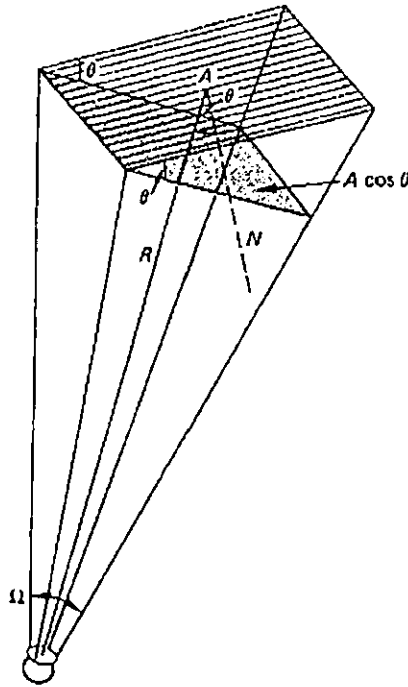


FIGURA 7-26. Cuando una superficie forma un ángulo con el flujo incidente, la iluminación es proporcional a la componente de la superficie perpendicular al flujo.

Si el flujo luminoso forma un ángulo θ con la normal a la superficie, como se muestra en la FIGURA 7-26, es necesario considerar la proyección del área $A \cos \theta$. Esta representa el área efectiva normal al flujo. En consecuencia, el ángulo sólido suele obtenerse de:

$$\Omega = \frac{A \cos(\theta)}{R^2} \quad (7-12)$$

Resolviendo para el flujo luminoso F en la ecuación (8-13), se obtiene que

$$F = I \cdot \Omega = \frac{I A \cos \theta}{R^2} \quad (7-13)$$

Ya se está en condiciones de expresar la iluminación como un fuente de la intensidad. Sustituyendo la ecuación (7-13) que define la iluminación, obtenemos:

$$E = \frac{F}{A} = \frac{I A \cos \theta}{A R^2}$$

que es lo mismo que:

$$E = \frac{F}{A} = \frac{I \cos \theta}{R^2} \quad (7-14)$$

Para el caso especial, en el cual la superficie iluminada es normal a la fuente de luz, en el que la superficie es normal al flujo, $\theta = 0^\circ$, y la ecuación (7-14) se reduce a:

$$E = \frac{I}{R^2} \quad (7-15)$$

Resumiendo podemos decir que las ecuaciones anteriores en las que intervienen la iluminación y la intensidad son formulaciones matemáticas de la ley del recíproco del cuadrado, la cual puede definirse así:

La iluminación de una superficie es proporcional a la intensidad luminosa de una fuente puntual de luz inversamente proporcional al cuadrado de la superficie a la fuente, es decir que una misma fuente de luz de la cual se realizan diferentes mediciones de iluminación (E_1, E_2, E_3 , etc.) obtenidas respectivamente a diferentes distancias (R_1, R_2, R_3 , etc) el valor de luminancia es el mismo para todos, en forma matemática esto es:

$$I = E_1 \cdot R_1^2 = E_2 \cdot R_2^2 = E_3 \cdot R_3^2 = \dots = E_n \cdot R_n^2 \quad (7-16)$$

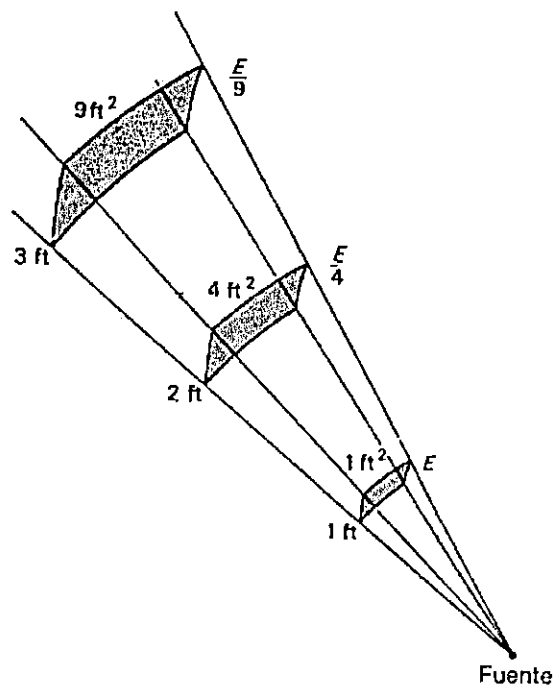


FIGURA 7-27. La iluminación de una superficie varía inversamente al cuadrado de la distancia a una fuente puntual.

La expresión anterior se conoce como la ley del recíproco del cuadrado de la distancia para una iluminación y la luminancia de una fuente luminosa, la cual de una forma más práctica se utiliza de la siguiente manera:

$$E_1 \cdot R_1^2 = E_2 \cdot R_2^2 = E_3 \cdot R_3^2 = \dots = E_n \cdot R_n^2 \quad (7-17)$$

La expresión anterior se conoce como la expresión práctica de la ecuación (7-16).

Si la luz que ilumina cierta superficie se eleva al doble de la altura original, la iluminación será solamente la cuarta parte del total. Si se triplica la distancia de la lámpara a la superficie, la iluminación se reduce a la novena parte. En la FIGURA 7-27 se muestra la relación inversa del cuadrado de la distancia. En la TABLA 7-9 se muestran diferentes valores de iluminación de diferentes fuentes de luz.

No.	Tipo de Fuente de luz	Potencia Disipada [watts]	Iluminación [lx]	Distancia desde la cual se midió la fuente de luz [cm]
1	Reflector Spotlight SILVANIA	150	7200	25
2	Reflector Infrarrojo	250	5600	25
3	Reflector Halógeno par 20	50	3350	25
4	Reflector Halógeno Phillips	75	5200	25
5	Reflector Halógeno par 30	75	5200	25
6	Foco Flud	65	1100	25
7	Foco estándar	60	350	25
8	Foco estándar	100	250	25
9	Foco estándar	60	3000	6
10	Foco estándar	100	2000	6
11	Foco Fluorescente Coolwhite (luz amarilla)	40	560	25
12	Foco Fluorescente Dyelite	40	550	25

TABLA 7-9. Características de diferentes fuentes de luz que pueden encontrarse en los centros comerciales de la Ciudad de San Salvador.

7.2.6 ILUMINADORES INDUSTRIALES.

7.2.6.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS ILUMINADORES INDUSTRIALES.

Todos los conceptos presentados en los apartados anteriores son importantes porque nos permitirán comprender con mayor facilidad las características de los diferentes negatoscopios que se utilizan para observar los diferentes tipos de radiografías industriales, no solo de soldaduras.

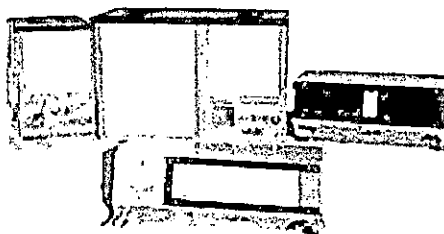


FIGURA 7-28. Regular & High Intensity Film Viewer equipos de la firma Comercial 3E Corporation, EASTWEST ENGINEERING & ELECTRONICS Co. [7-20]

De los negatoscopios o iluminadores industriales, son muchas las características que se mencionan debe poseer un buen negatoscopio. En general las características de estos están principalmente dirigidos, al valor de la densidad de que con estos es posible observar. Otra característica importante es la uniformidad de la iluminación de que estos están provistos.

Según la ASTM las principales características que un negatoscopio debe poseer son las siguientes:

- a) La pantalla de observación debe poseer una pantalla difusa.

- b) No es necesario que el aparato este provisto de un sistema de ventilación, pero se recomienda para evitar el calentamiento de la pantalla de observación de la luz y evitar así que las películas se deformen al ser expuestas al calor que llegue a la pantalla de visualización.
- c) Se especifican los valores de iluminación, debe existir una vez que la luz ha atravesado la pantalla de observación del negatoscopio y de la película radiográfica, este valor no debe ser inferior a los 30 cd/m² para películas cuya densidad fotográfica es menor a los 2.5. Para películas radiográficas, cuya densidad fotográfica es mayor que 2.5, los valores de iluminación, que deben existir una vez que la luz ha atravesado la pantalla de observación del negatoscopio y de la película radiográfica, no debe ser inferior a los 10 cd/m². Pero para este último caso se recomienda un valor de iluminación de la fuente luminosa de al menos 100,000 luxes.
- d) El color de la luz del negatoscopio debería de ser blanca, pero no existe inconveniente si resulta de otro color, esto media vez, si el fabricante de la película radiografía no tiene inconveniente en el mismo.
- e) El negatoscopio debe de estar provisto de una pantalla difusa, en la cual la luz debe ser tal que la divergencia de la luz que los ojos del observador reciben, sea igual desde cualquier punto de la pantalla del negatoscopio. El factor de divergencia no debe exceder el valor de 0.7, y la misma ASTM⁽⁷⁻²¹⁾ proporciona el procedimiento para determinar el valor de divergencia del iluminador.
- f) La pantalla del iluminador debe poseer una iluminación uniforme, para esto la ASTM proporciona el procedimiento de medición del factor de uniformidad de la luz proveniente de la pantalla del negatoscopio, este no debe ser mayor del valor de 0.5.
- g) Entre otras cosas la pantalla de iluminación del negatoscopio, debe de fabricarse de un material que resista el desgaste y al ataque químicos, de los líquidos utilizados en el revelado de las películas radiográficas.

7.2.6.2 TIPOS DE NEGATOSCOPIOS DE CLASE INDUSTRIAL.

Como se mencionaba en el apartado anterior, los negatoscopios están diseñados para observar un determinado valor en la densidad fotográfica de las películas radiográficas, características que influye directamente en la iluminación que estos son capaces de proporcionar.

Es así como muchos así como podemos agrupar a los negatoscopios en dos grupos

Negatoscopios de baja iluminación. Son aquellos en los cuales se utilizan en la observación de radiografías medicas, estos aparatos están diseñados para poder observar densidad radiográfica de la película de 2.0 ó menos. La iluminación que proporciona en la pantalla de observación es de 2,500 luxes a 3 cm de la fuente de luz.

Negatoscopios de mediana iluminación. Estos aparatos se utilizan en el campo de la gammagrafía industrial, son capaces de poder observarse en ellos, radiografías que posean densidades radiográficas de 2.0 a 3.2. Estos aparatos deben de poseer una iluminación de 10,000 luxes, a 5 cm de la fuente de luz. Véase FIGURA 7-29.

Technical data	KOWOLUX@6	KOWOLUX@66
Screen area, mm	270 x 370	350 x 610
Film density to EN 25580	3,2D	3,2D
Luminance, Cd/m ²	53.000	53.000
Light source	3 x 1500W	6 x 1500W
Supply required	3 x 400V AC 50Hz*	3 x 400V AC 50Hz
Consumption, VA	4500	9000
Dimensions (L x H x D), mm	640 x 410 x 210	550 x 860 x 205
Weight, kg	29	40
Cat. No.	15.10.06	15.10.66

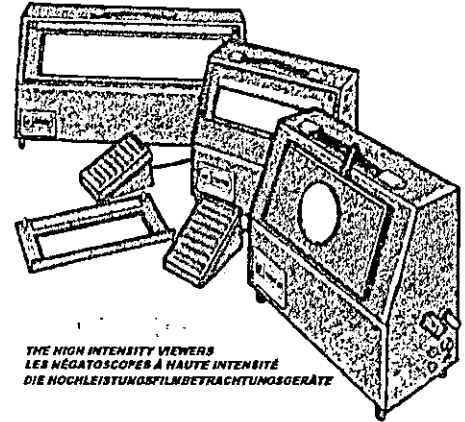


FIGURA 7-29.. Negatoscopios de Mediana Iluminación.
Equipos de la firma Comercial **[Auswertung]** ^[7-22]

Negatoscopios de gran iluminación. Son aquellos con los cuales se puede observar películas cuya densidad radiográfica es de 3.2 o valores mayores a estos, pudiendo proporcionar valores de hasta 4.0 y 5.0. La iluminación que estos aparatos deben proporcionar debe ser como mínimo 10,000 luxes a 5 cm de la fuente de luz, siendo frecuente los valores de 100,000 lux o mucho mayores, medidos a una distancia de 5 cm de la fuente de luz. Estos aparatos se utilizan para observar radiografías de componentes de equipos o estructuras de instalaciones nucleares, además de piezas de fundición. En la FIGURA 7-30, se observa uno de estos aparatos.

KOWOLUX@3 Technical data	
Screen area, mm	400 x 85
Film density to EN 25580	4,4D
Luminance, Cd/m ²	125.000
Light source	2 x 1500W
Supply required	230V AC 50Hz
Consumption, VA	3000
Dimensions (L x H x D), mm	520 x 260 x 150
Weight, kg	9
Cat. No.	15.10.03

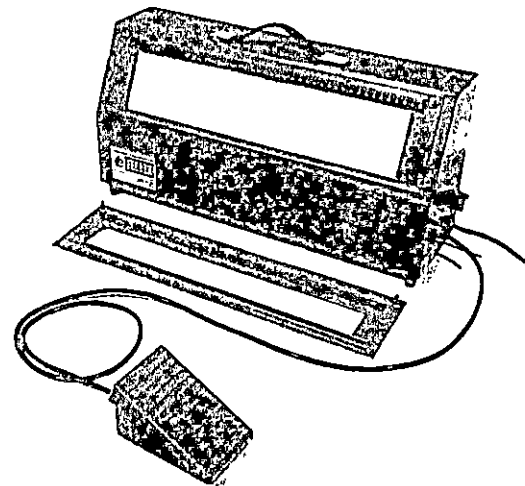


FIGURA 7-30. Negatoscopio de Gran iluminación. Equipos de la firma Comercial **[Auswertung]** ^[7-23]

7.2.6.3 PROPUESTA DE DISEÑO DEL NEGATOSCOPIO.

El negatoscopio propuesto, consiste de un cajón en cuyo interior se colocaran los elementos de funcionamiento del aparato mismo, así como también los elementos de iluminación respectivos para

alcanzar el valor de iluminación adecuado para los aparatos de este tipos. Según especificaciones de la ASTM^[7-24] y otras características adicionales que se han decidido proporcionales al aparato en cuestión podemos, decir que este poseerá las siguientes:

- a) El aparato dispondrá de un interruptor con el cual se podrá variar la iluminación del negatoscopio en tres valores diferentes baja, media y alta.
- b) El aparato estará provisto de un interruptor para los reflectores, el cual estará ubicado en un pedal de piso, para que pisando el mismo el aparato será encendido o apagado, al momento de colocar las películas para su observación, o bien cuando estas sean retiradas de la pantalla de observación. Así de esta manera los ojos del inspector se protegerán aun mas, con el objetivo de que este se encuentre en perfectas condiciones de obtener una resultado objetivo proveniente de las películas radiográficas estudiadas.
- c) Para finalizar, el negatoscopio contará con escotillas removibles, las cuales poseerán las aberturas circulares o rectangulares con las cuales se puedan observar fragmentos de películas o bien películas radiográficas en su totalidad.

La propuesta del negatoscopio en cuestión se aprecia en la FIGURA 7-31.

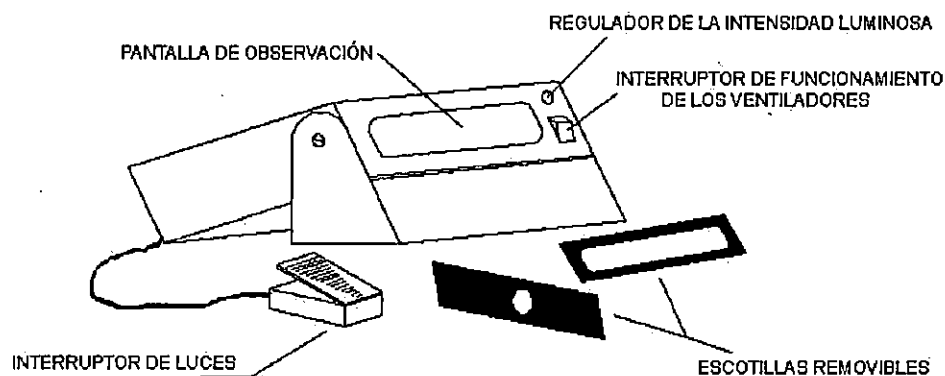


FIGURA 7-31. *Propuesta de Diseño del negatoscopio para inspeccionar películas radiográficas de uniones soldaduras.*

7.2.6.4 DISEÑO DEL NEGATOSCOPIO.

El diseño del negatoscopio dependerá principalmente de la fuente de iluminación del mismo, además de especificaciones de normativas internacionales para equipos de este tipo.

7.2.6.4.1 DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN.

Según recomendaciones especificadas por la ASTM,^[7-25] la fuente de luz utilizada en el negatoscopio deberá tener una iluminación de 100,000 lux como mínimo y el calor que emita la misma en forma de radiación no debe calentar excesivamente la pantalla donde se colocara la película para su visualización, la fuente de luz mas conveniente para este hecho y que se encuentra disponible en nuestro país, es un reflector Spotlight (haz de luz producido por una fuente puntal), el cual posee una potencia de 150 W y una luminancia de 7250 lux, medido a 25 cm de la fuente de luz.

Utilizando la expresión practica de ley del cuadrado de la distancia de la iluminación y la luminancia

de una fuente de luz, podemos variar la distancia para lograr obtener un valor de iluminación:

$$E_1 \cdot R_1^2 = E_2 \cdot R_2^2 \quad (7-18)$$

obtenemos que el valor de iluminación puede calcularse con la expresión:

$$E_2 = \frac{E_1 \cdot R_1^2}{R_2^2} = E_1 \cdot \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^2 \quad (7-19)$$

utilizando un valor de iluminación de $E_1 = 7250$, $R_1 = 25$ cm, obtenemos diferentes valores para iluminaciones a distancias de $R_2 = 5, 5.5, 6, 6.5, 6.75, 7, 7.5$ cm; los resultados se muestran en la TABLA 7-10.

<i>R2 [cm]</i>	<i>E2 [lux]</i>
5	181,250
5.5	149,793
6	125,868
6.5	107,249
6.75	100,000
7	92,474
7.5	80,555

TABLA 7-10

Considerando las recomendaciones de la ASTM y los valores agrupados en la TABLA 7-10, se establece que los reflectores se colocaran a una distancia de 6.75 cm ($2 \frac{21}{32}$ pulgada) de la pantalla de iluminación para producir en ella una iluminación de 100,000 lux. Además se utilizara como vidrio difusor una pantalla de acrílico blanco con un valor de divergencia de la luz de 0.7, como lo señala el fabricante del mismo y el cual coincide con lo recomendado por la ASTM.

7.2.6.4.2 DISEÑO DEL CAJÓN.

Conocida la distancia a la cual los reflectores deben de estar ubicados, con este valor comenzamos a dimensionar el housing del negatoscopio mismo. Procedemos entonces a colocar la fuente de iluminación dentro del cajón del negatoscopio. Una vez seleccionada la fuente de iluminación, cada una de estas ocupa un volumen efectivo de 1851.5 cm^3 el cual resulta de las dimensiones mostradas en la FIGURA 7-32 y la expresión (7-20).

$$14 \text{ cm} \times 11.5 \text{ cm} \times 11.5 \text{ cm} = 1851.5 \text{ cm}^3 \quad (7-20)$$

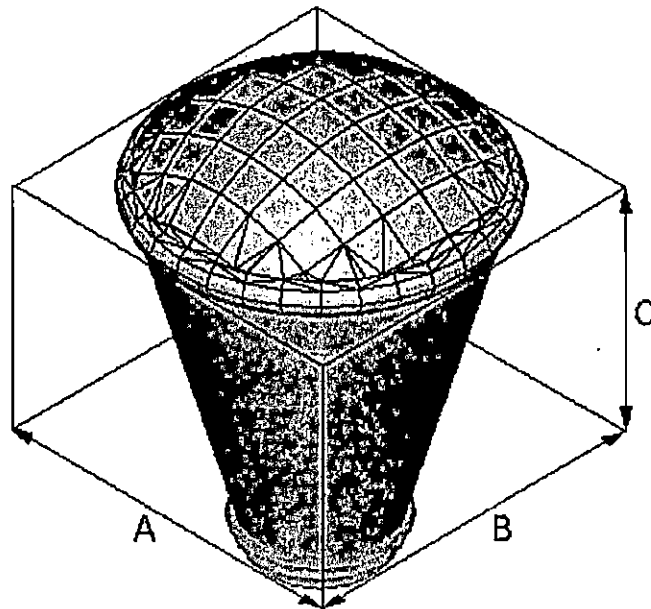


FIGURA 7-32. *Eesquematzación del volumen ocupado por cada una de las fuentes de iluminación elegidas para utilizarse en el Negatoscopio. A = 11.5 cm; B = 11.5 cm; C = 14 cm.*

Se utilizarán dos reflectores para poder iluminar eficientemente la pantalla de observación a lo largo de 35.56 cm (14 pulgadas de longitud) y 15.25 cm (6 pulgadas) de alto, esto determinado según especificaciones de la ASTM, según estas la pantalla de iluminación debe de ser capaz de observar películas de tipo comercial, en anchos que van desde 6.35 cm (2 ½ pulgada), hasta 9 cm (3 ½) y 10.2 cm (4 in), es así como, asignamos a la pantalla de observación las dimensiones que se muestran en la FIGURA 7-33.

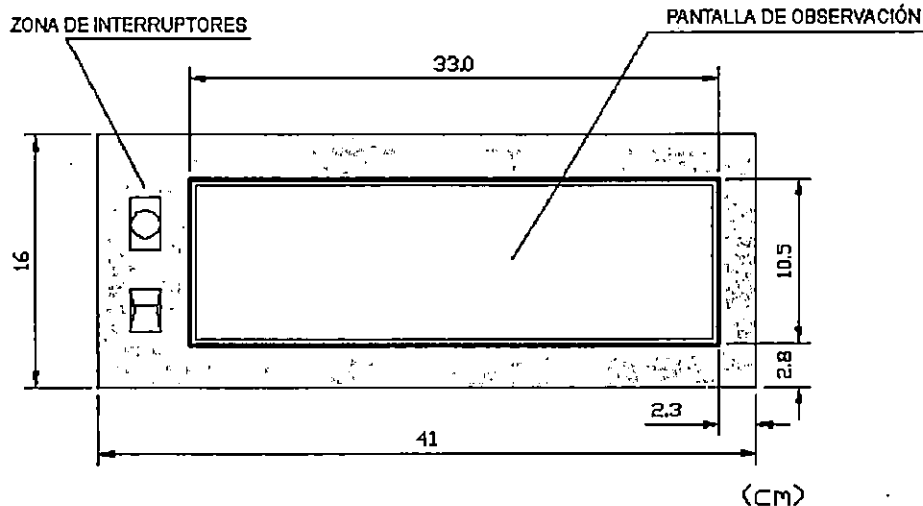


FIGURA 7-33. *Dimensiones de la Pantalla de Observación.*

Las dimensiones anteriores definen el ancho del negatoscopio mismo, la longitud de este será aquella que permita una buena iluminación en la pantalla de observación, la cual se alcanzará ubicando los reflectores a 6.75 cm de la misma. Además deberá poseer el espacio adecuado para alojar los reflectores del sistema de iluminación (de 14 cm de longitud cada uno) y el espacio adecuado para colocar los elementos del sistema de ventilación (ventiladores y circuitería eléctrica) para estos últimos

se necesitara una longitud de 15 cm.

$$\text{Longitud del negatoscopio} = 6.75 \text{ cm} + 14 \text{ cm} + 15 \text{ cm} = 36 \text{ cm}$$

tal y como se muestra en la siguiente FIGURA

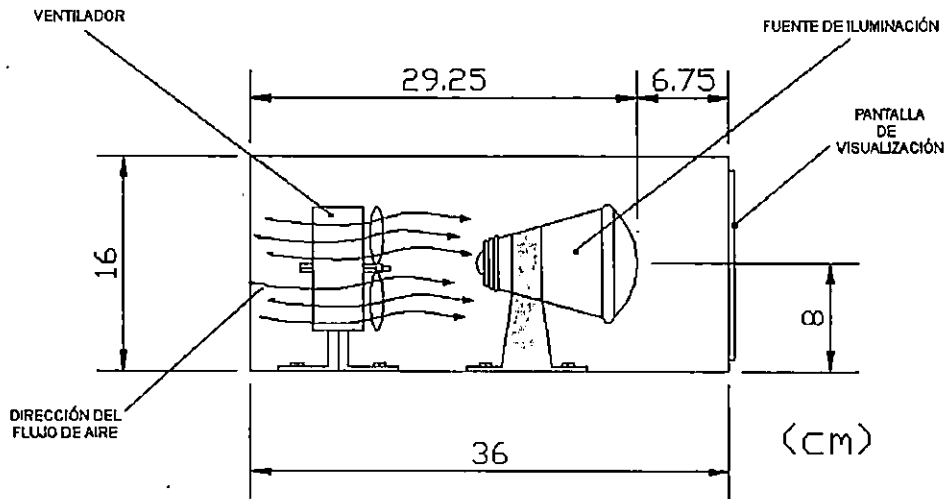


FIGURA 7-34. Ubicación de la Fuente de luz a lo largo del cajón del negatoscopio.

Con todos los parámetros anteriores el housing del negatoscopio queda dimensionado, bastara definir que este se fabricara de lamina negra de 1.2 mm ($3/64$ in) de espesor y poseerá un recubrimiento de pintura para protección del mismo.

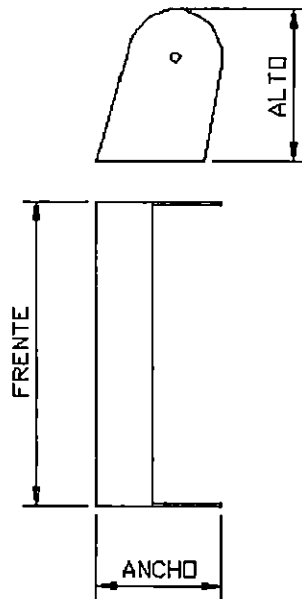


FIGURA 7-35. Esquema de la base giratoria del negatoscopio.

Otro elemento que se constituye en parte del negatoscopio es una base basculante, o base giratoria la cual podrá orientarse a voluntad del observador con el fin de poder realizar la mejor inspección del caso de las radiografías industriales. Esta ha sido dimensionada a partir de las dimensiones del cajón, y estas dimensiones de las que hablamos las mostramos en la FIGURA 7-35.

7.2.6.4.3 INTERRUPTOR DE LA INTENSIDAD DE ILUMINACIÓN.

El negatoscopio tendrá un dispositivo con el cual se podrá regular la intensidad de la luminancia del mismo, el cual será de tres posiciones en la cual se colocaran resistencia de diferentes valores con los cuales se podrán obtener luminancias de baja, media y alta.

7.2.6.4.4 ESCOTILLAS REMOVIBLES.

Según lo especificado por la ASTM, y tal y como se aprecia en las FIGURA 7-31 el negatoscopio estará provisto de dos escotillas removibles, es decir, intercambiables, con las cuales se podrá inspeccionar películas en toda su longitud (FIGURA 7-30) a, o bien, únicamente porciones de las mismas, tal y como se lograría utilizando la escotilla que se muestra en la FIGURA 7-29. Las escotillas removibles se aprecian en la FIGURA 7-36.

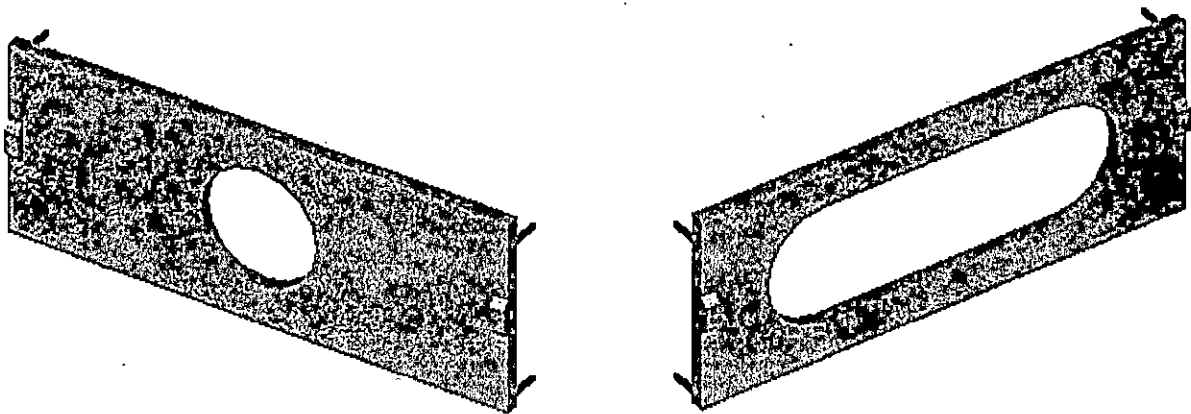


FIGURA 7-36. Escotillas removibles de las cuales estará provisto el negatoscopio.

7.3.0 DISEÑO DEL PROTOTIPO EXPERIMENTAL DE GAMMAGRAFÍA

7.3.1 PROPUESTA DEL MECANISMO

En el capítulo II referente a equipos de gammagrafía industrial se abordó el funcionamiento de estos de acuerdo a su clasificación en cuanto a su operación y manejo; las características actuales del contenedor (FIGURA 7-37) que tenemos a nuestra disposición y con el cual se trabajará son:

Categoría I : Debido a que el contenedor es sellado y la exposición se realiza en base a un obturador.

Clase P : Contenedor de trabajo portátil.

Peso del contenedor : 32 lbf =142.34 N

Diámetro : 120 mm

Altura : 170 mm

Sin embargo a pesar de la portabilidad del contenedor y debido a que formaba parte de un equipo

con aplicaciones diferentes, se presenta la limitante en cuanto a la manipulación de la distancia fuente-película, debido a esto se pretende construir un mecanismo que permita modificar fácilmente la distancia fuente-película, además que pueda permitir las libertades de giro y movimientos necesarios para realizar una exposición determinada

Teniendo presente este objetivo y a la vez el que dicho mecanismo sea de fácil construcción y económico, se llegó a determinar que las características mínimas que deberá poseer son las que se presentan en la FIGURA 7-38.

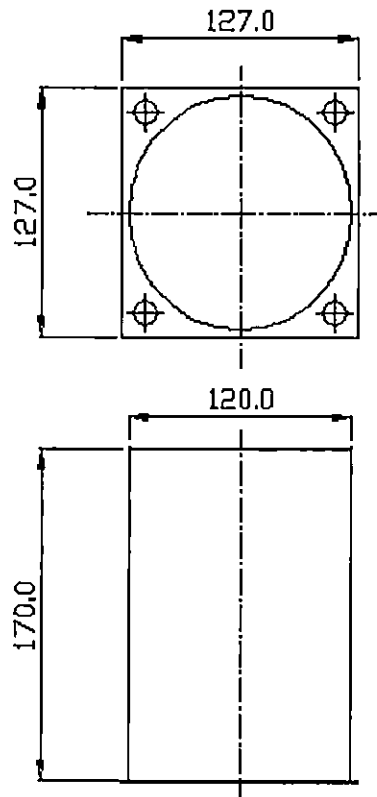


FIGURA 7-37 Características dimensionales de la fuente (mm)

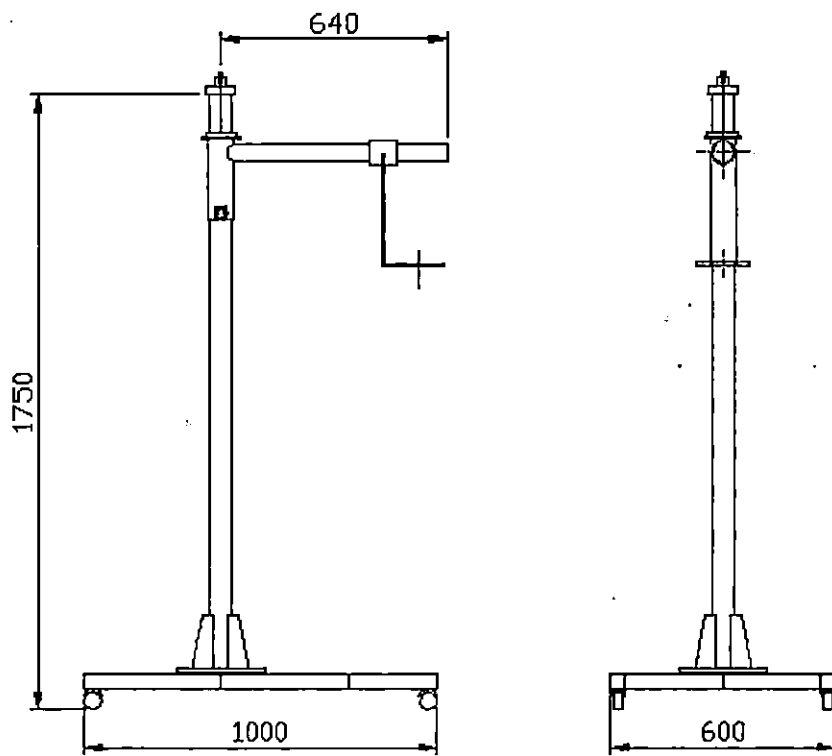


FIGURA 7-38. Características del Mecanismo Propuesto (cotas en mm).

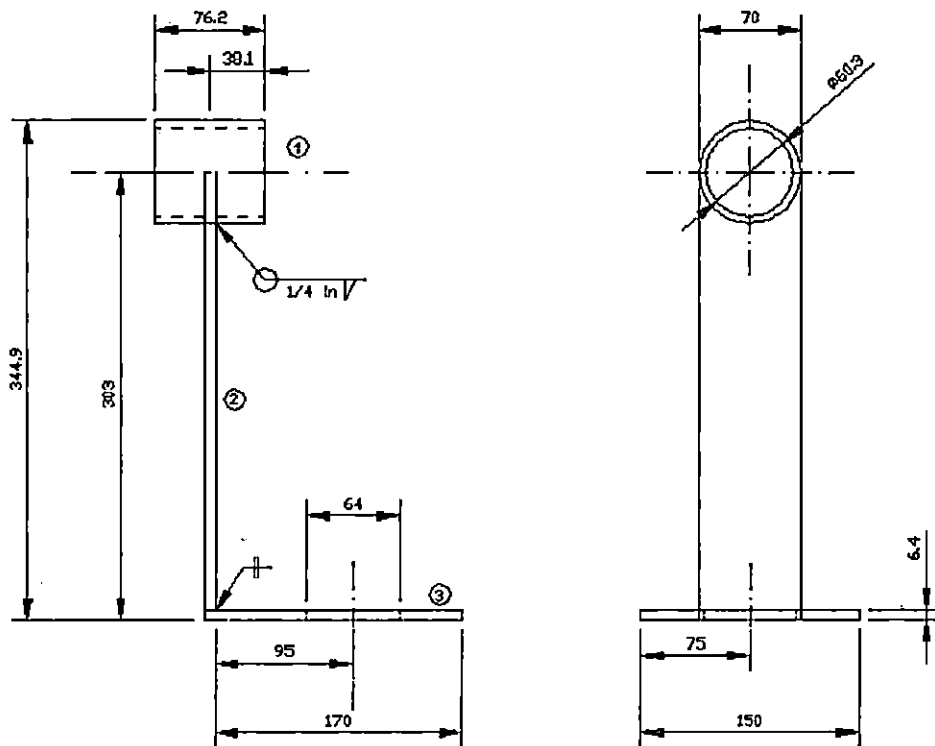


FIGURA 7-39. Soporte del Contenedor de la Fuente. (cotas en mm)

7.3.2 DESCRIPCIÓN DEL FUNCIONAMIENTO DEL MECANISMO Y ESTABLECIMIENTO DE PARÁMETROS DE DISEÑO

Las características que brinda el mecanismo presentado en la FIGURA 7-38 son las siguientes:

- El soporte **A** se desplaza sobre el brazo **B**.
- El brazo **B** gira y se desliza sobre la columna **C**, este se encuentra equilibrado en base a un contrapeso de plomo que se mueven en el interior de la columna **C**.
- El movimiento del brazo **B** se podrá fijar a la columna **C** mediante el mecanismo **D**.
- Toda la estructura se desplaza sobre una base rodante **E**, la cual brinda la ventaja de movilizarla y ubicarla en la posición requerida para la exposición.

Debido a que la estructura no se encontrara sometida a condiciones de carga extrema, sino solo a su propio peso se decidió fabricarlo con materiales básicos para la construcción, tubería negra, platina de acero suave (AISI 1020) y hierro angular, dando mayor interés al análisis de los cordones de soldadura para determinar sus características mínimas, los otros elementos que también serán analizados son los siguientes (ver FIGURA . 7-38, 7-40,7-42,7-45, 7-47, 7-48, 7-49, y 7-50)

- Soporte del contenedor (A) FIGURA 7-38, 7-39, 7-40.
- Brazo giratorio (B) FIGURA 7-42, 7-43.
- Base de la columna FIGURA 7-44, 7-46.
- Sistema de Contrapesas FIGURA 7-47.
- Mecanismo de fijación de movimiento del brazo giratorio (D) FIGURA 7-48, 7-49.
- Base rodante (E) FIGURA 7-50.

7.3.2.1 ESTABLECIMIENTO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS.

Las dimensiones de cada uno de los elementos que forman el equipo han sido tomadas de acuerdo a las características de funcionamiento de cada uno de ellos como se detalla a continuación:

- ◆ **SOPORTE DEL CONTENEDOR.** Las dimensiones del elemento 2 y el elemento 3 fueron tomados en base a las dimensiones de la fuente en cuanto a la altura y diámetro, para que el montaje fuera lo más sencillo posible.
- ◆ **BRAZO GIRATORIO.** Esta dimensión no es una longitud crítica sin embargo se eligió el valor de 600 mm ya que con esta longitud se podía acceder a un radio de giro lo suficientemente aceptable sin poner en peligro el equilibrio estabilización de la estructura.
- ◆ **SOPORTE DEL BRAZO.** Este se dimensionó tomando en cuenta que se necesitaba estabilidad durante su desplazamiento. y además que tendría que contener el elemento de fijación.
- ◆ **COLUMNA.** La altura de la columna se eligió en base al rango de la distancia fuente película que se podría manipular en el caso de contar con una fuente en óptimas condiciones, este rango es de 0- 1.2 m. Es de notar que debido a la baja actividad de la fuente con la que se cuenta solo se manipularan distancias cortas en el rango de 0-20 cm, lo cual ayudara a disminuir el el tiempo de exposición. La distancia máxima de separación fuente película que se podrá obtener será de 1 m.

- ◆ BASE RODANTE. Las dimensiones y forma que se muestran fueron aquellas que garantizarían una buena estabilidad de movimiento de toda la estructura.

El factor de seguridad que se usara para cada uno de los cálculos de los tamaños de soldadura será del valor de 7, sin embargo, aunque pudiera parecer demasiado alto, el tipo de equipo al cual se está aplicando lo amerita . ,

7.3.2.1 ANÁLISIS DEL SOPORTE DEL CONTENEDOR

De la configuración del soporte FIGURA 7-39 podemos asegurar que éste en la unión A estará sometido a cortante y a un momento flector ocasionado por el peso del contenedor aumentado en menor grado por el peso de la placa 3 .

En la unión B al igual que en A este estará sometido a cortante y a un momento flector, y debido a que este es atravesado por la tubería del brazo, no se hará ningún análisis, sino que al cordón se le darán las mismas características que los demás.

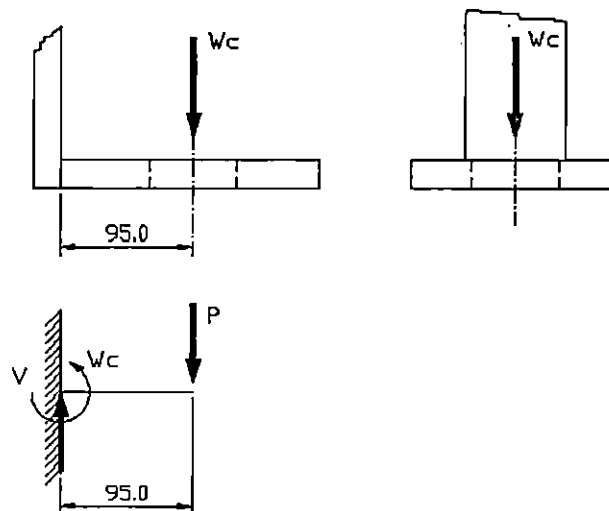


FIGURA 7-40. Diagrama de equilibrio del punto a analizar (A) (cotas en mm)

$$\text{Donde } P = W_c + W_3$$

$$W_c : \text{Peso del contenedor} = 142.34 \text{ N}$$

$$W_3 : \text{Peso de la placa 3} = 6.62 \text{ N}$$

$$M = P \cdot (95 \text{ mm}) = (148.96 \text{ N}) \cdot (0.095 \text{ m}) = 14.15 \text{ Nm}$$

$$V = P = 148.96 \text{ N}$$

Ver Apartado 7-3.3 para la determinación de los pesos de los elementos.

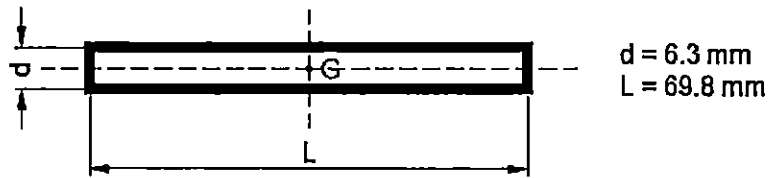


FIGURA 7-41. Arreglo de los cordones de soldadura.

Las cargas actuando en el cordón de soldadura, son cortante y flexión, donde para el arreglo de la soldadura anterior se trataran como líneas y las ecuaciones a utilizar son las siguientes, :

- Cortante:

$$\tau = \frac{V}{A} \quad (7-21)$$

- Flexión:

$$\sigma = \frac{M \cdot C}{I} \quad (7-22)$$

De la TABLA del ANEXO 7-8⁽¹⁻²⁶⁾ (Caso 3)

$$C = d/2$$

$$A = 1.414h(L + d) = 1.414h(69.8 + 6.3) = 107.75h \text{ mm} = 0.108 h \text{ m}$$

$$I_u = d^2 (3L + d)/6 = 1450.9 \text{ mm}^3 = 1.43 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$I = 0.707hI_u = 1.009 \times 10^{-6} h \text{ m}^3$$

El valor del cortante y flexión (por unidad de longitud) de acuerdo a las ecuaciones anteriormente planteadas será de :

$$\tau_L = \frac{V}{A} = \frac{148.96N}{0.108hm} = \frac{1372.19}{h} \frac{N}{m} \quad (7-23)$$

$$\sigma_L = \frac{MC}{I} = \frac{Md}{2I} = \frac{(14.5)(0.0063)}{(2)(1.009 \times 10^{-6} h)} = \frac{4.53 \times 10^4}{h} \frac{N}{m} \quad (7-24)$$

Combinando ambos valores vectorialmente obtenemos un valor resultante

$$\begin{aligned} \sigma_r &= \sqrt{\tau_L^2 + \sigma_L^2} = \sqrt{\left(\frac{1372.19}{h}\right)^2 + \left(\frac{4.42 \times 10^4}{h}\right)^2} \\ &= \frac{4.42 \times 10^4}{h} \frac{N}{m} \end{aligned} \quad (7-25 a)$$

$$\sigma_r = \frac{4.42 \times 10^4 \text{ N}}{h \text{ m}} \quad (7-25 \text{ b})$$

de una fuerza por unidad de longitud en función de h, de acuerdo a las recomendaciones hechas por la AWS (TABLA 7-13) para juntas soldadas a tope de $\frac{1}{4}$ " el ancho mínimo de la garganta debe ser de 3.2 mm, tomando este valor como referencia y los datos de la TABLA 7-11 para el metal soldante, calculamos el factor de seguridad n que tendrá realizando todas las soldaduras con un ancho de garganta mínimo de 3.2 mm.

Sustituyendo h=3.2 mm en las ecuaciones anteriores tenemos

$$\sigma_r = \frac{(4.42 \times 10^4 \text{ N})}{h.m} = \frac{(4.42 \times 10^4 \text{ N})}{(0.0032 \text{ m}^2)} = 13.81 \text{ MPa} \quad (7-26)$$

Este dato será nuestro valor de esfuerzo permisible, por otra parte tenemos que el factor de seguridad estará dado por

$$n = \frac{\sigma_y}{\sigma_{perm}} = \frac{(\text{esfuerzo fluencia})}{(\text{esfuerzo permisible})} \quad (7-27)$$

donde:

σ_u : Esfuerzo fluencia tomado de la TABLA 7-13 para E60XX (345 MPa)

σ_{perm} : Esfuerzo permisible = σ_r

Sustituyendo valores tenemos

$$n = \frac{345 \text{ MPa}}{13.81 \text{ MPa}} = 24.9 \approx 25 \quad (7-28)$$

Por lo tanto a pesar de que el calculo se ha realizado para un valor mínimo en el ancho de la garganta el valor del factor de seguridad es alto, en otras palabras el factor de 25 será el factor máximo que se podrá obtener.

Debido a que se había señalado que se usaría un factor de 7 entonces este factor se encontrara ordenando la ecuación anterior como sigue, para encontrar el valor del esfuerzo permisible a partir del cual se encontrara el valor de h, esperando de antemano que dicho valor disminuya considerablemente.

$$\sigma_{perm} = \frac{\sigma_y}{n} = \frac{345 \text{ MPa}}{7} = 49.28 \text{ MPa} = \sigma_r \quad (7-29)$$

Con σ_r y ordenando la ecuación 7-25 b se encuentra h

$$h = \frac{(4.42 \times 10^4 N)}{(\sigma, m)} = \frac{(4.42 \times 10^4 N)}{(49.28 \text{ MPa} \cdot m)} = 8.97 \times 10^{-4} = 0.9 \text{ mm} \quad (7-30)$$

NUMERO DE ELECTRODO AWS	RESISTENCIA ULTIMA kpsi(Mpa)	RESISTENCIA DE FLUENCIA kpsi(Mpa)
E60XX	62(427)	50(345)
E70XX	70(482)	57(393)
E80XX	80(551)	67(462)
E90XX	90(620)	77(531)
E100XX	100(689)	87(600)
E120XX	120(827)	107(737)

TABLA 7-11. *Propiedades mínimas a la tensión para el metal soldante para soldaduras al arco.*⁽⁷⁻²⁷⁾

TIPO DE CARGA	TIPO DE JUNTA	ESFUERZO PERMISIBLE	n*
Tensión	A tope	0.60 S _y	1.67
Aplastamiento	A tope	0.90 S _y	1.11
Flexión	A tope	0.60-0.66 S _y	1.52-1.67
Compresión simple	A tope	0.60 S _y	1.67
Cortante	A tope o de filete	0.40 S _y	1.44

* El factor de seguridad n ha sido calculado considerando la energía de distorsión.

TABLA 7-12. *Esfuerzos permitidos por el reglamento AISC para metal soldante.*⁽⁷⁻²⁸⁾

Espesor de la junta del material a soldar (pulg)	Valor de h pulg (mm)
Hasta 1/4"	1/8" (3.2)
Mayor de un 1/4" hasta 1/2"	3/16" (4.8)
Mayor de un 1/2" hasta 3/4"	1/4" (6.4)
Mayor de un 3/4" hasta 1 1/2"	5/16" (7.9)
Mayor de un 1 1/2" hasta 2 1/4"	3/8" (9.5)
Mayor de un 2 1/4" hasta 6"	1/2" (12.7)
Mayor de un 6"	5/8" (15.9)

TABLA 7-13. *Tamaño mínimo para soldadura de filete.*⁽⁷⁻²⁹⁾

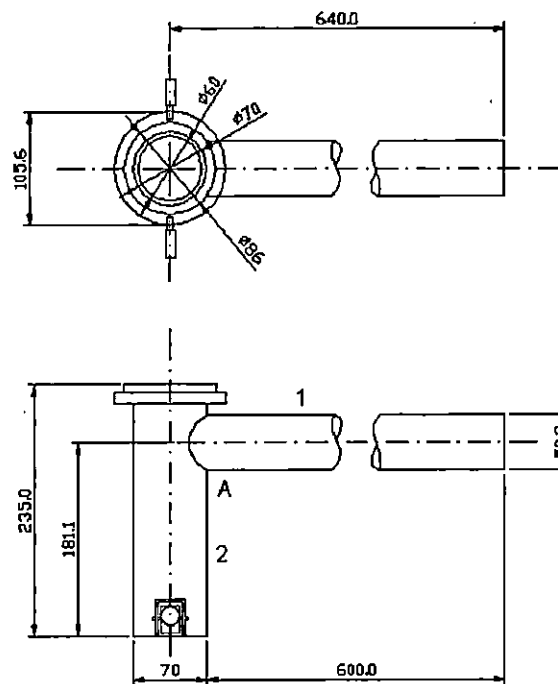


FIGURA 7-42. Brazo Giratorio (cotas en mm)

7.3.2.2 SOPORTE DEL BRAZO.

En la FIGURA 7-42 el punto de unión A entre 1 y 2 estará sometido a un momento flector y a un cortante generado debido al peso de contenedor más el peso de la estructura.

Analizando A.

Peso del brazo $W_b = 30.7 \text{ N}$

Peso del soporte $W_s = 18.15 \text{ N}$

Peso del contenedor $W_c = 142.34 \text{ N}$

El peso total $W_T = W_b + W_s + W_c = 191.19 \text{ N}$

Para motivos de simplificar el calculo se tomara que todo el peso se encuentra ubicado en el extremo del brazo, por lo tanto

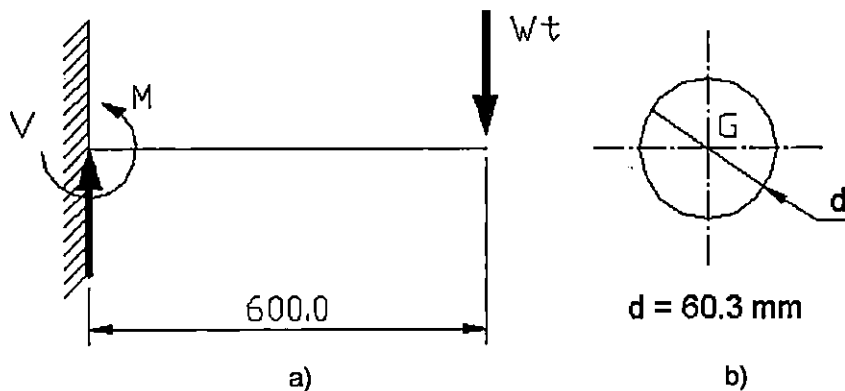


FIGURA 7-43. Diagrama de equilibrio del brazo

Las ecuaciones a utilizar son (7-21) y (7-22)

$$\text{- Cortante: } \tau = \frac{V}{A} \qquad \text{Flexión: } \sigma = \frac{M \cdot C}{I}$$

Aproximando a una circunferencia el cordón de soldadura FIGURA 7-43 b y de TABLA del ANEXO 7-8⁽⁷⁻³⁰⁾ (caso 7) y tomando al igual que en el caso anterior un valor para h de 3.2 mm :

$$A = 1.414 p h r = 1.414 p (3.2 \text{ mm}) (30.16 \text{ mm}) = 428.73 \text{ mm}^2 = 0.000429 \text{ m}^2$$

$$I_u = p r^3 = p (30.16 \text{ mm})^3 = 8.62 \times 10^4 \text{ mm}^3 = 8.62 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

$$I = 0.707 h I_u = 0.707 (0.0032 \text{ m}) (8.62 \times 10^{-5} \text{ m}^3) = 1.95 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

$$\tau_L = \frac{V}{A} = \frac{193.32 \text{ N}}{(0.134 \text{ hm})} = \frac{193.32 \text{ N}}{(4.29 \times 10^{-4} \text{ m}^2)} = 45.06 \text{ MPa} \quad (7-31)$$

$$\sigma_L = \frac{M C}{I} = \frac{M d}{2I} = \frac{(193.32 \text{ N})(0.6 \text{ m})(0.0603 \text{ m})}{(1.22 \times 10^{-4} \text{ hm}^3)} = \frac{6.99 \text{ N}}{(3.9 \times 10^{-7} \text{ m}^2)} = 17.93 \text{ MPa} \quad (7-32)$$

El valor resultante de estos dos tipos de esfuerzos son :

$$\sigma_r = \sqrt{\tau_L^2 + \sigma_L^2} = \sqrt{(0.45 \text{ MPa})^2 + (17.93 \text{ MPa})^2} = 17.94 \text{ MPa} \quad (7-33a)$$

en función de h será :

$$\sigma_r = \sqrt{\tau_L^2 + \sigma_L^2} = \sqrt{\left(\frac{1442.7}{h}\right)^2 + \left(\frac{57295.08}{h}\right)^2} = \frac{57313.2 \text{ N}}{\text{hm}} \quad (7-33b)$$

Encontrando el factor de seguridad

$$n = \frac{\sigma_y}{\sigma_{perm}} = \frac{(\text{esfuerzo fluencia})}{(\text{esfuerzo permisible})} \quad (7-34)$$

Donde: Esfuerzo fluencia tomado de la TABLA 7-11 para E60XX (345 MPa)
Esfuerzo permisible = σ_r

Sustituyendo valores tenemos

$$n = \frac{345 \text{ MPa}}{17.93 \text{ MPa}} = 19.24 \approx 19$$

Por lo tanto obtenemos para nuestro caso un factor de seguridad de 19.

Para encontrar el valor de h utilizando el factor de seguridad de $n=7$ que anteriormente se había planteado será necesario utilizar la ecuación (7-29) en donde :

$$\sigma_{perm} = \frac{\sigma_y}{n} = \frac{345MPa}{7} = 49.28 MPa = \sigma_r$$

Haciendo uso de (7-33 b) y despejando h tenemos y sustituyendo σ_r :

$$h = \frac{57313.2N}{(\sigma_r, m)} = \frac{57313.2N}{(49.28MPa m)} = 1.16 mm$$

Por lo tanto para un factor de 7 el valor de la garganta será de 1.16 mm como mínimo.

7.3.2.3 ANÁLISIS DE LA COLUMNA.

En la FIGURA 7-44 se muestra la columna la cual estará sometida un momento flexionante $M = 116.364 Nm$ localizado en la base donde se encuentran las nervaduras.

Analizando el arreglo de los cordones mostrados en las FIGURA 7-45 y 7-46 los cuales están transversales al eje de acción del momento y usando las ecuaciones anteriores para el esfuerzo flector.

$$\text{Flexión: } \sigma = \frac{M \cdot C}{I} \frac{N}{m} \quad (7-35)$$

Según referencias utilizadas en el diseño mecánico,^[7-31] a través de los casos 3 y 5, al restar de I_u caso 3 el valor de I_u caso 5 :

$$I_U = \frac{d_1^2}{6} \cdot (3 \cdot b + d_1) - \frac{d_2^3}{6} = \frac{(0.21m)^2}{6} \cdot (3 \cdot 0.0079m + 0.21m) - \frac{(0.0603m)^3}{6} \quad (7-36)$$

$$I_U = 1.68 \times 10^{-3} m^3$$

$$I = 0.707 h I_u$$

$$I = 0.707 \cdot (h) \cdot (1.68 \times 10^{-4} m^3)$$

$$I = 0.707 \cdot (0.0032 m) \cdot (1.68 \times 10^{-4} m^3)$$

$$I = 3.8 \times 10^{-4} m^3 \quad (7-37)$$

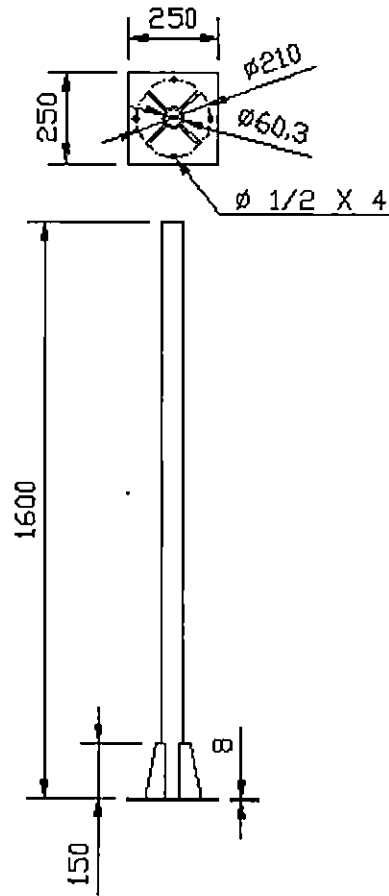


FIGURA 7-44. Columna de la Estructura. (mm)

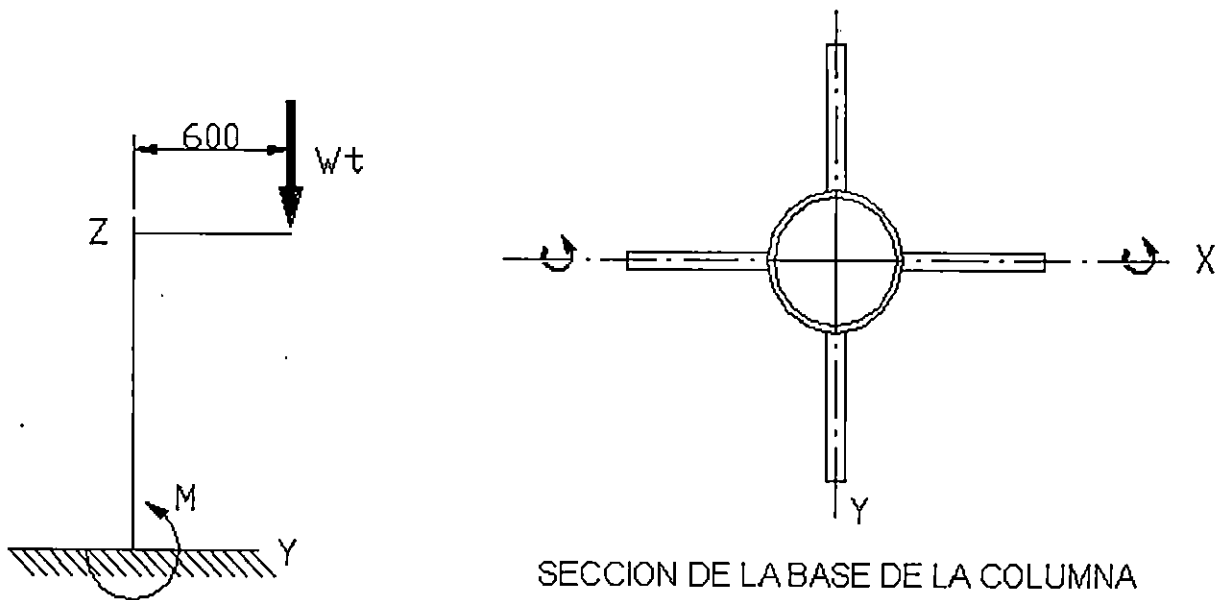


FIGURA 7-45. Diagrama de equilibrio de la columna

$$\begin{aligned}
 C &= d_1/2 \\
 b &= 7.9\text{mm} \\
 d_1 &= 210\text{mm} \\
 d_2 &= 60.3\text{mm} \\
 M &= 116.364\text{ N m}
 \end{aligned}$$

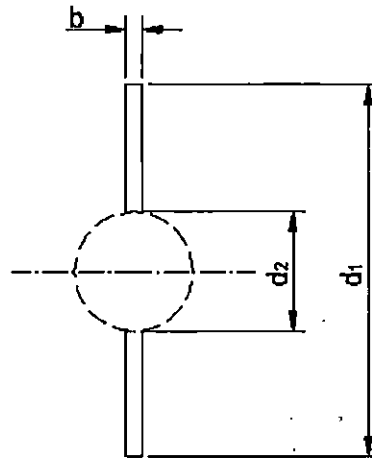


FIGURA 7-46. Arreglo de los cordones a analizar

Sustituyendo valores en la ecuación :

$$\sigma_r = \frac{(116.36\text{Nm}(0.21\text{m}))}{(2.4 \times 10^{-4} h)} = \frac{101815\text{N}}{(hm)} \quad (7-38a)$$

$$\sigma_r = \frac{(116.36\text{Nm}(0.21\text{m}))}{(2.4 \times 10^{-4} h)} = \frac{116.36\text{Nm} \cdot (0.21\text{m})}{2 \cdot 3.8 \times 10^{-7} \text{m}^4} = 32.15 \text{MPa} \quad (7-38b)$$

Calculando el factor de seguridad, siempre bajo las mismas condiciones :

$$n = \frac{\sigma_y}{\sigma_{perm}} = \frac{(\text{esfuerzo fluencia})}{(\text{esfuerzo permisible})}$$

Donde: Esfuerzo fluencia tomado de la TABLA 7-11 para E60XX (345 MPa)
Esfuerzo permisible = σ_x

Sustituyendo valores tenemos

$$n = \frac{345\text{MPa}}{32.15\text{MPa}} = 10.73$$

Por lo tanto obtenemos para nuestro caso un factor de seguridad de 10.73.

Para encontrar el valor de h haremos uso de la ecuación (7-29) de donde obtenemos el valor del esfuerzo permisible para nuestras condiciones de 49.28 MPa y de la ecuación (7-38a) despejamos h

$$h = \frac{101815\text{N}}{(\sigma, m)} = \frac{101815\text{N}}{(49.28\text{MPa} m)} = 2\text{mm} \quad (7-39)$$

Por lo tanto de acuerdo a los cálculos anteriores todos los tamaños de los cordones de soldadura deberán tener como mínimo 1/8"(3.2 mm) de espesor en la garganta garantizando con esto el buen funcionamiento de la estructura, ya que queda con un factor de seguridad alto.

7.3.2.4 SISTEMA DE CONTRAPESAS.

Mediante este sistema lo que se pretende solucionar será el de mantener equilibrado el brazo giratorio cuando este se encuentre sin carga y poder bajarlo y subirlo según la necesidad del operario, una vez se ubica en la posición requerida el brazo se inmoviliza mediante el mecanismo de fijación FIGURA 7-47

Este sistema consta de una masa de plomo unida al soporte del brazo giratorio a través de un cable de acero, dicha masa se desplaza en el interior de la tubería (columna) a través de unas poleas ubicadas en el extremo superior de la columna .

El calculo de las dimensiones de la masa se hará en base al peso que se necesita equilibrar (16 lb) y el diámetro interno de la columna $D = 2"$ y sabiendo que la densidad del plomo es de 0.41 lb/pulg^3 .

La incógnita que necesitamos encontrar es la longitud que debería tener para lograr el equilibrio. De la ecuación $\text{volumen} = \text{masa}/\text{densidad}$

$$\frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot L = \frac{\text{masa}}{\text{densidad}} \quad (7-40)$$

$$L = \frac{4 \cdot \text{masa}}{(\pi \cdot D^2 \cdot \text{densidad})} = \frac{(4 \cdot 16 \text{ lbf})}{(\pi \cdot (2 \text{ pulg})^2 \cdot (0.41 \text{ lbf/pulg}^3))} = 12.45 \text{ pulg} = 316.23 \text{ mm}$$

por lo tanto necesitaremos una masa de plomo con una longitud de 316.23 mm y un diámetro de 50.8 mm..

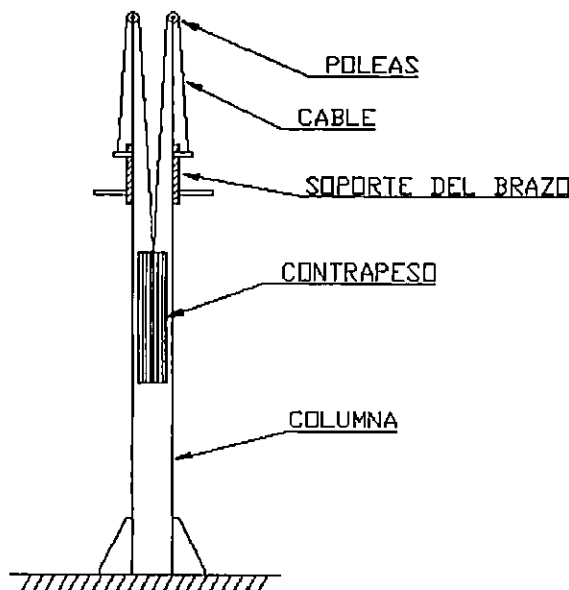


FIGURA 7-47. Esquema del arreglo del sistema de contrapesas

7.3.2.5 MECANISMO DE FIJACIÓN

El funcionamiento de este mecanismo es el de fijar el brazo giratorio en la posición requerida. Este mecanismo actúa a través de dos palancas manuales en cuyos extremos se encuentra un semi-disco excéntrico respecto del eje de giro de la palanca, la superficie exterior del semi-disco está provista de hule para garantizar una mejor fijación, esta palanca se moverá en un ángulo de 90 grados (HORIZONTAL-VERTICAL), la característica que proporcionará el apreté será la excentricidad. FIGURA 7-48 y FIGURA 7-49

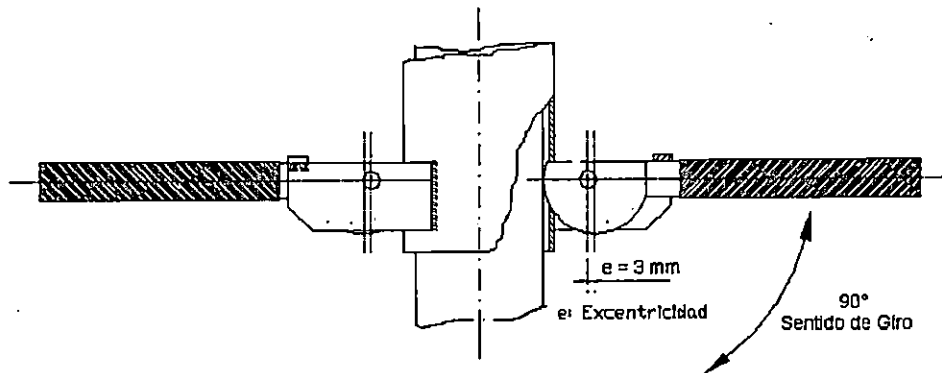


FIGURA 7-48. Sección del mecanismo de sujeción

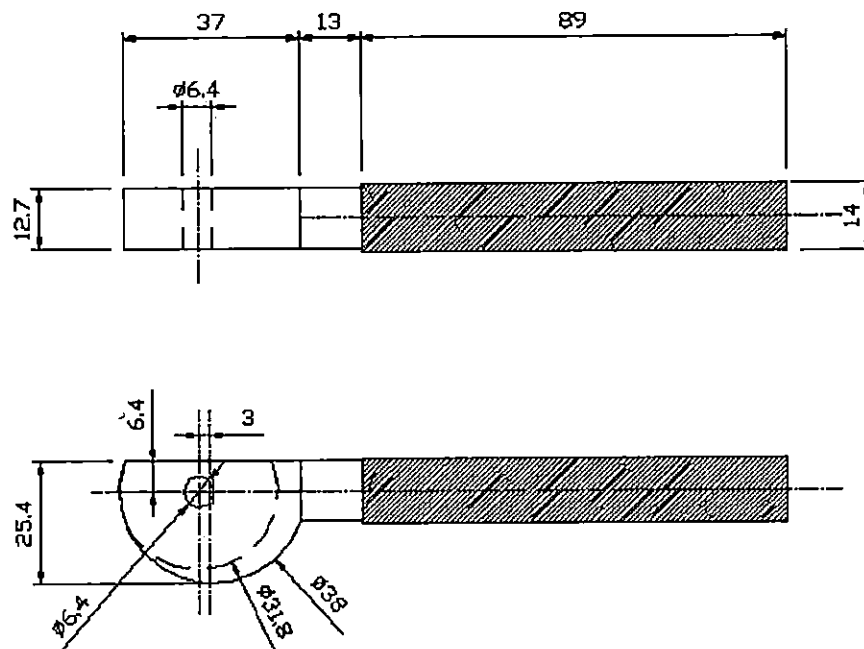


FIGURA 7-49. Palancas de Fijación.

7.3.2.6 BASE RODANTE

Esta será fabricada con hierro angular con las dimensiones y características que se muestran en la FIGURA 7-50.

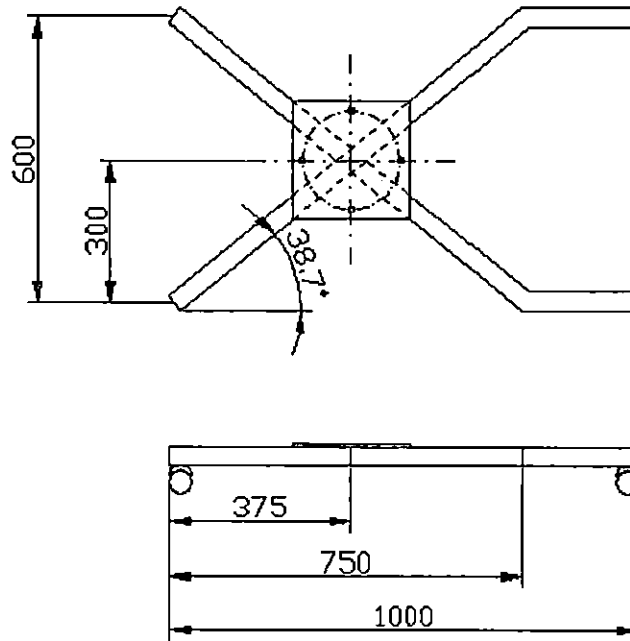


FIGURA 7-50. Base Rodante de la Estructura. (Cotas en mm)

7.3.3 CÁLCULOS DE LOS PESOS PARA CADA UNO DE LOS COMPONENTES DEL PROTOTIPO

- SOPORTE DEL CONTENEDOR DE LA FUENTE

Piezas 1,2,3 (FIGURA 7-39)

Material acero 1020

Densidad $\rho = 0.28 \text{ lb/pulg}^3 = 7750.37 \text{ kgf/m}^3$

Volumen total de las placas $V = 15 \text{ pulg}^3 = 2.458 \times 10^{-4} \text{ m}^3$ (Este incluye el volumen del anillo deslizante y el volumen de las dos placas del contenedor)

$$W = \rho V = (7750.37)(2.458 \times 10^{-4}) = 1.91 \text{ kgf} = 18.74 \text{ N}$$

- BRAZO GIRATORIO Y SOPORTE

- BRAZO GIRATORIO

De TABLA 7-14 tenemos que el peso por unidad de longitud un tubo de diametro 2" interior y una longitud de 6 m $W/L = 0.29 \text{ lb/Pulg} (5.179 \text{ kgf/m})$, por lo tanto el peso de todo el brazo será sabiendo que tiene una longitud de 605 mm.

$$W = W = 5.179 \text{ kgf/m} * 0.605 \text{ m} = 3.13 \text{ kgf} = 30.7 \text{ N}$$

TABLA DE DIMENSIONES Y PESOS PARA CAÑERÍA NEGRA									
CAÑERÍA NEGRA	DIAMETR O NOMINAL (Pulg)	DIAMETR O EXTERIOR (Pulg)	TUBO LIGERO		TUBO MEDIANO		TUBO PESADO		TUBOS LIGEROS POR ATADO
			ESPEJOR Pulgadas	PESO Lbs	ESPEJOR Pulgadas	PESO Lbs	ESPEJOR Pulgadas	PESO Lbs	
	0.5"	0.840	0.080	13.112	0.104	16.117	0.109	16.133	10
	0.75"	1.050	0.080	18.70	0.104	20.38	0.116	23.90	7
	1"	1.315	0.104	23.87	0.128	30.58	0.133	34.32	5
	1.25"	1.660	0.104	34.232	0.128	38.896	0.144	43.340	4
	1.5"	1.900	0.116	43.34	0.128	46.56	0.144	52.87	3
	2"	2.375	0.116	54.463	0.144	68.45	0.157	75.90	1
	2.25"	2.875	0.128	74.540	0.144	82.06	0.200	116.40	1
	3"	3.500	0.128	90.64	0.157	109.92	0.216	152.40	1
	4"	4.500	0.144	132.24	0.176	157.08	0.237	200.00	1

TABLA 7-14. Dimensiones características para tubería negra

- SOPORTE DEL BRAZO

Debido a que este elemento será fabricado de barra perforada y para este caso no contamos con TABLAS de peso por longitud, calcularemos el peso por el método de (densidad = masa/volumen) conociendo que la densidad para el acero es de 7750.37 kgf/m³.

El volumen del soporte esta dado por la ecuación para el volumen de un cilindro hueco

$$V = \frac{3.1416}{4} (D_e^2 - D_i^2) L \quad \text{donde } L = 235 \text{ mm} = 0.235 \text{ m,}$$

$$D_e = .070 \text{ m, } D_i = 0.060 \text{ m.}$$

$$V = \frac{3.1416}{4} ((.070)^2 - (0.060)^2) (0.235) = 2.39 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

El peso del soporte del brazo estará dado por la siguiente expresión

$$W_{sb} = \text{densidad} \times \text{volumen} = (7750.37 \text{ kgf/m}^3)(2.39 \times 10^{-4} \text{ m}^3) = 1.85 \text{ kgf} = 18.15 \text{ N}$$

- PESO DE LA COLUMNA

El peso de la columna estará dado por la expresión siguiente

$$W = W/L * L = 5.179 \text{ kgf/m} * 1.60 \text{ m} = 8.29 \text{ kgf} = 81.32 \text{ N}$$

7.3.4 LISTADO DE MATERIALES HA UTILIZAR EN LA CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO.

CANT.	MATERIAL	DESCRIPCIÓN	PRECIO
1	Tubo negro	Di= 2 " De= 2.375 " L= 99 "	₡ 126.50
1	Barra perforada	Di= 55 mm De=75 mm L=30 cm	₡ 193.00
1	Hierro angular	1/8 " x 1 1/2 " x 1 1/2 "	₡ 110.00
5 mt	Cable de acero	D = 1/4 "	₡ 80.00
1	Pliego de lamina		₡ 120.00
3 lbs	Electrodos	E6013,E6010	₡ 35.00
1	Platina	1/4" x 7 " x 7 "	₡ 35.00
1	Platina	5/16 " x 3 " x 30 "	₡ 55.00
1	Platina	5/16 " x 10 " x 10 "	₡ 50.00
2	Poleas	D = 1" , ranura 1/4"	₡ 35.00
20 lbs	plomo		₡ 95.00
4	Rodos	D=75 mm	₡ 65.00
3	Cepos p/cable	Para cable de 1/8"	₡ 5.00
1/8"	Pintura epoxica	Color amarillo + base	₡ 175.00
1/8"	Pintura epoxica	Color azul +base	₡ 175.00
	Otros		₡ 100.00
		Total	₡ 1454.00

TABLA 7-15. *Materiales para la Construcción del Prototipo.*

7.4 REFERENCIAS DEL CAPÍTULO.

- [7-1] De la Vega, Carlos. "CONTROL DE CALIDAD EN SOLDADURA INDUSTRIAL". Editorial Diana, 1a Edición, Distrito Federal, México, 1991.
- [7-2] RUIZ RUBIO, Alfonso. "INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA DE LAS UNIONES SOLDADAS". Editorial URMO, 1a Edición, Bilbao, España, 1971.
- [7-3] ASTM E142-92, "Standard Method for Controlling Quality of Radiographic Testing". 1996 Annual Book of ASTM Standards. Section 3. "Metals Test Methods and Analytical Procedures. Vol 03.03 Nondestructive Testing. (VEASE ANEXO 7-1).
- [7-4] GENERALIDADES DE LOS PENETRÓMETROS UTILIZADOS EN GAMMAGRAFÍA INDUSTRIAL, URL: http://www.ie-ndt.co.uk/IE_WB_TECH_INFO.htm
- [7-5] ASTM Standard E747-94. "Standard Practice for Design, Manufacture and Material Grouping Classification of Wire Image Quality Indicators (IQI) Used for Radiology". 1996 Annual Book of ASTM Standards. Section 3. "Metals Test Methods and Analytical Procedures. Vol 03.03 Nondestructive Testing. (VEASE ANEXO 7-2).
- [7-6] ASTM Standard E747-94. "Standard Practice for Design, Manufacture and Material Grouping Classification of Wire Image Quality Indicators (IQI) Used for Radiology". 1996 Annual Book of ASTM Standards. Section 3. "Metals Test Methods and Analytical Procedures. Vol 03.03 Nondestructive Testing. (VEASE ANEXO 7-2).
- [7-7] De la Vega, Carlos. "Control de Calidad en Soldadura Industrial", Capítulo 6. "Sensibilidad y Calidad Radiográfica". Editorial Diana, 1a Edición, Distrito Federal, México, 1991.
- [7-8] ASTM Standard E1025-95. "Standard Practice for Design, Manufacture, and Material Grouping Classification of Hole-Type Image Quality Indicator (IQI) Used for Radiology". 1996 Annual Book of ASTM Standards. Section 3. "Metals Test Methods and Analytical Procedures. Vol 03.03 Nondestructive Testing. (VEASE ANEXO 7-3).
- [7-9] ASTM Standard E142-85. "Standard method for Controlling Quality of Radiographic Testing". 1996 Annual Book of ASTM Standards. Section 3. "Metals Test Methods and Analytical Procedures. Vol 03.03 Nondestructive Testing. (VEASE ANEXO 7-4).
- [7-10] ASTM Standard E1025-95. "Standard Practice for Design, Manufacture, and Material Grouping Classification of Hole-Type Image Quality Indicator (IQI) Used for Radiology". 1996 Annual Book of ASTM Standards. Section 3. "Metals Test Methods and Analytical Procedures. Vol 03.03 Nondestructive Testing. (VEASE ANEXO 7-3).
- [7-11] ANSIAWS D1.1:1998, Structural Welding Code-Steel, An American National Standar, 16th Edition, Nov 1998, Miami Florida, USA.
- [7-12] Apartado N-624, Código ASME, sección III, Recipientes Nucleares.
- [7-13] IQI de la firma comercial NDT Equipment Service, Ltd.
URL: http://www.ndtequipment.co.uk/equipment_consumables.html
- [7-14] Apartado N-624, Código ASME, sección III, Recipientes Nucleares.
- [7-15] Apartado N-624, Código ASME, sección III, Recipientes Nucleares.
- [7-16] R. Halmshaw, publicado en Metal Fabrication (marzo, 1963)
- [7-17] Valores Experimentales de la sensibilidad del indicador by Richmand Technology Institute, Hudson, England. (VEASE ANEXO 7-5)
- [7-18] "Documento Posible e Imposible en radiografía", Comité V-A del Netherlands' Centre for Welding Technique de la Haya con la colaboración del Röntgen Technische Dienst N.V. De Rotterdam.
- [7-19] TIPPENS, Paul. "Física conceptos y Aplicaciones". 3a Edición en Español, Editorial McGraw Hill, Mexico, 1991.
- [7-20] Negatoscopios para Radiografías Industriales, de la firma 3E Corporation, EASTWEST ENGINEERING & ELECTRONICS CO.
- [7-21] ASTM Standard E1025-95. "Standard Practice for Design, Manufacture, and Material Grouping Classification of Hole-Type Image Quality Indicator (IQI) Used for Radiology". 1996 Annual Book of ASTM Standards. Section 3. "Metals Test Methods and Analytical Procedures. Vol 03.03 Nondestructive Testing. (VEASE ANEXO 7-5).
- [7-22] Negatoscopios para Radiografías Industriales, de la firma Auswertung,, modelos KOWOLUX@6, KOWOLUX@66, URL: http://www.ie-ndt.co.uk/IE_WEB_VIEWING.htm
- [7-23] Negatoscopios para Radiografías Industriales, de la firma Auswertung,, modelo KOWOLUX@3,
URL: http://www.ie-ndt.co.uk/IE_WEB_VIEWING.htm
- [7-24] ASTM Standard E1390-90. "Standard Guide for Illuminators Used for View Industrial Radiographs", 1996 Annual Book of ASTM Standards. Section 3. "Metals Test Methods and Analytical Procedures. Vol 03.03 Nondestructive Testing. (VEASE ANEXO 7-6).

- [7-25] ASTM Standard E1390-90. "Standard Guide for Illuminators Used for View Industrial Radiographs", 1996 Annual Book of ASTM Standards. Section 3. "Metals Test Methods and Analytical Procedures. Vol 03.03 Nondestructive Testing. (VEASE ANEXO 7-7).
- [7-26] TABLA DE PROPIEDADES A LA FLEXIÓN EN UNIONES DE SOLDADURAS DE FILETE. "SHIGLEY, Joseph Edward. "DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA", 5a Edición, Editorial McGraw Hill, TABLA 9-3, Pág 448, 1990. (Véase ANEXO 7-8)
- [7-27] "SHIGLEY, Joseph Edward. "DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA", 5a Edición, Editorial McGraw Hill, TABLA 9-4, Pág 450, 1990.
- [7-28] "SHIGLEY, Joseph Edward. "DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA", 5a Edición, Editorial McGraw Hill, TABLA 9-5, Pág 451, 1990.
- [7-29] Welding Handbook TABLA 13.3.1. American Welding Society, 1985 Edition.
- [7-30] "SHIGLEY, Joseph Edward. "DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA", 5a Edición, Editorial McGraw Hill, TABLA 9-3, Pág 448, 1990. (Véase ANEXO 7-8)
- [7-31] TABLA DE PROPIEDADES A LA FLEXIÓN EN UNIONES DE SOLDADURAS DE FILETE. "SHIGLEY, Joseph Edward. "DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA", 5a Edición, Editorial McGraw Hill, TABLA 9-3, Pág 448, 1990. (Véase ANEXO 7-8)

CAPÍTULO VIII

Gráficos de Exposición utilizando el Equipo Experimental de Gammagrafía Industrial

8.0 INTRODUCCIÓN.

La construcción de gráficos que permitan determinar el tiempo de exposición óptimo de una inspección radiográfica será posible siempre que se conozcan las características sensitométricas de la película que se ha de emplear y la curva de absorción del material a radiografiar para la radiación utilizada; con lo cual se puede llegar a establecer las correspondientes fórmulas de exposición, por una parte, o bien resumir estos resultados en un gráfico, o establecer una correspondencia entre diversas escalas de un nomograma especialmente proyectado para este fin.

Atendiendo al tipo de técnica utilizada durante la inspección radiográfica, los gráficos de exposición pueden ser de dos tipos, uno aplicable a equipos de Rayos X y el restante para los Irradiadores Gamma, este último se constituirá en el fin del presente capítulo, es decir, abordar el detalle y explicación de los elementos y variables involucrados en la elaboración de estos gráficos y la manera de como utilizarlos, relacionando en todo momento estos elementos con el equipo experimental de gammagrafía industrial, y los diferentes elementos construidos en el presente trabajo de graduación.

8.1 GRÁFICOS PARA RADIACIÓN GAMMA.

Para el establecimiento de uno de estos gráficos, es preciso controlar las condiciones o variables de las cuales depende la calidad de la radiografía. La influencia de cada una de las variables que se mencionarán a continuación, deben ser tenidas muy en cuenta para evitar datos incorrectos en los resultados finales, y la re-elaboración de todos los ensayos realizados. Para obtener gráficos fidedignos es preciso controlar las condiciones de trabajo de la película.

Las condiciones que generalmente deben quedar registradas y tomadas muy en cuenta en el gráfico de exposición son las siguientes:

1. Equipo emisor de la radiación.
2. Material que constituye el objeto radiografiado (la placa patrón).
3. Tipo de película y condiciones de revelado.
4. Pantallas reforzadoras empleadas.
5. Densidad fotográfica.
6. Distancia foco-película.
7. Algunas observaciones sobre la elaboración de la curvas de exposición Gamma.

8.1.1 VARIABLES DE LOS GRÁFICOS DE EXPOSICIÓN GAMMA.

En la exposición radiográfica utilizando radiación gamma se encuentran involucradas variables que por su naturaleza es muy importante tomarlas en cuenta para evitar resultados no deseados en las pruebas que se lleven a cabo. Es por eso que se detallarán cada una de estas para llevar a cabo los ensayos de la mejor manera posible.

8.2.1.1 EL EQUIPO EMISOR DE LA RADIACIÓN.

Los tipos de radiación más frecuentemente utilizadas son los siguientes:

Rayos X: 50 kV de hasta 3 mA
 100 kV de hasta 4 mA
 200 kV de hasta 5 mA

Rayos gamma: Cobalto 60 de hasta 120 Ci
 Iridio 192 de hasta 120 Ci

Otras fuentes de rayos gamma puede ser utilizadas para elaborar sus respectivos diagramas de exposición. Pero hay que tener el cuidado de que el resto de variables que se mostrarán en los apartados siguiente se encuentre acorde con las características de fuentes gamma.

8.1.1.2 MATERIAL DEL QUE SE CONSTRUYE LA PLACA PATRÓN

Con objeto de poder evaluar la película en las mismas condiciones en las que se hace la radiografía, se situarán sobre la película un determinado objeto que será el mismo para todas las exposiciones. Este objeto es la placa patrón o escalera de pasos, llamada así por la forma que posee, y está elaborada de metal laminado, exenta de defectos internos y cuyo estado de superficie corresponda a una rugosidad inferior o igual a 3,2 micrones según especificaciones ISO.^[8-1] El peldaño de mayor espesor de estos objetos, en función de La radiación empleada son Los siguientes:

Rayos Gamma	Cobalto 60, 80 Ci	40 mm acero
	Iridio 192, 80 Ci	40 mm acero
Rayos X	200 kV	25 mm acero
	100 kV	10 mm acero
	50 kV	10 mm aluminio

En el presente trabajo de graduación se construyó una placa patrón acorde a los espesores industriales de chapas de acero que corrientemente se encuentran en nuestro país y los cuales podrían ser radiografiados con el equipo experimental, esta placa patrón es la que se muestra en la siguiente figura:

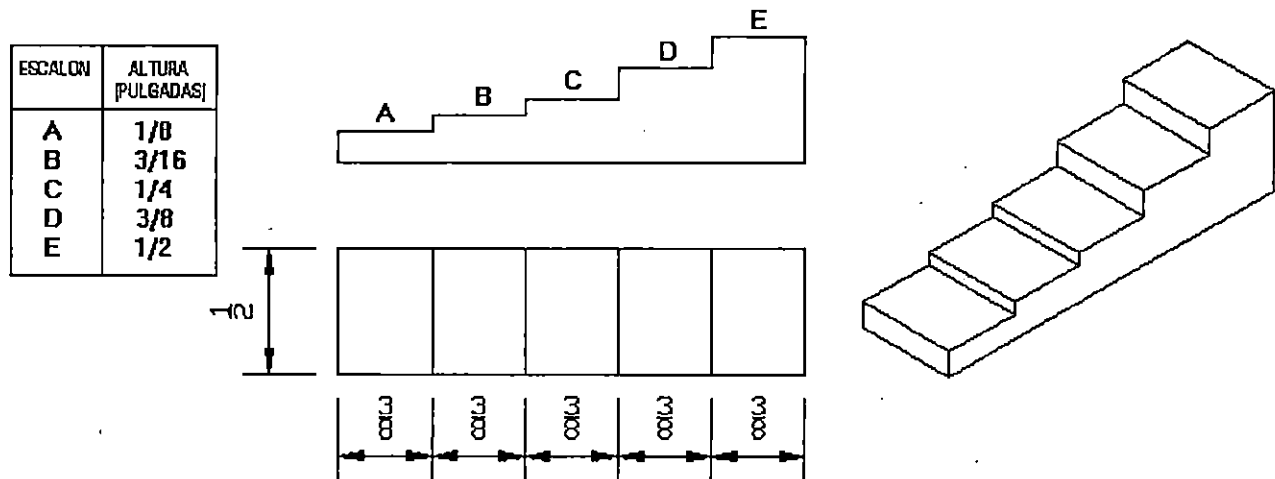


FIGURA 8-1. Esquema de la placa patrón o escalera de pasos construida para elaborar las curvas de absorción del material, se le ha identificado con el nombre de CIAN-MEC-4, y los espesores de sus peldaños han sido obtenidos de los valores de espesores industriales de chapas de acero que se encuentran en nuestro país. El espesor máximo es de 1/2 pulgada, en vista de que es el mayor espesor que se puede radiografiar sin dificultad. Las dimensiones de los peldaños del CIAN-MEC-4 son las adecuadas para que la radiación proveniente de la fuente radiactiva a una distancia de 25 cm pueda radiografiarlas sin ningún inconveniente. [8-2]

Independientemente del tipo de radiación ionizante a utilizar (Rayos X o gamma). Se realizarán diferentes exposiciones sobre una misma película, variando el tiempo de duración de las mismas y utilizando como objeto a radiografiar la placa patrón. Según pruebas de laboratorio, se comprobó que estos espesores deben variar en progresión aritmética, para limitar aun más las ocurrencias de dispersiones irregulares de la radiación y que puedan afectar la calidad de la imagen de la película o bien provoquen borrosidades en las mismas. Estos escalones rectangulares se recomienda que posean una superficie mínima de 20 x 15 mm y un número sobre una misma placa no será superior a 4mm. La relación entre dos espesores próximos no deberá ser superior a 3 ni inferior a 1/3 de pulg.

Así por ejemplo, para un irradiador gamma de 80 Ci, de Iridio 192, si el material que se ha de radiografiar es acero, la diferencia entre dos espesores consecutivos será de 2 mm y el espesor máximo 40 mm, mientras que si se trata de aluminio podrá construirse de forma que la diferencia de espesores sea de 6 mm y con un espesor máximo de 80 mm.

8.1.1.3 TIPO DE PELÍCULA Y CONDICIONES DE REVELADO DE LAS MISMAS. [8-3]

Para este hecho es necesario utilizar películas industriales, y la velocidad de las mismas se encontrara en dependencia directa con la radiactividad de la fuente utilizada. Existen diversas firmas comerciales que proporcionan este tipo de información y siempre es recomendable consultar dichas referencias en cuestión antes de realizar el proceso de caracterización del equipo, y lo más importante es que debe siempre de utilizarse el mismo tipo de película en todas las exposiciones.

El tipo, tiempo y temperatura del revelador serán los indicados en las recomendaciones de empleo de la película. En el caso de que el tiempo y temperatura de revelado no haya sido fijado por el

fabricante de la película, se tomará como norma la siguiente:

tiempo: 3 min + 5 s
temperatura: 20 °C ± 0,50

Después de preparado el baño de revelado y antes de ser utilizado para Las pruebas sensitométricas, se revelará en él una película que haya sido impresionada para alcanzar una densidad óptica próxima a 2, siendo la relación de tamaño de película a cantidad de baño revelador de 0,2 m² por cada 10 litros de revelador. Este baño de revelador no será utilizado hasta transcurridas 24 h después de efectuada esta prueba. El baño no será reactivado, su uso quedará limitado a dos semanas, y no se utilizara más que para este tiempo de ensayos.

Durante el revelado se agitará el baño por borboteo de una corriente de nitrógeno y, en caso de no ser esto posible, se agitarán las películas durante Los primeros 30 s, y después de cada minuto adicional, durante cinco segundos aproximadamente.

El fijado, lavado y secado se harán de acuerdo con Las recomendaciones dadas por el fabricante de La película.

8.1.1.4 PANTALLAS REFORZADORAS EMPLEADAS.

Siempre que se utilicen pantallas reforzadoras de plomo, sus espesores deberán ser los que se dan a continuación:

- a) Rayos X: pantalla anterior = 0,05 mm (0,002 in); pantalla posterior = 0,15 mm (0,006 in); cuando se utilice la radiación X correspondiente a 50 kV, no se empleará la pantalla anterior.
- b) Radiación gamma: pantalla anterior = 0,10 mm (0,004 in); pantalla posterior = 0,15 mm (0,066 in);

Es probable que el hecho de las pantallas reforzadoras empleadas no sea una variable tan importante a considerar porque las pantallas reforzadoras que acompañan a las películas industriales que se obtienen hoy en día, cumplen e incluso superan con las especificaciones mencionadas con anterioridad.

8.1.1.5 DENSIDAD RADIOGRÁFICA DE LAS PELÍCULAS Y LA MANERA DE COMO REALIZAR LA MEDICIÓN DE LAS MISMAS.

Las exposiciones se efectuarán de forma que sea posible llegar a establecer una tabla en la que se relacionen las densidades ópticas y las dosis recibidas por la película. Es aconsejable que los valores de la densidad óptica se encuentren comprendidos entre 0,8 y 4,0, siendo necesarios, para ensayar una película, obtener un mínimo de diez valores diferentes. Para determinar estos valores se seguirá uno de los siguientes procedimientos.

La densidad óptica se medirá con un densitometro calibrado que trabaje con luz blanca difusa y con una precisión de ± 0.1 en los valores de la densidad radiográfica obtenida. Cada medida se hará sobre una superficie mínima de 2 mm² y para cada campo de igual densidad se efectuarán como mínimo tres medidas sobre puntos situados dentro de un círculo de 8 ó 10 mm de diámetro. Como resultado se darán el valor medio de las lecturas efectuadas.

En el caso de utilizar como objeto una placa con escalones de espesores diferentes, el centro del círculo de 10 mm indicado anteriormente se recomienda situarlo a una distancia superior a 35 mm de los bordes del escalón considerado, pero esto resultaría en anchos demasiado grandes de los escalones de la placa patrón, por eso para escalones mas pequeños se recomienda ubicar el centro del círculo de medición a 10 o 15 mm de los bordes de los escalones de la placa patrón.

En cualquier otro caso, será preciso aplicar una corrección sobre la densidad óptica con el fin de tener en cuenta la oblicuidad de los rayos extremos.

El velo de fondo de la película se medirá sobre una película del mismo lote de la ensayada, sobre la que no se hará actuar ninguna radiación, pero que se tratará bajo las mismas condiciones. La densidad óptica correspondiente se anotará, pero nunca será restada de los resultados que se obtengan.

8.1.1.6 LA DISTANCIA FUENTE PELÍCULA.

La distancia fuente o foco emisor de radiación película no deberá ser inferior a 25 cm y se dispondrá esta fuente de forma que el eje principal de la radiación sea normal al centro de la película.

Para limitar la superficie del objeto sometido a la acción de la radiación, se pueden emplear placas de plomo y el conjunto formado por el objeto y el chasis se colocará sobre una lámina de plomo con el fin de reducir la cantidad de radiación secundaria que pudiera llegar a la película. El espesor de esta lámina de plomo será, por ejemplo, de por lo menos 8 mm al usar cobalto 60 a 70 Ci y 10 mm si se usa Iridio 192 con 80 Ci.

8.1.1.7 ALGUNAS OBSERVACIONES SOBRE LA ELABORACIÓN DE LA CURVAS DE EXPOSICIÓN GAMMA.

De acuerdo con lo expuesto en secciones anteriores, es necesario disponer de una placa del mismo material que se ha de radiografiar que presente una serie de espesores diferentes. La amplitud de esta gama de espesores, así como el espesor máximo, dependerá de la radiactividad del irradiador gamma para el cual se va a construir el gráfico y lo detallado en los apartados anteriores.

La radiografía de esta placa se realiza a un valor de radiactividad determinado, empleando una distancia fuente-película conveniente, con el tipo de película y pantallas para las cuales el gráfico ha de ser utilizado, y haciendo exposiciones que proporcionen sobre la radiografía una amplia gama de densidades. La FIGURA 8-2 muestra el aspecto de una de estas radiografías.

Antes de obtener la radiografía de la placa patrón es necesario conocer la curva característica de la película que va a ser utilizada. Esta curva puede ser construida de una forma rápida y que proporcione los resultados satisfactorios para este fin, siguiendo la técnica operatoria que se expone a continuación.

Una de las películas para las que se va a construir el gráfico de exposición se expone a la acción de una radiación X de una tensión de excitación de aproximadamente la mitad del valor máximo a que pueda trabajar el equipo. En general, es conveniente hacer un débil filtrado de la radiación con el fin de conseguir tiempos de exposición adecuados. Este filtrado de la radiación es conveniente hacerlo colocando sobre la fuente radiactiva el respectivo filtro de la radiación de baja energía. En estas condiciones se efectuará una serie de exposiciones, dando a cada una de ellas doble tiempo que a la

anterior; por ejemplo 2 s, 4 s, 8 s, hasta un tiempo de 256 s, y a una distancia foco-película de 1 m (para el caso del equipo experimental se recomienda una D.F.P. De 25 cm). Después de cada exposición será necesario cubrir la zona que acaba de ser impresionada con una lámina de plomo con el espesor adecuado para evitar el efecto de la radiación al realizar la siguiente exposición.

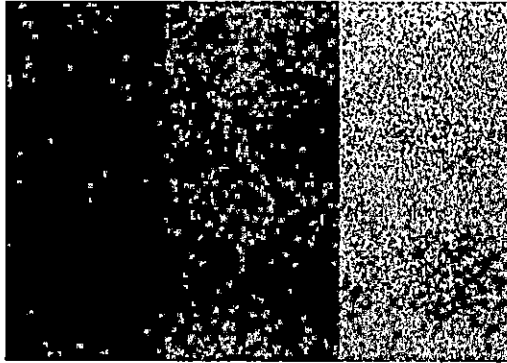


FIGURA 8-2. Radiografía de una placa patrón (escalera de pasos) en la cual se observan diferencias de densidad, por los diferentes espesores de los peldaños de la placa patrón. ^[8-4]

La película se revelará en las condiciones que hayan sido fijadas para el tratamiento de las que se han de obtener con la placa patrón, pudiendo para más seguridad ser tratada al mismo tiempo que éstas. Una vez la película se encuentre completamente seca, se medirán las densidades con un densitometro y se construye la curva característica sobre un papel semilogarítmico colocando los valores de la densidad sobre la escala lineal y las exposiciones en la logarítmica, tal y como ha sido expuesto en capítulos anteriores.

Conocida la curva característica de la película, se procede a medir las densidades obtenidas en las radiografías de la placa patrón. Situando estos valores de la densidad en la escala correspondiente, permite conocer el valor de la exposición relativa.

8.1.2 ELABORACIÓN DE LOS GRÁFICOS DE EXPOSICIÓN GAMMA. ^[8-5]

Los gráficos para determinar la exposición con radiación gamma pueden ser preparados de diversas maneras. Sin embargo, dado que una de las características de la radiación gamma emitida por una fuente o elemento radiactivo es su invariabilidad de su energía de penetración, es frecuente que en estos gráficos se relacionen los espesores con las exposiciones para una serie de densidades radiográficas, las cuales son el resultado de radiografiar una placa patrón de determinado material y una geometría en particular; estos gráficos son conocidos como gráficos de absorción del material, curvas características del equipo o curvas Espesor del Material - Densidad. Uno de estos gráficos es el representado en la FIGURA 8-3.

Por otra parte, las formulas para el cálculo de los tiempos de exposición estudiadas en el capítulo 7 permiten el establecimiento de gráficos que facilitan considerablemente su aplicación. En general, los datos a tener en cuenta en estos gráficos son la actividad o intensidad de la fuente radiactiva y el espesor del material a radiografiar, así como las consideraciones de tipo práctico tales como tipo de película y pantallas, condiciones de revelado, distancia fuente-película y densidad radiográfica requerida. En la FIGURA 8-3 se muestra uno de estos gráficos, en el que se evidencia lo extremadamente prácticos que son esos gráficos..

En La práctica de la gammagrafía industrial es frecuente, dada su comodidad de manejo, el empleo de reglas de cálculo, en las cuales, y por medio de una serie de reglas móviles que contienen escalas en las que figuran las distintas variables, permiten el cálculo de exposiciones con rapidez y suficiente exactitud. Otro caso muy común, es la utilización de diagramas de exposición, proporcionados por el fabricante del equipo o bien elaborados por los mismos técnicos radiografistas que utilizaran el irradiador gamma; en la FIGURA 8-4, se aprecia uno de estos gráficos.

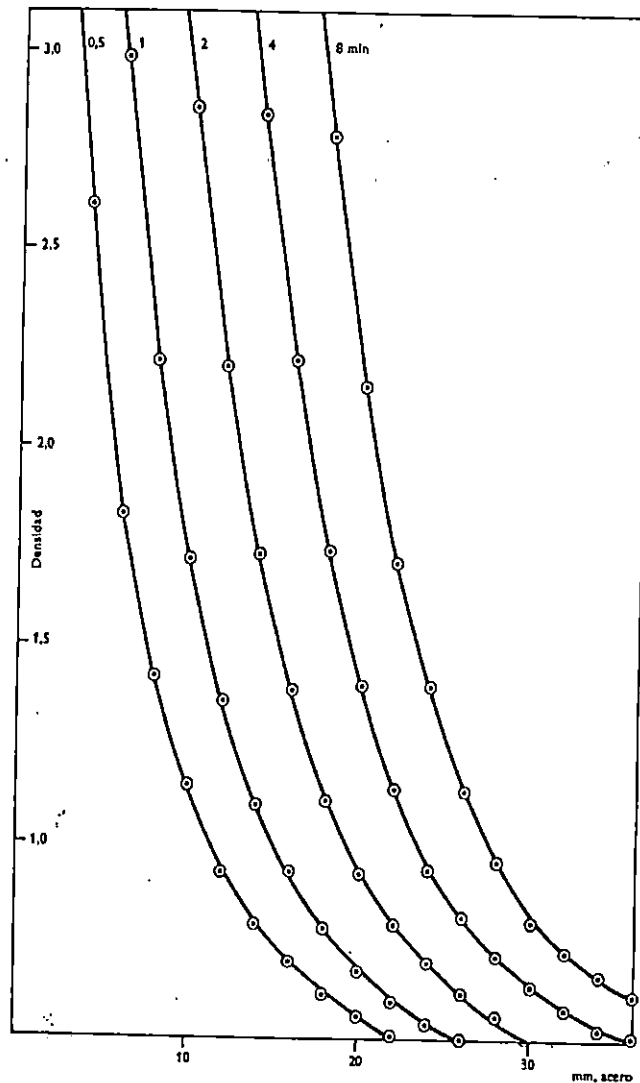


FIGURA 8-3. Curvas Densidad-Espesor obtenidas al utilizar una Fuente de Cobalto, al radiografiar una Placa Patrón de Acero y Utilizando una película Kodak "Crystallex"; con pantallas de plomo anterior de 0.1 mm y posterior de 0.15 mm, DFP = 900 mm y un revelado de la película en un tiempo de 5 minutos a 20°C. [8-6]

8.1.2.1 GRÁFICO DE ABSORCIÓN DEL MATERIAL.

En los apartados siguientes se procederá realizar la elaboración del gráfico de absorción de material de acero estructural ASTM-A36.

Utilizando la placa patrón CIAN-MEC-4, se realizaron diversas exposiciones para tiempos de 7 horas, 8 horas, 9 horas, 10 horas, 12 horas y 24 horas.. Los resultados de estas exposiciones se muestran en la TABLA 8-1, TABLA 8-2, TABLA 8-3, TABLA 8-4, TABLA 8-5, TABLA 8-6

respectivamente. Los cuales se muestran a continuación.

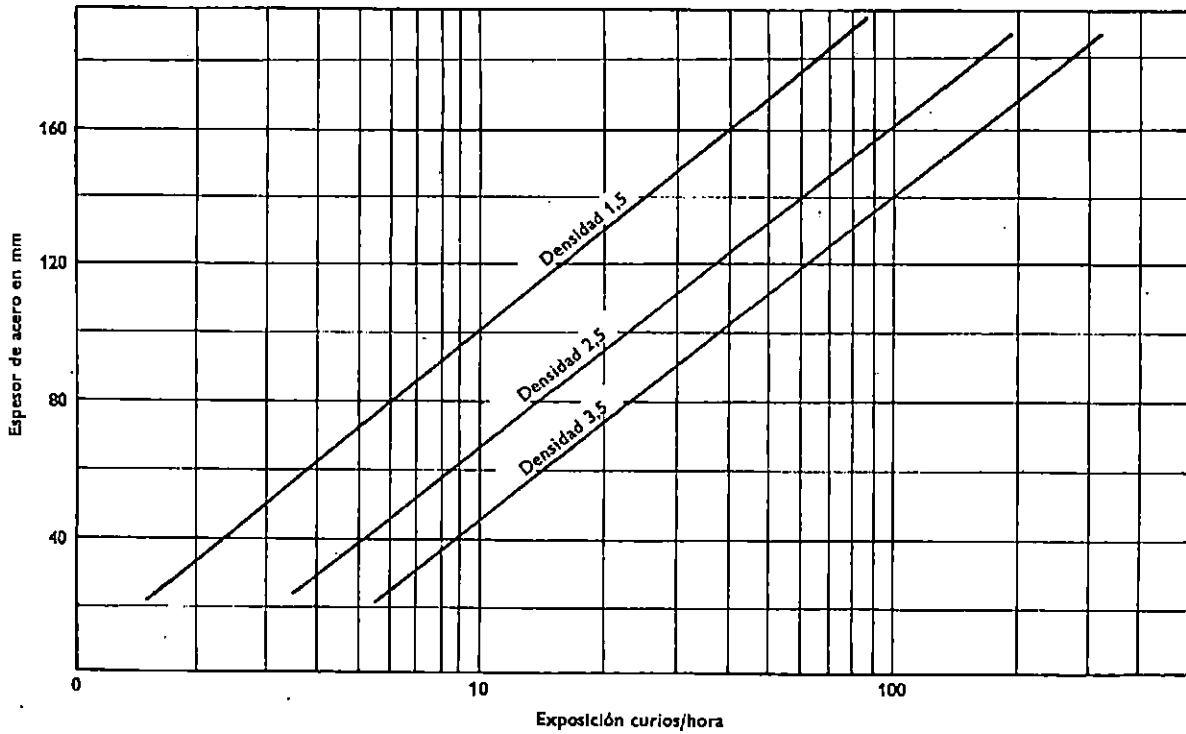


FIGURA 8-4. Diagramas de exposición. obtenido al utilizar una Fuente de Cobalto, al radiografiar una Placa Patrón de Acero y utilizando una película Kodak "Crystallex"; con pantallas de plomo anterior de 0.1 mm y posterior de 0.15 mm, D.F.P. = 900 mm y un revelado de la película en un tiempo de 5 minutos a 20°C.⁽⁸⁻⁷⁾

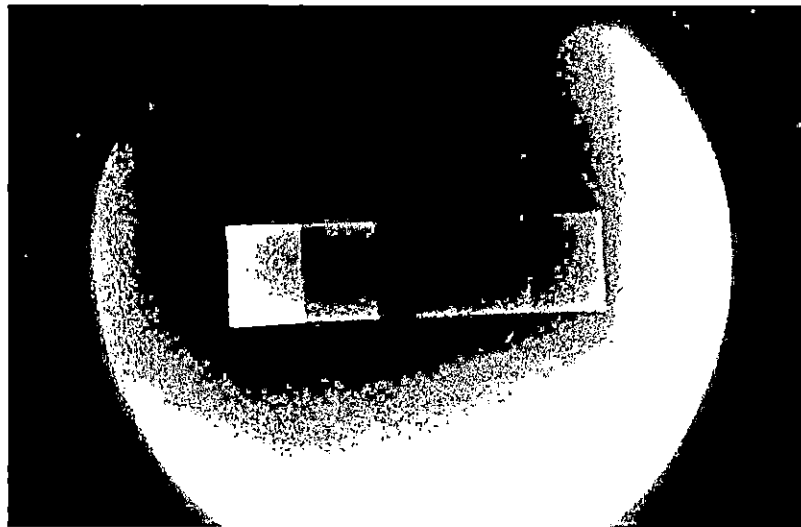


FIGURA 8-5. Imagen en la cual se muestra una radiografía de la placa patrón CIAN-MEC-4. La razón por la cual la figura de la placa patrón se encuentra descentrada (fuera de foco), es debido a la falta de desalineación que posee el colimador del contenedor de la fuente. Es muy importante centrar la placa patrón con respecto al punto focal del colimador de la fuente para poder obtener los valores de densidad radiográfica confiables.

Número de Peldaño	Espesor del Peldaño [pulgadas de Acero]	Densidad Radiográfica Obtenida
1	1/2	0.83
2	3/8	1.00
3	1/4	1.15
4	3/16	1.37
5	1/8	1.60

TABLA 8-1. Determinación de diferentes valores de densidades radiográficas de la placa patrón CIAN-MEC-4, luego de la exposición de la misma durante un tiempo de 7 horas. Los valores de densidad mostrados en la tabla, son el resultado promedio de la medición de otros cuatro valores, medidos en el interior de un círculo de 8 mm de diámetro trazado en la superficie de cada peldaño de la placa patrón, tal y como se mencionaba en el apartado 8.2.1.5

Número de Peldaño	Espesor del Peldaño [pulgadas de Acero]	Densidad Radiográfica Obtenida
1	1/2	0.88
2	3/8	1.05
3	1/4	1.26
4	3/16	1.48
5	1/8	1.75

TABLA 8-2. Determinación de diferentes valores de densidades radiográficas de la placa patrón CIAN-MEC-4, luego de la exposición de la misma durante un tiempo de 8 horas. Los valores de densidad mostrados en la tabla, son el resultado promedio de la medición de otros cuatro valores, medidos en el interior de un círculo de 8 mm de diámetro trazado en la superficie de cada peldaño de la placa patrón, tal y como se mencionaba en el apartado 8.2.1.5

Número de Peldaño	Espesor del Peldaño [pulgadas de Acero]	Densidad Radiográfica Obtenida
1	1/2	0.95
2	3/8	1.17
3	1/4	1.37
4	3/16	1.66
5	1/8	1.98

TABLA 8-3. Determinación de diferentes valores de densidades radiográficas de la placa patrón CIAN-MEC-4, luego de la exposición de la misma durante un tiempo de 9 horas. Los valores de densidad mostrados en la tabla, son el resultado promedio de la medición de otros cuatro valores, medidos en el interior de un círculo de 8 mm de diámetro trazado en la superficie de cada peldaño de la placa patrón, tal y como se mencionaba en el apartado 8.2.1.5

Número de Peldaño	Espesor del Peldaño [pulgadas de Acero]	Densidad Radiográfica Obtenida
1	1/2	1.03
2	3/8	1.20
3	1/4	1.50
4	3/16	1.72
5	1/8	2.09

TABLA 8-4. Determinación de diferentes valores de densidades radiográficas de la placa patrón CIAN-MEC-4, luego de la exposición de la misma durante un tiempo de 10 horas. Los valores de densidad mostrados en la tabla, son el resultado promedio de la medición de otros cuatro valores, medidos en el interior de un círculo de 8 mm de diámetro trazado en la superficie de cada peldaño de la placa patrón, tal y como se mencionaba en el apartado 8.2.1.5

Número de Peldaño	Espesor del Peldaño [pulgadas de Acero]	Densidad Radiográfica Obtenida
1	1/2	1.25
2	3/8	1.40
3	1/4	1.71
4	3/16	1.96
5	1/8	2.29

TABLA 8-5. Determinación de diferentes valores de densidades radiográficas de la placa patrón CIAN-MEC-4, luego de la exposición de la misma durante un tiempo de 12 horas. Los valores de densidad mostrados en la tabla, son el resultado promedio de la medición de otros cuatro valores, medidos en el interior de un círculo de 8 mm de diámetro trazado en la superficie de cada peldaño de la placa patrón, tal y como se mencionaba en el apartado 8.2.1.5

Número de Peldaño	Espesor del Peldaño [pulgadas de Acero]	Densidad Radiográfica Obtenida
1	1/2	2.40
2	3/8	2.60
3	1/4	3.00
4	3/16	3.35
5	1/8	3.81

TABLA 8-6. Determinación de diferentes valores de densidades radiográficas de la placa patrón CIAN-MEC-4, luego de la exposición de la misma durante un tiempo de 24 horas. Los valores de densidad mostrados en la tabla, son el resultado promedio de la medición de otros cuatro valores, medidos en el interior de un círculo de 8 mm de diámetro trazado en la superficie de cada peldaño de la placa patrón, tal y como se mencionaba en el apartado 8.2.1.5

Con los resultados agrupados en las seis tablas anteriores, podemos construir el gráfico de absorción del material, es decir, la gráfica de absorción de la placa patrón CIAN-MEC-4, estos resultados se pueden apreciar en la FIGURA 8-6.

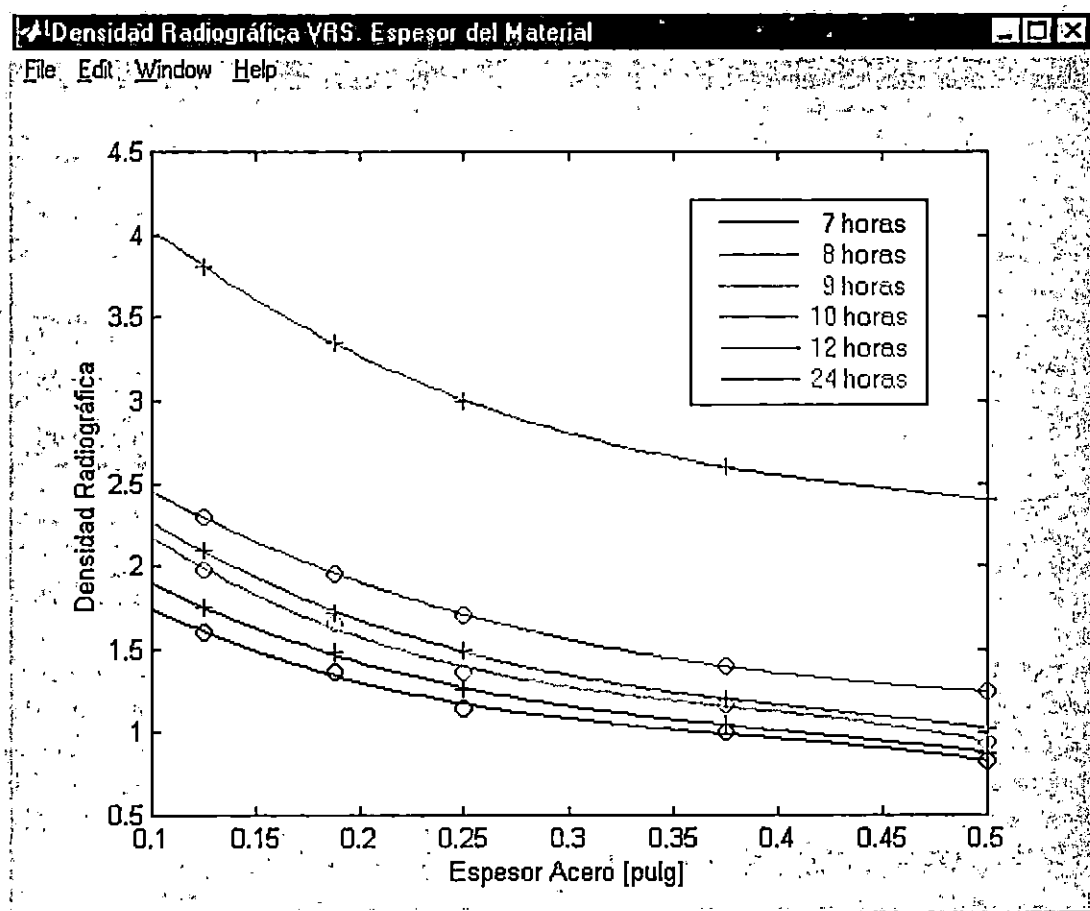


FIGURA 8-6. Curvas características del irradiador gamma o curvas de absorción del material, obtenidas utilizando la placa patrón CIAN-MEC-4 y una fuente Gamma de Cesio 137 de 70.289 mCi, con una DFP = 10 pulgadas, con tiempos de revelado y fijado a 3 min a 20°C, utilizando una película AGFA Structurix D7. Los diferentes tiempos de exposición con los cuales se realizaron los diferentes procesos radiográficos se encuentran señalados en la figura.

Luego de haber obtenido los resultados del apartado anterior, es igual de importante obtener las tendencias de las curvas de absorción del material con las cuales poder interpretar y reutilizar los resultados en la elaboración de los siguientes gráficos que se mostrarán a lo largo de este capítulo.

Por ello los seis gráficos de exposiciones de la placa patrón durante tiempos de 7, 8, 9, 10, 12 y 24 horas, se sometieron a una regresión polinomial, de grado 3, utilizando un software matemático^[8-6] se han obtenido las ecuaciones que describen las tendencias de las curvas de la FIGURA 8-6.

Para un tiempo de exposición de 7 horas, la tendencia de la curva viene dada por la siguiente ecuación:

$$D(E) = -19.7613E^3 + 22.9053E^2 - 9.9018E + 2.5263$$

Donde: D = Densidad Radiográfica
E = espesor del material radiografiado [pulgadas]

Con el objetivo de ordenar el resto de resultados, en la TABLA 8-7, se aprecian un resumen de todas las tendencias de las curvas para diferentes tiempos de exposición

Tiempo de Exposición [horas]	Tendencias
7	$D(E) = -19.7613 E^3 + 22.9053 E^2 - 9.9018 E + 2.5263$
8	$D(E) = -34.9814 E^3 + 36.8144 E^2 - 13.7743 E + 2.9729$
9	$D(E) = -27.6211 E^3 + 32.0122 E^2 - 13.7120 E + 3.2572$
10	$D(E) = -17.7853 E^3 + 23.4490 E^2 - 11.6373 E + 3.2087$
12	$D(E) = -21.3333 E^3 + 26.8114 E^2 - 12.2752 E + 3.4525$
24	$D(E) = -16.5726 E^3 + 25.2788 E^2 - 14.1244 E + 5.2143$

TABLA 8-7. Ecuaciones de las diferentes tendencias de los procesos de absorción del material mostradas en la FIGURA 8-5, las ecuaciones corresponden a los valores de densidad radiográfica en función del espesor de material, aplicables a la placa patrón CIAN-MEC-4 y una fuente Gamma de Cesio 137 de 70.289 mCi, con una DFP = 10 pulgadas, con tiempos de revelado y fijado a 3 min a 20°C, utilizando una película AGFA Structurix D7

Con todas las ecuaciones anteriores, es necesario realizar una interpolación de las respectivos ecuaciones de las tendencias de los procesos de exposición radiográfica, para tiempos de exposición tales como 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 y 23 horas; para esto se utilizaran las ecuaciones de tendencias de los ensayos radiográficos para los tiempos de exposición de 12 horas y 24 horas, utilizando otra vez un software matemático,^[8-9] todos las ecuaciones resultantes han sido resumidos en la TABLA 8-8 y las gráficas de los mismos, se observan en la FIGURA 8-7.

Tiempo de Exposición [horas]	Tendencias
23	$D(E) = -15.9663 E^3 + 24.4718 E^2 - 13.7365 E + 5.0505$
22	$D(E) = -15.3600 E^3 + 23.6648 E^2 - 13.3486 E + 4.8867$
21	$D(E) = -14.7537 E^3 + 22.8577 E^2 - 12.9607 E + 4.7228$
20	$D(E) = -14.1474 E^3 + 22.0507 E^2 - 12.5728 E + 4.5590$
19	$D(E) = -13.5411 E^3 + 21.2437 E^2 - 12.1849 E + 4.3952$
18	$D(E) = -12.9347 E^3 + 20.4367 E^2 - 11.7970 E + 4.2313$
17	$D(E) = -12.3284 E^3 + 19.6297 E^2 - 11.4091 E + 4.0675$
16	$D(E) = -11.7221 E^3 + 18.8227 E^2 - 11.0212 E + 3.9036$
15	$D(E) = -11.1158 E^3 + 18.0156 E^2 - 10.6333 E + 3.7398$
14	$D(E) = -10.5095 E^3 + 17.2086 E^2 - 10.2454 E + 3.5760$
13	$D(E) = -9.9032 E^3 + 16.4016 E^2 - 9.8575 E + 3.4121$

TABLA 8-8. Ecuaciones de las diferentes Tendencias de los procesos de absorción del material mostradas en la FIGURA 8-6, las ecuaciones corresponden a los valores de densidad radiográfica en función del espesor de material, aplicables a la placa patrón CIAN-MEC-4 y una fuente Gamma de Cesio 137 de 70.289 mCi, con una DFP = 10 pulgadas, con tiempos de Revelado y Fijado a 3 min a 20°C, utilizando una película AGFA Structurix D7

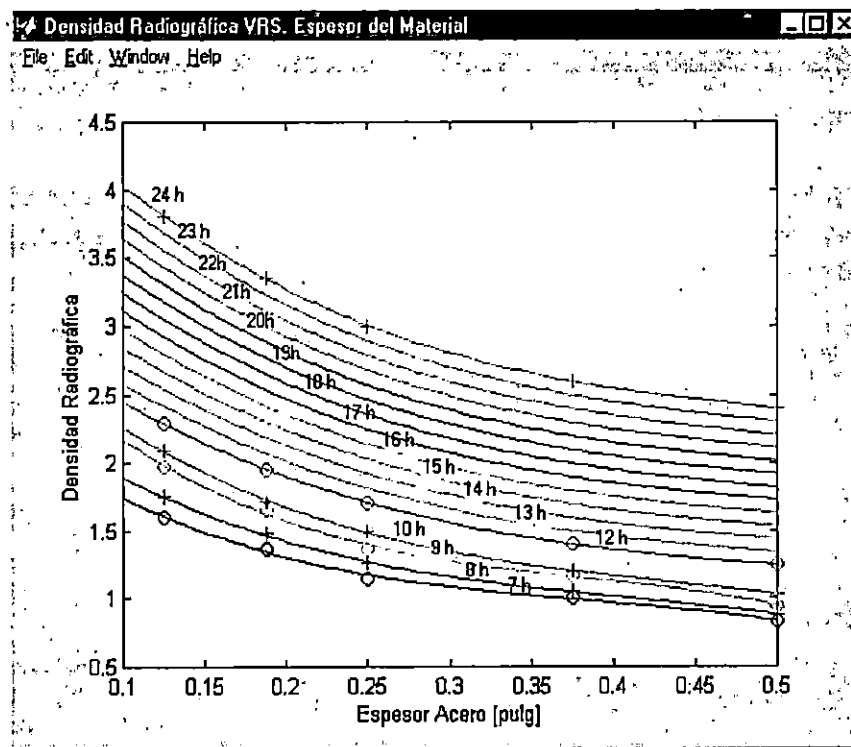


FIGURA 8-7. Curvas características del irradiador gamma o curvas de absorción del material, obtenidas utilizando la placa patrón CIAN-MEC-4 y una fuente gamma de Cesio 137 de 70.289 mCi, con una DFP = 10 pulgadas, con tiempos de revelado y fijado a 3 min a 20°C, utilizando una película AGFA Structurix D7. Los diferentes tiempos de Exposición con los cuales se realizaron los diferentes procesos radiográficos se encuentran señalados en la figura.

8.1.2.2 ELABORACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE EXPOSICIÓN GAMMA.

Los diagramas de exposición gamma no son más que aquellos gráficos en los cuales se relacionan la densidad radiográfica y la exposición, es decir, son gráficos densidad VRS exposición. La exposición es el producto de la radiactividad de la fuente por el tiempo de exposición, para esto es necesario conocer los valores de la radiactividad de la fuente y los diversos tiempos de exposición para los cuales se obtienen los mismos valores de densidad. Para este hecho comenzamos presentando la forma de como realizarse el calculo del valor de radiactividad de un irradiador gamma, y luego como se elaboran las curvas de densidad radiografra constante, para aplicar dichos resultados al equipo experimental.

8.1.2.2.1 CALCULO DEL DECAIMIENTO RADIOACTIVO DE UNA IRRADIADOR GAMMA.

Como se presentaba en el CAPÍTULO II, si en una muestra de N átomos radiactivos en un tiempo dado, el número de átomos (dN) que se transforman en un espacio de tiempo (dt), se representa por medio de la expresión:

$$dN = -\lambda N dt \quad (8-1)$$

donde λ : constante de desintegración

El signo negativo de la expresión (8-1) ha sido colocado a propósito e indica que el número de átomos N disminuye con el tiempo. Integrándose dicha expresión, suponiendo que en un tiempo $t=0$, el número de átomos presente era N_0 , se obtiene que

$$N(t) = N_0 \cdot e^{-\lambda t} \quad (8-2)$$

Donde $N(t)$ es el número de átomos aún radiactivos (la radiactividad) de la muestra original N_0 , hasta un tiempo t .

Para cuando la muestra de átomos N_0 alcance su vida media ($t_{1/2}$), es decir, para un $t = t_{1/2}$, existirán la mitad de átomos radiactivos ($N_0/2$) que originalmente se tenían, entonces sustituyendo dichos valores en la expresión (8-2), obtenemos:

Para un tiempo $t_{1/2}$ tenemos :

$$\frac{N_0}{2} = N_0 \cdot e^{-\lambda t_{1/2}} \quad (8-3)$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda t_{1/2}} \quad (8-4)$$

$$\ln(1) - \ln(2) = -\lambda \cdot t_{1/2} \quad (8-5)$$

$$\lambda = \frac{\ln(2)}{t_{1/2}} \quad (8-6)$$

Según la TABLA 2-14 (Capítulo II) se conoce que para el Cesio 137 su vida media es de 30.2 años, por lo que al sustituir ese valor en la expresión (8-6), obtenemos la constante de desintegración del Cesio

$$\lambda = 2.2952 \times 10^{-2} \frac{\text{átomos}}{\text{año}} \quad (8-7)$$

La radiactividad original de la fuente era de 100 mCi, conociendo además que la producción de la fuente fue en el año de 1986, específicamente el 15 de septiembre de 1986, hasta la fecha actual 23 de febrero de 2001, han transcurrido 15 años, 4 meses y 8 días, es decir, 15.36 años.

Con el resultado anterior (8-7) y utilizando la expresión (8-2), calculamos la radiactividad de la fuente hasta la fecha del 23/febrero/2001,

$$N(t) = 100 \text{ mCi} \cdot e^{-2.2952 \times 10^{-2} (15.36)} \quad (8-8)$$

$$N(t) = 70.289 \text{ mCi} \quad (8-9)$$

Expresión (8-8) que puede resumirse de la siguiente manera:

$$N(t) = 100 \cdot (0.9773^t) [\text{mCi}] \quad (8-10)$$

Donde t representa la vida de la fuente en años.

8.1.2.2.2 ELABORACIÓN DE LOS DIAGRAMAS DE EXPOSICIÓN GAMMA.

Conociendo las ecuaciones de las tendencias de los procesos de exposición para los tiempos que se encuentran resumidos en las TABLA 8-7 y la TABLA 8-8, se puede obtener las curvas de Espesor del material VRS Exposición que apreciábamos en la FIGURA 8-6.

Utilizando un gráfico similar al mostrado en la FIGURA 8-7, se trazan líneas horizontales, según el valor de densidad constante de la curva que se desea elaborar, esto se hace para identificar las curvas de absorción que serán útiles para construir el gráfico de exposición gamma.

Por ejemplo para elaborar el gráfico de exposición para una densidad radiográfica de 3.0, el procedimiento es como sigue.

Utilizando el gráfico de la FIGURA 8-7, como se mencionaba anteriormente se trazan líneas horizontales a densidad radiográfica constante de 3.0, tal y como se aprecia en la FIGURA 8-8, y se conocen cuales de las gráficas de absorción son cortadas por la línea de densidad constante, que son las curvas de 17 horas, 18 horas, 19 horas, 20 horas, 21 horas, 22 horas, 23 horas y 24 horas; y conociendo las ecuaciones para los procesos radiográficos de tiempos de exposición resumidos en las TABLAS 8-7 y TABLA 8-8, se determina nuevamente utilizando una herramienta de computo (Elaborada por los autores), los valores del espesor para los cuales se cumple que $D(E) = 3.0$, dichos valores han sido agrupados en la TABLA 8-9

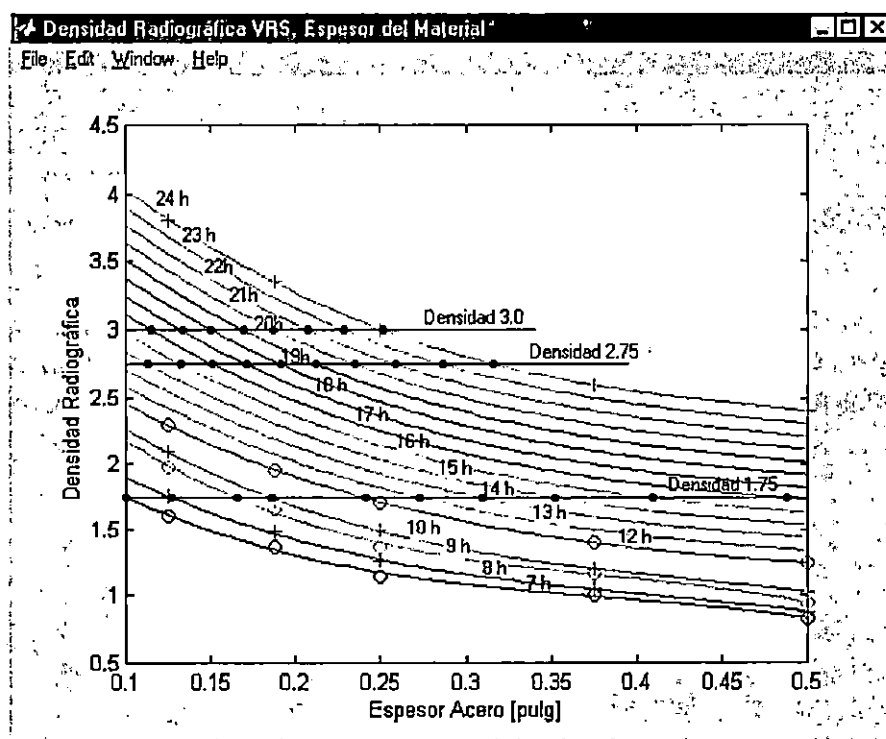


FIGURA 8-8. Líneas a Densidad Constante que cortan diferentes gráficos de Absorción de Material.

<i>Tiempo de Exposición [horas] de los gráficos de Absorción</i>	<i>Espesor [pulgadas]</i>
17	0.1145
18	0.1321
19	0.1500
20	0.1683
21	0.1873
22	0.2072
23	0.2283
24	0.2509

TABLA 8-9. Determinación del valor de las diferentes ecuaciones de las curvas de absorción para los cuales la Densidad Radiográfica posee un valor de 3.0. Las ecuaciones de las tendencias de la exposición radiográfica en cuestión se muestran en las tablas 8-7 y 8-8.

<i>Tiempo de Exposición [horas] de los gráficos de Absorción</i>	<i>Exposición [mCi.h]</i>	<i>Espesor [pulgadas]</i>
17	1194.91	0.1145
18	1265.2	0.1321
19	1335.49	0.1500
20	1405.78	0.1683
21	1476.07	0.1873
22	1546.56	0.2072
23	1616.65	0.2283
24	1686.94	0.2509

TABLA 8-10. Determinación de los valor de exposición para la fuente de rayos gamma del equipo experimental cuando esta posea una radiactividad de 70.289 mCi

El paso siguiente es la elaboración de las curvas a densidad constante, o gráficos de exposición gamma, para esto se grafica los valores de espesores VRS Exposición de la TABLA 8-10. El gráfico de exposición gamma para una densidad constante de 3.0 se aprecia en la FIGURA 8-9.

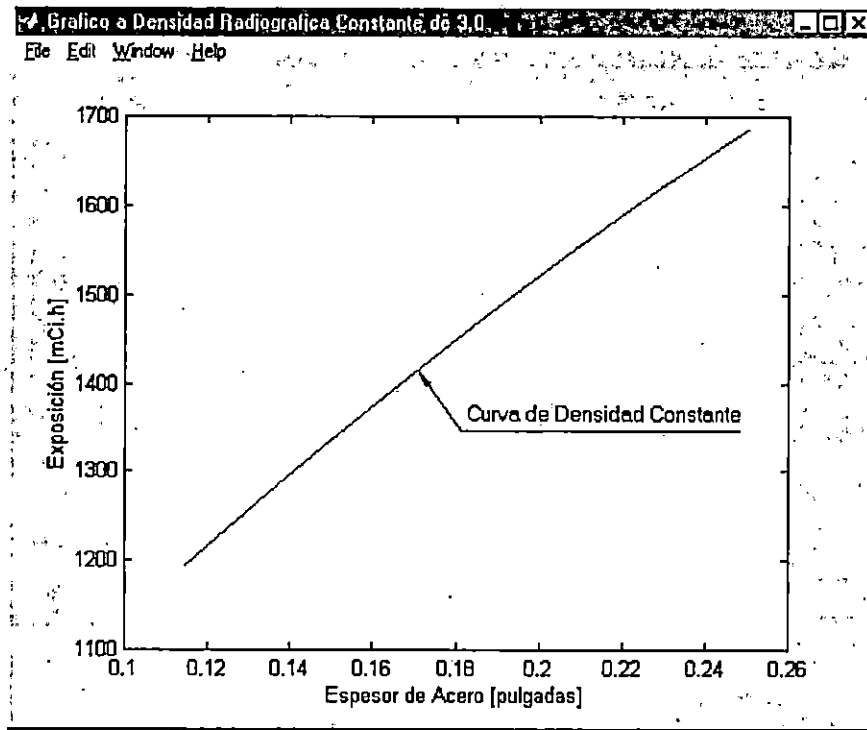


FIGURA 8-9. Gráfico de espesor de acero VRS exposición, obtenido a partir de los datos de la TABLA 8-10

El mismo procedimiento ya detallado con anterioridad para obtener las curvas de densidad constante de 2.7 y 1.5, los datos obtenidos y utilizados para construir dichos gráficos (véase FIGURA 8-10) se han resumido en las TABLAS 8-11 y 8-12.

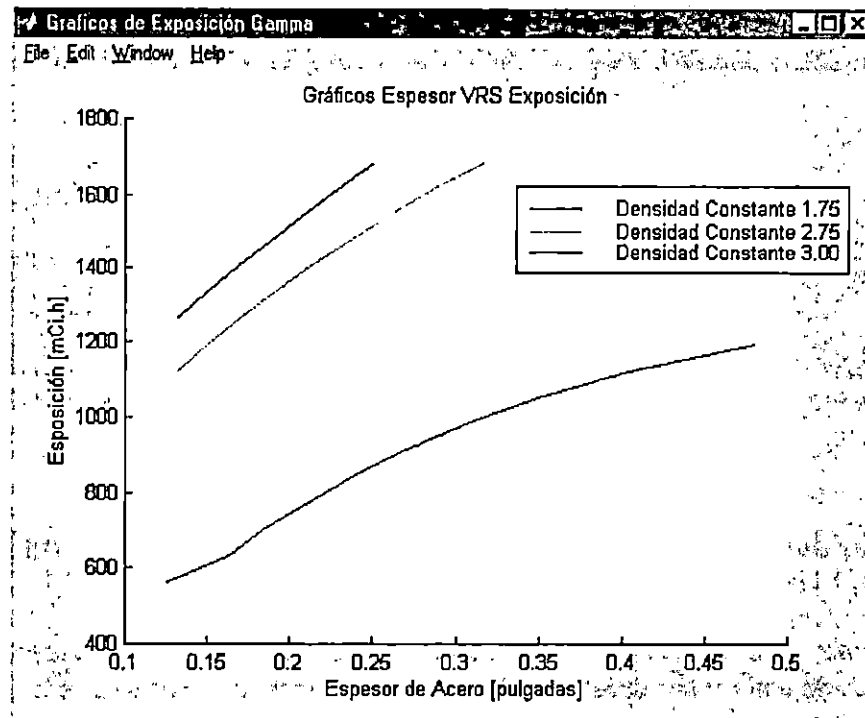


FIGURA 8-10. Gráfico de espesor de Acero VRS Exposición, obtenido a partir de los datos de la TABLAS 8-10, TABLA 8-11 y TABLA 8-12

Tiempo de Exposición [horas] de los gráficos de Absorción	Exposición [mCi.h]	Espesor [pulgadas]
8	562.31	0.1257
9	632.60	0.1636
10	702.89	0.1841
12	843.47	0.2387
13	913.76	0.2704
14	984.04	0.3064
15	1054.34	0.3493
16	1124.62	0.4042
17	1194.30	0.4803

TABLA 8-11. *Determinación de los valor de Exposición para la fuente de rayos gamma del equipo experimental para obtener el gráfico de exposición gamma para una densidad constante de 1.75 a una Radiactividad de 70.289 mCi.*

Tiempo de Exposición [horas] de los gráficos de Absorción	Exposición [mCi.h]	Espesor [pulgadas]
16	1124.62	0.1320
17	1194.9	0.1510
18	1265.21	0.1705
19	1335.49	0.1907
20	1405.78	0.2120
21	1476.07	0.2346
22	1546.36	0.2590
23	1616.65	0.2860
24	1686.94	0.3168

TABLA 8-12. *Determinación de los valor de exposición para la fuente de rayos gamma del equipo experimental para obtener gráfico de exposición gamma para una densidad constante de 2.75 a una radiactividad de 70.289 mCi.*

8.2 ENSAYO RADIOGRÁFICO DE UNA PROBETA SOLDADA UTILIZANDO EL EQUIPO EXPERIMENTAL DE GAMMAGRAFÍA INDUSTRIAL Y LOS GRÁFICOS DE EXPOSICIÓN GAMMA.

Una vez contando con los gráficos de exposición gamma, se procedió a realizar el ensayo radiográfico de una chapa soldada la cual poseía un defecto de soldadura conocido y la cual había sido ya radiografiada con anterioridad y formaba parte del grupo de radiografías de referencia obtenidas y detalladas en el capítulo 6 del presente trabajo. La probeta y condiciones de los ensayos radiográficos efectuados se muestran en la siguiente figura:

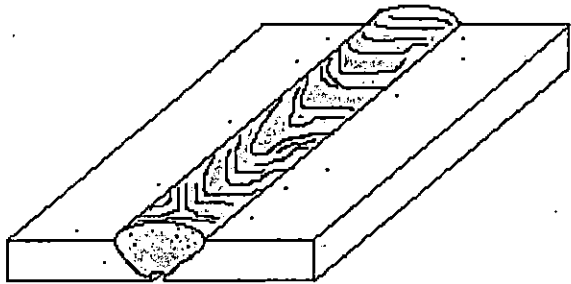
Especificaciones de la Probeta Radiografiada	
Material: Acero Estructural ASTM A36 Espesor: 1/4 in Código de Identificación: 3A Dimensiones: 12" x 12" x 1/4 in Defecto de Soldadura presente: Falta de Penetración	
Especificaciones del Ensayo Radiográfico	
Densidad Radiográfica Esperada: 3.00 IQI; CIAN-MEC-3 Tiempo de Exposición: 23.96 horas Distancia fuente película : 25 cm Tipo de Película utilizada: Structurix AGFA D7 Tiempo de Revelado: 3 min a 20 °C Tiempo de Fijado: 3 min a 20 °C	

TABLA 8-13. *Detalle del Ensayo radiográfico llevado utilizando el equipo experimental.*

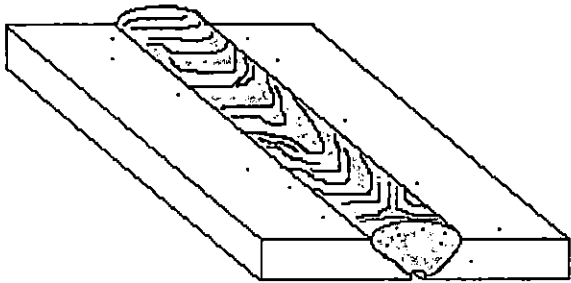
Especificaciones de la Probeta Radiografiada	
Material: Acero Estructural ASTM A36 Espesor: 1/4 in Código de Identificación: 3A Dimensiones: 12" x 12" x 1/4 in Defecto de Soldadura presente: Falta de Penetración	
Especificaciones del Ensayo Radiográfico	
Densidad Radiográfica Esperada: 2.75 IQI; CIAN-MEC-3 Tiempo de Exposición: 21.63 horas (21 h, 38 min) Distancia fuente película : 25 cm Tipo de Película utilizada: Structurix AGFA D7 Tiempo de Revelado: 3 min a 20 °C Tiempo de Fijado: 3 min a 20 °C	

TABLA 8-14. *Detalle del Ensayo radiográfico llevado utilizando el equipo experimental.*

La FIGURA 8-11 muestra una radiografía de la probeta a la cual se le realizó el ensayo radiográfico detallado en la TABLA 8-13, en esta radiografía se obtuvo una densidad radiográfica de 3.1 ± 0.1 , un valor muy aceptable, y se encuentra dentro de los resultados esperados.

Otro de los resultados obtenidos, fue el hecho de que con el equipo experimental a la distancia óptima para que se realice la exposición, la cual es de 25 cm, se pueden radiografiar efectivamente tramos en los cordones de soldadura de hasta 15 cm de largo como máximo, para obtener valores aceptables de la densidad radiográfica.

En todos los ensayos radiográficos llevados a cabo, la calidad de la imagen de las radiografías fue de 4T, para un valor de $T=1/64$ pulgada,

Los resultados anteriores comparados con las radiografías del capítulo VI, poseen grandes diferencias, por ejemplo, la calidad de la imagen de las radiografías de referencia era de 1T, para $T=1/64$, una calidad de imagen mucho mayor a la obtenida con el equipo experimental, además en ellas se radiografían cordones de soldadura una longitud de 12 pulgadas (30.4 cm).

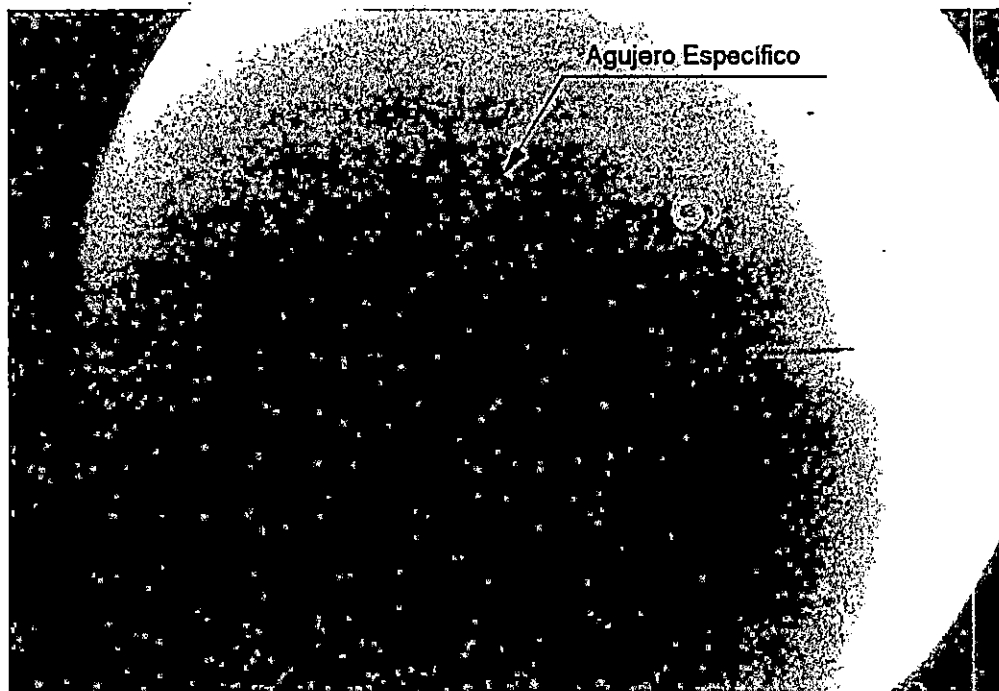


FIGURA 8-11. Radiografía del Ensayo Radiográfico detallado en la TABLA 8-13. En la radiografía claramente puede observarse el defecto de falta de penetración, además se puede observar que el agujero específico del IQI, el cual determinar la calidad de la imagen de la radiografía, es el de 4T.

8.3 CONCLUSIONES.

- a) Con el equipo experimental se pueden radiografiar espesores de en chapas de acero comprendidos entre espesores de 1/8 pulgada a 1/2 pulgada, a una distancia fuente película de 25 cm, para tiempos desde 7 horas hasta 24 horas respectivamente, con lo cual se obtendrán densidades radiográficas comprendidas entre 1.0 a 3.0
- b) Durante las diferentes exposiciones radiográficas realizadas en el presente trabajo de graduación, las irregularidades en las densidades de las películas obtenidas para la caracterización del equipo experimental, se debieron principalmente a la falta de alineación del colimador de la fuente respecto del eje imaginario del contenedor de la fuente, esto es un defecto de fabricación de la fuente gamma

8.4 RECOMENDACIONES.

- a) Con todos los recursos resultantes del presente trabajo de graduación se pueden continuar las investigaciones concernientes al equipo experimental, entre una de ellas citamos el hecho de elaborar los procedimientos para poder centrar correctamente las piezas a radiografiar, debido a la falta de desalineación que posee el colimador de la fuente radiactiva (en cuyo interior se encuentra la cápsula que aloja el material radiactivo) con respecto del eje imaginario del contenedor de la fuente.
- b) Con las guías de laboratorio y los manuales de operación y mantenimientos ubicados al final del presente capítulo, se pueden continuar los trabajos en vías a obtener los diagramas de exposición del equipo experimental, necesarios para radiografiar materiales tales como bronce,

alumno, etc.

- c) Una recomendación final es la de evaluar la posibilidad de sustituir la fuente del equipo experimental por una de mayor radiactividad, y así disminuir los tiempos de exposición, y así se evitarían los inconvenientes de disponer de tiempos de exposición demasiado prolongados.
- d) Para pruebas posteriores en materiales de acero es recomendable la elaboración de nuevos diagramas de exposición utilizando una nueva placa patrón, debido a que con los resultados obtenidos se determinó que las dimensiones de la placa patrón CIAN-MEC-4 son demasiado pequeñas lo que provoca la formación de radiación dispersa cuando esta es expuesta a la radiación gamma.
- e) Deben controlarse con sumo cuidado todas las variables del proceso de revelado de las películas radiográficas.

GUÍAS DE LABORATORIO

Universidad de El Salvador
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Escuela de Ingeniería Mecánica
Departamento de Materiales y Procesos de Fabricación

CICLO I-2000

Practica de Laboratorio No. 1

Caracterización del Equipo Experimental de Gamma grafía

I-OBJETIVO GENERAL.

Puesta a punto de una fuente de rayos gamma, conociendo su actividad en la fecha de su fabricación.

II-OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Realizar el procedimiento para la obtención de radiografías.
- Obtener los gráficos que faciliten la tarea de exposición de placas de acero.
 - Densidad vrs. Espesor
 - Espesor vrs factor de exposición. Gráfico para valores de Densidad constante.
 - Realizar el análisis respectivo a través de los gráficos obtenidos en el literal anterior

III-MATERIAL Y EQUIPO.

- Estructura modelo CIAN-MEC-1
- Fuente dentro de su contenedor
- Cronómetro
- Película (5 trozos de 51 mm de ancho por 102 mm de largo)
- Próbata de escalones modelo CIAN-MEC-2
- IQI MODELO CIAN-MEC-3
- Medidor de tasa de dosis
- Dosímetro personal
- Hoja para registro de datos
- Densitometro
- Cinta métrica., plumón, tirro, rótulos de señalización, etc.

IV-PROCEDIMIENTO.

1. Con el equipo en mano verificar el buen funcionamiento del medidor de tasa de dosis y el buen estado del dosímetro con el personal encargado del equipo.
2. Colocarse el dosímetro antes de ingresar a el área de trabajo

3. Anotar la hora de ingreso a la zona de trabajo
4. Tomar la lectura del nivel de dosis a 1m de la superficie del contenedor
5. Realizar las anotaciones respectivas en la hoja de registro
6. Preparar la estructura y colocar en la escala graduada de la columna la distancia fuente-película que se usara.
7. Preparar la probeta colocándole la película y el IQI
8. Centrar la probeta respecto del soporte del contenedor de la fuente
9. Colocar el contenedor de la fuente en su soporte y activar el obturador (posición de ON).
10. Anotar la hora de inicio de la exposición
11. Realizar la exposición radiográfica para un tiempo de 6 horas.
12. Anotar la hora de salida de la zona de trabajo.
13. Anotar la hora de entrada a la zona de trabajo cuando se ingrese ha retirar la película.
14. Terminado el tiempo de la exposición, desactivar el contenedor colocando el obturador en la posición de OFF, y anotar la hora de finalización de la exposición.
15. Retirar el contenedor de su soporte y colocarlo en un lugar seguro y alejado de donde se esté trabajando.
16. Retirar la película, marcarla con el tiempo de exposición y preparar la siguiente prueba.
17. Anotar la hora de salida de la zona de trabajo.
18. Repetir el procedimiento anterior, para tiempos de exposición de 7 horas, 9 horas, 12 horas, 14 horas, 18 horas, 24 horas, 28 horas.
19. Proceder ha revelar las películas siguiendo las normas para ello.

V-RESULTADOS.

Después de finalizado cada uno de los ensayos y que las radiografías ya han sido reveladas, se procederá utilizando un densitometro ha tomar la lectura de las densidades radiográficas en cada uno de los escalones y hacer la respectiva tabla de datos para cada uno de los tiempos de exposición.

Tiempo de Exposición: _____ horas		
Número de Peldaño	Espesor del Peldaño [pulgadas de Acero]	Densidad Radiográfica Obtenida
1	1/2	
2	3/8	
3	1/4	
4	3/16	
5	1/8	

VI-ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

Con los datos recolectados, obtener los gráficos Espesor VRS Densidad Radiográfica, para los tiempos de exposición de 7, 9, 12, 14, 18, 24 y 28 horas, y haciendo uso de un software matemático obtener las ecuaciones que describan las tendencias de las curvas anteriores.

Con un software matemático obtener las ecuaciones para tiempos de 8, 10, 11, 13, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 25, 26, 27 horas.

Con toda la información anterior, y haciendo uso de un software matemático obtener las ecuaciones de los gráficos ESPESOR VRS CONSTANTE DE EXPOSICIÓN, para valores de densidad RADIOGRÁFICA de 1.75, 2.50 y 2.75

V-CUESTIONARIO.

1. Calcule el tiempo de exposición necesario para obtener una densidad radiográfica de 2.75, en una chapa de espesor de 0.25 pulgadas
2. ¿Cual sería el efecto en las curvas Densidad Radiográfica VRS Espesor y espesor VRS Constante de Exposición, si se aumenta la D.F.P.?
3. ¿Cual sería el efecto en las curvas Densidad Radiográfica VRS Espesor y espesor VRS Constante de Exposición, si se disminuye la D.F.P.?
4. ¿Cual sería el efecto en las curvas Densidad Radiográfica VRS Espesor y espesor VRS Constante de Exposición, si se aumenta la D.F.P.?
5. ¿Cuál es la función del filtro de radiación gamma, utilizado en el irradiador gamma?, ¿cual sería el efecto de su no utilización en los gráficos Densidad Radiográfica VRS Espesor y espesor VRS Constante de Exposición,

Universidad de El Salvador
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Escuela de Ingeniería Mecánica
Departamento de Materiales y Procesos de Fabricación

CICLO I-2000

Practica de Laboratorio No. 2

Elaboración de la Curva Característica de la Película Radiográfica

I-OBJETIVO.

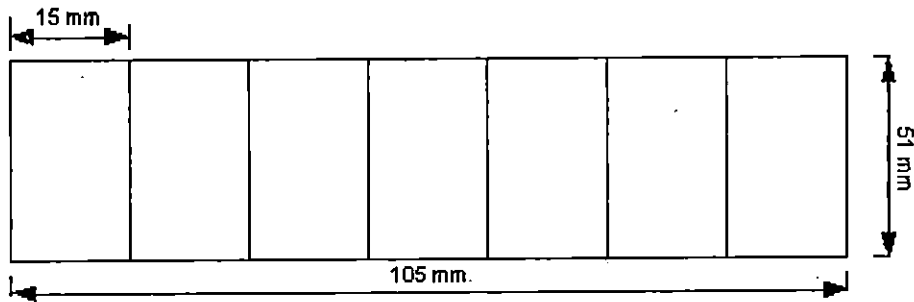
Determinar las principales características de la película radiográficas utilizadas para poder identificar variaciones que se produzcan en los procesos de revelado de las mismas.

II-MATERIAL Y EQUIPO.

1. Estructura modelo CIAN-MEC-1
2. Fuente dentro de su contenedor.
3. Película Industrial de 51 mm de ancho por 102 mm de largo
4. Dos piezas de plomo de 120 mm x 65 mm x 13 mm
5. Medidor de tasa de dosis
6. Dosímetro Personal
7. Cronómetro
8. Cinta métrica, plumón, tirro, rótulos de señalización, etc.
9. Densitómetro

III-PROCEDIMIENTO.

1. Verificar el buen funcionamiento del medidor de tasa de dosis y el buen estado del dosímetro.
2. Usar el dosímetro antes de ingresar a el area de trabajo
3. Anotar la hora de ingreso a la zona de trabajo
4. Tomar la lectura del nivel de dosis a 1m de la superficie del contenedor
5. Realizar las anotaciones respectivas en la hoja de registro
6. Preparar la estructura y colocar en la escala graduada de la columna la distancia fuente-película
7. Con un Marcador, dividir la películas en 7 tramos cada de un ancho de 15 mm, tal y como se muestra en la siguiente figura.



8. Centrar la probeta respecto del soporte del contenedor de la fuente.
9. Colocar el contenedor de la fuente en su soporte y activar el obturador (posición de ON).
10. Anotar la hora de inicio de la exposición
11. Exponer el primer tramo de 15 mm, asegurándose de cubrir los restantes con cualquiera de las piezas de plomo, durante un tiempo de exposición de 4 horas.
12. Anotar la hora de salida de la zona de trabajo.
13. Anotar la hora de entrada a la zona de trabajo cuando se ingrese a retirar la película.
14. Terminado el tiempo de la exposición, desactivar el contenedor colocando el obturador en la posición de OFF, y anotar la hora de finalización de la exposición.
15. Retirar el contenedor de su soporte y colocarlo en un lugar seguro y alejado de donde se este trabajando.
16. Retirar la película, marcarla con el tiempo de exposición el tramo que ha sido expuesto y preparar la película para exponer a 8 horas el siguiente tramo asegurándose al igual que la exposición anterior de proteger los tramos restantes.
17. Anotar la hora de salida de la zona de trabajo.
18. Repetir el paso anterior para los tramos restantes de la película utilizando tiempos de exposición de 16, 20 28 y 32 horas respectivamente.
19. Realizar el procedimiento de revelado con los tiempos recomendados para el revelado, el fijado y el lavado.
20. Haciendo uso de un densitometro óptico, medir la densidad radiográfica en cada uno de los tramos y completar la tabla siguiente, para cada uno de los tiempos de exposición.

Tiempo de Exposición [horas]	Densidad Radiográfica Obtenida
4	
8	
16	
20	
24	
28	
32	

21. Calcular el valor de la radiactividad de la fuente gamma, por medio de la siguiente expresión:
22. Determinar el valor de la exposición relativa, por medio de la siguiente expresión y completar la tabla que se muestra a continuación de esta.

Log Exposición Relativa	Densidad Radiográfica Obtenida

23. Construir la gráfica de Log E relativa VRS Densidad Radiográfica

IV-ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Con los resultados obtenidos previamente, realizar lo que se indica a continuación.

1. Calcular el valor de latitud de la película.
2. Construir la gráfica de sensibilidad radiográfica de la película.
3. Calcular el factor de contraste de la película (en los tramos 3 y 5 de la placa patrón CIAN-MEC-4)
4. Calcular la velocidad de la película, justo en el tramo numero 4 de la película
5. Calcular el pie de la curva de sensibilidad radiográfica.
6. ¿cual es el valor del hombro de la curva de sensibilidad radiográfica de la película?

V-CUESTIONARIO.

1. ¿Cuál es la importancia de la curva de sensibilidad radiográfica de la película?
2. ¿cual es la importancia de la constante gamma o factor de contraste?
3. ¿El valor de la velocidad de la película coincide con lo especificado por los fabricantes de la película?

4. ¿cuales son las diferencias entre las películas radiográficos para fines médicos y aquella utilizadas para fines industriales?
5. Se obtendrían los mismos resultados si se tratara de obtener la curva característica de la Película exponiendo por separado 7 trozos de Película uno para cada tiempo ¿ Por qué?

Universidad de El Salvador
Facultad de Ingeniería y Arquitectura
Escuela de Ingeniería Mecánica
Departamento de Materiales y Procesos de Fabricación

CICLO I-2000

Practica de Laboratorio No. 3

Realización de un Ensayo Radiográfico en una Chapa de Acero Soldada.

I-OBJETIVO.

Realización de un Ensayo Radiográfico para identificar los diferentes tipos de defectos que se presentan en una unión a tope de una chapa soldada.

II-MATERIAL Y EQUIPO.

- Estructura modelo CIAN-MEC-1
- Fuente dentro de su contenedor.
- Película de 51 mm de ancho por 102 mm de largo.
- IQI modelo CIAN-MEC-3
- Espécimen de placas soldadas a tope de 9.5 MM(3/8 in) ó 6.4 MM(1/4 in) de espesor como máximo.
- Medidor de tasa de dosis
- Dosímetro Personal
- Cronometro
- Cinta métrica., plumón, tirro, rótulos de señalización, etc.
- Negatoscopio.
- Densitometro.

III-PROCEDIMIENTO.

1. Verificar el buen funcionamiento del medidor de tasa de dosis y el buen estado del dosímetro.
2. Usar el dosímetro antes de ingresar a el área de trabajo.
3. Anotar la hora de ingreso a la zona de trabajo.
4. Tomar la lectura del nivel de dosis a 1m de la superficie del contenedor
5. Realizar las anotaciones respectivas en la hoja de registro .
6. Preparar la estructura y colocar en la escala graduada de la columna la distancia fuente-película recomendada de 25 cm.
7. Preparar la probeta colocándole la película y el IQI
8. Centrar la probeta respecto del soporte del contenedor de la fuente
9. Colocar el contenedor de la fuente en su soporte y activar el

- obturador (posición de ON).
10. Anotar la hora de inicio de la exposición
 11. Realizar la exposición radiográfica para un tiempo de exposición de acuerdo a una densidad radiográfica deseada y para un espesor de la placa de acero de 9.5 MM(3/8 in). (utilizar el gráfico espesor VRS Constante de Exposición, guía de laboratorio No.1)
 12. Anotar la hora de salida de la zona de trabajo.
 13. Anotar la hora de entrada a la zona de trabajo cuando se ingrese a retirar la película.
 14. Terminado el tiempo de la exposición, desactivar el contenedor colocando el obturador en la posición de OFF, y anotar la hora de finalización de la exposición.
 15. Retirar el contenedor de su soporte y colocarlo en un lugar seguro y alejado de donde se este trabajando.
 16. Retirar la película , marcarla con el tiempo de exposición y preparar la siguiente prueba.
 17. Anotar la hora de salida de la zona de trabajo.
 18. Repetir el procedimiento anterior, para una exposición radiográfica en una chapa de 6.4 MM(1/4 in).

IV-RESULTADOS.

Después de finalizado cada uno de los ensayos y que las radiografías ya han sido reveladas, haciendo uso de un densitometro óptico, realizar tres o cinco mediciones de la densidad radiográfica a lo largo del cordón de soldadura en cada uno de los especímenes soldados y calcular un valor promedio de la densidad radiográfica del cordón de soldadura que se obtuvo.

V-ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

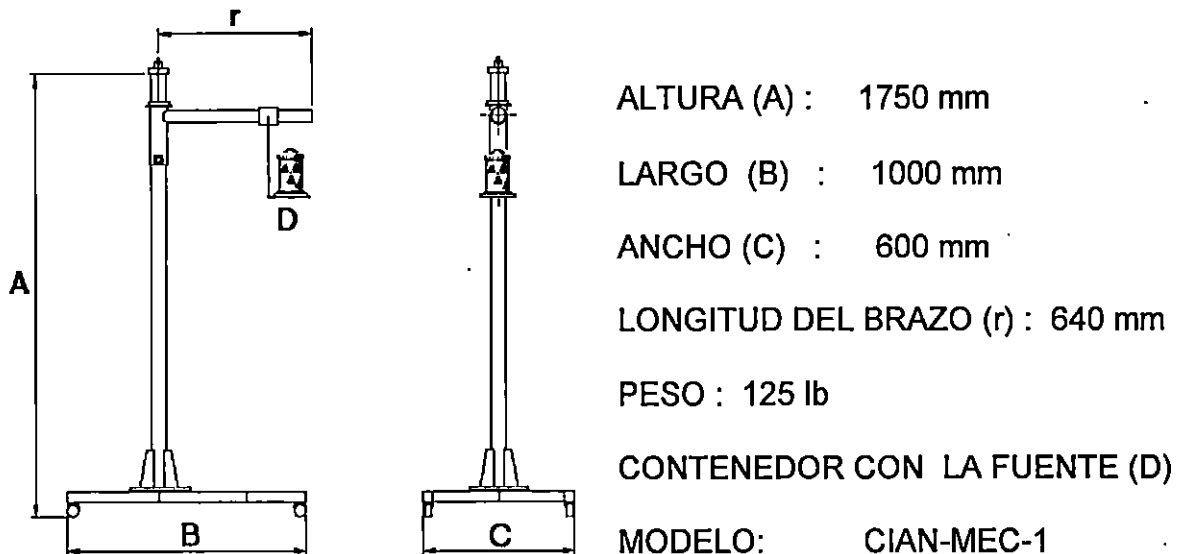
El análisis de los resultados proporcionados por las radiografías, se realizara respondiendo a cada una de las siguientes interrogantes:

1. ¿Se obtuvieron los valores de densidad radiográfica en el cordón de soldadura? Si-no ¿Por qué?
2. ¿Qué defectos de soldadura se pueden apreciar en las radiografías?
3. ¿cual es la calidad de la imagen obtenida?

**MANUAL DE USUARIO
Y
MANUAL DE MANTENIMIENTO
DEL EQUIPO EXPERIMENTAL**

MANUAL DE USUARIO DEL EQUIPO EXPERIMENTAL

1. ESPECIFICACIONES DE LAS PARTES DEL EQUIPO EXPERIMENTAL.



El equipo experimental esta constituido básicamente de seis partes principales, las cuales son: la base, la columna, el brazo, el soporte de la fuente, el contrapeso y la fuente radiactiva. El equipo posee la ventaja de ser montado y desmontado con suma facilidad en el lugar elegido para realizar el ensayo.

La base esta provista de rodos para facilitar el desplazamiento del equipo.

La columna consta de una escala graduada en centímetros la cual ayudará a fijar con facilidad la distancia fuente película

Sobre la columna se desplaza el brazo giratorio, el cual se encuentra provisto de unas palancas de sujeción las cuales ayudarán a fijarlo en la posición determinada.

Sobre el brazo, se desplaza el soporte de la fuente, el cual en su base posee cuatro pines donde se insertará la base del contenedor, este soporte consta de una palanca de sujeción, para fijarlo en el punto requerido.

El contrapeso tiene la función de equilibrar el conjunto brazo giratorio-Soporte de la Fuente,

ayudando a que el desplazamiento del brazo sobre la columna, sea fácil.

El contenedor de la fuente posee una pastilla de Cesio 137, con una actividad de 100 mCi al momento de su producción el 15 de septiembre de 1986. El peso del contenedor es de 32 libras con una altura de 170 mm y un diámetro de 120 mm.

La exposición radiográfica, se efectúa a través de un obturador que en el contenedor de la fuente que se acciona con una palanca ubicandole en la posición de ON o de OFF según sea requerido. Posee la particularidad que en el posición de OFF, la palanca puede ser asegurada por medio de un candado. El contenedor posee también una placa de acero inoxidable, en su base, la cual actúa como filtro de las radiaciones de baja energía.

2. PARAMETROS PREVIOS A LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO RADIOGRÁFICO.

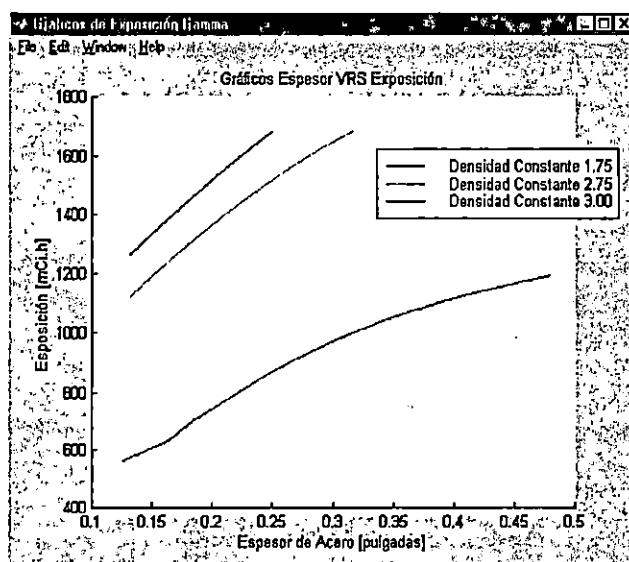
El siguiente lineamiento para el usuario ha sido elaborado con los resultados obtenidos en la caracterización del equipo de gammagrafía, y además bajo las siguientes condiciones:

- Fuente radiactiva : Cesio 137, fecha de fabricación 15 de septiembre de 1986.
- Tipo de Película Industrial AGFA Structurix D7
- Tipo de líquidos de revelado : AGFA
- Material a radiografiar : Acero
- Distancia Fuente-Película (D.F.P.) de 25 cm
- Espesores de escalera de pasos (0.125 pulg. - 0.5 pulg.)

Cualquier cambio en una de estas condiciones y especialmente en el tipo de la fuente utilizada provocará diferencias con los resultados que se han obtenido en la caracterización del equipo.

3. GUÍA DE PROCEDIMIENTOS PARA LA REALIZACIÓN DEL ENSAYO RADIOGRÁFICO.

- a) PREPARAR CON ANTICIPACIÓN TODO EL MATERIAL Y EQUIPO A UTILIZAR (Estructura, Negatoscopio, Fuente, Película, Probeta a Examinar, IQI, Medidor de Tasa de Dosis o Dosímetro Personal, Hoja para registro de Datos, Rótulos para señalización, cronómetro, Gráficos de Exposición Gamma, Plumón, Tirro, Cinta Métrica).
- b) DETERMINACIÓN DE LA EXPOSICIÓN (E). En base al espesor y la densidad que se desea obtener calcular el valor de la exposición en mCurios/hora, según el siguiente gráfico



Gráficos de Exposición del Equipo Experimental para Diferentes valores de Densidad, obtenidos utilizando la placa patrón CIAN-MEC-4 y una fuente Gamma de Cesio 137 de 70.289 mCi, con una DFP = 10 pulgadas, con tiempos de revelado y fijado a 3 min a 20°C, utilizando una película AGFA Structurix D7. Los diferentes tiempos de exposición con los cuales se realizaron los diferentes procesos radiográficos se encuentran señalados en la figura.

- c) CALCULO DE LA VIDA DE LA FUENTE (t) EN AÑOS. A partir del 15 de Septiembre de 1986.
- d) CALCULO DE LA RADIOACTIVIDAD DE LA FUENTE. Con el valor de la vida de la fuente (t) en años, calcular el valor de la radiactividad, para el día de la exposición, por medio de la siguiente ecuación:

$$N(t) = 100 \cdot (0.9773)^t \quad [mCi]$$

- e) CALCULO DEL TIEMPO DE EXPOSICIÓN. En base al valor de la radiactividad $N(t)$ y la Exposición (E), por medio de la siguiente ecuación:

$$t_{\text{exposición}} = \frac{N(t)}{E} \quad [\text{horas}].$$

- d) REALIZACIÓN DEL ENSAYO RADIOGRÁFICO.

Centrar correctamente la probeta dando los parámetros de trabajo (D.F.P de 25 cm), centrar el espécimen correctamente respecto a la posición del contenedor, colocación del contenedor con su soporte, colocar en la posición ON el contenedor, anotar en la hoja de registro el tiempo de inicio de la exposición y demás parámetros.

- e) DESMONTAJE DEL ESPÉCIMEN LUEGO DE FINALIZADA LA EXPOSICIÓN.

Colocar el obturador de la fuente en la posición de OFF.

Desmontar el contenedor de su base y colocarlo en un lugar seguro y lejos del cual se está trabajando.

Retirar la película y marcarla debidamente.

Anotar en la hoja de registro el tiempo de finalización de la exposición.

Realizar los pasos del literal anterior si se requiere realizar otra exposición.

MANUAL DE MANTENIMIENTO DEL EQUIPO EXPERIMENTAL

Con el buen funcionamiento del equipo se garantizará que los resultados de las pruebas efectuadas sean satisfactorias por lo tanto es recomendado realizar periódicamente revisiones a los diferentes elementos del equipo y para realizar los ajustes, cambios o reparaciones que sean necesarias. A continuación se da un procedimiento sencillo para llevar a cabo estas actividades.

Actividades a realizar periódicamente :

ESTRUCTURA.

Lubricación de los rodos, mediante grasa cada seis meses.

Cambio del Hule de Recubrimiento de las palancas cuando se encuentre deteriorado.

Revisar el estado de la escala graduada de la columna.

Revisar el estado del cable de acero y verificar que no se encuentre doblado, mala sujeción al contrapeso y al soporte del brazo giratorio.

Revisar el estado de las poleas y verificar que no se encuentren descentradas y que ocasionen un mal desplazamiento del mecanismo de equilibrio.

Verificar el estado del contrapeso y asegurarse de que está bien sujeto, que éste no roza demasiado con la pared del tubo de la columna.

Asegurarse que los pernos de sujeción de la columna a la base están firmemente sujetos.

CONTENEDOR DE LA FUENTE.

Con respecto al contenedor de la fuente radiactiva, este se deberá mantener limpio procurando que la lectura de la viñeta de identificación sea completamente legible.

Revisar periódicamente la palanca del obturador y lubricar si es requerido.

Revisar el estado de la abrazadera para evitar que se desajuste .

PROBLEMAS, CAUSAS Y POSIBLES SOLUCIONES EN EL EQUIPO.

PROBLEMA	POSIBLE CAUSA	POSIBLE SOLUCIÓN
La base no camina.	Los rodos se encuentran atascados.	Revisar los rodos, limpiarlos y lubricarlos según la necesidad.
El brazo giratorio no se mantiene fijo.	El hule de las palancas de fijación está defectuosos.	Hacer el cambio del hule de las palancas, con el espesor del hule adecuado.
Soporte de la fuente no se equilibra.	Palanca de sujeción del soporte no se encuentra apretada.	Apretar la palanca de sujeción.
Mal equilibrio de toda la estructura.	El brazo giratorio demasiado girado hacia un lado. Desnivel en el piso.	Girar el brazo el ángulo mínimo posible y colocarlo en una superficie lo más pareja posible.
Contrapeso no se equilibra.	Contenedor ubicado en su soporte. El contrapeso es mas liviano que el conjunto brazo giratorio-soporte.	Bajar el contenedor del soporte. Verificar que el contrapeso, posea el mismo peso que el conjunto brazo giratorio-soporte.
El brazo giratorio demasiado apretado cuando se desplaza.	Palancas de Fijación no están lo suficientemente levantadas.	Levantar las palancas de fijación, lo suficiente para que el brazo se libere de la columna.
El contenedor no entra en la base del soporte.	Los pines de la base en el soporte están descentrados.	Verificar las dimensiones entre los centros de los pines y corregir el defecto que esté presente.
La abrazadera de la fuente se encuentra desajustada.	Falta de apriete en el tornillo de la abrazadera.	Apretar el tornillo lo suficiente fijar adecuadamente la abrazadera.
Desplazamiento hacia abajo del brazo giratorio cuando el contenedor es colocado en su soporte.	Palancas de sujeción no están suficientemente apretadas. El material de recubrimiento de las palancas de fijación esta desgastado.	Apretar suficientemente las palancas de fijación. Sustituir el material de recubrimiento de las palancas.

ASPECTOS DE SEGURIDAD.

✓ Manejo del la fuente.

Todo contenedor de fuentes radiactivas debe ser manejado de acuerdo a los reglamentos del ministerio de salud y los organismos respectivos. Es obligatorio que la fuente posea un contenedor seguro.

El contenedor que se posee tiene las siguientes características:

Índice de transporte : 0.2

Categoría : I

Clase : P (portátil)

De esto determinamos que la fuente y el contenedor no requiere de manejo especial para su transporte y manipulación.

✓ Aparatos y equipo para garantizar la seguridad del usuario :

- ◆ Medidor de la tasa de dosis
- ◆ Dosímetro personal
- ◆ Tabla de registro de datos
- ◆ Rótulos de advertencia e identificación
- ◆ Cronometro
- ◆ Cinta métrica

- ✓ Procedimiento para determinar el tiempo de permanencia en la zona de trabajo

En el apartado 9.8, capítulo IX se expuso el valor de la tasas de dosis permitida para el trabajador y el público, tal como se expresa a continuación:

<i>Personal expuesto</i>	<i>Nivel de dosis</i>
POE (Personal Ocupacionalmente Expuesto)	- Dosis efectiva de Límite 20 mSv por año promediada con respecto a 5 años consecutivos. - Una dosis efectiva de 50 mSv en un solo año
Público en general	-Una dosis efectiva de 1 mSv en un solo año -Una dosis efectiva de hasta 5 mSv en un solo año siempre que la dosis media en 5 años consecutivos no sea superior a 1 mSv año.

Para encontrar el nivel exacto con el que se trabaja se medirá en tres puntos diferentes el valor de la tasa de dosis, y de acuerdo a la distancia de trabajo se podrá determinar el tiempo en el cual el operario puede estar expuesto a la radiación sin correr ningún riesgo, siempre que este tiempo no sea sobrepasado.

- a) En la superficie del contenedor $20 \mu\text{Sv/h}$

$$(300 \mu\text{SV}) \cdot Nh = 20 \text{ mSV}$$

$$Nh = 66 \text{ horas}$$

- b) A medio metro de la superficie $3\mu\text{Sv/h}$.

$$(3 \mu\text{SV}) \cdot Nh = 20 \text{ mSV}$$

$$Nh = 3333 \text{ horas}$$

- c) A un metro de la superficie $2 \mu\text{Sv/h}$.

$$(2 \mu\text{SV}) \cdot Nh = 20 \text{ mSV}$$

$$Nh = 10,000 \text{ horas}$$

- ✓ Uso de Dosímetro Personal.

Cuando los ensayos sean por períodos prolongados, se deberá hacer uso de dosímetros personales para ir registrando la dosis de radiación recibida, estos se usaran durante cada una de las pruebas desde el momento de ingresar a la zona donde se encuentra el contenedor, hasta el momento de salir de dicha zona.

Los tramites para la adquisición de los dosímetros se harán en el Centro de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares, quienes se encargarán de llevar el control mensual de estos aparatos.

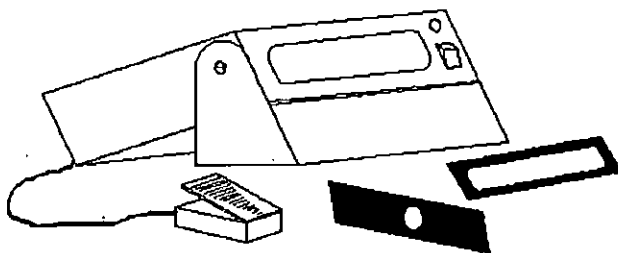
- ✓ Registro de la Tasa de Dosis.

A continuación se presenta el formato que se deberá completar con la información necesaria para llevar el control del tiempo y de la tasa de dosis, medida durante las pruebas.

**MANUAL DE USUARIO
Y
MANUAL DE MANTENIMIENTO
DEL NEGATOSCOPIO**

MANUAL DE USUARIO DEL NEGATOSCOPIO

1. ESPECIFICACIONES DE LAS PARTES DEL NEGATOSCOPIO.



LARGO (L) :	34.7 cm
ANCHO (A) :	30.5 cm
ALTURA (H) :	20.3 cm
PESO :	89 N
ALIMENTACION:	110 VAC 60 Hz
Densidad Radiográfica de Película que se puede observar:	4.0 (Máxima)
Iluminación:	100,000 luxes
MODELO:	CIAN-MEC-2

Este consta básicamente de los siguientes elementos: dos ventiladores, dos fuentes de iluminación, el interruptor principal, el regulador de la fuente de iluminación, y un pedal de encendido y apagado de la fuente de iluminación, dos escotillas removibles, la primera para visualizar detalles puntuales en un área circular de 4560 mm² (7.06 in²) y la segunda posee una abertura rectangular para observar película de (30 cm x 7.5 cm).

2. GUÍA DE PROCEDIMIENTOS PARA LA UTILIZACIÓN DEL NEGATOSCOPIO.

- PREPARAR CON ANTICIPACIÓN TODO EL MATERIAL Y EQUIPO A UTILIZAR tales como Las Películas Radiográficas a Examinar, Densitometro Óptico, Escotillas Removibles Probeta a Examinar, y procurar realizar la evaluación en un cuarto oscuro.
- Energizar el equipo, Colocar la radiografía sobre la pantalla de visualización.
- Presionar el pedal y regular la intensidad luminosa del negatoscopio de acuerdo a la densidad radiográfica de la película.
- Mantener encendida la fuente de iluminación únicamente al momento de realizar la evaluación de las película, nunca mantenerlas encendidas permanentemente.

MANUAL DE MANTENIMIENTO DEL NEGATOSCOPIO

Para el buen funcionamiento del negatoscopio se requerirá que periódicamente, se revise el estado de los siguientes elementos y que se haga el ajuste respectivo cuando este lo amerite. Los elementos susceptibles a presentar inconvenientes son los siguientes:

- Las fuentes de iluminación.
- El regulador de intensidad luminosa
- Los ventiladores
- La pantalla de visualización

PROBLEMAS, CAUSAS Y POSIBLES SOLUCIONES EN EL EQUIPO.

PROBLEMA	POSIBLE CAUSA	POSIBLE SOLUCIÓN
No enciende ninguna de las fuentes de iluminación.	Las fuentes de iluminación no se encuentran debidamente energizadas. Es probable que se hallan quemado ambas fuentes de iluminación	Verificar que la conexión de las fuentes de iluminación sea la correcta. Sustituir las fuentes de iluminación dañadas.
Enciende solamente una fuente de iluminación.	Es probable que se halla quemado una fuente de iluminación.	Sustituir la fuente de iluminación.
No se logra regular la intensidad luminosa	Regulador de la intensidad luminosa dañado.	Sustituir el Regulador de intensidad.
Los ventiladores no funcionan.	Es posible que se encuentren desconectados.	Revisar que las conexiones se encuentren adecuadamente conectadas.
La pantalla de visualización se ha dañado por excesivo calor.	La fuente de alimentación ha permanecido encendida demasiado tiempo.	Sustituir la pantalla de visualización. Mantener encendidas las fuentes de alimentación durante períodos de tiempos cortos.
El equipo no funciona en lo absoluto.	No exista energía de alimentación para el equipo. El interruptor principal este dañado. El cable de alimentación se ha dañado.	Verificar que exista energía en el toma de alimentación. Revisar el estado del interruptor principal y el cable de alimentación para verificar que no existan corto circuitos o algún daño que amerite la sustitución de estos elementos.

8.5 REFERENCIAS DEL CAPÍTULO.

[8-1] Normativa DR 221 (2) — ISO/TC/57.

[8-2] Información tomada de diferentes folletos proporcionados por el Centro de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares (CIAN) de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador.

[8-3] RUIZ RUBIO, Alfonso. "*Inspección Radiográfica de las Uniones Soldadas*", URMO, S.A. De Ediciones, Bilbao, España, 1981, Capítulo V, Pag 96.

[8-4] RUIZ RUBIO, Alfonso. "*Inspección Radiográfica de las Uniones Soldadas*", URMO, S.A. De Ediciones, Bilbao, España, 1981, Capítulo V, Pag 109.

[8-5] RUIZ RUBIO, Alfonso. "*Inspección Radiográfica de las Uniones Soldadas*", URMO, S.A. De Ediciones, Bilbao, España, 1981, Capítulo V, Pag 108.

[8-6] RUIZ RUBIO, Alfonso. "*Inspección Radiográfica de las Uniones Soldadas*", URMO, S.A. De Ediciones, Bilbao, España, 1981, Capítulo V, Pag 115.

[8-7] RUIZ RUBIO, Alfonso. "*Inspección Radiográfica de las Uniones Soldadas*", URMO, S.A. De Ediciones, Bilbao, España, 1981, Capítulo V, Pag 116.

[8-8] Matlab Profesional Edition. Release 5.2.

[8-9] Matlab Profesional Edition. Release 5.2.

CAPÍTULO IX

Protección Radiológica

9.0 GENERALIDADES.

Todo material o fuente emisora de radiaciones ionizantes debido a su naturaleza necesita tener un manejo y tratamiento especial que permita eliminar cualquier nivel de peligro y garantizar con esto la integridad física del Personal Ocupacionalmente Expuesto (POE) y del público en general. Por lo tanto se debe tener un conocimiento claro sobre aspectos tales como: niveles permisibles de exposición personal, efectos biológicos debido a sobre exposición, medición de la radiación entre otras.

Debido a lo anteriormente expuesto, en el presente capítulo luego de conocer la forma en que se producen las radiaciones ionizantes (véase CAPÍTULO II) se abordarán aspectos esenciales tales como:

- Efectos debido a las radiaciones ionizantes
- Cálculo de dosis permisibles
- Procedimientos en actividades de gammagrafía industrial.

Abordando en cada uno de estos los diferentes aspectos de interés.

9.1 EFECTOS BIOLÓGICOS DE LAS RADIACIONES IONIZANTES. ⁽⁹⁻¹⁾

Los efectos biológicos de las radiaciones se producen como consecuencia de la ionización de los átomos que conforman las biomoléculas produciendo cambios químicos que alteran o erradican las funciones que ellas desempeñan. La energía transmitida por la radiación puede actuar de manera directa sobre la molécula biológica causando la ionización o de manera indirecta, a través de los radicales libres que surgen por la ionización de las moléculas del agua que la rodean. Los procesos de absorción de energía, ionización y excitación, así como las alteraciones bioquímicas que desencadenan

las respuesta del organismo ocurren en un intervalo de tiempo muy breve, el que se cuenta en fracciones de segundo . sin embargo, los cambios que se producen se manifiestan a escala celular, tisular y así sucesivamente hasta el nivel de organismo, de manera inmediata o a largo plazo.

Como consecuencia de la ionización las proteínas pierden la funcionalidad de los grupos amino y cambian incrementando su reactividad química, las enzimas se inactivan, los lípidos sufren peroxidación, los carbohidratos se desagregan y los ácidos nucleicos sufren rupturas de sus cadenas y modificaciones en su estructura. Del conjunto de alteraciones posibles, actualmente se considera que las que más influyen sobre la sobrevivencia y el funcionamiento celular son las modificaciones que tiene lugar en el ADN, por lo que éste se considera el blanco principal de las radiaciones. El ADN contiene la información genética que permite el funcionamiento de las células y su reproducción.

Después que se ha producido la irradiación, los mecanismos enzimáticos y de reparación pueden conducir a la reparación correcta del ADN y de esta forma, las células sobreviven sin modificaciones en sus funciones y estructura genética. Cuando los daños se reparan de manera errónea, las células pueden sobrevivir pero con modificaciones en su composición genética y por lo tanto en sus funciones. Lo que ha ocurrido es una mutación que pueden estar localizada en una célula somática y dar lugar a un cáncer o en una célula germinal y dar lugar a un efecto hereditario. Las mutaciones son modificaciones en los genes que provocan cambios en las funciones enzimáticas originales con la consiguiente alteración metabólica que se manifiesta en la síntesis de proteínas. Los efectos que así se producen se reconocen como efectos **estocásticos** y sus manifestaciones tienen lugar a largo plazo.

Cuando los daños no pueden ser reparados se produce la muerte celular. La muerte celular puede ser definida como la pérdida de una función específica para las células diferenciadas que no proliferan, tales como las nerviosas, musculares o secretorias. Para células proliferantes, tales como las células primordiales hematopoyéticas o las células que crecen en medios de cultivo, la muerte celular es la pérdida de la capacidad de proliferación sostenida o la pérdida de la integridad reproductora.

La radiosensibilidad celular ha sido mejor estudiada en células proliferasteis. En estas células, ella depende de varios factores siendo los más importantes la capacidad proliferativa, el grado de especialización celular, la fase del ciclo celular en la cual ocurre la irradiación, el tipo de radiación ionizante que se utiliza, la tasa de dosis y el fraccionamiento de la dosis. Generalmente la radiosensibilidad celular es directamente proporcional a la velocidad de división celular e inversamente proporcional al grado de especialización celular. Esto explica por qué los tejidos que mantienen una renovación celular permanente son más radiosensibles que aquellos que no la tienen. En cuanto al ciclo celular, las células son más sensibles durante la mitosis (división celular) que en las etapas que la preceden durante las cuales están activados los mecanismos de reparación. Las radiaciones son más eficaces desde el punto de vista biológico mientras mayor sea su transmisión lineal de energía, mayor la tasa de dosis a la cual se suministra y menor el intervalo de tiempo entre una y otra exposición. En el organismo humano se pueden considerar de alta radiosensibilidad los linfocitos, las células inmaduras de la médula ósea y las células del epitelio intestinal; de considerable radiosensibilidad las células del cristalino, de las paredes estomacales, del esófago, la boca y la piel; de radiosensibilidad intermedia son las células del hígado, del riñón, los pulmones y la tiroides; y de baja radiosensibilidad son las células rojas de la sangre, las células musculares, óseas y nerviosas.

Los tejidos pueden mantener su funcionamiento con la pérdida de un determinado número de células. En los tejidos proliferasteis, la división celular atenúa estas pérdidas, sin embargo cuando los daños producidos por las radiaciones son de tal magnitud que el número de células que mueren es muy

elevado y no hay compensación por la renovación celular, el tejido no puede mantener su funcionamiento. Este tipo de efecto se denomina efecto **determinístico** y si ocurre en un tejido vital puede producir la muerte.

9.1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS EFECTOS BIOLÓGICOS ^[9-2].

Como vimos, los efectos de las radiaciones se clasifican en **determinístico** y **estocásticos**. Son **determinísticos** aquellos efectos que se producen a partir de una dosis denominada umbral, la severidad y la frecuencia de estos efectos aumenta con la dosis y la tasa de dosis (ver FIGURA-9-1). El número de células afectadas influye proporcionalmente en la severidad del efecto. Se pueden producir con distintos períodos de latencia, por lo que se distinguen efectos tempranos, que se detectan en pocos días o semanas y efectos tardíos no malignos que aparecen meses o años después de la irradiación. Teniendo en cuenta que existen diferencias en la radiosensibilidad de individuos de una misma población, se entiende como **dosis umbral**, aquella que produce el efecto en el 1-5% de los individuos expuestos. Ejemplos de efectos determinísticos son el eritema (inflamación superficial de la piel), la depresión de la médula ósea, las cataratas, la esterilidad temporal y la irreversible, siendo el efecto determinístico más severo la muerte.

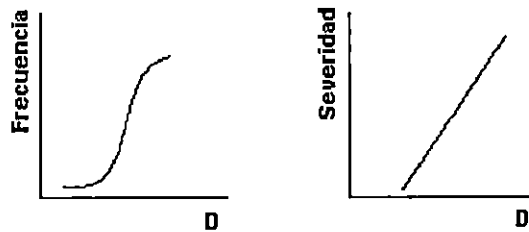


FIGURA 9-1. *Relación entre la frecuencia y la severidad de los efectos determinísticos de las radiaciones ionizantes con la dosis.*

Existe cierta incertidumbre sobre los umbrales de dosis letales en el hombre debido a que influye el estado general de salud, la asistencia médica recibida y otros factores individuales, se pueden afirmar que dosis entre 3-5 Gy pueden causar la muerte del 50% de los individuos expuestos en un plazo de 1 ó 2 meses, entre 6-10 Gy aumenta el porcentaje de letalidad y disminuye el tiempo en que puede ocurrir la muerte. En este rango de dosis (3-10 Gy) la causa principal de muerte es la afectación de la médula ósea. Esto se conoce como síndrome hematopoyético. Dosis mayores que 10 Gy causan la muerte en 1-2 semanas como consecuencia de la afectación del tracto gastrointestinal (síndrome gastrointestinal) con escasas probabilidades de sobrevivencia. Dosis mayores de 50 Gy causan la muerte en horas o días como consecuencia de la afectación del sistema nervioso central (síndrome cerebral) sin posibilidades de sobrevivencia.

Estocásticos o probabilísticos son aquellos efectos para los cuales no existe dosis umbral. La posibilidad de su surgimiento aumenta con la dosis, su severidad no varía con el aumento de la dosis y ocurre en un plazo relativamente largo después de ocurrida la exposición (ver FIGURA 9-2).

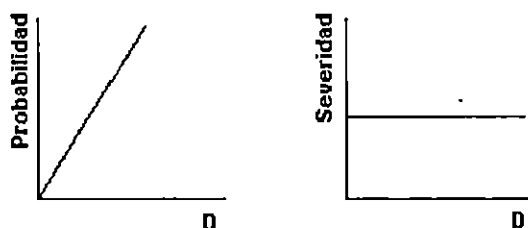


FIGURA 9-2. Relación entre la probabilidad de ocurrencia y la severidad de los efectos estocásticos con la dosis.

Los efectos hereditarios son efectos estocásticos que se manifiestan en la descendencia de los individuos irradiados y no deben confundirse con los que se producen como resultado de la exposición durante el desarrollo prenatal. Los efectos hereditarios han sido demostrados en animales y plantas sometidos a altas dosis de radiación. No existen evidencias conclusivas de los mismos en seres humanos.

9.1.2 INDICADORES BIOLÓGICOS DE DAÑO POR RADIACIÓN. ^[9-3]

Aun cuando existen regulaciones para el trabajo seguro con las fuentes no se puede excluir la ocurrencia de accidentes durante los cuales trabajadores ocupacionalmente expuestos o individuos de la población pueden recibir dosis de radiación por encima de los límites establecidos. Los indicadores biológicos juegan en estos casos un papel importante en el esclarecimiento de la gravedad del daño inducido y en algunos casos permiten establecer la dosis de radiación recibida por sobreexposición.

Dentro de los **indicadores biológicos** se distinguen los clínicos y los que pueden ser observados mediante pruebas de laboratorio. Los indicadores clínicos se dividen en varios tipos según sus manifestaciones, las que pueden ser gastrointestinales, cardiovasculares y neuromusculares. Dentro de los indicadores gastrointestinales se encuentran, las náuseas, vómitos, las diarreas y la anorexia; y dentro de los neuromusculares, el cansancio, la apatía, la indiferencia, la sudoración, la fiebre y el dolor de cabeza. Como se muestra en la TABLA 9-1, el daño provocado por una sobreexposición se puede pronosticar por el tiempo transcurrido entre la irradiación y la aparición de los síntomas. En general, mientras más estables sean y menor el tiempo de aparición, mayor es la dosis de radiación y el peligro para la vida del accidentado.

Dosis [Gy]	Síntomas Iniciales		Período Crítico	Pronóstico Pos-exposición	Letalidad	
	% de Incidencia	Tiempo de Manifestación			Por ciento	Tiempo Pos-exposición
>50	100	Minutos	1 – 48 h	Sin esperanza	100	1 – 48 h
10-15	100	30 minutos	5 – 14 días	Muy malo	90 – 100	2 semanas
5-10	100	.05 – 1 h	2 – 6 semanas	Reservado	0 – 90	Semanas o meses
2-5	50 - 90	1 – 2 h	2 – 6 semanas	Reservado	0 – 90	Semanas o meses
1-2	0 - 50	> 5 h	-	Excelente	-	-
0-1	0 – 10	-	-	Excelente	-	-

TABLA. 9-1. Pronóstico del daño provocado por sobreexposición a radiaciones, mediante indicadores químicos.

Los *indicadores biológicos* más importantes que pueden ser observados mediante pruebas de laboratorio son los *citogenéticos, los hematológicos y los bioquímicos*.

Los indicadores citogenéticos constituyen en la actualidad los dosímetros biológicos más eficaces. Ellos basan su funcionamiento en el brusco incremento de la frecuencia de aberraciones cromosómicas, particularmente de los dicéntricos en los linfocitos de la sangre producto de la exposición a radiaciones. Con este indicador se pueden estimar dosis del orden de los 100 mGy de radiación gamma, así como establecer si la dosis de radiación recibida en un accidente fue homogénea o no, y en este último caso, evaluar el volumen del cuerpo irradiado.

A partir de 1 Gy, los **indicadores hematológicos** utilizan como referencia las variaciones en el número de células de la sangre y pueden ofrecer información sobre la dosis y la gravedad de la afectación.

Los **indicadores bioquímicos** basan su funcionamiento en las fluctuaciones de determinados metabolismos en la orina y la sangre de los individuos irradiados. No son sumamente útiles como dosímetro pero ofrecen al médico información cualitativa sobre el estado del accidentado. Entre estos indicadores se encuentran la creatina/creatinina, la taurina y la alfa-amilasa.

9.2 MAGNITUDES Y UNIDADES EMPLEADAS EN LA DOSIMETRÍA Y LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA.

Nuestros órganos de los sentidos no son capaces de percibir las radiaciones ionizantes. Es por ello que su detección se realiza de forma indirecta a partir de sus efectos. Para medir es necesario conocer las magnitudes que caracterizan la fuente, el campo de radiaciones y su interacción con los diferentes materiales, especialmente los efectos biológicos.

9.2.1 RADIATIVIDAD Y PERÍODO DE SEMIDESTRUCCIÓN.^{[9-4] y [9-5]}

Las magnitudes que caracterizan la fuente de radiación y que nos interesan a los fines de la protección radiológica son: su radiactividad (véase apartado 2.6) y su **período de semidesintegración** (véase apartado 2.7).^[9-6]

9.2.2 DOSIS ABSORBIDA, KERMA Y RÖENTGEN^[9-7].

Las magnitudes de dosis que interesan a los efectos de la dosimetría son **la dosis absorbida, la kerma y la exposición**. Dichas magnitudes físicas se detallan a continuación.

9.2.2.1 DOSIS ABSORBIDA.^[9-8]

La **dosis absorbida** se define como la relación entre la energía media absorbida por un volumen elemental de masa y la masa de dicho volumen:

$$D = \frac{dE}{dm} \left[\frac{J}{Kg} \right] \quad (9-1)$$

donde dE es la energía media impartida por la radiación ionizante al material de masa dm. El

nombre especial de la unidad de dosis absorbida es gray (Gy), siendo: $1 \text{ Gy} = 1 \text{ J/kg}$. El gray reemplaza al rad como unidad de dosis absorbida, siendo: $1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ Gy}$. Esta última unidad no pertenece al SI, por lo que su uso no es aconsejable.

De acuerdo con lo expuesto anteriormente, la dosis absorbida es la energía que el material irradiado ha "absorbido" (como energía de ionización y excitación) por su unidad de masa. El incremento de las dosis absorbida en la unidad de tiempo se denomina tasa de dosis absorbida, siendo su unidad el $\text{J. Kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$.

La kerma⁽⁹⁻⁵⁾ en un punto dado se define como:

$$K = \frac{dE_k}{dm} \left[\frac{\text{J}}{\text{Kg}} \right] \quad (9-2)$$

donde dE_k es la suma de todas las energía cinéticas iniciales de las partículas cargadas liberadas por las partículas no cargadas de las radiaciones ionizantes en el medio cuya masa es dm . La kerma se define para un material determinado, aunque puede definirse para un material específico en un medio dado, por ejemplo: kerma en tejidos blandos en un medio circundante acuoso. El nombre especial de la unidad de kerma es gray (Gy).

$$1 \text{ Gy} = 1 \text{ J. Kg}^{-1}$$

La exposición (X) como magnitud física, no como "estar expuesto a" es una de las magnitudes dosimétrica más antigua. Conceptualmente, es una magnitud que evalúa la intensidad de un campo de radiación electromagnética ionizante (radiación X o γ). Actualmente, tiende a ser reemplazada por la kerma en aire. Se define la exposición como:

$$X = \frac{dQ}{dm} \left[\frac{\text{C}}{\text{Kg}} \right] \quad (9-3)$$

Donde dQ es el valor absoluto de la carga eléctrica total de los iones de un mismo signo (por ejemplo, de carga eléctrica negativa) producida en una masa de aire dm cuando todos los electrones liberados por fotones son completamente frenados en ella. La unidad tradicional de exposición es el roentgen (R), siendo: $1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C.kg}^{-1}$. el roentgen no pertenece al SI por lo que su uso no se recomienda.

Para los fines de la protección radiológica, se hace necesario disponer de magnitudes que tengan en cuenta los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes, particularmente a bajas dosis y bajas tasas de dosis, que es la condición normal de exposición. Como ya vimos, los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes en el hombre suelen clasificarse en determinísticos y estocásticos (o probabilísticos). A efecto de introducir las primeras magnitudes de protección radiológica, basta recordar que mientras los efectos determinísticos sólo se producen si la dosis excede un valor dado llamado umbral, para los efectos estocásticos este umbral no existe. Por ello se dice que la protección radiológica tiene por objeto evitar la ocurrencia de los efectos determinísticos y limitar a un nivel razonable el riesgo de efectos estocásticos. En otras palabras, en el rango de dosis de cero a los límites de dosis para trabajadores, se evitan totalmente los efectos determinísticos y se limita la probabilidad de ocurrencia de algún efecto estocástico grave (cáncer, efectos hereditarios) de manera tal que el riesgo es comparable con los riesgos ocupacionales en actividades laborales considerada seguras. Por supuesto que a los individuos más expuestos del público les corresponden límites de dosis muy inferiores a los aplicables a trabajadores.

Para medir los efectos estocásticos de las radiaciones, se definen dos magnitudes básicas: la dosis equivalente y la dosis efectiva.

Dosis equivalente: Esta magnitud se define para un órgano o tejido determinado como:

$$H_T = \sum_R W_R D_{T,R} \left[\frac{J}{Kg} \right] \quad (9-4)$$

donde $D_{T,R}$ es el promedio de la dosis absorbida de radiación R en el órgano o tejido T y W_R es el factor de ponderación para la radiación R, el valor del factor de ponderación ha sido seleccionado por la ICRP para un tipo específico de radiación y una energía dada para valores representativos del efecto biológico relativo (RBE) de dicha radiación para la ocurrencia de efectos estocásticos a bajas dosis. Si el campo de radiaciones está compuesto por varios tipos de radiaciones ionizantes con distintos valores de W_R se determina la fracción de la dosis absorbida para cada valor de W_R y se realiza la suma indicada anteriormente. El nombre especial de la unidad de dosis equivalente es el sievert (Sv). En la TABLA 9-2 se muestran los valores recomendados por la ICRP para los factores de ponderación de las radiaciones.

Dosis efectiva: la probabilidad de ocurrencia de efectos estocásticos dependerá de la dosis equivalente en cada órgano o tejido irradiado; por ello, para estimar el riesgo total al organismo producto de la combinación de diferentes dosis en los distintos órganos del cuerpo humano, se define la magnitudes dosis efectiva de la siguiente manera:

$$E = \sum_T W_T H_T \left[\frac{J}{Kg} \right] \quad (9-5)$$

Tipo y Rango Energético	Factor de Ponderación de la radiación.
Fotones de todas las energías	1
Electrones y muones de todas las energías	1
Neutrones de energías:	
< 10 kev	5
10 kev a 100 kev	10
100 kev a 2 Mev	20
2 Mev a 20 Mev	10
> 20 Mev	5
Protones (no de retroceso), de energía > 2 Mev	5
Partículas alfa, fragmentos de fisión, núcleos pesados	20

TABLA 9-2. Factores de ponderación para diferentes tipos de radiaciones

donde H_T es la dosis equivalente en el tejido T y W_T es el detrimento relativo que indica la contribución del órgano o tejido T al detrimento total tras una irradiación uniforme de todo el cuerpo. La unidad especial de dosis efectiva es el sievert (Sv). Los valores recomendados de los factores de ponderación para órganos y tejidos que se dan en la TABLA 9-3 fueron calculados por la ICRP teniendo en cuenta cuatro componentes del detrimento:

- la probabilidad de aparición de un cáncer fatal;
- la probabilidad ponderada para el surgimiento de un cáncer no fatal;
- la probabilidad ponderada para el surgimiento de efectos hereditarios severos;
- la pérdida promedio de años de vida por cada tipo de cáncer.

Órganos o tejidos	Factor de ponderación para tejido
Gónadas	0.20
Médula ósea roja	0.12
Colon	0.12
Pulmones	0.12
Estómago	0.12
Vejiga	0.05
Mamas	0.05
Hígado	0.05
Esófago	0.05
Tiroides	0.05
Piel	0.01
Superficie Ósea	0.01
Resto del cuerpo	0.05

TABLA 9-3. Factores de ponderación para tejidos.

9.2.3 DEFINICIÓN DE UNIDADES PARA LA RADIACIÓN. ^[9-10]

En los últimos años las unidades de medición de la radiación y los conceptos relacionados han sufrido modificaciones. Usualmente son utilizadas tres unidades para las radiaciones: aunque últimamente se está tratando de hacer uso de las unidades del Sistema Internacional.

9.2.3.1 DEFINICIÓN DE RÖENTGEN. ^[9-11]

El **Roentgen**, es utilizado para medir la exposición; el **Rad**, para medir la dosis absorbida; y el **Rem**, para la dosis biológica. Inicialmente, el término dosis fue empleado indistintamente para especificar a ambos: exposición y dosis absorbida, sin embargo, de acuerdo a los conceptos actuales, el término exposición se relaciona a lo que se entendía como dosis de exposición y el término dosis se relaciona al concepto de dosis absorbida, así la unidad para la exposición es el Roentgen y para la dosis absorbida, la unidad de medida es el Rad.

El Roentgen fue inicialmente definido en 1928 y fue aplicable a rayos X solamente. Posteriormente, en 1937, fue redefinido de tal forma que se incluyera la radiación Gamma, definiéndose como "La cantidad de rayos X o rayos Gamma tal que la emisión corpuscular por 0.001293 gramos de aire, produce en este aire una cantidad de carga igual a una unidad electrostática de carga.

En sentido estricto, el Roentgen no es una unidad de radiación, ya que describe el número de fotones en el rayo, no su energía. Exactamente, mide el efecto de la radiación en 1 centímetro cúbico de aire, a una presión atmosférica normal. Puede ser demostrado que un Roentgen de rayos X o rayos Gamma resulta en la absorción de 86.9 erg/g de aire. En sustancias de diferente número atómico y diferente densidad, la cantidad de energía absorbida por unidad de masa será diferente.

9.2.3.2 DEFINICIÓN DEL RAD. ^[9-12]

El término roentgen es aplicable solamente a mediciones en aire de rayos X y Gamma, con energías hasta de 3 MeV, sin embargo, la ionización en los tejidos también puede ser producida por otros tipos de radiación, tales como las partículas beta, alfa, neutrones o protones. Como la radiación tiene que ser medida en términos de la energía absorbida en el medio de interés, fue necesario

introducir una unidad la cual dependa solamente de la cantidad de energía absorbida por unidad de masa del material irradiado, y no de la energía o tipo de radiación o de la naturaleza del absorbedor. Como resultado del requerimiento anterior, la "Comisión Internacional de Medición de Unidades Radiológicas", introdujo el concepto de "dosis absorbida" (actualmente llamada dosis), y ésta es definida como la cantidad de energía impartida a la materia por partículas ionizantes por unidad de masa del material irradiado en el lugar de interés. El Rad es la Unidad de dosis y es igual a 100 ergio/gramo.

9.2.3.3 DEFINICIÓN DEL REM Y EFECTIVIDAD BIOLÓGICA RELATIVA (RBE).^[9-13]

Desde el punto de vista biológico, la evidencia demuestra que los efectos debidos a diferentes tipos de radiación ionizante no son los mismos; se puede asumir que la radiación producirá un cambio en un sistema solamente en virtud de la energía absorbida. Sin embargo, puede también depender de la distribución espacial de la energía liberada a lo largo de la trayectoria de la partícula ionizante. Dependerá, por lo tanto, del tipo de radiación así como de la calidad de ésta.

La efectividad biológica relativa, es un término usado para especificar las variaciones en los grados de efectividad de diferentes tipos de radiación, y se define como sigue:

$$RBE = \frac{\text{Dosis de 250Kv de Rayos X para producir cierto efecto biológico}}{\text{Dosis de una radiación dada para producir igual efecto biológico}} \quad (9-6)$$

Por lo tanto, el efecto biológico de una radiación dada depende no sólo de la dosis absorbida, sino también del valor RBE de esa radiación particular. Para tomar en cuenta este nuevo factor, una nueva unidad fue definida, esta unidad fue el REM (Röntgen Equivalent Man).

El REM puede definirse como la dosis de radiación ionizante, la que cuando es liberada sobre el hombre o un mamífero, es biológicamente equivalente a la dosis de un Rad de rayos X o rayos Gamma, entonces:

$$REM = (\text{Dosis en rad}) \cdot RBE \quad (9-7)$$

9.3 EQUIVALENCIAS ENTRE LAS UNIDADES RADIOLÓGICAS DEL SISTEMA DE UNIDADES CGS Y EL S.I. DE UNIDADES.

Anteriormente las unidades mas ampliamente utilizadas eran las del sistema CGS , utilizando el Ci para la actividad, el Roentgen para la exposición, el Rad para la dosis absorbida y el Rem para la dosis equivalente teniendo estos sus equivalentes en el sistema SI, como se muestra en la tabla

Magnitud Física	Sistema de unidades CGS	Sistema Internacional de Unidades (S.I.)
Energía	eV	eV
Radiactividad	Curie [Ci]	Becquerel [Bq]
Exposición	Roentgen [R]	C/Kg
Dosis absorbida	Rad	Gy
Dosis Biológica (Equivalente)	Rem	Sv
Dosis Efectiva	Rem	Sv
Periodo de Semidesintegración	Segundos [s]	Segundos [s]
Kerma	-	J/Kg

TABLA 9-4. Correspondencia para las unidades radiológicas en los sistemas CGS y S.I.

Magnitudes Físicas	Equivalencias
Radiactividad	$1 \text{ Bq} = \frac{1}{s}$ $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$
Exposición	$1 \text{ Röentgen} = 2.84 \times 10^{-4} \frac{C}{Kg}$
Dosis	$1 \text{ Rad} = 1 \frac{\text{ergio}}{gr}$ $1 \text{ Rad} = 10^{-2} \text{ Gy}$ $1 \text{ Gy} = 1 \frac{J}{Kg}$ $1 \text{ Sv} = 1 \text{ Gy}$ $1 \text{ Rem} = 1 \text{ Rad} \cdot \text{RBE}$
Cuando las dosis de exposición y de absorción se realizan en el cuerpo humano y solamente para el caso de las radiaciones β , X y Gamma, son válidas las siguientes correspondencias.	$1 \text{ rad} = 1 \text{ Röentgen}$ $1 \text{ Röentgen} = 1 \text{ rem}$ $1 \text{ Röentgen} = 1 \text{ cGy} = 1 \text{ cSv}$

TABLA 9-5. Equivalencia de Unidades.

9.4 MÉTODOS DE MEDICIÓN E INSTRUMENTACIÓN

Los métodos de medición de las magnitudes que caracterizan las radiaciones ionizantes se fundamentan en la detección de los efectos y de las partículas secundarias surgidos durante los procesos de ionización del medio al paso de las radiaciones, es decir, se basan en la interacción que tiene lugar entre las radiaciones ionizantes y la materia, el hecho de comprender fenómenos tales como el efecto fotoeléctrico, el efecto Compton y otros estudiados en el apartado (2-4), facilita el comprender el principio de funcionamiento de los instrumentos en cuestión. Existen diferentes aparatos utilizados en la detección de las radiaciones ionizantes (véase FIGURA 9-3), siendo los más empleados: los medidores de cámaras de ionización, los contadores Geiger – Müller, la dosimetría filmica (películas fotográficas), los medidores de dosimetría TLD (detectores termoluminiscentes) y los monitores personales [9-14] y [9-15].

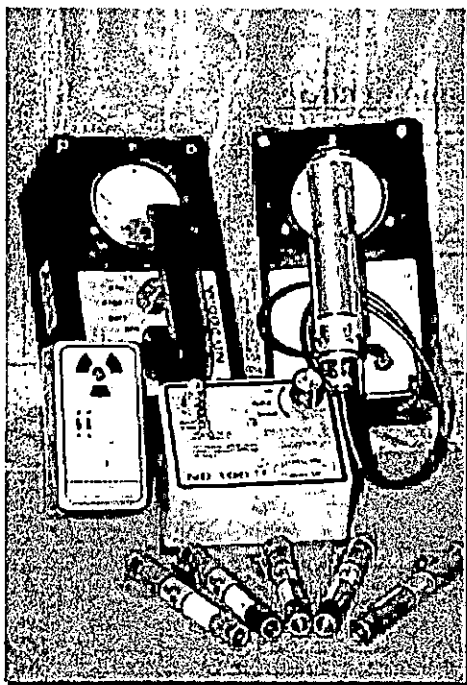


FIGURA 9-3. Instrumentos utilizados para la medición de Tasas de Dosis. [9-16]

Un detector o sistema de detección se denomina dosímetro cuando es calibrado en alguna magnitud dosimétrica, o sea, cuando su respuesta o indicación se hace corresponder con el valor numérico de la magnitud de la dosis absorbida .

9.4.1 CÁMARAS DE IONIZACIÓN.

Las cámaras de ionización son detectores de radiación cuyo principio de funcionamiento se basa en el registro de las cargas eléctricas producidas en un gas al paso de las radiaciones ionizantes, tal y como el que se aprecia en la siguiente FIGURA:

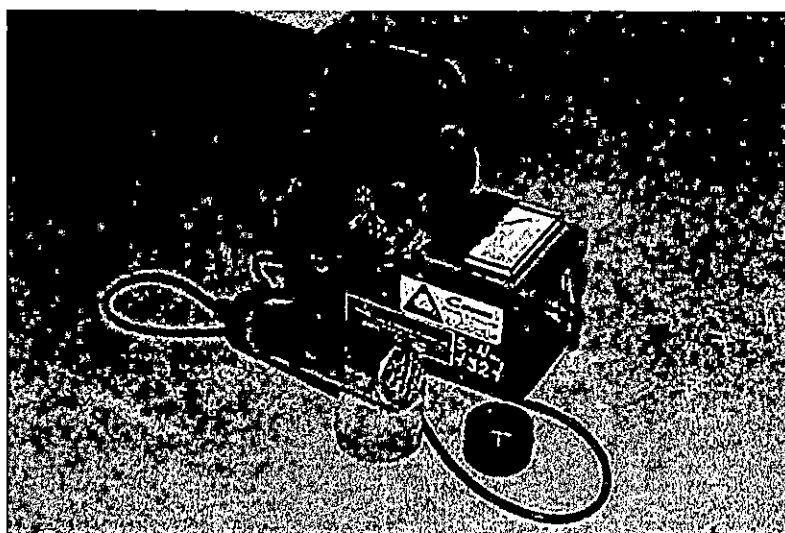


FIGURA 9-4. Fotografía de un medidor de Radiación de cámara de ionización. [9-17]

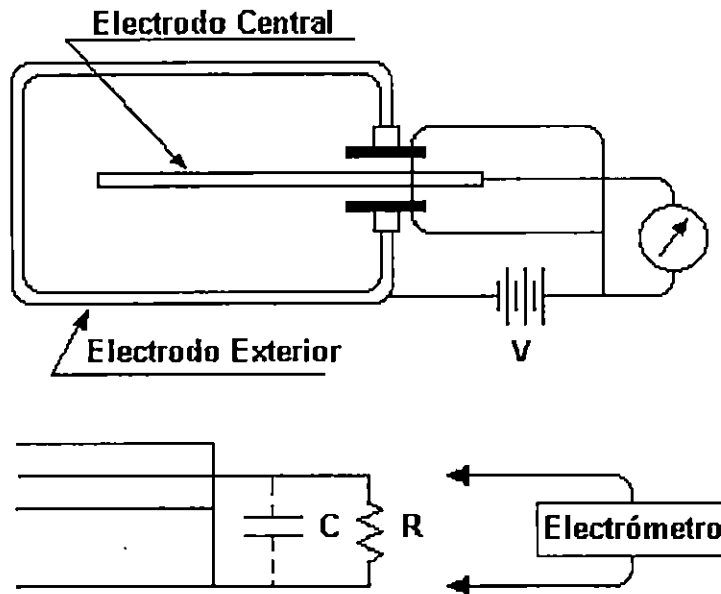


FIGURA 9-5. Esquema de una cámara de ionización. [9-18]

Como se muestra en la FIGURA 9-5 estos detectores constan de una cámara que contiene al gas o medio de detección y un par de electodos para la colección de las cargas eléctricas. La pared interior de la cámara se recubre con un material conductor que hace la función de electrodo. El otro electrodo se sitúa en la parte central de la cavidad. La electrónica asociada debe ser capaz de cuantificar corrientes muy pequeñas, por lo que requiere determinados componentes específicos que elevan los costos de los equipos.

9.4.2 CONTADORES GEIGER- MULLER.

Al igual que las cámaras de ionización los contadores Geiger – Müller basan su principio de funcionamiento en la ionización gaseosa al paso de las radiaciones ionizantes (ver FIGURA 9-6).



FIGURA 9-6. Fotografía de un Contador Geiger- Muller. [9-19]

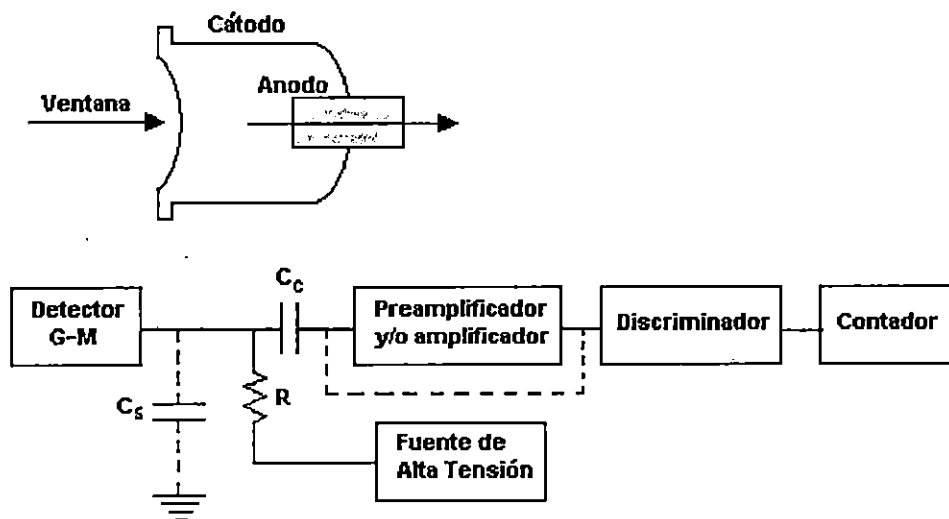


FIGURA 9-7. Esquema de un contador Geiger – Müller.^[9-20]

Se diferencian de los primeros en la gran intensidad del campo eléctrico aplicado entre sus electrodos, lo que provoca la amplificación de los impulsos eléctricos en el propio detector (véase FIGURA 9-7). En los contadores Geiger, la amplitud de los impulsos eléctricos no dependen de la energía de la radiación incidente, por lo que en sus inicios estos equipos eran utilizados sólo para la detección cualitativa de los campos de radiación. Actualmente existen detectores en el mercado contruidos con contadores Geiger – Müller cuyas paredes exteriores están cubiertas por diferentes materiales de forma tal que proporcionan una compensación energética adecuada para las mediciones de determinadas magnitudes dosimétricas. Los costos de estos equipos son relativamente bajos y encuentran diversas aplicaciones: medidores de contaminación superficial, alarmas gamma, equipos medidores de tasas de dosis, etc.

9.4.3 DOSIMETRO DE PELÍCULA

La dosimetría filmica basa su principio de funcionamiento en la acción que sobre las películas fotográficas ejerce el paso de las radiaciones ionizantes. La película se coloca en una envoltura especial para impedir su velado por la luz natural y después se coloca dentro de una cubierta plástica especialmente diseñada con un sistema de filtros contruidos de diferentes materiales y cuyos objetivos son:

- facilitar la respuesta homogénea del detector para diferentes energías de las radiaciones;
- discriminar los diferentes tipos de radiaciones incidentes y sus energías y
- detectar la dirección de incidencia de las radiaciones.

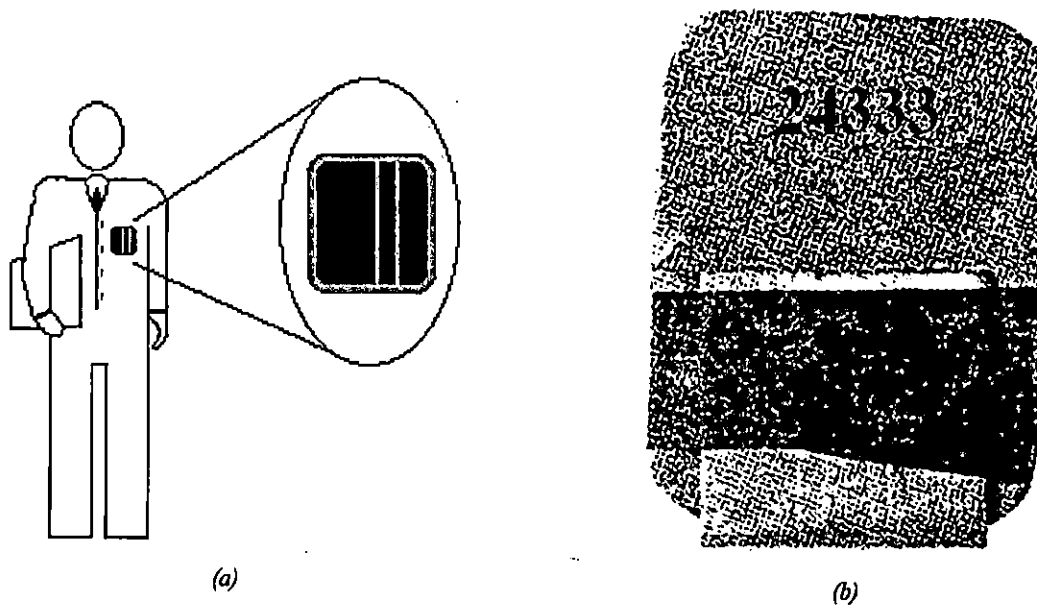


FIGURA 9-6. Dosímetro Personal de Película.

(a) Figura en la cual se muestra un individuo portando un dosímetro de película.

(b) En la figura se observa una película para dosimetría, envuelta en un sobre de color gris claro, la cual ha sido sujeta a una tableta con cinta adhesiva.

Mientras mayor sea el ennegrecimiento de la película revelada mayor será la dosis absorbida por el detector. Los dosímetros filmicos no se emplean para cuantificar las dosis de radiaciones alfa o beta de baja energía pues éstas no pueden atravesar el papel especial que protege la película de la luz.

9.4.4 DOSIMETROS TERMOLUMINISCENTES (TLD)

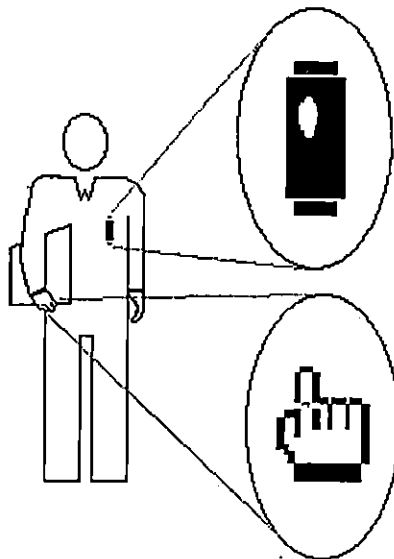


FIGURA 9-7. Dosímetro TLD empleado en el control individual.

El dosímetro de la parte superior de la figuras es un dosímetro TLD dentro de su cubierta plástica.

El dosímetro de la parte inferior, es un dosímetro TLD en forma de anillo para la dosimetría de extremidades (abajo).

La dosimetría TLD se basa en la propiedad que presentan numerosos materiales sólidos de almacenar la energía impartida por las radiaciones ionizantes y emitirla en forma de luz al ser calentados. La cantidad de luz emitida por los detectores TLD al ser calentados a temperaturas en el intervalo de 220° C a 300 °C es proporcional a la dosis de radiación que absorbieron. El material termolumiscente más empleado en la dosimetría personal es el fluoruro de litio (LiF) al cual se le añaden pequeñas cantidades de talio, magnesio o titanio. Estos detectores pueden estar en forma de pastillas compactas o en forma de polvo. Cada dosímetro TLD puede emplearse varias veces, pues una vez calentados por encima de determinadas temperaturas, recuperan su estado inicial y quedan listos para nuevas aplicaciones. En la FIGURA 9-7 se muestran los dosímetros TLD empleados en la dosimetría individual.

9.4.5 MONITORES PERSONALES

En los monitores personales (véase FIGURA 9-8) las lecturas se hacen directamente por la vista. La indicación es la dosis acumulada. La indicación es producida en la cámara de ionización de la cual el electroscopio es una parte. La cámara de ionización está llena de aire a través del cual pasará la radiación y producirá la ionización.

Una de las fibras es fija y la otra es móvil. Contienen cargas iguales inicialmente y por tanto, la fibra móvil es repelida. Con el paso de la radiación el aire se ioniza, tornándose en conductor y creando un flujo de electrones. Las partículas negativas son entonces atraídas a la carga positiva de las fibras. Cuando los iones negativos llegan a las fibras, proveen una carga y neutralizan una parte de las fibras. Entonces la fibra móvil se aproxima a la fibra fija. Si existe una escala que consiga medir este desplazamiento y ésta está calibrada, podremos leer la radiación acumulada.

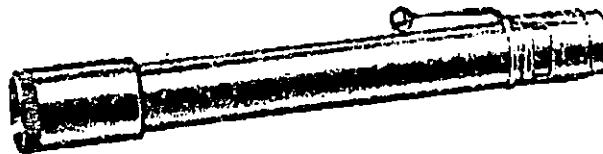


FIGURA 9-8. *Monitor personal de lectura directa.*

9.4.6 MEDIDORES DE CONTAMINACIÓN DE SUPERFICIE.

Este tipo de medidores son necesarios para detectar la contaminación debido a fuentes radiactivas no selladas (polvos, líquidos o gases) este tipo de medidores poseen un detector altamente sensitivo capaz de detectar una fuga o un derrame.

Cuando el detector es colocado cerca de la superficie contaminada brindará una lectura en cuentas por segundo (CPS o 1/s) o algunas veces cuentas por minuto (CPM o 1/ min).

Es necesario que estos aparatos sean calibrados de acuerdo a la sustancia para la que se utiliza para que sea capaz de medir la cantidad de sustancia radioactiva por unidad de área (Bq/cm²).

Existen diferentes tipos de medidores variando únicamente en su sensibilidad de detección, por lo

cual dos instrumentos con diferente sensibilidad brindarán una lectura diferente de una misma superficie, o en alguno de los casos pueda ser que alguno no detecte nada.

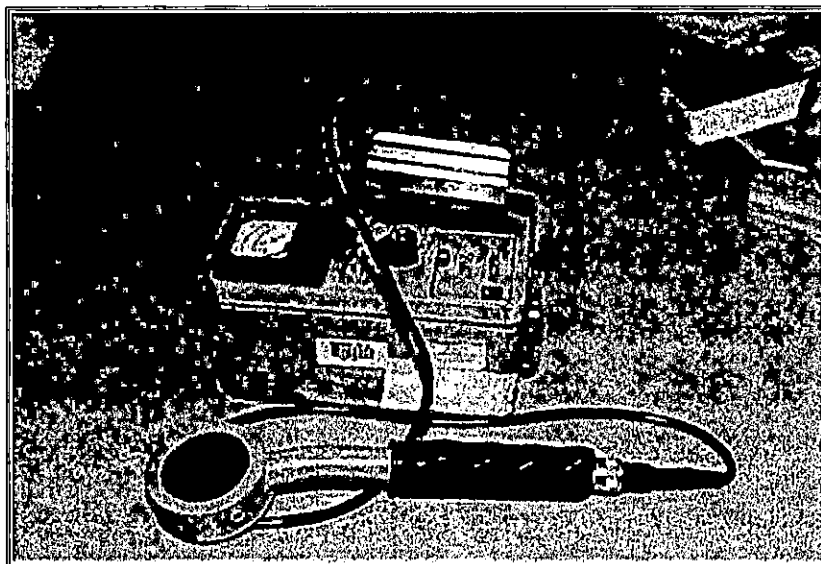


FIGURA 9-9. *Medidor de Contaminación de superficies.*^[9-21]

Para la selección de este tipo de instrumentos es necesario tomar en cuenta el tipo de sustancias radiactiva a medir.

9.5 EXPOSICIÓN A RADIACIÓN Y TASA DE EXPOSICIÓN.

Un requerimiento fundamental de protección radiológica, cuando se trata con fuentes radiactivas, es el conocimiento de la tasa de exposición asociada con la fuente que está siendo usada. Para ciertas fuentes de radiación, la tasa de exposición a una distancia específica es conocida, pero en otros casos es necesario calcularla o medirla.

Isótopo	Vida Media	Energía (MeV)	Tasa de exposición a 1 m (R/hCi)
Na-22	2.6 años	1.3	1.32
Na-24	15h.	1.38, 2.76	1.89
K-42	12.4h	1.5	0.15
Cr-51	27d	0.32	0.02
Mn-54	3000d	0.84	0.49
Co-60	5.3 a	1.17, 1.33	1.35
I-130	12.6 h	0.42, 0.74	1.25
I-131	8d	0.08, 0.72	0.225
Cs-137	30 a	0.66	0.33
Ir-192	74 d	0.13, 0.61	0.50

TABLA 9-5. *Tasa de exposición a una distancia de un metro para diferentes fuentes gamma con una actividad de un Curie.*

9.6 CALCULO DE DOSIS

9.6.1 CÁLCULO DE DOSIS POR EXPOSICIÓN EXTERNA PARA LA RADIACIÓN GAMMA

El cálculo de la dosis producida por una fuente de radiación gamma puede resultar muy complejo; sin embargo, en la mayoría de los casos la distancia que existe entre el punto donde se desea conocer la dosis y el centro de la fuente es 10 veces superior a sus dimensiones y entonces se asume que dicha fuente es puntual y que todas las radiaciones provienen de su centro.

Para calcular la dosis que produce una fuente puntual isotrópica de radiación gamma se emplea la siguiente expresión:

$$D = \frac{A_0 \cdot \Gamma \cdot (1 - e^{-\lambda t})}{\lambda \cdot r^2} \quad (9-8)$$

donde:

- Γ : Es la constante gamma de dosis absorbida (Gy. m².Bq⁻¹.s⁻¹)
- A_0 : Es la actividad inicial de la fuente (Bq)
- λ : Es la constante de desintegración radiactiva del radionucleido de interés (s⁻¹)
- t : Es el tiempo de exposición a la fuente (s)
- r : Es la distancia a la fuente (m)

Cuando el producto de $\lambda \cdot t$ es pequeño, puede utilizarse la expresión abreviada:

$$D = \frac{\Gamma \cdot A_0 \cdot t}{r^2} \quad (9-9)$$

Si la magnitud D es dividido entre el tiempo t obtendremos la tasa de dosis recibida en el tiempo en que se permaneció expuesto a la fuente.

$$\frac{D}{t} = \frac{\Gamma \cdot A_0}{r^2} \quad (9-10)$$

La constante gamma es característica para cada radionucleido. En la TABLA 9-6 pueden verse algunos ejemplos de los valores de la constante gamma para los radionucleidos más empleados^[9-22].

Radionucleido	Γ [Gy.m ² .Bq ⁻¹ .s ⁻¹]	Radionucleido	[Gy.m ² .Bq ⁻¹ .s ⁻¹]
K-40	5.67E-18	Cs-134	6.53E-17
Fe-59	4.53E-17	Cs-137	2.34E-17
Co-57	6.90E-18	Ir-192	3.7E-17
Co-58	3.96E-17	Au-198	1.75E-17
Co-60	9.42E-17	Pb-210	1.27E-19
Sr-85	4.26E-17	Ra-226	5.30E-17
Sr-89	3.26E-21	Cr-51	1.28E-18
Tc-99m	5.18E-18	Ni-57	7.87E-17
I-125	5.52E-18	Ga-68	3.89E-17
I-131	1.59E-17	Tc-98	5.82E-17

TABLA 9-6. Constante Gamma de dosis absorbida en el tejido biológico para algunos radionucleidos.

9.6.2 CÁLCULOS DE DOSIS DEBIDA A RAYOS X

La tasas de dosis producidas por los generadores de rayos X a cierta distancia del foco, se pueden predecir con una exactitud razonable para un potencia y corriente del tubo así como una filtración del haz determinados. El rendimiento depende del tipo de generador y del material del blanco. Para cada equipo, en función de los parámetros antes mencionados, existen curvas de rendimiento de las que pueden obtenerse los valores de los tasas de dosis a un metro de distancia del foco (D_{1m}) para una distancia r diferente de 1m, la tasa de dosis puede estimarse con la expresión:

$$D = \frac{D_{1m}}{r^2} \quad (9-11)$$

9.7 REDUCCIÓN DE LA INTENSIDAD DE LA RADIACIÓN CON LA DISTANCIA.

Una vez que la tasa de exposición de una fuente radiactiva ha sido determinada para una cierta distancia, la tasa de exposición a cualquier otra distancia varía inversamente con el cuadrado de la distancia:

$$D_2 = D_1 \left(\frac{d_1}{d_2} \right)^2 \quad (9-12)$$

donde:

- D_1 es la tasa de exposición a una distancia d_1 desde la fuente
- D_2 es la tasa de exposición a una distancia d_2 desde la fuente

Esta fórmula es precisa solamente cuando las dimensiones de la fuente son pequeñas comparadas con las distancias involucradas. Para fuentes de mayor tamaño, el cálculo de la tasa de exposición es una tanto más complejo y es función del ángulo sólido subtendido por la fuente hasta el punto de interés:

$$d = \frac{Ds\phi}{2} \quad (9-13)$$

donde:

- Ds es la tasa de exposición en la superficie de la fuente y
- ϕ es el ángulo sólido subtendido por la fuente, hasta el punto de interés.

Cuando la fuente presente una superficie convexa al punto de interés, se debe garantizar que la altura de la convexidad no exceda alrededor de un quinto de la distancia de la fuente al punto.

La radiación al viajar a través del aire, lo hace en línea recta y la tasa de dosis decrece con el inverso del cuadrado de la distancia desde la fuente, de tal forma que la distancia es un factor muy importante en la reducción de la tasa de dosis. Sí, por ejemplo, tenemos a una distancia de un metro, una tasa de 800 $\mu\text{Sv/h}$, esta tasa se reducirá a 8 $\mu\text{Sv/h}$ a una distancia de 10m.

Los materiales sólidos en la trayectoria de la radiación la atenuarán y también causarán dispersión de ésta en varias direcciones. La dosis real en un punto cualquiera a una distancia de la fuente no será debida solamente a la radiación primaria que llega de la fuente, ya que la radiación dispersada también contribuirá a la tasa de dosis.

Es muy simple calcular la tasa de dosis a una distancia de la fuente, usando la siguiente ecuación (esta ecuación es equivalente a la ecuación 9-10)

$$Tasa\ de\ dosis = \frac{(Factor\ Gamma)\ (Actividad\ de\ la\ fuente)}{(Distancia)^2} \quad (9-13)$$

Factor gamma: el factor gamma (véase TABLA 9-6) es la tasa de dosis absorbida en mSv/h a 1m de distancia de un radionúclido con una actividad de 1 GigaBecquerels; en la fórmula, la actividad de la fuente debe estar en GigaBecquerels y la distancia en m, desde la fuente al punto de interés

Sin embargo, la mejor forma de determinar la tasa de dosis en un punto particular es utilizando un medidor de tasas que sea confiable.

9.8 NIVELES MÁXIMOS PERMITIDOS DE RADIACIÓN.

El hombre está constantemente expuesto a fuentes de radiación natural (rayos cósmicos y radionúclidos naturales). La dosis promedio debido a esta radiación de fondo (Background) es estimada en 100 mRem/ año. Aunque existen lugares en donde ese promedio puede ser de 10 a 30 veces mayor, hay indicadores que señalan que de un 2 al 10% de las mutaciones naturales en el hombre podrían deberse a este background (Radiación de fondo).

Cualquier incremento de los niveles de radiación ambiental debido a fuentes radiactivas hechas por el hombre, supone un riesgo, sin embargo, en el interés del progreso, el uso de la radiación ionizante no puede ser completamente prescindido. La solución a esto es limitar las dosis de radiación a aquellos que podrían involucrarse con el uso de la radiación.

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), ha definido la dosis permisible máxima para un individuo como la dosis acumulada por un largo período de tiempo o como resultante de una exposición individual, la cual a la luz del presente conocimiento involucra una probabilidad baja de ocurrencia de daños somáticos severos (estocásticos) o daños genéticos (determinísticos o probabilísticos).

Posterior al descubrimiento de los rayos X y de la radiactividad, se descubrió que el sometimiento a una intensa exposición de radiación podría resultar en una serie de daños al cuerpo humano (inducción de tumores, eritema de piel, etc).

En 1925 surgió el concepto de **dosis tolerada** (tolerance dose), que fue definida como la dosis que una persona podría ocupacionalmente recibir en forma continua o en repetidos intervalos sin sufrir cambios en la sangre o daños en la piel o en los órganos reproductivos. Para aquel entonces una tasa de exposición de 10^{-5} Roentgen/s fue aceptada como dosis tolerada. En términos de esta misma unidad, se estimó que un eritema de piel sería causado por 600 Roentgen, y la correspondiente tolerancia diaria fue estimada en 200 mRoentgen.

Posteriormente (1936), esta dosis tolerada fue reducida a 100 mRoentgen/día, bajo la consideración de aspectos tales como que cada vez rayos X más energéticos estaban siendo producidos y usados y se aceptó que un mayor porcentaje de la dosis inicialmente superficial fue alcanzado a los órganos internos.

El advenimiento de la era atómica en 1942, resultó en la exposición de un gran número de trabajadores ocupacionales expuestos a la radiación, adicionalmente fue necesario extender el concepto de protección al público en general. Con la introducción del concepto de la efectividad biológica relativa (RBE), la aceptación de nuevas unidades de radiación, en particular el "REM" y el incremento del conocimiento sobre los efectos biológicos de la radiación, se tomaron las siguientes decisiones:

- a) Reducir la "Dosis Tolerada" previamente establecida en un factor de dos a un valor de 50 mrem/d.
- b) Expresar la dosis máxima permisible para un período de una semana (300 mrem/sem).
- c) Considerar la piel como un órgano crítico y fijar la dosis permisible para ella en 600 mrem/sem.
- d) Considerar a los órganos formadores de sangre como los tejidos más críticos y aplicar los límites permisibles de 300 mrem/sem.
- e) Aceptar que la dosis permisible para personas mayores de 45 años de edad sea dos veces mayor que la permitida para jóvenes adultos.
- f) Permitir mayores dosis semanales para manos y pies (1.5 rem/semana).
- g) Recomendar acerca de las exposiciones accidentales involucrando una dosis individual, la cual podría ser a lo sumo 25 rem.
- h) Recomendar un valor de RBE de 1 para rayos X, rayos Gamma y partículas beta, de 5 para neutrones térmicos y 10 para neutrones rápidos y partículas alfa.

Con base a estudios posteriores, sobre irradiaciones de bajo nivel en períodos extendidos de tiempo, el ICRP en 1958 redujo la máxima dosis semanal permisible a un valor de 100 mrem/sem.

Un factor que demandó atención fue la creciente evidencia de que daños genéticos irreversibles podrían resultar de una exposición de los órganos reproductivos a cualquier cantidad de radiación, aun pequeña. Por razones prácticas, la CIPR aceptó una cierta flexibilidad, de tal forma que una dosis acumulativa de 3 rem (por ejemplo en un periodo de 13 semanas), podría ser permitida con la restricción que la dosis anual no debería exceder de 5 rem. Este límite anual de 5 rem fue además sujeto a la flexibilidad que podía ser excedido, si se preveía que la dosis total acumulada a cualquier edad N no excediera el valor de 5 (N-18) rem.

Debe considerarse el hecho que una persona con una edad de 16 años, puede trabajar con radiación (edad mínima de trabajo según la Comisión Internacional del Trabajo), en este caso debe tenerse cuidado de asegurar que la dosis acumulada a la edad de 30 años no exceda los 60 rem.

Límite de dosis actuales:

El ICRP^[9-23] en 1965 proporcionó recomendaciones sobre los límites de la dosis de radiación dentro de dos categorías de individuos:

1. Adultos expuestos en el curso de su trabajo.
2. Miembros del público.

Los límites de radiación para las anteriores categorías están contenidas en la siguiente tabla:

Órgano o Tejido	Máxima dosis permitida para adultos expuestos en el curso de su trabajo	Límite de dosis para miembros del público
Gónadas y médula ósea	5 rem en un año	0.5 rem en un año
Piel, huesos y tiroides	30 rem en un año	3.0 rem en una año
Manos, brazos, pies y tobillos	75 rem en un año	7.5 rem en un año
Otros órganos individuales	15 rem en un año	1.5 rem en un año

TABLA 9-7. Límite de dosis permitida para algunos órganos y partes del cuerpo para POE y el público.

Para la población, la dosis genética es definida por el ICRP, como la que es recibida por cada persona desde su concepción hasta la edad media para la procreación (tomada como de 30 años).

La dosis genética máxima permisible para la población total, producida por todas las fuentes adicionales a la radiación natural de fondo (background), incluyendo las aplicaciones médicas, no deberá exceder 5 rem.

9.9 EFECTOS DE LA RADIACIÓN.

El uso industrial y médico de la radiación no representa un riesgo sustancial para los trabajadores y su uso no deberá provocar una exposición excesiva, que supere algún nivel considerado como inaceptable. Los posibles efectos que la radiación puede producir, y que han sido considerados por diferentes organismos (ICRP, IAEA) son los siguientes:

- a) Efectos de corto plazo, como quemadas en la piel y cataratas en los ojos.
- b) Efectos de largo plazo, como lo es el incremento de la disposición a padecer leucemia y cáncer sólido.
- c) Efectos hereditarios, como lo es el síndrome de Down.

Las recomendaciones para limitar la dosis están contenidas en documentos editados y producidos por el OIEA, en particular la serie sobre seguridad No. 9, estas recomendaciones pueden resumirse en:

- no deberá efectuarse alguna aplicación de radiación al menos que sea justificada.
- Todas las dosis deberán mantenerse tan bajas como sea posible, los factores sociales y económicos deberán tomarse en cuenta.
- En cualquier caso, todas las dosis deberán mantenerse por debajo de los límites de dosis.

Los principales límites de dosis, especificados por el OIEA ^[9-24] en la serie sobre seguridad No. 9, son:

Trabajadores adultos 50 mSv por año
 Miembros del público 5 mSv por año

Estos valores están sometidos a revisión y han existido cambios año con año.

Los límites de dosis establecidos por la NBS tienen el fin de velar por que ningún individuo corra riesgos inaceptables debidos a la exposición a la radiación.

1. Tasa de dosis para la exposición ocupacional:

- ▶ Dosis efectiva de Límite 20 mSv por año promediada con respecto a 5 años consecutivos.
- ▶ Una dosis efectiva de 50 mSv en un solo año.
- ▶ Una dosis equivalente en el cristalino de 150 mSv en un año y una dosis equivalente en las extremidades (manos y pies) y en la piel de 500 mSv en un año.

2. Límites de dosis para los miembros del público:

- ▶ Una dosis efectiva de 1 mSv en un solo año.
- ▶ Una dosis equivalente en el cristalino de 15 mSv en un año.
- ▶ Una dosis equivalente en la piel de 50 mSv en un año.
- ▶ En circunstancias especiales, una dosis efectiva de hasta 5 mSv en un solo año siempre que la dosis media en 5 años consecutivos no sea superior a 1 mSv por año.

9.10 RADIACIÓN Y TIEMPO.

La dosis de radiación es proporcional al tiempo que se permanece en el área de exposición. El trabajo en un área de radiación deberá efectuarse de una manera rápida y eficiente, es importante que los trabajadores no sean distraídos por otras tareas o por conversación. Sin embargo, el trabajar demasiado rápido podría provocar errores, y como consecuencia las tareas a ejecutar podrían alargarse, resultando esto en mayores exposiciones.

9.11 RECOMENDACIONES PARA EL TRABAJO CON FUENTES RADIOACTIVAS.

El radiografista debe permanecer alerta en todo momento en que este usando la fuente radioactiva, en el caso de que exista un mal procedimiento o el aparato contenedor presente un mal funcionamiento; este junto a su equipo de trabajo deben tomar las medidas pertinentes en cuanto a asistencia medica.

Se deben de elaborar planes de contingencia tomando en cuenta las medidas de seguridad más críticas, estos planes deben de ser puestos en practica para determinar si existen la necesidad de equipo, o de medidas de seguridad que puedan prevenir cualquier accidente.

Se deberá poseer un estuche de emergencia, conteniendo al menos cuatros bolsas cargadas con trozos de plomo, de 2 Kg, cada una, tenazas de 1 m ó 1.5 m de largo, y otras herramientas manuales.

Se debe de usar protección para cubrir la fuente y a las demás personas involucradas en esta actividad. A estas personas no se les debe de exponer por períodos prolongados que los lleve acumular una dosis de 10 mSv a un metro de la fuente. Por ejemplo:

Bajo ninguna circunstancia la fuente o parte del tubo guía que contenga la fuente, deberá hacer contacto, con alguna parte del cuerpo ya que en cuestiones de segundo se podría recibir una dosis que cause daño a la piel o algún tejido y cuyos efectos podrían mafestarse hasta dentro de varias semanas.

Bajo ninguna circunstancia se debe llevar a cabo ninguna acción que trate de cortar o destruir la fuente, ya que esto traería consecuencias mayores.

Fuente Ir 192 Actividad [TBq]	Tasa Dosis equivalente [mSv/h] a un metro	Tiempo [min] para acumular 10 msv a un metro
0.75	97.5	6.2
2.00	260	2.3
3.70	481	1.3

TABLA 9-8. Dosis permisible de 10 mSv en función de la distancia de la fuente y su actividad.

Las tareas que se realizarán cerca de la fuente deberán ser distribuidas con diferentes personas, para disminuir la dosis que cada una recibiría.

Siempre que se reporte que una persona ha recibido una dosis alta se debe de investigar y realizar las medidas pertinentes para determinar si alguna parte del cuerpo ha resultado con daños localizados.

Se hará uso de medidores altamente sensibles (capaces de medir bajas tasas de dosis) para localizar fuentes desde distancias considerables, o fuentes de que se encuentren dentro de su contenedor de transporte. Los detectores de baja sensibilidad (capaces de medir altas tasas de dosis) sirven para detectar fuentes sin protección.

Bajo ninguna circunstancia se debe tratar de localizar una fuente sin hacer uso de algún instrumento de medición de radiación y peor aún si se sabe que la tasa de dosis es mayor a la que podría medir el instrumento.

Cuando una fuente radiactiva ya no tiene un propósito útil se deberá desechar apropiadamente ya sea enviándola de regreso al fabricante o colocándola en los recipientes o lugares debidamente autorizados para el almacenamiento.

9.12 PROCEDIMIENTOS EN LAS ACTIVIDADES DE GAMMAGRAFÍA. ^[9-25]

Las actividades de exposición con los niveles requeridos de seguridad y protección dependerá de que todo procedimiento sea realizado de acuerdo a lo establecido por los organismos Internacionales y/o locales relacionados con el área de Radiología.

A continuación se presenta una serie de procedimientos y recomendaciones que son necesario llevar a cabo para las actividades de Gammagrafía Industrial.

9.12.1 RADIOGRAFÍA GAMMA: GUÍA DE PROCEDIMIENTOS. ^[9-26]

- ◆ Cuando se realice cualquier actividad de Radiología Gamma se deberán seguir solamente procedimientos autorizados.
- ◆ Las actividades de Radiología Gamma deberán llevarla a cabo solamente personal (Radiografista, auxiliares, técnicos, etc) debidamente entrenado y autorizado.
- ◆ Durante las actividades de exposición será imprescindible contar con dosímetros personales y monitores de tasa de dosis.
- ◆ Los controles médicos del personal se deben mantener todo el tiempo.
- ◆ En circunstancias normales un trabajador (POE) no deberá recibir una dosis mayor que la dosis límite (50 msv para todo el cuerpo) en el transcurso de una año calendario.

- ◆ Antes de iniciar un trabajo de exposición se deberá de discutir con todo el personal todas las medidas de seguridad y planes a poner en práctica.
- ◆ Se deberán utilizar equipos que han sido fabricados especialmente para Radiología Gamma.
- ◆ El radiografista debe de estar familiarizado con los equipos, su forma de operación y problemas más comunes que se pueden presentar.
- ◆ La exposición radiográfica debe ser llevada a cabo solamente cuando se cuenta con todo el equipo necesario :
 - ➔ La fuente en su contenedor apropiado
 - ➔ Tubos guías, cable de control y tenazas para manipulación de fuentes
 - ➔ Colimadores
 - ➔ Señales y avisos de precaución
 - ➔ Dosímetros y medidores de tasa de dosis
 - ➔ Estuche de emergencia
- ◆ Mantener registrado el mantenimiento realizado semanalmente al contenedor y a todos los elementos del equipo.
- ◆ Toda actividad radiográfica debe ser preparada y planificada con su debida anticipación.
- ◆ Se deberán considerar el traslado de la pieza a radiografiar hacia lugares abiertos, donde no exista muchas personas alrededor, y donde sea más fácil prevenir el acceso de personas extrañas, o la interrupción de otras actividades.
- ◆ Calcular la actividad de la fuente y el tiempo necesario de exposición.
- ◆ Determine la necesidad de usar cubiertas de protección local
- ◆ Determine el área que necesita ser controlada, número de barreras a utilizar, y cuando y por cuanto tiempo se necesita realizar la exposición.
- ◆ Obtenga anticipadamente los documentos y permisos necesarios
- ◆ Siempre que se saque la fuente del almacén debe quedar registrada su salida, se debe de revisar la cerradura del contenedor y se utilizará un medidor de tasa de dosis para confirmar que efectivamente se encuentra dentro del contenedor.
- ◆ El contenedor de la fuente debe estar debidamente identificado con sus viñetas, y si este será transportado en vehículo este también deberá tener su debida identificación.

9.12.2 EN EL LUGAR DE TRABAJO. ^[9-27]

- ◆ Se deben de colocar las barreras que limiten el área de trabajo así como los letreros de precaución.
- ◆ Se debe de inspeccionar el área para confirmar que está despejada de trabajadores y de personas particulares.
- ◆ Las conexiones entre el cable de control y el contenedor, el contenedor y el cable guía, el cable guía y el colimador, deben quedar firmemente sujetadas para evitar que se separen con algún movimiento.
- ◆ El cable de control debe quedar completamente extendido antes de comenzar a operar el equipo, la manivela de control en la medida de lo posible debe quedar fuera del área de control y detrás de algún objeto que pueda servir como protección.
- ◆ Se colocará una luz de advertencia o un letrero grande cerca del colimador para marcar el sitio donde se encuentra la fuente
- ◆ Cuando se tiene la completa seguridad que el área está completamente despejada, y cada quien ha tomado su posición, se puede hacer uso de una señal tal como un silbato para aviso

que se iniciara la exposición.

- ◆ Al girar la manivela de control para sacar la fuente del contenedor se debe de hacer rápidamente y a la vez contar el número de vueltas hasta que la fuente ha alcanzado la posición del colimador.
- ◆ Se debe de prestar especial atención durante el viaje de la fuente a través del cable guía ya que podrían presentarse tasas de dosis superiores a $7.5 \mu\text{sv/h}$.
- ◆ Una vez se ha iniciado la exposición se deberá verificar que las barreras que limitan el área controlada están en su posición adecuada especialmente las que están en dirección del haz de radiación, también se deberá controlar que las personas no sobrepasan dichas barreras.
- ◆ Luego que ha finalizado el periodo de exposición, se deberá regresar la fuente rápidamente al contenedor, el número de vueltas de la manivela para retraer la fuente tendrán que coincidir con el número de vueltas que se dieron para la extensión.
- ◆ Con la ayuda de un medidor de tasa se revisará el cable guía desde el colimador hasta el contenedor, para verificar que la fuente no haya quedado atrapada en el tubo guía.
- ◆ Una vez la fuente está dentro del contenedor se deberá verificar que la tasa de dosis sea la correcta, y si no se realizará otra exposición la cerradura del contenedor debe ser bloqueada.
- ◆ Con la fuente dentro del contenedor y asegurando que no existe peligro de exposición se podrá retirar la película radiográfica.
- ◆ Cuando los periodos de exposición sean grandes será necesario retirarse de la zona y regresar en el momento adecuado.
- ◆ Para periodos cortos no será necesario abandonar el área de trabajo, solamente habrá que ubicarse en un punto conveniente en donde la tasa de dosis sea lo suficiente baja y no mayor a 2 msv/h .
- ◆ Cuando se realicen exposiciones consecutivas, la manipulación del colimador y el tubo guía para colocarlo junto a la siguiente pieza de prueba se deberá hacer solamente cuando exista la seguridad de que la fuente se encuentra dentro del contenedor.
- ◆ Durante cada exposición siempre se debe permanecer alerta ante cualquier suceso imprevisto tal como el que alguien entre al área controlada para lo cual se deberá tomar la medida más conveniente y en el mejor de los casos se retraerá la fuente al contenedor.
- ◆ También durante el transcurso de cada exposición se deberá monitorear constantemente la tasa.
- ◆ Si por cualquier razón el equipo falla durante la extensión o retracción de la fuente y esta queda atrapada en algún punto del tubo guía; primeramente se mantendrá la calma y todas las personas tendrá que retirarse rápidamente hacia más allá de los límites del área controlada.
- ◆ Se medirá la tasa de dosis en los alrededores y si es necesario habrá que mover las barreras para limitar mejor el área.
- ◆ Se mantendrá a una persona vigilando que nadie sobrepase los límites de las barreras.
- ◆ Se hará uso del estuche de emergencia y sino se tiene cerca se mandará a traer de inmediato.
- ◆ Se deberá de poner en práctica el plan de contingencia previsto para estos casos, teniendo presente en todo momento los requerimientos en cuanto tiempo, distancia y protección para limitar las dosis individual.
- ◆ Si el atascamiento de la fuente se debe a que la manivela de control no gira, podría ser necesario desarmar la manivela para halar manualmente el cable de control.
- ◆ Con la utilización de un medidor de tasa de dosis se determinará el punto específico del cable guía donde se encuentra la fuente.
- ◆ Una vez se ha ubicado el punto exacto donde se encuentra la fuente se deberá aislar y cubrir con corazas de plomo u otro material pasado dicho punto para disminuir la tasa de dosis y poder acercarse al contenedor y desconectar el tubo guía, o si no queda otra opción cortar el tramo del tubo guía que contiene la fuente.

- ◆ En caso de que el tubo guía sea cortado, se deberá tener presente en todo momento que nunca se manipulará directamente con las manos sino a través de pinza o tenazas.
- ◆ La parte del tubo guía cortado podrá ser levantado a través de tenazas para permitir a la fuente deslizarse hasta el exterior.
- ◆ La fuente será recogida e introducida a su contenedor siempre haciendo uso de tenazas.

“Bajo ninguna circunstancia la fuente debe ser tocada con las manos u otra parte del cuerpo”.

9.12.3 AL FINALIZAR LA EXPOSICIÓN. ^[9-28]

- ◆ Antes de desarmar el equipo se debe de verificar con un medidor de tasa de dosis que la fuente se encuentra dentro del contenedor, siendo así el se procederá a desarmar el equipo adecuadamente.
- ◆ Al desarmar el equipo:
 - ➔ Con la fuente dentro del contenedor se bloqueará la cerradura
 - ➔ Se desconectará el cable guía del contenedor y se colocará la tapa protectora del tubo en S.
 - ➔ Se desconectará el cable de control del contenedor y se colocará la tapa protectora del tubo en S.
 - ➔ Se enrollarán adecuadamente los cables.

9.12.4 ALMACENAMIENTO DEL EQUIPO. ^[9-29]

- ◆ Antes de almacenar el contenedor se debe de revisar que éste posee las dos viñetas de identificación del equipo completamente legibles, si es necesario cambiarlas se cambiarán.
- ◆ Si se utiliza un vehículo para transportar la fuente este debe estar debidamente identificado a través de viñetas
- ◆ El contenedor debe estar completamente limpio antes de almacenarlo.
- ◆ La entrega del contenedor al almacén debe quedar registrado en el documento de entrada y salida del contenedor.
- ◆ El almacén donde se guardan los contenedores debe estar debidamente identificado y debe estar dentro de un área limitada por barreras.
- ◆ La seguridad del almacén se debe de mantener todo el tiempo

9.12.5 ASPECTOS DE MANTENIMIENTO QUE SE DEBEN DE REALIZAR AL CONTENEDOR Y A SUS ACCESORIOS.

- ◆ Mantenerlo limpio de grasa, polvo y humedad
- ◆ Utilizar solamente lubricantes recomendados para limpieza y lubricación de partes en movimiento.
- ◆ Revisar periódicamente tornillos tuercas, y resortes para determinar si existe daño y desgaste.
- ◆ Verificar que la cerradura del contenedor trabaje adecuadamente
- ◆ Examinar regularmente el extremo del pig tail para limpiarlo y verificar que no posea desgaste o daño.
- ◆ Conectar el cable de control al pig tail, presionar suavemente y retorcer la conexión y determinar si existe la posibilidad de desconexión de los elementos

- ◆ Revisar que la conexión del cable alojador al contenedor este completamente firme
- ◆ Revisar en toda su longitud los cables para determinar la existencia de grietas, deformaciones, torceduras, etc., que puedan impedir el buen funcionamiento del equipo.
- ◆ Verificar que la manivela de control trabaja adecuadamente.
- ◆ Revisar que el contenedor posea las tapaderas de protección de las salidas de conexión a los cables cuando el equipo no se encuentre en operación.
- ◆ Revisar los colimadores especialmente el punto donde se realiza la conexión al cable.
- ◆ El contenedor debe de mantenerse siempre con los respectivas viñetas de identificación, las cuales deben de detallar claramente la información necesaria del equipo.
- ◆ Llevar un registro de la tasa de dosis en la superficie del contenedor.
- ◆ Se debe de mantener un registro de todas las operaciones de mantenimiento que se realicen al contenedor o a los demás elementos del equipo.

9.13 REFERENCIAS DEL CAPÍTULO.

- [9-1] Protección Radiológica en las Aplicaciones de las Técnicas Nucleares. Programa ARCAL del Organismo Internacional de Energía Atómica. Redacción de la publicación por Haydée Domenech nieves, La Habana, Cuba. Pág. 11.
- [9-2] Protección Radiológica en las Aplicaciones de las Técnicas Nucleares. Programa ARCAL del Organismo Internacional de Energía Atómica. Redacción de la publicación por Haydée Domenech nieves, La Habana, Cuba., Pág. 14.
- [9-3] Protección Radiológica en las Aplicaciones de las Técnicas Nucleares. Programa ARCAL del Organismo Internacional de Energía Atómica. Redacción de la publicación por Haydée Domenech nieves, La Habana, Cuba., Pág. 17.
- [9-4] Radiografía Industrial de las Uniones Soldadas. SIE (Servicio de Ingeniería Electromecánica), Ciudad de Guatemala, Guatemala, 1989. Pág. 253.
- [9-5] ARCAL (ARREGLOS REGIONALES COOPERATIVOS PARA LA PROMOCIÓN DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA NUCLEAR EN AMÉRICA LATINA). "Proyecto de Reglamento Genérico de Protección Radiológica para América Latina", XIV REUNIÓN DE COORDINACIÓN TÉCNICA, QUITO ECUADOR, Mayo de 1997.
- [9-6] The SS115 version 3.1 Software to contain integral data from SAFETY SERIES No. 115. "THE INTERNATIONAL BASIC SAFETY STANDARDS FOR PROTECTION AGAINST IONIZING RADIATION AND FOR THE SAFETY OF RADIATION SOURCES". Project Jointly sponsored by: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), International Atomic Energy Agency (IAEA), International Labour Organisation (ILO), Nuclear Energy Agency of the Organisation for Economic Cooperation and Development ECO/NEA, Pan American Health Organization (PAHO), World Health Organization (WHO). INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, VIENNA, SUIZA, 1996
- [9-7] Protección Radiológica en las Aplicaciones de las Técnicas Nucleares. Programa ARCAL del Organismo Internacional de Energía Atómica. Redacción de la publicación por Haydée Domenech nieves, La Habana, Cuba. Pág. 34.
- [9-8] ARCAL (ARREGLOS REGIONALES COOPERATIVOS PARA LA PROMOCIÓN DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA NUCLEAR EN AMÉRICA LATINA). "Proyecto de Reglamento Genérico de Protección Radiológica para América Latina", XIV REUNIÓN DE COORDINACIÓN TÉCNICA, QUITO ECUADOR, Mayo de 1997.
- [9-9] The SS115 version 3.1 Software to contain integral data from SAFETY SERIES No. 115. "THE INTERNATIONAL BASIC SAFETY STANDARDS FOR PROTECTION AGAINST IONIZING RADIATION AND FOR THE SAFETY OF RADIATION SOURCES". Project Jointly sponsored by: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), International Atomic Energy Agency (IAEA), International Labour Organisation (ILO), Nuclear Energy Agency of the Organisation for Economic Cooperation and Development ECO/NEA, Pan American Health Organization (PAHO), World Health Organization (WHO). INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, VIENNA, SUIZA, 1996
- [9-10] Protección Radiológica en las Aplicaciones de las Técnicas Nucleares. Programa ARCAL del Organismo Internacional de Energía Atómica. Redacción de la publicación por Haydée Domenech nieves, La Habana, Cuba. Pág. 254.
- [9-11] The SS115 version 3.1 Software to contain integral data from SAFETY SERIES No. 115. "THE INTERNATIONAL BASIC SAFETY STANDARDS FOR PROTECTION AGAINST IONIZING RADIATION AND FOR THE SAFETY OF RADIATION SOURCES". Project Jointly sponsored by: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), International Atomic Energy Agency (IAEA), International Labour Organisation (ILO), Nuclear Energy Agency of the Organisation for Economic Cooperation and Development ECO/NEA, Pan American Health Organization (PAHO), World Health Organization (WHO). INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, VIENNA, SUIZA, 1996
- [9-12] The SS115 version 3.1 Software to contain integral data from SAFETY SERIES No. 115. "THE INTERNATIONAL BASIC SAFETY STANDARDS FOR PROTECTION AGAINST IONIZING RADIATION AND FOR THE SAFETY OF RADIATION SOURCES". Project Jointly sponsored by: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), International Atomic Energy Agency (IAEA), International Labour Organisation (ILO), Nuclear Energy Agency of the Organisation for Economic Cooperation and Development ECO/NEA, Pan American Health Organization (PAHO), World Health Organization (WHO). INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, VIENNA, SUIZA, 1996
- [9-13] The SS115 version 3.1 Software to contain integral data from SAFETY SERIES No. 115. "THE INTERNATIONAL BASIC SAFETY STANDARDS FOR PROTECTION AGAINST IONIZING RADIATION AND FOR THE SAFETY OF RADIATION SOURCES". Project Jointly sponsored by: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), International Atomic Energy Agency (IAEA), International Labour Organisation (ILO), Nuclear Energy Agency of the Organisation for Economic Cooperation and Development ECO/NEA, Pan American Health Organization (PAHO), World Health Organization (WHO). INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, VIENNA, SUIZA, 1996
- [9-14] PRACTICAL RADIATION SAFETY MANUAL, MANUAL ON GAMMA RADIOGRAPHY. International Atomic Energy Agency (IAEA), February 1992, Pág. 49
- [9-15] Protección Radiológica en las Aplicaciones de las Técnicas Nucleares. Programa ARCAL del Organismo Internacional de Energía Atómica. Redacción de la publicación por Haydée Domenech nieves, La Habana, Cuba, Pág. 43-47
- [9-16] Figuras e Información tomada del Sitio WEB de NDT Technologies Inc. [Http://www.ndt.ca](http://www.ndt.ca)
NDT Technologies Inc. specializes in the use of automation and microprocessor-based technologies, supported by interactive graphics,

to provide state-of-the-art equipment integrating non-destructive testing and material reliability control. NDT Technologies Inc. supplies this specialized equipment and related technical services to the transportation, aerospace, petrochemical, nuclear, security, heavy and light manufacturing, and processing industries. To maintain its competitive edge in these demanding fields, NDT Technologies Inc. continually reinvests revenues in sophisticated equipment, hardware, and software. All technical and financial applications, including project planning, accounting, and cost controls, have been fully computerized to ensure a streamlined operation.

- [9-17] Medidor de Tasa de Dosis del tipo de Cámara de Ionización. Fotografía de uno de los Equipos con los que cuenta el Centro de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares (CIAN), de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, El Salvador, Centro América.
- [9-18] **ARCAL (ARREGLOS REGIONALES COOPERATIVOS PARA LA PROMOCIÓN DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA NUCLEAR EN AMÉRICA LATINA).** TECDOC Sobre Tópicos para los Cursos Nacionales sobre Mantenimiento, Reparación y Operación de Instrumentos Nucleares de uso industrial. Proyecto RLA/4/011(ARCAL XIX), Santiago de Chile, Chile, 1996.
- [9-19] Figuras e Información tomada del Sitio WEB de Stan A. Huber Consultants, Inc. Consultants in Radiology Protection.
URL <http://www.sahci.com>
Stan A. Huber Consultants, Inc. provides radiation safety/ health physics support services to facilities that use radioactive materials (including hospitals, universities, research laboratories, manufacturing and industrial facilities).
- [9-20] **ARCAL (ARREGLOS REGIONALES COOPERATIVOS PARA LA PROMOCIÓN DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA NUCLEAR EN AMÉRICA LATINA).** TECDOC Sobre Tópicos para los Cursos Nacionales sobre Mantenimiento, Reparación y Operación de Instrumentos Nucleares de uso industrial. Proyecto RLA/4/011(ARCAL XIX), Santiago de Chile, Chile, 1996.
- [9-21] Medidor de Tasa de Dosis del tipo de Cámara de Ionización. Fotografía de uno de los Equipos con los que cuenta el Centro de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares (CIAN), de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, El Salvador, Centro América.
- [9-22] Protección Radiológica en las Aplicaciones de las Técnicas Nucleares. Programa ARCAL del Organismo Internacional de Energía Atómica. Redacción de la publicación por Haydée Domenech nieves, La Habana, Cuba, Pág. 48.
- [9-23] International Atomic Energy Agency (IAEA), Conceptos Básicos de Protección Radiológica de Operación Segura, 1996. Pág. 32
- [9-24] PRACTICAL RADIATION SAFETY MANUAL, MANUAL ON GAMMA RADIOGRAPHY. International Atomic Energy Agency (IAEA), February 1992, Pág. 56.
- [9-25] PRACTICAL RADIATION SAFETY MANUAL, MANUAL ON GAMMA RADIOGRAPHY. International Atomic Energy Agency (IAEA), February 1992, Pág. 22-39
- [9-26] **ARCAL (ARREGLOS REGIONALES COOPERATIVOS PARA LA PROMOCIÓN DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA NUCLEAR EN AMÉRICA LATINA).** "Proyecto de Reglamento Genérico de Protección Radiológica para América Latina", XIV REUNIÓN DE COORDINACIÓN TÉCNICA, QUITO ECUADOR, Mayo de 1997.
- [9-27] **ARCAL (ARREGLOS REGIONALES COOPERATIVOS PARA LA PROMOCIÓN DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA NUCLEAR EN AMÉRICA LATINA).** "Proyecto de Reglamento Genérico de Protección Radiológica para América Latina", XIV REUNIÓN DE COORDINACIÓN TÉCNICA, QUITO ECUADOR, Mayo de 1997.
- [9-28] **ARCAL (ARREGLOS REGIONALES COOPERATIVOS PARA LA PROMOCIÓN DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA NUCLEAR EN AMÉRICA LATINA).** "Proyecto de Reglamento Genérico de Protección Radiológica para América Latina", XIV REUNIÓN DE COORDINACIÓN TÉCNICA, QUITO ECUADOR, Mayo de 1997.
- [9-29] **ARCAL (ARREGLOS REGIONALES COOPERATIVOS PARA LA PROMOCIÓN DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA NUCLEAR EN AMÉRICA LATINA).** "Proyecto de Reglamento Genérico de Protección Radiológica para América Latina", XIV REUNIÓN DE COORDINACIÓN TÉCNICA, QUITO ECUADOR, Mayo de 1997.

ANEXOS



Instituto Internacional de la Soldadura

www.iw-iis.org

ANTECEDENTES

El Instituto Internacional de la Soldadura (IIW-IIS) se fundó en 1948 con la finalidad de servir de foro para el intercambio, entre sus países miembro, de información técnica sobre las soldaduras realizadas en aceros y otros materiales. En su fundación participaron 13 sociedades o institutos tecnológicos de Soldadura, entre los cuales fue destacada la participación de instituciones como la AWS, TWI, CWB, CEIS (Comité Español de Instituciones de Soldadura) y otros más. En la actualidad son 39 los países miembros del IIW distribuidos en los cinco continentes.

De acuerdo con sus Estatutos, el IIW-IIS promueve la cooperación entre institutos de investigación, universidades, industrias e instituciones gubernamentales en el campo del desarrollo de nuevos materiales soldables especialmente aceros, diseño de estructuras y equipos, y comportamiento de uniones, desarrollo de normas, certificación de personal y productos, terminología, enseñanza y entrenamiento del personal. Como toda organización internacional, el IIW-IIS es una entidad de consenso en el establecimiento de directrices y sus decisiones desempeñan un papel cada vez más importante en otras instituciones técnicas o de normalización.

El trabajo del Instituto Internacional de la Soldadura se organiza por comisiones técnicas, grupos de estudios, comités selectivos, Consejo de Directores y Secretarías, los cuales siguen programas y objetivos concretos, pero que están abiertas al estudio de nuevos temas, a continuación detallamos el trabajo de estos grupos de trabajo.

UNIDADES DE TRABAJO DEL IIW-IIS

COMISIONES TECNICAS.

- I Soldeo fuerte y blando, corta térmico y procesos con plasma.
- II Soldeo por arco.
- III Soldeo por resistencia y afines.
- IV Soldeo mediante altas densidades de energía.
- V Control de calidad y aseguramiento de la calidad en los productos soldados.
- VI Terminología.
- VII Autorización y Certificación.
- VIII Higiene y Seguridad.
- IX Comportamiento de los metales durante el soldeo.
- X Comportamiento estructural de las uniones soldadas. Prevención de roturas.
- XI Recipientes a presión, calderas y gasoductos y oleoductos.
- XII Procesos de soldeo protegidos con gas y fundente.
- XIII Fatiga de estructuras y componentes soldados.
- XIV Enseñanza y formación.
- XV Fundamentos del diseño y fabricación por soldeo.
- XVI Soldeo de plásticos. Tecnología de adhesivos

GRUPOS DE ESTUDIO

- Física del soldeo
- Información científica y técnica
- Colaboración y estrategias para la investigación en el soldeo.

COMITES SELECTIVOS

- Normalización
- Soldado bajo el agua
- Microuniones
- Aeronáutica
- Aluminio y sus aleaciones
- Proyección térmica y recargue

Durante más de cuarenta años el IIW-IIS, para alcanzar sus objetivos y metas, ha contado con un grupo de especialistas de todo el mundo, los cuales se encargan de estudiar todos los fenómenos físicos de los procesos y técnicas de la soldadura.

Las políticas de funcionamiento del IIW-IIS son decididas en una Asamblea General, la misma se encarga de elegir el presidente del IIW y el Consejo de Directores quienes dirigen las funciones del IIW-IIS. El Consejo de Directores consiste de doce Directores de entre los cuales se elige el Presidente, tres Vicepresidentes y un Tesorero.

Los días de trabajo son establecidos por una Secretaría Permanente, la cual se encuentra bajo la dirección de un Jefe Ejecutivo.

Las Secretarías mantienen contacto con el IIW-IIS y otros organismos Internacionales, tales como la ISO, y United Nations agencies and the Union of International Technical Associations. Uno de los aspectos más importantes del trabajo del IIW-IIS en las últimas décadas ha sido la estrecha relación con la ISO, debido a que el IIW-IIS busca la normalización mundial de la soldadura en todos sus aspectos, la mejor forma de lograrlo es por medio de una estrecha relación con la ISO, es así, como la mayoría de las publicaciones del IIW-IIS llegan a convertirse con el tiempo en normas ISO.

REPRESENTANTES DEL IIW-IIS EN CADA PAÍS MIEMBRO

ARGENTINA
Fundación Latinoamericana de Soldadura
Galles 18, No. 4113
1672 Villa Lynch
Buenos Aires

AUSTRALIA
Welding Technology Institute of Australia
P.O. Box 6105
NSW 2126 SILVERWATER
e-mail: info@wta.com.au

AUSTRIA
Gesellschaft für Schweißtechnik
Avenner, Objekt 12
1030 Wien

BELARUS
Research Design and Technology Institute of Welding and
Protective Coatings
12-9 Pribinov Street
220071 MINSK

BELGIUM
Institut Belge de la Soudure
21 Rue des Drapeaux
1050 Brussels

BRAZIL
Brazilian Committee of IIW
Rua Sao Francisco Xavier 601
Maringá
2055011 Rio de Janeiro

BULGARIA
Bulgarian Welding Society
c/o Institute of Welding
Izolirno Shosse str. 10
1502 Sofia

CANADA
Canadian Council of the IIW
7250 West Credit Avenue
Mississauga
Ontario L5N 3N1

CHILE
Centro Técnico de Soldadura Indura
Carrino a Melilla 7000
P.O. Box 13950
Santiago

CHINA
Chinese Welding Society
111 Heping Lu
150080 Harbin

CROATIA
Hrvatsko Društvo Za Tehničko Završavanje
Ivana Lucića 1
10000 Zagreb

CZECH
Czech Welding Society
Novobřezko Inva 8
110 01 Praha 1

DENMARK
Forca Institute
Park Alle 345
2625 Brøndby

EGYPT
Central Metallurgical Research and Develop. Inst.
P.O. Box 87 Helwan
Cairo

FINLAND
Suomen Hitausteknillinen Yhdistys r.y.
Mäkelininkatu 30 A 2
00510 Helsinki

FRANCE
Institut de Soudure
21 Paris Nord II
BP 90362
95042 Roissy CDG Cedex

GERMANY
Deutscher Verband für Schweißtechnik e.V.
Postfach 10 19 85
40710 Düsseldorf

GREECE
Hellenic Inst. Welding Technology
c/o Public Power Corporation-Training DPT
Algeiras Str. 4
10575 Athens

HUNGARY
Országos Tűzvédelmi és Egységelt
Fó Utca 68
P.O. Box 433
1371 Budapest

IRAN
Iranian Inst. of Welding and NDT.
P.O. Box 14155
4635 Tehran

ISRAEL
The Israel Metallurgical Society
c/o Israel Institute of Metals
Technion City P.O. Box 4910
32000 Haifa

ITALY
Inst. Italiano della Saldatura
Lungoteglio (strada 15)
16141 Genova

JAPAN
Japan Institute of Welding
1-11 Karada, Sakuma-Cho Chiyoda-Ku
Tokyo 101

NETHERLANDS
Nederlandsche Inst voor Lasstechniek
Hindeloord 20 2251 KA
Voorstreeken

NEW ZEALAND
New Zealand Welding Committee
P.O. Box 75-134
Manukau City
Auckland
e-mail: welding_hera@wave.co.nz

NORWAY
Norsk Sveiteselskap
P.O. Box 7072 Høyemøyen
0380 Oslo
POLAND

POLAND
Instytut Spawalnictwa
ul. St. Casimiera 19/18
41100 Gliwice

PORTUGAL
Inst. de Soldadura e Qualidade
Estrada Nacional 249 - km 3
Cabanas-Lafes (Taguspark) Apt 119
2781 Oeiras Codex

ROMANIA
Institute of Welding and Materials Testing
9v Mihai Viteazul Nr 30
1000 Timisoara

RUSSIA
The Russian Welding Society
Volgogradsky pr.41
100318 Moscow

SLOVAKIA
Vysokumy Ústav Zvarčenia
Toscanova 71
832 50 Bratislava

SLOVENIA
Društvo Inštitut Za Varnost Tehniško Glasilo
c/o Institute
Plošča 19
61000 Ljubljana

SOUTH AFRICA
Southern African Institute of Welding
P.O. Box 527
Crown Mines
2025 Johannesburg

SPAIN
CEIS (Comité Español de Instituciones de Soldadura)
c/o Centro Nacional de Invest. Metalúrgicas
Auda, Gregorio del Arco 8
28040 Madrid
e-mail: cceis@centim.csic.es

SWEDEN
Sveitesamfundningen In
Box 5073
10242 Stockholm

SWITZERLAND
Association Suisse pour la Technique du Soudage
St. Alban-Feldweg 222
4052 Basel

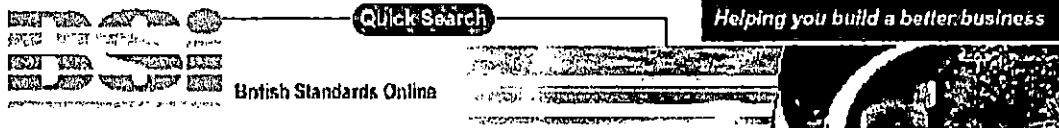
UKRAINE
Paton Welding Institute
Bozhenko Str. 11
252650 Kiev 5

UNITED KINGDOM
UK Section of the IIW
c/o TWI
Abington Hall, Abington
CB1 3AL, Cambridge
e-mail: twi@twi.co.uk

USA
American Welding Society
550 N.W. LeJeune Road
P.O. Box 351040
33135 Miami, Florida
e-mail: awi@awsec.org

YUGOSLAVIA
Yugoslav Welding Association
Cvetna Mrtva 67
11000 Beograd

ANEXO 1-2. DESCRIPCIÓN DEL IIW-IIS

**PERFIL.**

El Instituto Británico de Normas, es una sociedad no lucrativa cuyo objetivo principal es el de coordinar a los fabricantes y usuarios de Inglaterra, para incrementar la calidad de sus productos mediante el uso de especificaciones y normas aplicándolas a los sistemas de ingeniería y a los lineamientos de materiales. Las diferentes normativas del BSI en lo referente a soldadura, son similares a las de la AWS y poseen igual reconocimiento e importancia a nivel internacional.

Es importante mencionar que Inglaterra, la mayoría de normativas formularas y aprobadas por el BSI, se convierten luego en Códigos, los cuales deben de respetarse en dicho país.

DOMICILIO:

Chiswick High Road
London
W4 4AL
United Kingdom
Tel: +44 (0) 20 8996 7070
Fax +44 (0) 20 8996 7400
Email: info@bsi.org.uk

URL: <http://www.bsi.org.uk>

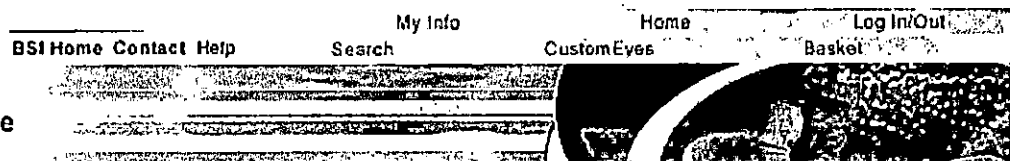
CALIFICACIÓN DEL SITIO WEB:

El Website BSI es uno de los sitios WEB que más me encanto visitar, es extremadamente ordenado y facil de encontrar lo que andas buscando. Para poder acceder a los recursos de dicho sitio es necesario en primer lugar registrarse, dicho registro es totalmente gratis. Una vez hecho esto se puede acceder a cualquier normativa de la institución y obtener un resumen (summary) de estas, pero si se desea obtener alguna norma es necesario pagar entre 10 a 15 libras esterlinas por cada norma. En definitiva es un sitio que vale la pena visitar.

If you want to make sure you can instantly consult the full-text of the British Standards you need, you cannot do better than to take out an annual subscription to British Standards Online. You can choose any combination of 54 subscription modules that are based on the International Classification for Standards (ICS) to have instant access to just the Standards you need to remain competitive in global markets. The complete collection gives you desktop access to detailed information about more than 35,000 documents including current, draft, and withdrawn standards. The site is the most current source of information about British Standards and your subscription gives **unlimited** annual access to the standards in the modules you have subscribed to. To receive details please contact

BRITISH STANDARDS ONLINE SERVICE Terms and Conditions
Users of 'British Standards Online Service' (Subscription Modules) containing British Standards are reminded that copyright subsists in all standards. Standards in this service incorporate both visible and invisible watermarks. In particular, and without limitation, the following restrictions are to be observed in relation to copying:

- Each user within a licensed subscription may print one hard copy of any standard within their subscription for internal use on the licensed site. These copies may not be used to build up a hard copy reference collection.
- The licensed user may copy a maximum of 25% of the content of a British Standard within this module and paste it to another document for internal use within the licensed site. The copied content in the new document must contain "Copyright BSI © Date (where date is the date of copyrighted material)".
- Each user within a licensed subscription may download a single electronic copy of a standard. These copies may not be used to build up an electronic reference collection. Standards may not be copied or circulated electronically, even for internal use within the licensed site.
- Users who wish to send extracts or complete standards to another site within their group are invited to apply to the Copyright Manager for an extension to these Terms and Conditions.

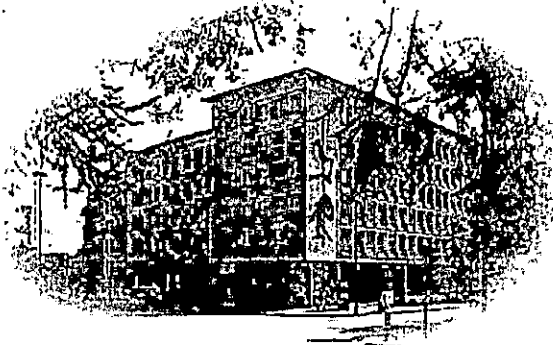


ANEXO 1-3. DESCRIPCIÓN DEL LA ISO.

**ORGANISATION
INTERNATIONALE DE
NORMALISATION**



**INTERNATIONAL
ORGANIZATION FOR
STANDARDIZATION**



ISO Headquarters, Geneva, Switzerland

Las normas ISO son convenios muy bien documentados, los cuales contienen especificaciones técnicas, o bien criterios muy precisos sobre muchísimos temas en particular, con el fin de que estos puedan ser utilizados sólidamente como reglamentos, lineamientos o bien definiciones de características para que los materiales, productos, procesos y servicios cumplan satisfactoriamente el propósito para el cual han sido elaborados.

Desde hace algunos años, la ISO y el IIW (International Institute of Welding) han venido realizando esfuerzos conjuntos, para unificar criterios en las publicaciones de ambas instituciones, es por eso que han unificado aspectos como nomenclatura, símbolos de soldaduras, ensayos y modelos de practicas de laboratorio o de campo, especificaciones y requerimientos de equipos, control de calidad, etc. El Trabajo entre las instituciones mencionadas ha sido tal, que en la actualidad muchas de las publicaciones y normas del IIW, han llegado a convertirse en normas ISO.

URL: <http://www.iso.ch/>

PERFIL

La Organización Internacional para la estandarización, no es más que una federación conformada por las organizaciones gubernamentales de la mayoría de los países a nivel mundial, además de Organismos Internaciones de reconocido Prestigio y Aceptación. Para el caso de la Soldadura el IIW-IIS es miembro pleno de la ISO, con la intención de constituir en la ISO una federación mundial de los Institutos dedicados a las normas de la soldadura, para que se llegue a sí a normalizar en todo el mundo todos los aspectos relacionados con la soldadura.

La ISO es una organización no gubernamental establecida en el año de 1947. Su misión es promover el desarrollo de la estandarización y las actividades relacionadas con esta tarea a nivel mundial Su misión es facilitar el intercambio internacional de bienes y servicios entre los países y desarrollar cooperación en los ámbitos intelectuales, científicos, tecnológico y económico.

Todos los trabajos que la ISO desarrolla, se convierten en convenios internacionales los cuales son publicados como normas internacionales y tienen la intención de unificar la gran cantidad de normativas que existen a nivel mundial.

**DESCRIPCIÓN DEL SITIO WEB.**

Lo más valioso de su WebSite radica en el hecho de tener a la disposición de los visitantes información a cerca de sus miembros plenos y de los organismos internaciones con los cuales vienen desarrollando sus trabajos.

Pero uno de los aspectos más valiosos de visitar este Website radica en el hecho de puede accesarse directamente al ISO CATALOG Online, el cual contiene todas las especificaciones tales como descripciones, precios, etc. de todas las normativas de la ISO publicadas hasta este momento.

Es así se desea conocer cuales y cuantas son las normativas de la ISO, relacionadas con áreas como la Soldadura, la Metalurgia basta con visitar el Web Site de dicha institución y buscar la sección de CATALOG y empear que normativas existen al respecto.

**ISO Central Secretariat address:**

DOMICILIO: 1, rue de Varembe Case postale 56 CH-1211 Genève 20
Switzerland
Telephone: + 41 22 749 01 11
Telefax: + 41 22 733 34 30
E-mail: central@iso.ch

ISO/IEC Information Centre
Telefax: + 41 22 749 01 55
E-mail: minfo@iso.ch

Sales Department
Telefax: + 41 22 749 09 47
E-mail: sales@iso.ch

Press enquiries
Telefax: + 41 22 733 34 30
E-mail: frost@iso.ch



New AWS
publications
geared for

professionals with
progressing
responsibilities in
welding. More details...

CLICK BACK TO:

HOME PAGE

Full Department Listings,
News and Updates.

THE GUIDE

Find products,
manufacturers,
consultants and more. Add
your Free Link.

**BOOKS &
STANDARDS**

AWS On-Line Store



American Welding Society

ON-LINE CATALOG & BOOKSTORE
BOOKS • STANDARDS • TRAINING • VIDEOS

References, Construction and Manufacturing, New Publications D1.1:2000 Structural Welding Code-Steel



Get The 2000 Edition Of D1.1 Structural Welding Code
Steel

It's the code to build by and the book that welders, engineers,
designers, architects and fabricators live by. The 2000 edition of D1.1
Structural Welding Code - Steel. D1.1 is the code that brings integrity
to the construction and fabrication of welded steel structures,
including design, prequalification, qualification, fabrication and inspection. It is
regarded as the rule book of structural welding the world over.

The single best reference there is on welding structural steel (the 1998 D1.1
Structural Welding Code Steel. An industry authority since 1928, D1.1 has been
updated with the information and requirements for welding carbon and low-alloy
steel structures. Welders, engineers, designers, architects, fabricators, and those
who depend on the integrity of welded steel structures will find answers to questions
on weld design, statically and cyclically loaded connections, tubular and nontubular
connections, prequalification, testing procedures and more in D1.1. ANSI Approved,
Dept. of Defense Adopted. Also available on CD and software.



**REQUEST
AN AWS
2000
CATALOG
be mailed
to you.
Or**

Download

**PDF VERSION of AWS
2000 Catalog. PDF**

requires Adobe Acrobat
Reader. **Download Adobe
Acrobat Reader**

Features included in New D1.1:2000:

- Addition of new steels and electrodes including ASTM A992 metal cored GMAW electrodes.
- Caulking provisions.
- UT-thickness regulations.
- Undersize fillet weld limits.
- Provision for allowance of standard WPS.

Catalog No.: D1.1:2000

Price: \$264.00

Join the American Welding Society and enjoy the prestige of being associated with the
world's premier Society for welding and metal fabricating. Receive 25% off all AWS
publications, plus discounts on AWS-sponsored seminars and conferences. Delve into
networking opportunities. Receive the Welding Journal and more. Reap the benefits of AWS
membership today!

Yes! I want to order D1.1:2000 now!

Yes! I want to join AWS today and save 25% on D1.1:2000!

© Copyright 2000

American Welding Society



FOUNDATION
A Foundation of the American Welding Society

ICRP - The International Commission on Radiological Protection

www.icrp.org

What is ICRP?

ICRP, the International Commission on Radiological Protection, is an advisory body providing recommendations and guidance on radiation protection. It was founded in 1928 in Stockholm by the International Society of Radiology (ISR), with Rolf Stevert as one of the Founder Members of what was then called the 'International X-ray and Radium Protection Committee'. In 1950, it was restructured to better take account of uses of radiation outside the medical area, and given its present name. It is an Independent Registered Charity in the United Kingdom, where its funds are held, and currently has its small Scientific Secretariat in Sweden.

According to its constitution, ICRP is established to advance for the public benefit the science of Radiological Protection, in particular by providing Recommendations and guidance on all aspects of radiation protection. In preparing its recommendations, ICRP considers the fundamental principles and quantitative bases upon which appropriate radiation protection measures can be established, while leaving to the various national protection bodies the responsibility of formulating the specific advice, codes of practice, or regulations that are best suited to the needs of their individual countries.

The activities of ICRP are financed mainly by voluntary contributions from national and international bodies with an interest in radiological protection. Some additional funds accrue from royalties on ICRP publications.

ICRP has always been an advisory body, offering its recommendations to regulatory and advisory agencies. In addition, ICRP hopes that its advice is of help to management and professional staff with responsibilities for radiological protection. No international organisation and no country is obliged to follow the recommendations of ICRP; that most organisations and countries do follow them shows that they find the recommendations suitable.

ICRP is composed of a Main Commission and four standing Committees on Radiation effects, on Doses from radiation exposure, on Protection in medicine, and on the Application of ICRP recommendations. The Main Commission consists of twelve members and a Chairman (currently Professor RH Clarke, UK).

Like other scientific academies, the Commission elects its own members, under rules that are subject to the approval of ISR. Renewal is assured in that 3 to 5 members must be changed every fourth year. Committees typically comprise of 15-20 members. Biologists and medical doctors dominate the current membership; physicists are also well represented.

ICRP uses Task Groups (performing defined tasks) and Working Parties (developing ideas) to prepare its reports. A Task Group usually contains a majority of specialists from outside the ICRP membership.

Thus, ICRP is an independent international network of specialists in various fields of radiological protection. At any one time, about one hundred eminent scientists are actively involved in the work of ICRP.

Ionising radiation

There are many different sources of ionising radiation. For members of the general public, by far the most important sources are natural ones (cosmic rays and naturally occurring radioisotopes) and technologically enhanced natural sources (e.g. radon in dwellings).

There are also many different kinds of ionising radiation. One type consists of particles, such as α , β or neutrons. Another type of ionising radiation consists of electromagnetic wave motions, or photons, such as γ or x rays. Different kinds of radiation cause similar biological endpoints, but they may have vastly differing biological efficiencies.

Furthermore, different parts of the body react in different ways to ionising radiation, and different tissues having different sensitivities.

"The dose is not a simple function of activity. One needs to know the radioactive substance, the distance from source to irradiated organism (or the intake route), the time of the irradiation, the presence or otherwise of shielding objects, etc."

Therefore, measurements of absorbed radiation energy alone are not sufficient to evaluate biomedical risks of radiation. ICRP has defined a protection quantity, the effective dose, which is weighted for the type of radiation involved and for tissue or organ sensitivity of the exposed parts of the irradiated organism. For intakes of radionuclides, the physiology and retention time in the body are also taken into account.

"The becquerel is a very small unit. In other words, trivial amounts of radioactive substance must sometimes be described by what appears to a layman to be a very large number.

For radioactive substances, there are two types of radiation measurement. Activity, measured in becquerels, describes the size of the source. Effective dose, measured in sieverts, describes the effect on the irradiated organism. The dose is not a simple function of activity. One needs to know the radioactive substance, the distance from source to irradiated organism (or the intake route), the time of the irradiation, the presence or otherwise of shielding objects, etc. The becquerel is a very small unit. In other words, trivial amounts of radioactive substance must sometimes be described by what appears to a layman to be a very large number.

The average annual effective dose to members of the public is usually in the order of 4 millisievert (mSv), of which about 2.5 mSv natural background and radon, 1-2 mSv medical diagnosis and treatment (less in developing countries), and less than 0.1 mSv all other sources combined. Radiation workers would typically be exposed to between a fraction of a mSv and a few mSv in addition to that from their occupation.

Risks of late harm

Through its genotoxic action of producing DNA mutations, radiation can cause cancer and genetic damage with a probability that depends on the dose. In addition, high doses can cause other, more immediate types of harm, which are inevitable if the dose is high enough to cause

massive cell killing. However, such high doses occur only in accidents and in radiotherapy (where it is desired to kill tumour cells).

Classically, no one is affected by low doses of a noxious agent, but above a threshold that may vary slightly between individuals, everybody is affected. This relationship applies to high dose effects of radiation, such as skin burns.

Genotoxicity induced late harm due to radiation does not follow this pattern. Instead, the excess probability of contacting cancer after irradiation is more or less proportional to dose, at least at moderate doses. At quite low doses, below, say, 50 mSv, i.e. in the ranges encountered by the public or in normal work with radiation, inherent limitations of resolution mean that epidemiological investigations are unlikely to ever prove the exact shape of the dose-response relationship. Instead, such conclusions must be based on analogies and laboratory experiments.

ICRP considers that a linear, no threshold dose response relation is likely to be a good approximation of the true conditions at low doses. In other words, not even the smallest dose of radiation is regarded as entirely 'safe'.

That interpretation is rather hotly questioned by a number of scientists who would like to see a threshold and a zero risk (or even a beneficial effect) at very low doses. Those scientists fear that much effort and funds are spent unnecessarily on non-existing problems. However, ICRP feels that the evidence in favour of risk in proportion to the dose even at very low doses is convincing.

There are also proponents of the opposite position, claiming that radiation could be more dangerous per unit dose at very small doses than at moderate doses. ICRP does not find arguments in favour of that position very compelling. Epidemiological evidence also sets an upper limit on the total risk that could possibly exist, not very far above present estimates.

For members of the public, ICRP currently assesses the probability of fatal cancer due to radiation to be in the order of 5 % per 1000 person mSv (assuming a collective dose comprising low individual doses to many persons). In addition, ICRP suggests that non-fatal cancers and genetic disease should be taken into account in risk assessments. For such diseases, the severity must be taken into account - it is obviously less traumatic to survive a cancer than to die from one.

Any system of weighting for severity must involve a subjective component. With the ICRP weighting, non-fatal cancers and genetic effects are regarded as corresponding to a further 2.3 % deaths per person Sv, and therefore the total detriment from all cancers and genetic disease to be 7.3 % per person Sv. For radiation workers, a somewhat smaller detriment coefficient of 5.6 % is assumed (primarily because there are no children among radiation workers).

Protection against radiation risks

Since no dose is regarded as safe, dose limits cannot delineate dangerous from safe and are not efficient as tools to minimise radiation risks. Instead, ICRP has devised an ethically based three-tier system of radiation protection. According to this, no additional dose should be tolerated unless justified in that there is an associated benefit that outweighs the risk. Doses are to be kept as low as reasonably achievable; i.e. it is not enough that doses are below legal limits, instead optimised protection normally leads to doses much below the dose limits. Limits are needed to ensure equitable distribution of risk, and may be useful as a regulatory instrument, but they are not the primary means to reduce risks.

The principles of justification and optimisation aim at doing more good than harm and at maximising the margin of good over harm. They therefore satisfy the utilitarian principle of ethics, whereby actions are judged by their consequences.

The aim of dose limitation is to ensure that no individual is exposed to undue harm. That principle therefore satisfies the deontological principle of ethics, according to which some duties are imperative.

The ICRP principles of radiological protection have evolved considerably with time. The first, 1928, General Recommendations of ICRP were only devised in order to prevent high dose effects. After several successive updates and shifted priorities, in 1977 ICRP Recommendations drew the full consequences of the linear, no threshold model, and observed that dose limits are not a means to keep doses low but simply values that should not be exceeded. The actual mechanism to keep doses low is optimisation, i.e. as low doses as reasonably achievable.

The current, 1990, Recommendations, ICRP Publication 60, reflected new data that indicated a probably higher risk of stochastic late harm per unit dose than previously assumed. Because of that increased risk estimate, the 1990 Recommendations also reduced the dose limits from 50 to 20 mSv for workers and from 5 to 1 mSv for members of the public (both as 5 year averages). It is important that reduced dose limits were not regarded as a tool to reduce doses in general; it just meant that the border line between barely tolerable and a ways unacceptable moved down. Instead, reduction of doses in general (much below the dose limits) came about because of the increased risk figures. They meant that measure that had previously appeared disproportionately expensive now became reasonable alternatives in optimisation.

The 1990 Recommendations also clarified some other matters. One was the clear distinction between practices, where usually radiation from artificial sources is added, and interventions, where radiation (often from natural sources) is removed. The Recommendations also discussed potential exposures from accidents, as opposed to those exposures that are nearly certain to occur.

Plans for the future

The possible need for a Consolidated and Recapitulated set of new Recommendations is currently being contemplated by ICRP. If such a project materialises as a Task Group, a possible target date might be in 2005.

We are all continuously exposed to inevitable radiation, and therefore only a part of the dose to a person is controllable. In practices, the added dose can be constrained or the practice might never be permitted to start. In interventions, only a certain amount of dose can be averted by means of the intervention.

Persons debating dose limits for members of the public sometimes overlook these facts. In fact, the dose limit for the public is not a particularly useful tool. Since members of the public are exposed to a sum of small dose contributions from many sources, superimposed on background and medical doses, it would not do for any operation, practice or license to cause exposures by more than a small fraction of the dose limit. Instead, only national regulatory bodies can use dose limits for the public, as an input to set source-related dose constraints that would apply to a specific operation or practice. Perhaps if a 2005 set of new Recommendations is arranged, that may address these topics in order to elucidate practical applications of the ICRP principles for the protection of the general public.

Furthermore, ICRP continues to regularly issue guidance on the application of its recommendations. Reports on Genetic susceptibility to cancer and on Doses from new radiopharmaceuticals are currently being printed.

Some ongoing tasks are expected to be completed during the next two years. One project, very close to completion, concerns the possible influence of radiation on the incidence of multifactorial hereditary diseases. Two projects aim to compile age-dependent doses to members of the public from intakes of radionuclides. One of those tasks concerns doses to embryos/fetuses, i.e. effective dose to the offspring from radionuclides ingested or inhaled by the mother before and during pregnancy. Another task is intended to provide a discussion of general values of effective dose coefficients for populations and their reliability.

Another project is intended to update and extend the data on "Reference Man" given in ICRP Publication 23 on parameters for use in dosimetry and on biokinetic models for the metabolism and excretion of incorporated radionuclides. A first report on the skeleton, ICRP Publication 70, was published in 1995. A report on Anatomy, physiology, and elemental composition is under way. A report on the Digestive system is expected to follow later. A project on the Respiratory Tract Model of ICRP is intended to produce a Technical Document serving as a User Guide offering advice on the application of the Human respiratory tract model described in ICRP Publication 66 from 1994.

Profile | Organisation | Plant Performance | Projects Under Construction | Nu-Power | Press Release | Reference Articles | New Projects | Community Services | IALF | Financial Performance | FAO's | Main

The aim of a project on chronic (persistent) exposures is to develop recommendations concerning the application and withdrawal of counter measures in exposure situations arising from the long-term presence of radioactive materials in the environment, and the management of the residual exposures after the withdrawal of countermeasures. A further project aims to review existing recommendations on radiological protection for disposal of long-lived solid radioactive waste, such as spent nuclear fuel. Previous advice (in ICRP Publication 66 from 1985) is still regarded as valid, but there is a need to consider its overall usefulness to decision-makers.

In addition, a number of new projects were started in 1998. These include Cancer risk at low doses. Radiation risks to the embryo/fetus, quality factors and RBE, further Doses from radiopharmaceuticals. Dose coefficients for external radiation, Pregnancy in medical practice, Patient safety in radiotherapy, and Interventional procedures. Other areas are constantly being monitored for possible later inclusion into the ICRP work programme.

Jack Valentin, born in 1944 in Stockholm, Sweden, is a PhD in genetics. After various positions in research teaching and forensic laboratory work, he was recruited to the Swedish Radiation Protection Institute (a licensing authority) in 1983 as one of its Deputy Directors. There, he was first responsible for non-nuclear activities, turning then in 1989 to nuclear energy supervision. In February 1997, he took up his current post as Scientific Secretary of ICRP.

He has authored about 100 publications and has held various commissions of trust within the area of radiation protection, including a current assignment as a member of the Executive Council of IAEA (the International Radiation Protection Association).

NORMATIVAS DE MAYOR IMPORTANCIA EN LA INSPECCIÓN DE LA CALIDAD DE UNIONES SOLDADAS.**1.6.1 BRITISH STANDARD 3351-1961. SISTEMAS DE TUBERÍAS PARA LA INDUSTRIA DEL PETRÓLEO.**

En esta norma, y en relación con la aceptación de las uniones soldadas, se dice lo siguiente:

PARA EL CASO DE ACEROS AL CARBONO. Cuando una unión soldada en un tubo de acero al carbono sea radiografiada, cualquiera de las siguientes imperfecciones será suficiente para que la unión no sea admitida:

- a) Cualquier tipo de grieta o zona de falta de fusión;
- b) Falta de penetración en raíz cuya longitud sea superior a 0.5 pulgadas o una longitud total de este defecto superior a 1 pulgada en una longitud de unión de 12 pulgadas;
- c) Inclusiones gaseosas o de escoria de $\frac{1}{4}$ in de ancho o una longitud de estos defectos superior a $\frac{1}{16}$ de pulgada en una uniformemente
- d) La zona total de porosidad, proyectada a través de la soldadura, no deberá ser superior a 0.01 pulgadas cuadradas, equivalente a tres áreas de $\frac{1}{16}$ de pulgada de diámetro, en cualquier pulgada cuadrada de la zona radiografiada.

PARA EL CASO DE ACEROS ALEADOS. En el caso de que la unión soldada se haya efectuado en tubería de acero aleado, cualquiera de las imperfecciones siguientes será causa suficiente para rechazarla:

- a) Cualquier tipo de grieta o falta de fusión;
- b) Falta de penetración en raíz superior a $\frac{3}{8}$ de pulgadas en 6 pulgadas de longitud soldada.
NOTA: en determinadas condiciones operatorias puede ser exigida como esencial la penetración completa en raíz a lo largo de toda la unión;
Inclusiones gaseosas o de escoria superiores a $\frac{1}{4}$ de pulgada de largo ó $\frac{1}{16}$ de pulgada o una longitud total de estos defectos, superior a $\frac{1}{4}$ de pulgada en 3 pulgadas de unión soldada;
- c) La zona total de porosidad proyectada a través de la soldadura no deberá ser superior a 0.01 pulgada cuadrada (equivalente a tres áreas de $\frac{1}{16}$ de diámetro), en 1 pulgada cuadrada de zona soldada.

1.6.2 BRITISH STANDARD 1515: Part. I-1965. ESPECIFICACIÓN PARA LA SOLDADURA

En su apartado 5.2.3, referente a la evaluación de soldaduras, según radiografías de las mismas, indica que cualquiera de las siguientes imperfecciones será juzgada como inaceptables:

- a) cualquier tipo de grieta, falta de penetración o falta de fusión;
- b) las inclusiones de escoria alargadas cuya longitud sea superior a: $\frac{1}{4}$ de pulgada en espesores de hasta $\frac{3}{4}$ de pulgadas, $\frac{1}{3} t$ para valores de t comprendidos entre $\frac{3}{4}$ y $2 \frac{1}{4}$ pulgadas, $\frac{3}{4} t$ para valores de t superiores a $2 \frac{1}{4}$ pulgadas, siendo t el espesor de la parte fina de la unión soldada.
- c) Cualquier grupo de inclusiones de escoria alineadas cuyo agrupamiento tenga una longitud superior a t en una longitud de $22t$ excepto cuando la distancia entre dos imperfecciones sucesivas sea superior a $6 L$, siendo L la longitud del defecto mayor del grupo;
- d) La porosidad total proyectada a través de la soldadura no ocupará un área superior a 0.01 pulgadas cuadradas (equivalente a tres áreas de $\frac{1}{16}$ de pulgada de diámetro) por 1 pulgadas de espesor de pared en 1 pulgada cuadrada de zona proyectada de la soldadura (considerando el menor espesor de los componentes que se unen).

1.6.3 ASME: CALDERAS Y RECIPIENTES A PRESIÓN.**SECCIÓN VIII. RECIPIENTES DE PRESIÓN NO SOMETIDOS A LA ACCIÓN DE LA LLAMA.**

Las normas establecidas en el código ASME en su sección VIII, apartado UW.51 y en la sección III, apartado N 624.8 son las que se resumen a continuación

- Cualquier tipo de grieta, falta de penetración o fusión;
- Inclusiones alargadas, de escoria o tungsteno, cuya longitud sea mayor que: $\frac{1}{4}$ de pulgada para valores de t comprendidos entre $\frac{3}{4}$ y $2 \frac{1}{4}$ de pulgada; $\frac{3}{4}$ de pulgada cuando t sea mayor de $2 \frac{1}{4}$ de pulgada, siendo t el espesor de la parte más delgada de la soldadura;
- Cualquier grupo de inclusiones alineadas cuya agrupación presente una longitud superior a t , en una longitud igual a $12 t$, excepto cuando la separación entre dos imperfecciones sucesivas exceda el valor de $6 L$, siendo L longitud del mayor defecto del grupo;
- Porosidad, cuando sea superior a la establecida como aceptable en las cartas de porosidad que se detallan a continuación:

CARTAS DE POROSIDAD.

Para la admisión o rechazo de las uniones soldadas sobre materiales ferríticos, austeníticos y los no féreos, cuyas radiografías muestren porosidades, se tendrá en cuenta los siguientes aspectos:

- El área total de la porosidad determinada mediante la radiografía no deberá ser superior a $0.06 t$ pulgadas cuadradas ($0.4 t \text{ cm}^2$) en una longitud total de 6 pulgadas (152 mm), siendo t el espesor de la soldadura. Como tamaño máximo de los poros el menor de los valores: 20% de t ó $1/8$ de pulgada (3.1 mm), excepto cuando se trate de poro aislado o separado del más próximo una distancia igual o superior a 1 pulgada, en cuyo caso su tamaño máximo será 30% de t ó $\frac{1}{4}$ de pulgada (6.4 mm).

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

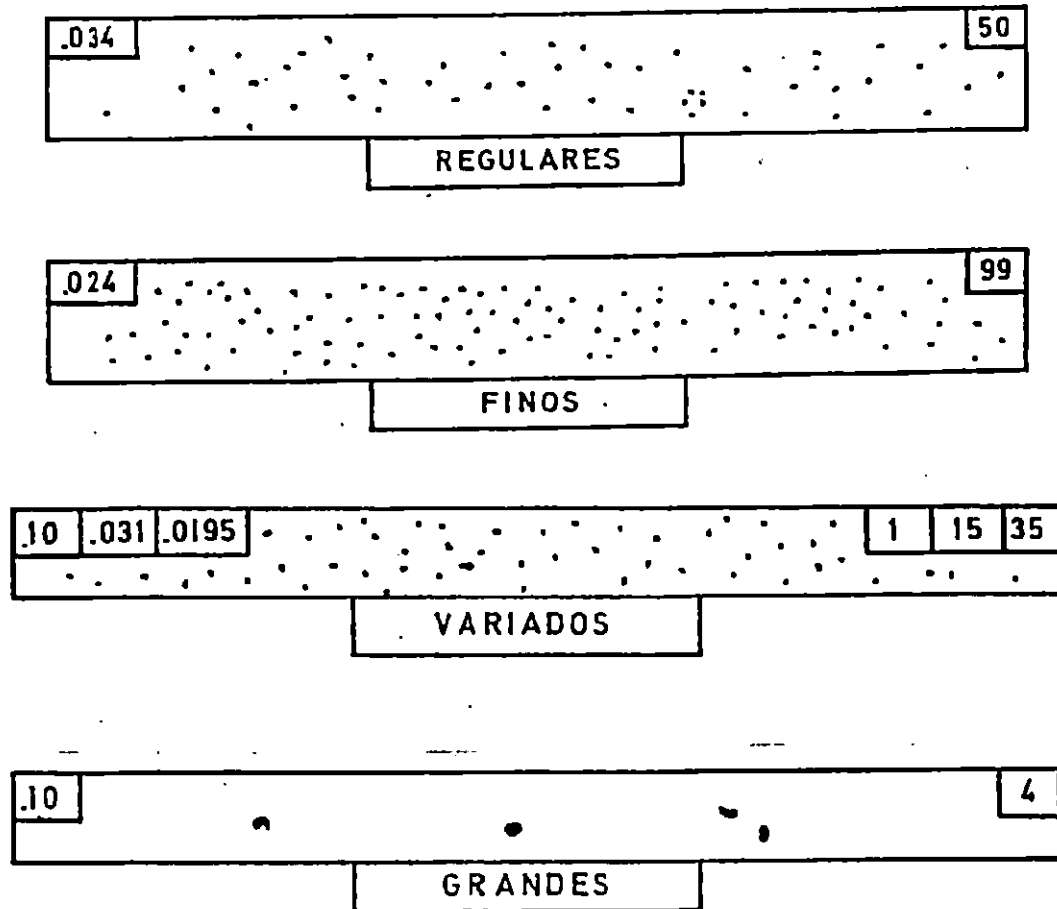
- Las cartas de porosidades se muestran en las FIGURAS 1-9, 1-10, 1-11, 1-12 y 1-13; en ellas se muestran diversos tipos de indicaciones de porosidades, variadas, uniformes y dispersas regularmente. Estas cartas representan, para cada espesor, el máximo de porosidad aceptable y corresponden a radiografías de 6 pulgadas de longitud a tamaño natural y no deberán ser ampliadas o reducidas. La distribución mostrada no es necesariamente la imagen real que pueda aparecer en las radiografías, sino que es una indicación sobre el número y tamaño de la porosidad admisible.
- Cuando la porosidad difiera de forma significativa de la mostrada en las cartas, el número y tamaño de los poros podrán ser determinados y medidos y con estos datos calcular el área total de porosidad;
- En cualquier unión soldada, cuya longitud sea el menor de los valores de 1 pulgada ó $2 t$, la porosidad puede agruparse hasta alcanzar una concentración de cuatro veces la admitida por $0.06 t$. Esta agrupación de porosidad se deberá incluir en la porosidad de cualquier longitud de soldadura de 6 pulgadas que contenga dicha agrupación;
- La porosidad alineada se debería aceptar siempre que la suma de los diámetros de los poros no sea mayor que t en una longitud cuya magnitud sea el menor de los valores $12 t$ ó 6 pulgadas, siempre que cada poro este separado por una distancia no inferior a 6 veces el diámetro del poro más próximo de mayor tamaño.
- La porosidad admisible para espesores de unión soldada intermedios a los representados en las cartas, pueden valorarse bien sea por comparación con el material de menor espesor más próximo, o por cálculo de acuerdo con los datos que se proporcionan en la siguiente tabla:

Espesor de la soldadura		Área total permisible		Grande (tamaño de las porosidades)				Media (tamaño de las porosidades)				Fina (tamaño de las porosidades)			
Pulg.	mm	pulg ²	mm ²	Frac. ción pulg	Decimal pulg (")	mm	Número de poros	Frac. ción pulgadas	Decimal pulg	mm	Número de poros	Frac. ción pulg	Decimal pulg	mm	Número de poros
1/8	3.175	0.0075	4.838	-	-	-	-	-	-	-	-	1/64	0.0140	0.355	49
1/4	6.350	0.0150	9.677	-	-	-	-	3/128	0.025	0.635	31	1/64	0.0140	0.355	100
1/2	12.700	0.030	19.354	3/32	10	2.54	4	1/32	0.031	0.787	40	3/128	0.0195	0.495	101
3/4	19.050	0.045	29.354	1/8	125	3.175	4	1/32	0.034	0.863	50	3/128	0.0240	0.609	99
1	25.400	0.060	38.709	1/8	125	3.175	5	5/128	0.039	0.990	50	1/32	0.0275	0.698	101
1 1/4	38.100	0.090	58.064	1/8	125	3.175	7	3/64	0.048	1.219	50	1/32	0.0340	0.863	99
2	50.800	0.120	77.419	1/8	125	3.175	10	7/128	0.055	1.397	51	5/128	0.0390	0.990	100
2 1/2	63.500	0.150	96.774	1/8	125	3.175	12	1/16	0.061	1.549	51	3/64	0.0440	1.117	99
3	76.200	0.180	116.128	1/8	125	3.175	15	1/16	0.068	1.727	50	3/64	0.0480	1.219	99
3 1/2	88.900	0.210	135.483	1/8	125	3.175	17	5/64	0.073	1.854	50	7/128	0.0520	1.320	99
4	101.600	0.240	154.838	1/8	125	3.175	20	5/64	0.078	1.981	50	7/128	0.0550	1.397	101

* Estos valores se utilizan para calcular el área total de porosidad permisible, dada en la segunda columna.

TABLA ANEJO 1-6 Porosidad máxima admisible en una longitud de unión soldada igual a 6 pulgadas

En la siguiente figura se muestra una cartilla de porosidades para evaluar la calidad de una unión soldada y determinar su aceptabilidad según la forma y cantidad de porosidades que esta posee.



Carta de porosidad ASME es espesores de chapa o pared de tubo de ½ pulgada; el área total máxima de la suma de todas porosidad admisible es de 0.03 pulgadas cuadradas. en las cartas.

1.6.4 CÓDIGO DE ESTRUCTURAS SOLDADAS DE LA AWS

El Código AWS D1.1 es uno de los más ampliamente utilizados en EUA y el resto del mundo, dicho código:

- Cubre los requerimientos de soldadura aplicables a estructuras soldadas.
- Se utiliza como complemento de cualquier otro código de diseño y construcción de estructuras de acero
- No se aplica a la construcción de recipientes o tanques a presión ni a sistemas de tuberías.
- Se encuentra compuesto de 10 secciones 11 apéndices mandatorios y 7 no mandatorios.
- Abarca requerimientos comunes a todas las estructuras, que se encuentran en las secciones 1 a la 7, junto con la sección 11
- Abarca requerimiento que se aplican exclusivamente a cargas estáticas (edificios), cargas dinámicas (puentes) y estructuras tubulares respectivamente, se encuentra en las secciones 8, 9 y 10
- Contiene los metales bases a ser soldados bajo este código que son aceros al carbono y de baja aleación comúnmente utilizados en la construcción de estructuras.
- No se aplica a la soldadura de metales base con un espesor menor a 1/8 in.

Dicho código en lo referente a la CALIDAD DE LA SOLDADURA, menciona entre otros aspectos los siguientes:

Todas las soldaduras deberán ser inspeccionadas visualmente. Una soldadura sujeta únicamente a inspección visual será aceptable, si durante la inspección visual muestra lo siguiente:

- Las soldaduras no deberán tener ninguna rajadura en ninguna dirección ni sentido.

- c) El perfil de las soldaduras de filete será como se muestra en el Véase ANEXO 1-7.
- d) La frecuencia de porosidad en soldadura de filete no excederá de un defecto de 3/32 pulgadas de diámetro (0.09375 pulgadas = 2.38 mm) en 4 pulgadas de longitud, excepto en conexiones de soldaduras de filete, como almas y patines donde el diámetro mayor no exceda de 3/8 pulgadas, en una pulgada de soldadura ó ¾ de pulgada en 12 pulgadas de soldadura.
- e) La máxima dimensión de cualquier defecto de porosidad o tipo de fusión será de 1/16 de pulgada (0.0625 pulgadas = 1.7825 mm) para soldaduras de filete.

Existen otras normas muy importantes en lo que respecta a la calificación de soldaduras entre estas se encuentran:

1.6.5 NORMAS API 650 y 620.

Incluye la calificación de soldaduras de tanques de almacenamiento no sometidos a presión y equipos de procesos en la industria petroquímica.

1.6.6 NORMA API 1104.

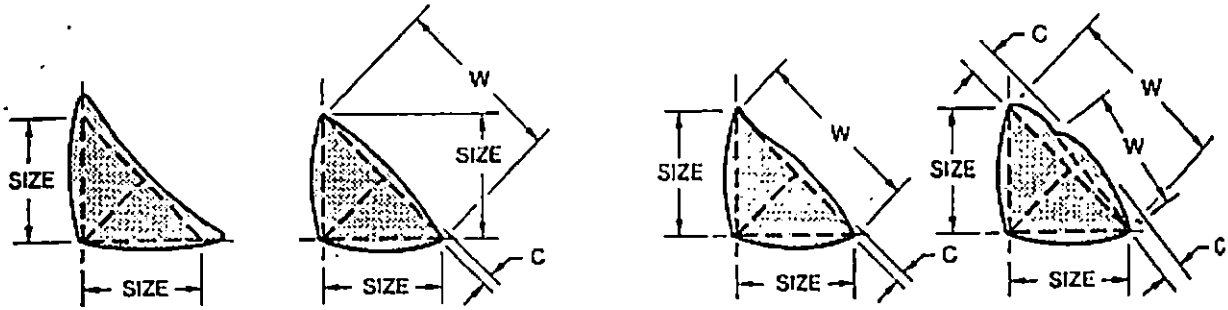
Calificación de soldaduras de tuberías de oleoductos y gasoductos o conducción de combustibles, además de la calificación de soldadores para lo mismo.

1.6.7 NORMA ANSI 8 31.1

Calificación de soldaduras de tuberías a presión de cualquier diámetro en plantas termoeléctricas, petroquímicas o gasoductos.

Se han mostrado diferentes normativas que evalúan la calidad de las soldaduras y faltan otras por nombrar pero presentarlas todas sería un trabajo muy amplio, por ello se ha presentado las normativas de mayor importancia, de ellas se puede concluir lo siguiente:

- ▶ Cada norma esta asociada a un material en particular, el cual será examinado, y algunas son específicas para ciertas dimensiones o espesores de materiales.
- ▶ La aplicación del componente o el elemento a inspeccionar es importante en la selección de la normativa a utilizar.
- ▶ La mayorías de las normas Europeas son códigos mandatorios que deben respetarse en el país de origen, no sucede así con las normativas americanas no son códigos recomendados y que en la mayoría se complementan con otros, para realizar la evaluación respectiva.

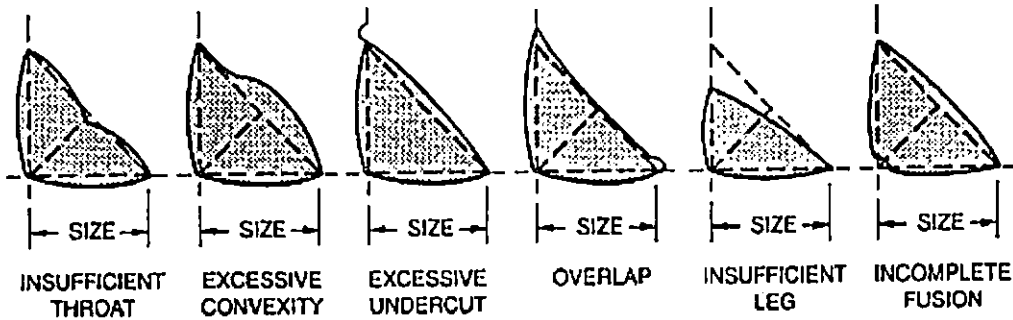


(A) DESIRABLE FILLET WELD PROFILES

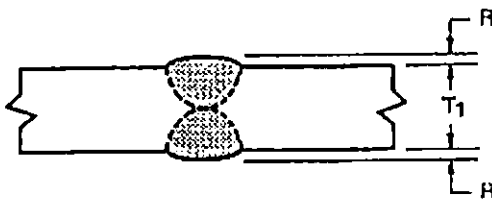
(B) ACCEPTABLE FILLET WELD PROFILES

NOTE: CONVEXITY, C, OF A WELD OR INDIVIDUAL SURFACE BEAD WITH DIMENSION W SHALL NOT EXCEED THE VALUE OF THE FOLLOWING TABLE:

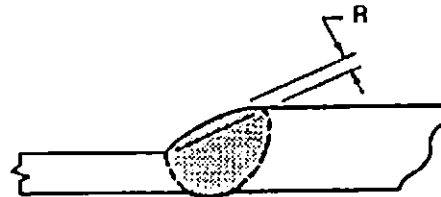
WIDTH OF WELD FACE OR INDIVIDUAL SURFACE BEAD, W	MAX CONVEXITY, C
$W \leq 5/16$ in. (8 mm)	1/16 in. (1.6 mm)
$W > 5/16$ in. TO $W < 1$ in. (25 mm)	1/8 in. (3 mm)
$W \geq 1$ in.	3/16 in. (5 mm)



(C) UNACCEPTABLE FILLET WELD PROFILES



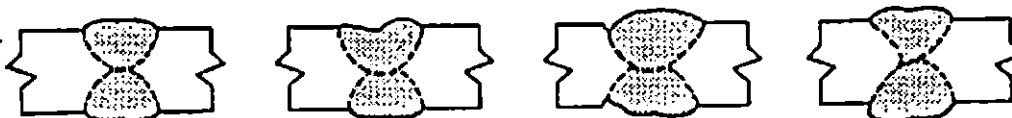
BUTT JOINT—
EQUAL THICKNESS PLATE



BUTT JOINT (TRANSITION)—
UNEQUAL THICKNESS PLATE

NOTE: REINFORCEMENT R SHALL NOT EXCEED 1/8 in. (3 mm), SEE 5.24.4.

(D) ACCEPTABLE GROOVE WELD PROFILE IN BUTT JOINT



(E) UNACCEPTABLE GROOVE WELD PROFILES IN BUTT JOINTS

Acceptable and Unacceptable Weld Profiles

ANEXO 6-1

Minimum Mechanical Properties for ASTM HSLA Steels Approved for Use by AISC Specifications for the Design, Fabrication, and Erection of Structural Steel for Buildings (1969) AWS Building Code D1.0-69 (Revised 1970)

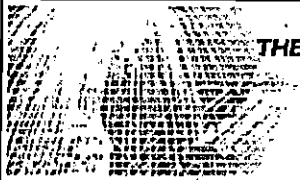
A36 ASTM GRADE and Descriptive Information	Mechanical Properties			Material Shape	Thickness Group Or Grade	Chemical Requirements (Ladle) Percent						
	Tensile Strength† (ksi min.)	Yield Point (ksi min.)	Elongation in 2 in. % min.			C Max.	Mn† Max.	P Max.	S Max.	Si †	Cu Min.	V Min.
Structural Steel	58 to 80	36	23	Shapes		0.26	-	0.04	0.05	-	0.20*	
	58 to 80	36	23	Plate	to 3/4 incl.	0.25		0.04	0.05		0.20*	
	58 to 80	36	23		over 3/4 to 1-1/2 incl.	0.25	0.80 - 1.20	0.04	0.05		0.20*	
	58 to 80	36	23		over 1-1/2 to 2-1/2 incl.	0.26	0.80 - 1.20	0.04	0.05	0.15 - 0.30	0.20*	
	58 to 80	36	23		over 2-1/2 to 4" incl.	0.27	0.85 - 1.20	0.04	0.05	0.15 - 0.30	0.20*	
	58 to 80	36	23		over 4 to 8 incl.	0.29	0.85 - 1.20	0.04	0.05	0.15 - 0.30	0.20*	
	58 to 80	36	23		Bars & Bar Shapes	to 3/4" incl.	0.26	-	0.04	0.05		0.20*
	58 to 80	36	23	over 3/4" to 1-1/2" incl.		0.27	0.60 - 0.90	0.04	0.05		0.20*	
58 to 80	36	23	over 1-1/2" to 4" incl.	0.28		0.60 - 0.90	0.04	0.05		0.20*		
A53 GRADE B Welded & Seamless Steel Pipe electric resistance or seamless (only chemistry limit is phosphorus)	60 min.	35	**		B			**				
A242 High Strength Low Alloy Structural Steel (other alloying elements may be added.) If Cmax ≤ 0.15, Mn max. can be raised to 1.40	70 min.	50	**	Plates & Bars	to 3/4" incl.	0.22	1.25		0.05			
	67 min.	46	**		over 3/4 to 1-1/2 incl.	0.22	1.25		0.05			
	63 min.	42	24		over 1-1/2 to 4" incl.	0.22	1.25		0.05			
	70 min.	50	**	Struc. Shapes	I	0.22	1.25		0.05			
	67 min.	46	**		II	0.22	1.25		0.05			
63 min.	42	24		III	0.22	1.25		0.05				
A375 High Strength, Low Alloy Hot Rolled Steel Sheet Strip When used for welding, the chemistry shall be checked for weldability based on evidence acceptable to the buyer	70 min.	50	22			0.22	1.25		0.05			
A441 High Strength Low Alloy Structural Manganese Vanadium Steel	70 min.	50	**	Plates & Bars	to 3/4" incl.	0.22	.85 - 1.25	0.04	0.05	0.30	0.20	0.02
	67 min.	46	**		over 3/4" 1-1/2" incl.	0.22	.85 - 1.25	0.04	0.05	0.30	0.20	0.02
	63 min.	42	24		over 1-1/2" to 4" incl.	0.22	.85 - 1.25	0.04	0.05	0.30	0.20	0.02
	60 min.	40	24		over 4" to 8" incl.	0.22	.85 - 1.25	0.04	0.05	0.30	0.20	0.02
	70 min.	50	**	Struc. Shapes	I	0.22	.85 - 1.25	0.04	0.05	0.30	0.20	0.02
	67 min.	46	**		II	0.22	.85 - 1.25	0.04	0.05	0.30	0.20	0.02
	63 min.	42	24		III	0.22	.85 - 1.25	0.04	0.05	0.30	0.20	0.02
A500 Cold-Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing in Rounds and Shapes	45 min.	33	25	Round Structural Tubing	A	0.26		0.04	0.05		0.20*	
	58 min.	42	23		B	0.26		0.04	0.05		0.20*	
	45 min.	39	25	Shaped Struc. Tub.	A	0.26		0.04	0.05		0.20*	
	58 min.	46	23		B	0.26		0.04	0.05		0.20*	
A501 Hot-Formed Welded and Seamless Carbon Steel Structural Tubing.	58 min.	36	23			0.26		0.04	0.05		0.20*	
A529 Structural Steel (42 ksi min. yield 1/2 in. max. thickness)	60 to 85	42	19			0.27	1.20	0.04	0.05		0.20*	
A570 GRADES D & E Hot Rolled Carbon Steel Sheets & Strip, Struc. Quality	55 min.	40	**		D	0.25	0.60 - 0.90	0.04	0.04		0.20*	
	58 min.	42	**		E	0.25	0.60 - 0.90	0.04	0.04		0.20*	

* When Specified

** See ASTM Standards for details


† Where two figures are given this is a min-max range.

ANEXO 6-2. TABLA 6-3. CARACTERÍSTICAS DE ELECTRODOS.

 THE LINCOLN ELECTRIC COMPANY World Leader in Welding				
TIPO	CLASIFICACIÓN SEGÚN AWS	CLASE DE CORRIENTE	POSICIONES	RESULTADOS DE LA SOLDADURA
ACEROS ORDINARIOS	E-6010	CC +	H, V, C, T	Gota caliente, buena penetración, cordón plano.
	E-6011	CC +, CA	H, V, C, T	Cualquier trabajo de soldadura.
	E-6012	CC -, CA	H, V, C, T	Gota fría, pequeña penetración, para preparaciones no muy buenas, buen contorno de cordón, pocas proyecciones.
	E-6013	CC -, CC+, CA	H, C, C, T	
	E-6014	CC -, CA	H, V, C, T	Buen rendimiento grandes rellenos en pocas pasadas.
	E-6020	CC +, CC-, CA	H, C	
	E-6024	CC +, CC-, CA	H, C	
	E-6027	CC +, CC-, CA	H, C	Poivo de hierro, gran aportación, buena penetración.
	E-7014	CC +, CC-, CA	H, V, C, T	Poivo de hierro, baja aportación, gran velocidad.
E-7024	CC +, CC-, CA	H, C	Poivo de hierro, gran aportación, pasada simple o múltiple	
BAJO HIDRÓGENO	E-7016	CC +, CA	H, V, C, T	Soldeo de aceros con elevado S o elevado C.
	E-7018	CC +, CA	H, V, C, T	Aceros sensibles a la fisuración o a la porosidad.
	E-7028	CC +, CA	H, C	


CC+ corriente continua polaridad inversa
 CC- corriente continua polaridad directa
 CA corriente alterna
 H horizontal, - V vertical, - C comisa, - T techo.

ANEXO 6-3. Características y Aplicaciones de los principales tipos de electrodos de gota fría (FAST FREEZE ELECTRODES) de la firma comercial Lincoln Electric.

Tipo de Electrodo		Características	Diámetro del Electrodo mm (ulgada)	Intensidad de Corriente *Recomendada para el soldeo
E-6010	Fleetweld 5P	Electrodo catódico para el soldeo en todas posiciones. Sólo funciona en corriente continua con polaridad inversa. Se emplea principalmente en el soldeo de aceros ordinarios y débilmente aleados. Sólo es recomendable para el soldeo de piezas con una buena preparación. Presenta una gran aplicación en construcción naval, de edificios, puentes, depósitos y tuberías. La presente tabla nos proporciona algunas orientaciones sobre las intensidades recomendables para distintos diámetros.	2.5 (3/32)	40 - 75
			3.25 (1/8)	75 - 130
			4 (5/32)	70 - 125
			5 (3/16)	140 - 225
			6 (1/4)	220 - 325
E-6011	Fleetweld 35	Es similar al anterior, salvo que puede utilizarse en generadores de corriente alterna. Aunque también funciona en corriente continua con polaridad inversa, no da tan buen resultado como el anterior. Las intensidades recomendables para el soldeo con este tipo de electrodo, son algo más bajas que en los electrodos E-6010	2.5 (3/32)	50 - 85
			3.25 (1/8)	75 - 120
			4 (5/32)	90 - 160
			5 (3/16)	120 - 200
			6 (1/4)	190 - 300
E-6012	Fleetweld 7	Electrodo de rutilo, de gota relativamente fría, utilizable en corriente continua y en corriente alterna. Cuando se emplea en corriente continua debe conectarse con polaridad directa. Penetración media, arco suave, ligeras proyecciones y escoria densa. Aunque se considera como electrodo de todas posiciones, se emplea principalmente en horizontal y en comisa. Se adapta bien a preparaciones defectuosas o con grandes separaciones. Admite mayores intensidades que otros electrodos de los que se emplean en todas posiciones.	2.5 (3/32)	40 - 75
			3.25 (1/8)	70 - 110
			4 (5/32)	80 - 145
			5 (3/16)	110 - 180
			6 (1/4)	170 - 270
E-6013	Fleetweld 37	Electrodo de rutilo, similar al E-6012, aunque presenta ligeras diferencias. La escoria es más fácil de limpiar y el arco se mantienen más fácilmente, sobre todo con los diámetros pequeños. Permite un trabajo más fácil incluso con grupos de baja tensión de vacío. Menor poder de penetración. Cordones más planos y lisos. Aunque se emplea principalmente para el soldeo de chapa fina, admite otras diversas aplicaciones. Funciona bien en todas posiciones y va muy bien con corriente alterna. Cuando se utiliza corriente continua puede soldarse con cualquier polaridad. Las intensidades recomendables para estos electrodos figuran en la presente tabla.	1.5 (5/64)	45 - 75
			2.5 (3/32)	70 - 95
			3.25 (1/8)	110 - 135
			4 (5/32)	145 - 180
			5 (3/16)	190 - 235


* Estos valores pueden variar ligeramente para electrodos de distintos fabricantes.

ANEXO 6-4. Características y Aplicaciones de los principales electrodos de gran rendimiento (FAST-FILL ELECTRODES) de la firma Comercial Lincoln Electric.

Tipo de Electrodo		Características	Diámetro del Electrodo [mm]	Intensidad de Corriente *Recomendada para el soldeo
E6027	Jetweld 2	electrodo de gran rendimiento que produce soldaduras de gran calidad, con una elevada velocidades aportación. Se emplea para el depósito de cordones en ángulo de espesores grandes, para realizar las pasadas de relleno en uniones a lope y en las pasadas de acabado. Sólo es aplicable en horizontal y en las uniones en ángulo conviene trabajar apoyando el electrodo sobre las piezas (soldadura por contacto). Puede utilizarse con corriente alterna y con corriente continua con cualquier polaridad. La presente tabla da una orientación sobre las intensidades recomendables para este tipo de electrodos.	4 (5/32)	175 - 215
			5 (3/16)	230 - 270
			6 (7/32)	270 - 340
				315 - 405
E7014	Fleetweld 47	electrodo de rutilo, de gran rendimiento y de gota relativamente fría, adecuado para soldaduras en las que se requiere una gran velocidad. Puede utilizarse en todas posiciones, con corriente alterna o continua y con ambas polaridades. Presenta una aportación mucho mayor que los electrodos E-6012 y E-6013, por lo que los sustituye en muchos trabajos. Es particularmente efectivo para el soldeo en vertical descendente. Para orientarse sobre las intensidades adecuadas pueden consultarse en la presente tabla.	2.5 (3/32)	70 - 100
			3.25 (1/8)	110 - 145
			4 (5/32)	135 - 200
			5 (3/16)	180 - 235
			5.5 (7/32)	235 - 305
E7024	Jetweld 1	electrodo de rutilo, de gran rendimiento. Su gran velocidad de aportación lo hace muy interesante desde el punto de vista económico en las soldaduras a una sola pasada o en los grandes rellenos. Aunque sólo es aplicable en horizontal, se utiliza ampliamente por su gran rapidez y fácil eliminación de la escoria. Funciona con corriente alterna y con corriente continua en ambas polaridades. Para orientación sobre intensidad recomendable se encuentran en la siguiente tabla.	2.5 (3/32)	90 - 120
			3.25 (1/8)	120-150
			4 (5/32)	180-230
			5 (3/16)	250-300
			5.5 (7/32)	350-400
	400-500			

* Estos valores pueden variar ligeramente para electrodos de distintos fabricantes.


ANEXO 6-5. Características y Aplicaciones de los principales electrodos de bajo hidrogeno de la firma comercial Lincoln Electric

Tipo de Electrodo		Características	Diámetro del Electrodo mm (pulgadas)	Intensidad de Corriente *Recomendada para el soldeo
E-7016.	Jetweld LH-63	electrodo básico para el soldeo en todas posiciones, con corriente alterna o con corriente continua y polaridad inversa. Recomendable para el soldeo de aceros sensibles al temple, cuando no se pueden precalentar o cuando el tratamiento de atenuación de tensiones, aunque fuese recomendable, no puede realizarse.	2.5 (3/32)	75-105
			3.25 (1/8)	100-150
			4 (5/32)	140-190
			5 (3/16)	180-250
E-7018	Jetweld	Electrodo de bajo hidrógeno (básico) que además contiene polvo de hierro. Tiene una gran velocidad de aportación y deposita un material capaz de superar los más severos controles radiográficos. Dado que el rendimiento no es excesivo, admite la soldadura en todas posiciones y puede aplicarse con corriente alterna o con corriente continua y polaridad inversa. La gran fluidez del baño permite el fácil escape de todos los gases del mismo, incluso cuando se trabajo con bajas intensidades, obligadas por el soldeo en posiciones distintas de la horizontal.	2.5 (3/32)	70-120
			3.25 (1/8)	100-150
			4 (5/32)	120-200
			5 (3/16)	200-275
E-7028	Jetweld LH-3800	electrodo similar al anterior, pero con grandes cantidades de polvo de hierro, por lo que sólo es recomendable para el soldeo en horizontal.	4 (5/32)	170-240
			5 (3/16)	210-300
			6.5 (1/4)	260-380

* Estos valores pueden variar ligeramente para electrodos de distintos fabricantes.

ANEXO 6-6. SELECCIÓN DE ELECTRODOS PARA EL SOLDEO DE ACEROS ORDINARIOS

	TIPO DE ELECTRODO										
	E-6010	E-6011	E-6012	E-6013	E-7014	E-7016	E-7018	E-6020	E-6024	E-7027	E-7028
Uniones a tope en horizontal, de espesor < 6 mm	5	5	3	8	9	7	9	10	9	10	10
Uniones a tope en todas posiciones, de espesor < 6 mm	10	9	5	8	6	7	6	(b)	(b)	(b)	(b)
Cordones en ángulo en horizontal	2	3	8	7	9	5	9	10	10	9	9
Cordones en ángulo en todas posiciones	10	9	6	7	7	8	6	(b)	(b)	(b)	(b)
Tipo de Corriente	CC+	CA CC+	CC- CA	CA CC	CC CA	CC+ CA	CC+ CA	CC CA	CC CA	CA CC	CC+ CA
Espesores finos (menores o iguales a 6 mm)	5	7	8	9	8	2	2	(b)	7	(b)	(b)
Planchas gruesas o muy embridadas	8	8	8	8	8	10	9	8	7	8	9
Aceros altos en azufre	(b)	(b)	5	3	3	9	9	(b)	5	(b)	9
Velocidad de depósito	4	4	5	5	6	4	6	6	10	10	8
Profundidad de penetración	10	6	6	5	6	7	7	8	4	8	7
Aspecto	6	6	8	9	9	7	10	9	10	10	10
Celidad	6	6	3	5	7	10	9	9	8	9	9
Ductilidad	6	7	4	5	6	10	10	10	5	10	10
Resistencia al impacto a bajas temperaturas	8	8	4	5	8	10	10	8	9	9	10
Proyecciones	1	2	6	7	9	6	8	9	10	10	9
Preparaciones defectuosas	6	7	10	8	9	4	4	(b)	8	(b)	4
Exigencias al soldador	7	6	8	9	10	6	8	9	10	10	9
Eliminación escoria	9	8	6	8	8	4	7	9	9	9	8

- a) los valores están establecidos comparando diámetros iguales. Al variar el diámetro puede haber variaciones. 
- b) No recomendable.
- c) CC+ (corriente continua polaridad diversa); CC- (corriente continua polaridad directa); CA (corriente alterna); CC (corriente continua cualquier polaridad).

Para cada electrodo se da una puntuación de 1 a 10, según como responden en cada caso. Tanto las variables como los distintos valores están obtenidos de numerosas experiencias y tratan de ser una ayuda en el proceso de selección del electrodo. Por ejemplo, según la tabla, para soldar aceros con alto contenido en azufre deben utilizarse los electrodos E-7016 ó E-7018. Si la preparación no es muy buena, el electrodo más indicado es el E-6012 y si lo que se busca es una gran velocidad de aportación, los electrodos más indicados serían los E-7024 y E-6027.



Standard Method for Controlling Quality of Radiographic Testing¹

This standard is issued under the fixed designation E 142; 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 reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense as part of Federal Test Method Standard No. 151b. Consult the DoD Index of Specifications and Standards for the specific year of issue which has been adopted by the Department of Defense.

1. Scope

1.1 This method² covers the radiographic testing of materials for internal discontinuities, and also the use of film and other recording media. Requirements expressed in this method are intended to control the reliability or quality of the radiographic images, and are not intended for controlling the acceptability or quality of materials or products.

1.2 The number of areas or parts to be radiographed and the acceptance standard to be applied shall be specified in the contract, purchase order, product specification, or drawings. The quality level required for radiography shall be at least 2% (2-2T), unless a higher or lower quality is agreed upon by the purchaser and the supplier.

NOTE 1—For additional information, refer to Guide E 94, Test Methods E 1030 and E 1032.

1.3 The values stated in inch-pound units are to be regarded as standard.

1.4 This standard does not purport to address all of the safety problems, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use. (For specific safety precautionary information see Section 15.)

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

E 94 Guide for Radiographic Testing³

E 1025 Practice for Design, Manufacture, and Material Grouping Classification of Hole-Type Image Quality Indicators (IQI) Used for Radiology³

E 1030 Test Method for Radiographic Examination of Metallic Castings³

E 1032 Test Method for Radiographic Examination of Weldments³

E 1079 Practice for Calibration of Transmission Densitometers³

E 1316 Terminology for Nondestructive Examinations³

3. Terminology

3.1 *Definitions*—Refer to Terminology E 1316 for other terms used in this method.

¹ This method is under the jurisdiction of ASTM Committee E-7 on Nondestructive Testing and is the direct responsibility of Subcommittee E07.01 on Radiographic Practice and Penetrators.

Current edition approved May 15, 1992. Published July 1992. Originally published as E 142 - 59 T. Last previous edition E 142 - 86.

² For ASME Boiler and Pressure Vessel Code Applications see Section V, Article 22 of Method SE-142.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.03.

4. Direction of Radiation

4.1 When not otherwise specified, the direction of the central beam of radiation shall be perpendicular, wherever possible, to the surface of the film.

5. Penetrators

5.1 The quality of all levels of radiographic testing shall be determined by a penetrator that conforms to the requirements of Practice E 1025.

6. Placement of Penetrators

6.1 Penetrators shall be placed on the source side of the section being examined and should be placed so that the plane of the penetrator is normal to the radiation beam. If this is not practicable, placement of the penetrator on a block is acceptable provided the block is of radiographically similar material, is placed as close as possible to the item being examined, and the resulting radiographic density of the block image is within prescribed penetrator/area of interest density variation tolerances.

6.2 When radiographing welds, the penetrators shall be placed on the source side adjacent to the weld being radiographed. When weld reinforcement or protruding backing ring is not removed, a shim of the same type of metal as the parent metal shall be placed under the penetrator to provide the same thickness of material under the penetrator as the average thickness through the weld. Shims shall exceed the penetrator dimensions such that the outline of at least three sides of the penetrator image shall be visible on the radiograph and the shimmed penetrator shall be placed so as not to overlap the backing strip or ring.

6.3 When examining double-walled parts such as piping or duct with a radiation source outside the pipe, the penetrator shall be placed, where practicable, on the outside of the pipe alongside the weld nearest the source of radiation.

6.3.1 In cases where placement of the penetrator on the source side is impracticable, the penetrator may be placed on the film side if one of the following conditions is met.

6.3.2 The radiographic technique shall be demonstrated with the applicable penetrator placed on the source side and a continuous series of penetrators placed on the film side of a like pipe section. The series of penetrators shall range in thickness from 2% to 0.5% of the material thickness. If the penetrator on the source side indicates the required sensitivity, the image of the smallest penetrator hole visible on the film side shall be used to determine the penetrator and penetrator hole which shall be used on production radiographs.

6.3.3 When radiographing welds in which only the portion of the weld next to the film is viewed, the radiographic technique shall be demonstrated on a similar pipe section with the applicable penetrameters placed on the inside along the root of the weld, and a series of penetrameters, chosen as in 6.3.2, placed on the film side. If the penetrometer on the source side indicates the required sensitivity, the image of the smallest penetrometer hole visible on the film side shall be used to determine the penetrometer and penetrometer holes which shall be used on production radiographs.

6.4 In the inspection of irregular objects, the penetrometer shall be placed on the part of the object farthest from the film.

6.5 When shims are used with penetrameters in the radiography of welds, or when the penetrameters are placed on separate blocks, the shims or blocks may be made of any material in the pertinent materials group. For materials not categorized, the shims or blocks may be made of the penetrometer material or of material of similar specification analysis as the material being radiographed.

6.6 It is the intent of the foregoing stipulations for shims and separate blocks that wrought materials may be used for these items when castings or welds are being radiographed. This is to permit equitable evaluation of the penetrometer where diffraction effects may be encountered in the radiography of some cast or weld deposit materials.

7. Number of Penetrameters

7.1 One penetrometer shall represent an area within which radiographic densities do not vary more than -15 % or +30 % (Note 2). At least one penetrometer per radiograph, exposed simultaneously with the specimen, shall be used except as noted in 7.1.1 and 7.1.2 (Note 3). The radiographic density of the penetrometer shall be measured through the body of the penetrometer.

7.1.1 When film density varies more than -15 % or +30 % from that through to the penetrometer, two penetrameters used in the following manner will be satisfactory. If one penetrometer shows an acceptable sensitivity at the most dense portion of the radiograph and the second penetrometer, placed in accordance with Section 6, shows an acceptable sensitivity at the least dense portion of the radiograph, these two penetrameters will serve to qualify the radiograph.

7.1.2 *Simultaneous Exposures*—When a part or parts of the same design are exposed simultaneously under the same geometrical conditions in a 360° radiation beam, a minimum of one penetrometer shall be required in each quadrant.

NOTE 2—Radiographic densities may be measured by Practice E 1079. When films are exposed simultaneously in one film holder, density variations should be determined on the single or superimposed films, referred to the manner in which they are interpreted.

The American Society for Testing and Materials 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 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, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.

NOTE 3—For parts of irregular geometry or widely varying thickness, it may be necessary to radiograph the first unit of a given design to determine proper placement of penetrameters for subsequent radiography.

8. Location of Markers

8.1 The image of the location markers for the coordination of the part with the film shall appear on the film, without interfering with the interpretation, with such an arrangement that it is evident that complete coverage was obtained. These marker positions shall be marked on the part, and the position of the markers shall be maintained on the part during radiography.

9. Identification of Radiograph

9.1 A system of positive identification of the film shall be provided. Any or all of the following may appear: the name of the inspecting laboratory, the date, the part number, the view, and whether original or subsequent exposure.

10. Multiple Film Techniques

10.1 Film techniques with two or more films of equal or different speeds in the same holder will be permitted provided that the appropriate penetrometer sensitivity for a specific area is demonstrated.

11. Non-Film Techniques

11.1 The use of non-film imaging techniques will be permitted provided that the applicable penetrometer sensitivity is demonstrated in the resultant image.

12. Image Quality

12.1 The radiographic image shall be free of blemishes which interfere with its interpretation.

13. Source-Film Distance

13.1 Any source-film distance will be satisfactory provided that the required quality level is attained.

14. Records

14.1 Complete records of the technique details shall accompany the radiographs and shall be maintained by the inspecting laboratory.

15. Safety Precautions

15.1 Radiographic procedure shall be carried out under protected conditions so that the radiographer will not receive a maximum whole body radiation dosage exceeding that permitted by city, state, or national codes.

16. Keywords

16.1 penetrameters (IQI's); radiographic examination; radiography; quality level



Standard Practice for Design, Manufacture and Material Grouping Classification of Wire Image Quality Indicators (IQI) Used for Radiology¹

This standard is issued under the fixed designation E 747; 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 reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

1. Scope

1.1 This practice² covers the design, material grouping classification, and manufacture of wire image quality indicators (IQI) used to indicate the quality of radiologic images.

1.2 This practice is applicable to X-ray and gamma-ray radiology.

1.3 This practice covers the use of wire penetrameters as the controlling image quality indicator for the material thickness range from 6.4 to 152 mm (0.25 to 6.0 in.).

1.4 The values stated in inch-pound units are to be regarded as standard.

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 and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

B 139 Specification for Phosphor Bronze Rod, Bar, and Shapes³

B 150 Specification for Aluminum Bronze Rod, Bar, and Shapes³

B 161 Specification for Nickel Seamless Pipe and Tube⁴

B 164 Specification for Nickel-Copper Alloy Rod, Bar, and Wire⁴

B 166 Specification for Nickel-Chromium-Iron Alloys (UNS N06600, N06601, and N06690) and Nickel-Chromium-Cobalt-Molybdenum Alloy (UNS N06617) Rod, Bar, and Wire⁴

E 1025 Practice for Design, Manufacture, and Material Grouping Classification of Hole-Type Image Quality Indicators (IQI) Used for Radiology⁵

E 1316 Terminology for Nondestructive Examinations⁵

3. Terminology

3.1 *Definitions*—The definitions of terms in Terminology E 1316, Section D, relating to gamma and x-radiology, shall apply to the terms used in this practice.

¹ This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee E-7 on Nondestructive Testing and is the direct responsibility of Subcommittee E07.01 on Radiographic Practice and Penetrameters.

Current edition approved Sept. 15, 1994. Published November 1994. Originally published as E 747 - 80. Last previous edition E 747 - 90.

² For ASME Boiler and Pressure Vessel Code applications see related Practice SE-747 in Section II of that Code.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 02.01.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 02.04.

⁵ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.03.

4. Wire IQI Requirements

4.1 The quality of all levels of examination shall be determined by a set of wires conforming to the following requirements:

4.1.1 Wires shall be fabricated from materials or alloys identified or listed in accordance with 7.2. Other materials may be used in accordance with 7.3.

4.1.2 The IQI consists of sets of wires arranged in order of increasing diameter. The diameter sizes specified in Table 1 are established from a consecutive series of numbers taken in general from the ISO/R 10 series. The IQI shall be fabricated in accordance with the requirements specified in Figs. 1 through 8 and applicable Tables 1, 2, or 3.

4.1.3 Image quality indicator (IQI) designs other than those in Figs. 1 through 8 may be permitted upon contractual agreement. If an IQI set as identified in Table 1 is modified in size, it must contain the grade number, set identity, and essential wire diameter size. It must also contain two additional wires that are the next size larger and the next size smaller as specified in the applicable set listed in Table 1.

4.1.4 Each set must be identified by lead letters and numbers of a material of similar radiographic density indicating ASTM set material (see Figs. 1 through 8 and Table 1).

5. Image Quality Indicator (IQI) Procurement

5.1 When selecting IQI's for procurement, the following factors should be considered:

5.1.1 Determine the alloy group(s) of the material to be examined.

5.1.2 Determine the thickness or thickness range of the material(s) to be examined.

5.1.3 Select the applicable IQI's that represent the required IQI thickness(s) and alloy(s).

6. Image Quality Levels

6.1 The quality level required using wire penetrameter

TABLE 1 Wire Penetrameter Sizes

Wire Diameter, in. (mm)			
SET A	SET B	SET C	SET D
0.0032 (0.08) ^A	0.010 (0.25)	0.032 (0.81)	0.10 (2.5)
0.004 (0.1)	0.013 (0.33)	0.040 (1.02)	0.126 (3.2)
0.005 (0.13)	0.016 (0.4)	0.050 (1.27)	0.160 (4.08)
0.0063 (0.16)	0.020 (0.51)	0.063 (1.6)	0.20 (5.1)
0.008 (0.2)	0.025 (0.64)	0.080 (2.03)	0.25 (6.4)
0.010 (0.25)	0.032 (0.81)	0.100 (2.5)	0.32 (8)

^A The 0.0032 wire may be used to establish a special quality level as agreed upon between the purchaser and the supplier.

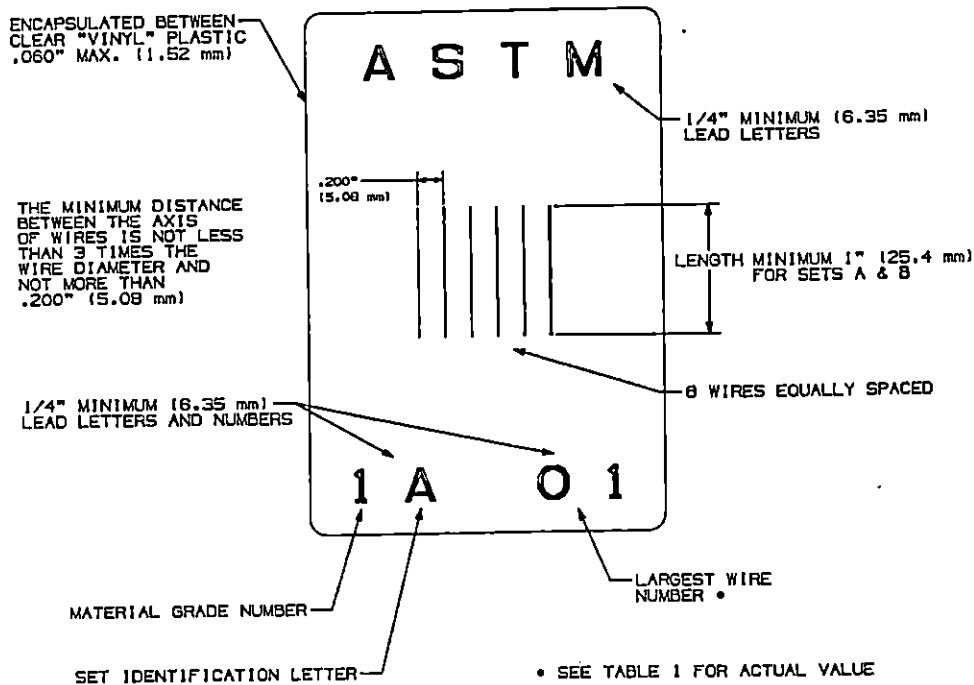
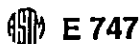


FIG. 1 Set A/Alternate 1

shall be equivalent to the 2-2T level of Practice E 1025 for hole-type IQI's unless a higher or lower quality level is agreed upon between purchaser and supplier. Table 4 provides a list of various hole-type IQI's and the diameter of wires of corresponding equivalent penetrometer sensitivity (EPS) with the applicable 1T, 2T, and 4T holes in the IQI. This table can be used for determining 1T, 2T, and 4T quality levels. Appendix X1 gives the equation for calculating other equivalencies if needed.

6.2 In specifying quality levels, the contract, purchase order, product specification, or drawing should clearly indi-

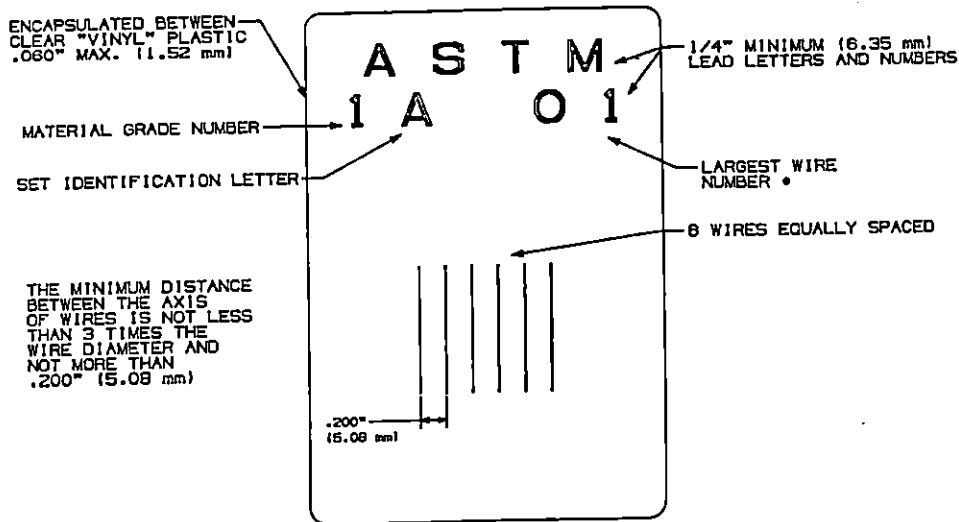
cate the thickness of material to which the quality level applies. Careful consideration of required quality levels is particularly important.

7. Material Groups

7.1 General:

7.1.1 Materials have been designated in eight groups based on their radiographic absorption characteristics: groups 03, 02, and 01 for light metals and groups 1 through 5 for heavy metals.

7.1.2 The light metal groups, magnesium (Mg), alu-



• SEE TABLE 1 FOR ACTUAL VALUE

FIG. 2 Set A/Alternate 2

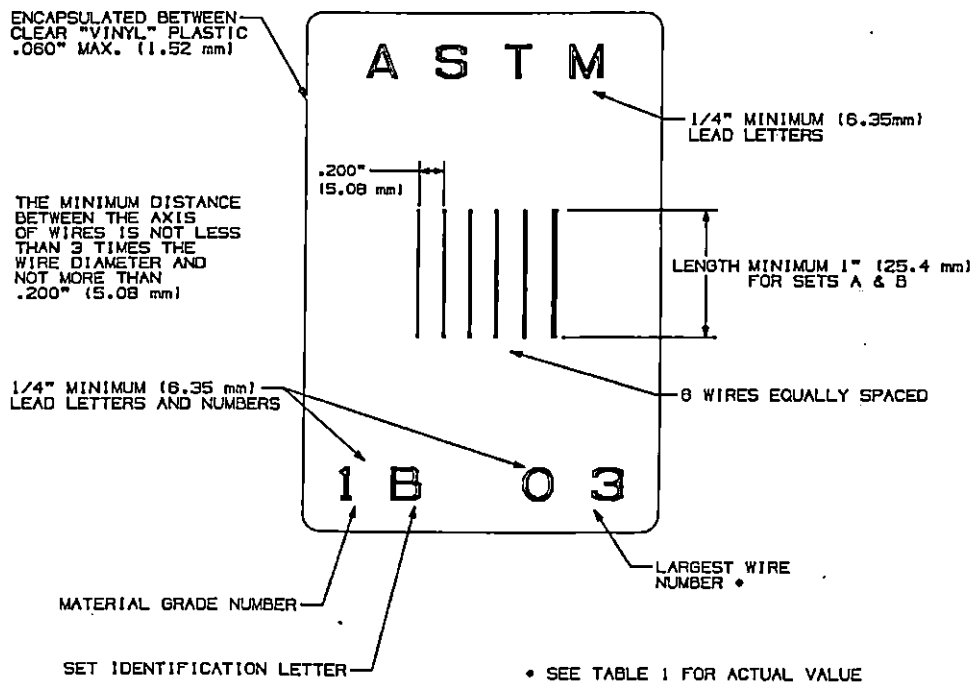


FIG. 3 Set B/Alternate 1

minum (Al), and titanium (Ti) are identified 03, 02, and 01 respectively, for their predominant alloying constituent. The materials are listed in order of increasing radiation absorption.

7.1.3 The heavy-metal groups, steel, copper-base, nickel-base, and kindred alloys are identified 1 through 5. The materials increase in radiation absorption with increasing numerical designation.

7.1.4 Common trade names or alloy designations have been used for clarification of the pertinent materials.

7.1.5 The materials from which the IQI for the group are

to be made are designated in each case and these IQI's are applicable for all materials listed in that group. In addition, any group IQI may be used for any material with a higher group number, provided the applicable quality level is maintained.

7.2 Materials Groups:

7.2.1 Materials Group 01:

7.2.1.1 Image quality indicators (IQI's) shall be made of titanium or titanium shall be the predominant alloying constituent.

7.2.1.2 Use on all alloys of which titanium is the predom

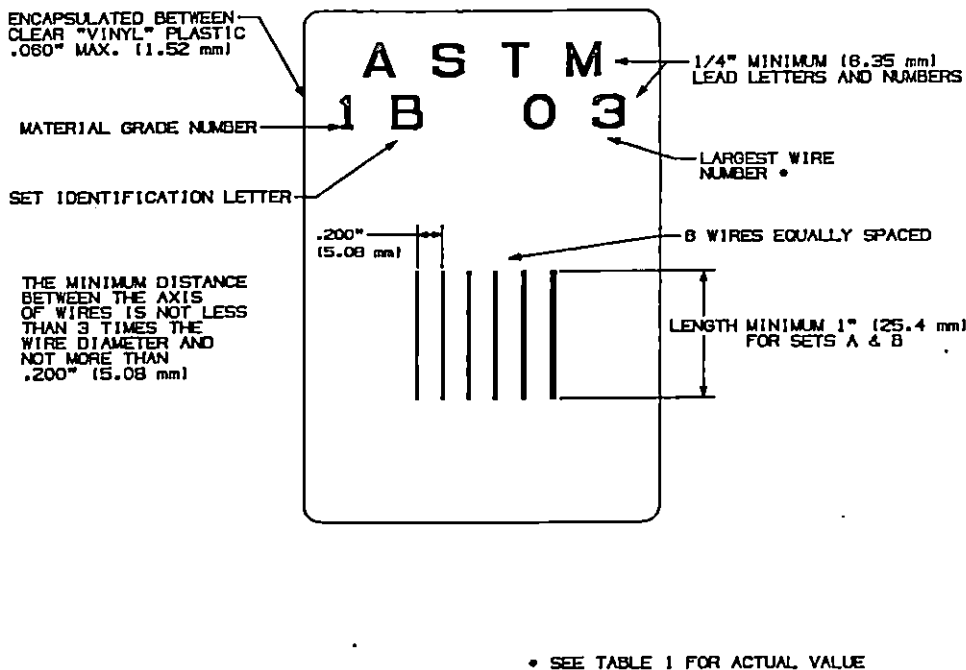


FIG. 4 Set B/Alternate 2

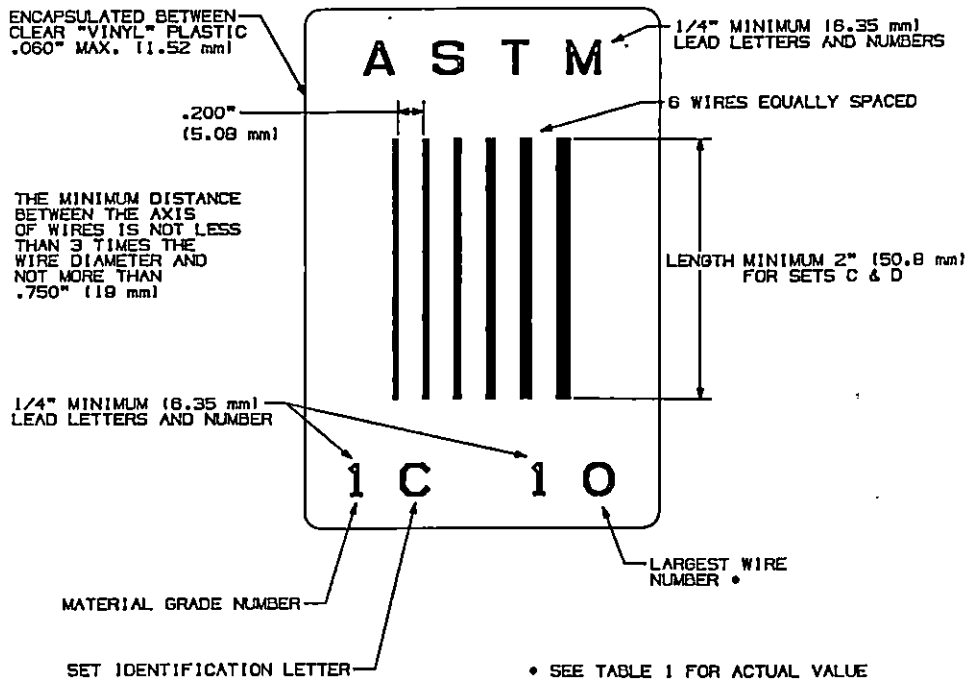


FIG. 5 Set C/Alternate 1

TABLE 2 Wire Diameter Tolerances, (mm)

Wire Diameter (d), mm	Tolerance, mm
0.000 < d ≤ 0.125	±0.0025
0.125 < d ≤ 0.25	±0.005
0.25 < d ≤ 0.5	±0.01
0.50 < d ≤ 1.6	±0.02
1.6 < d ≤ 4	±0.03
4.0 < d ≤ 8	±0.05

TABLE 3 Wire Diameter Tolerances, (in.)

Wire Diameter (d), in.	Tolerance, in.
0.000 < d ≤ 0.005	±0.0001
0.005 < d ≤ 0.010	±0.0002
0.010 < d ≤ 0.020	±0.0004
0.020 < d ≤ 0.063	±0.0008
0.063 < d ≤ 0.160	±0.0012
0.160 < d ≤ 0.320	±0.0020

inant alloying constituent.

7.2.2 Materials Group 02:

7.2.2.1 Image quality indicators (IQI's) shall be made of aluminum or aluminum shall be the predominant alloying constituent.

7.2.2.2 Use on all alloys of which aluminum is the predominant alloying constituent.

7.2.3 Materials Group 03:

7.2.3.1 Image quality indicators (IQI's) shall be made of magnesium or magnesium shall be the predominant alloying constituent.

7.2.3.2 Use on all alloys of which magnesium is the predominant alloying constituent.

7.2.4 Materials Group 1:

7.2.4.1 Image quality indicators (IQI's) shall be made of carbon steel or Type 300 series stainless steel.

7.2.4.2 Use on all carbon steel, low-alloy steels, stainless steels, and manganese-nickel-aluminum bronze (Superston).⁶

7.2.5 Materials Group 2:

7.2.5.1 Image quality indicators (IQI's) shall be made of aluminum bronze (Alloy No. 623 of Specification B 150) or equivalent, or nickel-aluminum bronze (Alloy No. 630 of Specification B 150) or equivalent.

⁶ Superston is a registered trademark of Superston Corp., Jersey City, NJ.

7.2.5.2 Use on all aluminum bronzes and all nickel-aluminum bronzes.

7.2.6 Materials Group 3:

7.2.6.1 Image quality indicators (IQI's) shall be made of nickel-chromium-iron alloy (UNS No. N06600) (Inconel).⁷ (See Specification B 166).

7.2.6.2 Use on nickel-chromium-iron alloy and 18 % nickel-maraging steel.

7.2.7 Materials Group 4:

7.2.7.1 Image quality indicators (IQI's) shall be made of 70 to 30 nickel-copper alloy (Monel)⁸ (Class A or B of Specification B 164) or equivalent, or 70 to 30 copper-nickel alloy (Alloy G of Specification B 161) or equivalent.

7.2.7.2 Use on nickel, copper, all nickel-copper series, or copper-nickel series of alloys, and all brasses (copper-zinc alloys). Group 4 IQI's may include the leaded brasses since leaded brass increases in attenuation with increase in lead content. This would be equivalent to using a lower group IQI.

7.2.8 Materials Group 5:

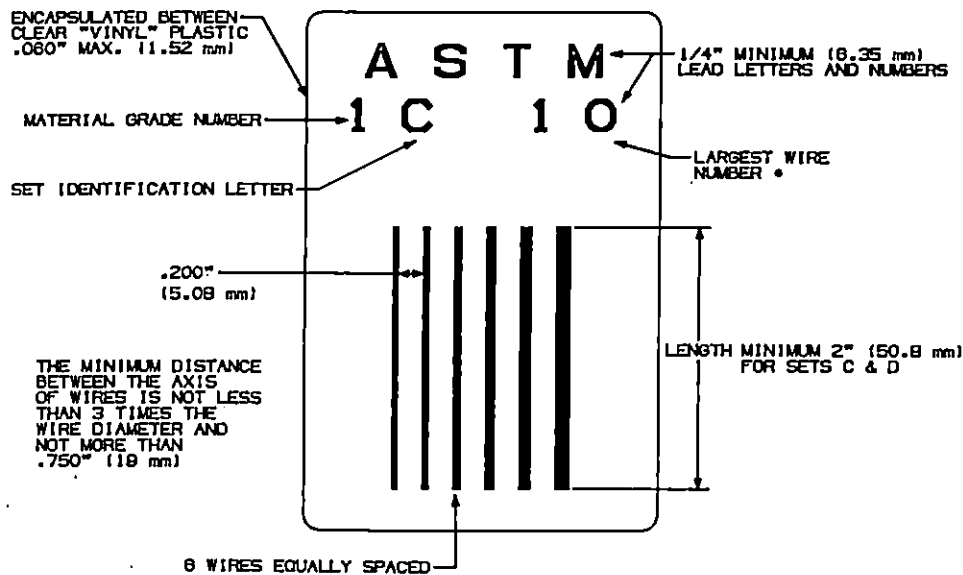
7.2.8.1 Image quality indicators (IQI's) shall be made of tin bronze (Alloy D of Specification B 139).

⁷ Inconel is a registered trademark of The International Nickel Co., Inc., Huntington, WV 25720.

⁸ Monel is a registered trademark of The International Nickel Co., Inc., Huntington, WV 25720.

TABLE 4 Wire Sizes Equivalent to Corresponding 1T, 2T, and 4T Holes in Various Hole Type Plaques

Plaque Thickness, in. (mm)	Plaque IQI Identification Number	Diameter of wire with EPS of hole in plaque, in. (mm)		
		1T	2T	4T
0.005 (0.13)	5		0.0038 (0.09)	0.006 (0.15)
0.006 (0.16)	6		0.004 (0.10)	0.0067 (0.18)
0.008 (0.20)	8	0.0032 (0.08)	0.005 (0.13)	0.008 (0.20)
0.009 (0.23)	9	0.0035 (0.09)	0.0056 (0.14)	0.009 (0.23)
0.010 (0.25)	10	0.004 (0.10)	0.006 (0.15)	0.010 (0.25)
0.012 (0.30)	12	0.005 (0.13)	0.008 (0.20)	0.012 (0.28)
0.015 (0.38)	15	0.0065 (0.16)	0.010 (0.25)	0.016 (0.41)
0.017 (0.43)	17	0.0076 (0.19)	0.012 (0.28)	0.020 (0.51)
0.020 (0.51)	20	0.010 (0.25)	0.015 (0.38)	0.025 (0.63)
0.025 (0.64)	25	0.013 (0.33)	0.020 (0.51)	0.032 (0.81)
0.030 (0.76)	30	0.016 (0.41)	0.025 (0.63)	0.040 (1.02)
0.035 (0.89)	35	0.020 (0.51)	0.032 (0.81)	0.050 (1.27)
0.040 (1.02)	40	0.025 (0.63)	0.040 (0.02)	0.063 (1.57)
0.050 (1.27)	50	0.032 (0.81)	0.050 (1.27)	0.080 (2.03)
0.060 (1.52)	60	0.040 (1.02)	0.063 (1.57)	0.100 (2.54)
0.070 (1.78)	70	0.050 (1.27)	0.080 (2.03)	0.126 (3.20)
0.080 (2.03)	80	0.063 (1.57)	0.100 (2.54)	0.160 (4.06)
0.100 (2.5)	100	0.080 (2.03)	0.126 (3.20)	0.200 (5.08)
0.120 (3.05)	120	0.100 (2.54)	0.160 (4.06)	0.250 (6.35)
0.140 (3.56)	140	0.126 (3.20)	0.200 (5.08)	0.320 (8.13)
0.160 (4.06)	160	0.160 (4.06)	0.250 (6.35)	
0.200 (5.08)	200	0.200 (5.08)	0.320 (8.13)	
0.240 (6.10)	240	0.250 (6.35)		
0.280 (7.11)	280	0.320 (8.13)		



* SEE TABLE 1 FOR ACTUAL VALUE

FIG. 6 Set C/Alternate 2

7.2.8.2 Use on tin bronzes including gun-metal and valve bronze, or leaded-tin bronze of higher lead content than valve bronze. Group 5 IQI's may include bronze of higher lead content since leaded bronze increases in attenuation with increase in lead content. This would be equivalent to using a lower group IQI.

NOTE 1—In developing the eight listed materials groups, a number of other trade names or other nominal alloy designations were evaluated. For the purpose of making this practice as useful as possible, these materials are listed and categorized, by group, as follows:

- (1) Group 2—Haynes Alloy IN-100.⁹
- (2) Group 3—Haynes Alloy No. 713C, Hastelloy D¹⁰, G.E. Alloy SEL, Haynes Stellite Alloy No. 21¹⁰, GMR-235 Alloy, Haynes Alloy No. 93, Inconel X⁷, Inconel 718, and Haynes Stellite Alloy No. S-816.
- (3) Group 4—Hastelloy Alloy F, Hastelloy Alloy X, and Multimet Alloy Rene 41.

⁹ All Haynes alloys are registered trademarks of Union Carbide Corp., York, NY.

¹⁰ All Hastelloys and Haynes Stellite alloys are registered trademarks of Cabot Corp., Boston, MA.

E 747

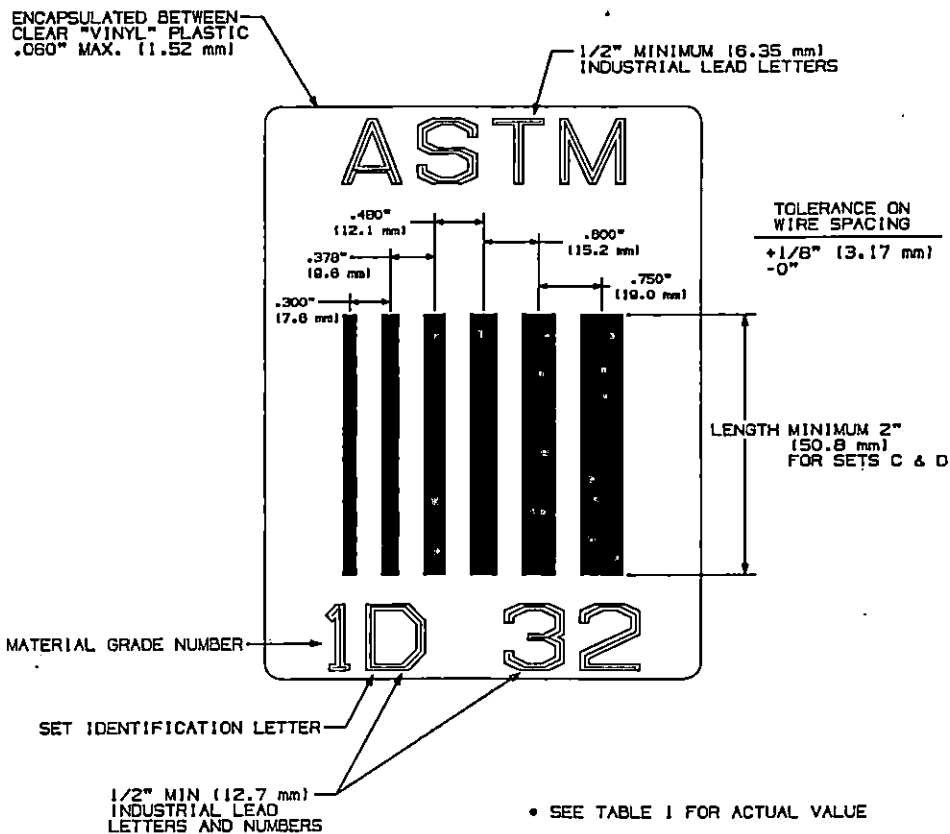


FIG. 7 Set D/Alternate 1

(f) Group 5—Alloys in order of increasing attenuation: Hastelloy Alloy B, Hastelloy Alloy C, Haynes Stellite Alloy No. 31, Thetaloy, Haynes Stellite No. 3, Haynes Alloy No. 25. Image quality indicators

(IQI's) of any of these materials are considered applicable for the materials that follow it.

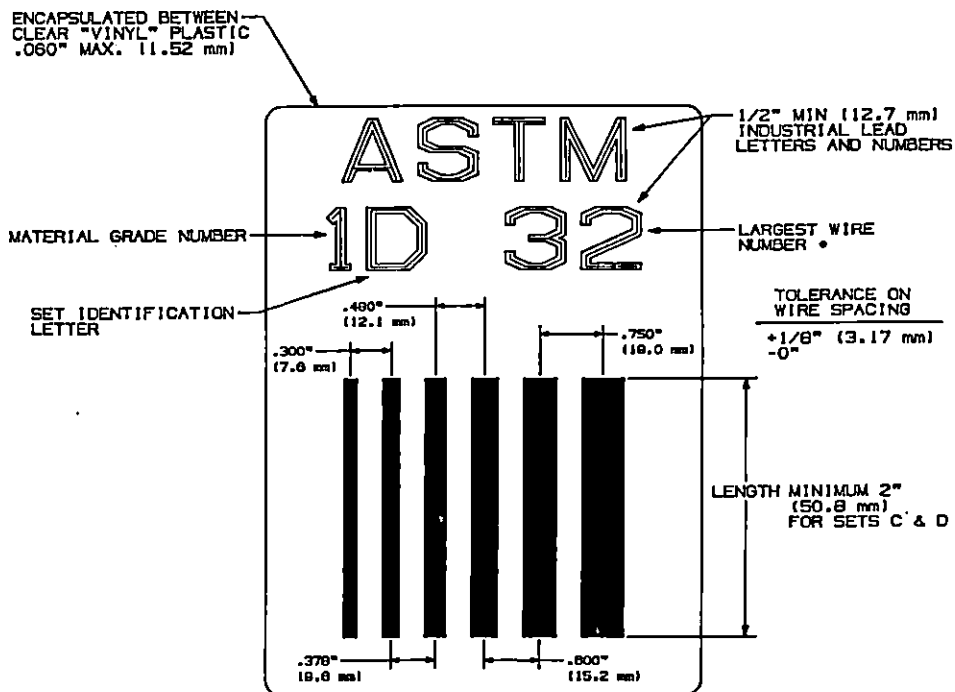


FIG. 8 Set D/Alternate 2

NOTE 2—The committee formulating these recommendations recommend other materials may be added to the materials groups listed as the need arises or as more information is gained, or that additional materials groups may be added.

7.3 Method for Other Materials:

7.3.1 For materials not herein covered, IQI's of the same materials, or any other material, may be used if the following requirements are met. Two blocks of equal thickness, one of the material to be examined (production material) and one of the IQI material, shall be radiographed on one film by one exposure at the lowest energy level to be used for production. Transmission densitometer measurements of the radiographic image of each material shall be made. The density of each image shall be between 2.0 and 4.0. If the image density of the IQI material is within 1.00 to 1.15 times (−0 % to +15 %) the image density of the production material, IQI's made of that IQI material may be used in radiography of that production material. The percentage figure is based on the radiographic density of the IQI material.

7.3.2 It shall always be permissible to use IQI's of similar composition as the material being examined.

8. Image Quality Indicator (IQI) Certification

8.1 Records shall be available that attest to the conformance of the material type and dimensional tolerances of the IQI's specified by this practice.

9. Precision and Bias

9.1 *Precision and Bias*—No statement is made about the precision or bias for indicating the quality of images since the results merely state whether there is conformance to the criteria for success specified in this practice.

10. Keywords

10.1 density; image quality level; IQI; radiologic; radiology; x-ray and gamma radiation

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

XI. CALCULATING OTHER EQUIVALENTS

XI.1 The equation to determine the equivalencies between wire and (hole type) IQI's is as follows:

$$F^3 d^3 l = T^2 H^2 (\pi/4)$$

where:

- F = form factor for wire, 0.79,
- d = wire diameter, in. (mm),
- l = effective length of wire, 0.3 in. (7.6 mm),

T = plaque thickness, in. (mm), and
 H = diameter of hole, in. (mm).

XI.2 It should be noted that the wire and plaque (hole type) IQI sensitivities cannot be related by a fixed constant.

XI.3 Figures X1.1 and X1.2 are conversion charts for hole type IQI's containing 1T and 2T holes to wires. The sensitivities are given as a percentage of the specimen thickness.

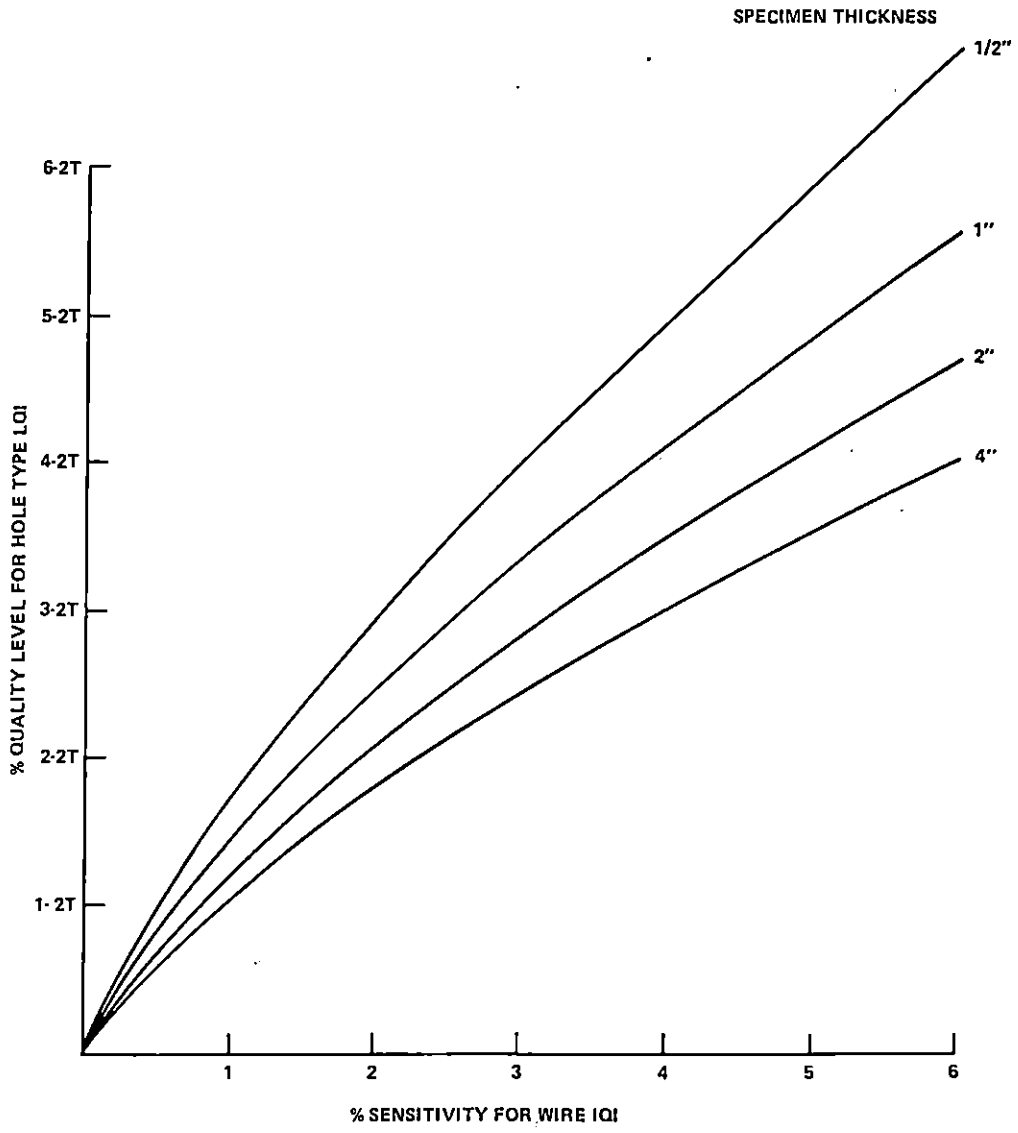


FIG. X1.1 Conversion Chart for 2-T Quality Level Holes to % Wire Sensitivity

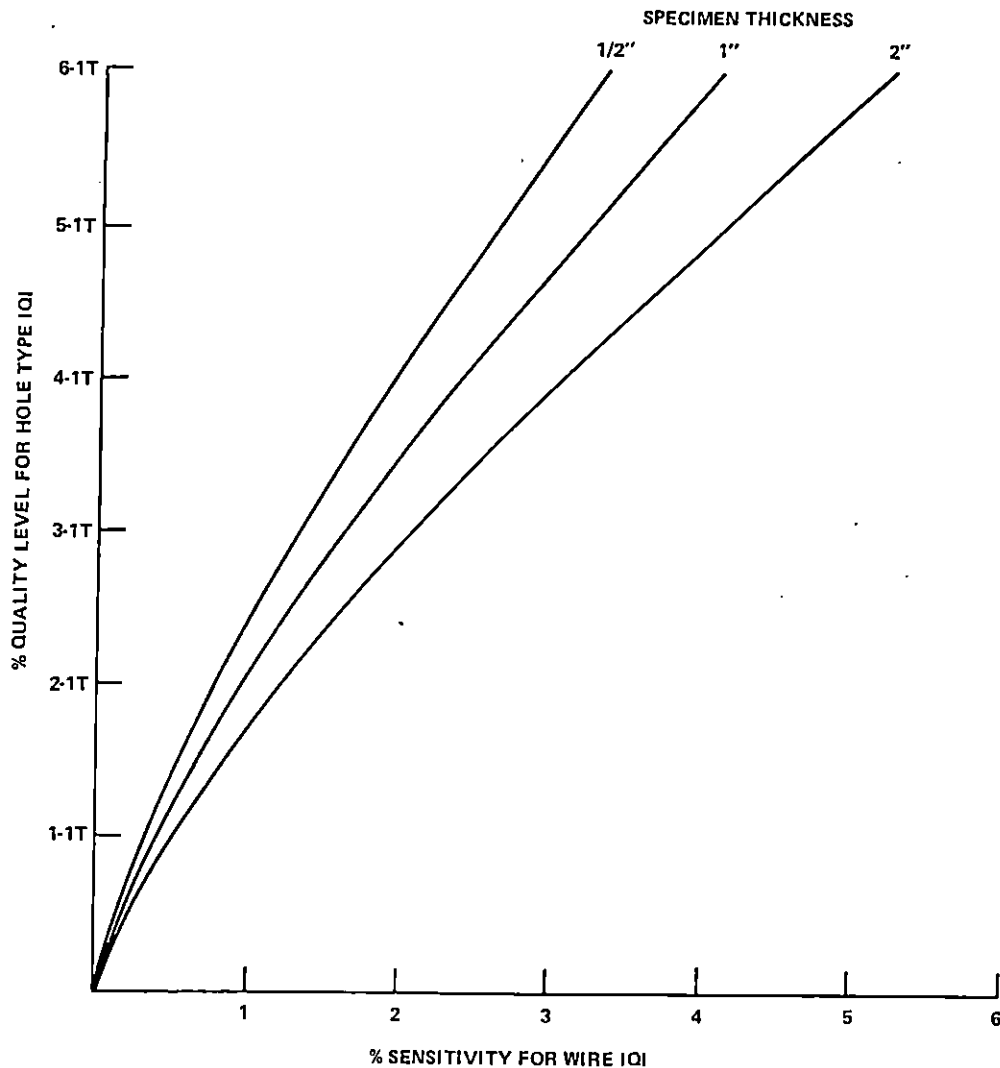


FIG. X1.2 Conversion Chart for 1-T Quality Level Holes to % Wire Sensitivity

The American Society for Testing and Materials 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 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, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.



ANEXO 7-3

Standard Practice for Design, Manufacture, and Material Grouping Classification of Hole-Type Image Quality Indicators (IQI) Used for Radiology¹

This standard is issued under the fixed designation E 1025; 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 reappraisal. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

1. Scope

1.1 This practice² covers the design, material grouping classification, and manufacture of hole-type image quality indicators (IQI) used to indicate the quality of radiologic images.

1.2 This practice is applicable to X-ray and gamma-ray radiology.

1.3 The values stated in inch-pound units are to be regarded as standard.

1.4 *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 and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

B 139 Specification for Phosphor Bronze Rod, Bar, and Shapes³

B 150 Specification for Aluminum Bronze Rod, Bar, and Shapes³

B 161 Specification for Nickel Seamless Pipe and Tube⁴

B 164 Specification for Nickel-Copper Alloy Rod, Bar, and Wire⁴

B 166 Specification for Nickel-Chromium-Iron Alloys (UNS N0600, N06601, and N06690) and Nickel-Chromium-Cobalt-Molybdenum Alloy (UNS N06617) Rod, Bar, and Wire⁴

E 1316 Terminology for Nondestructive Examinations⁵

3. Terminology

3.1 *Definitions*—The definitions of terms relating to gamma and x-radiology in Terminology E 1316, Section D, shall apply to the terms used in this practice.

4. Hole-Type IQI Requirements

4.1 Image quality indicators (IQIs) used to determine radiologic-image quality levels shall conform to the following requirements.

4.1.1 Standard Hole-Type IQIs:

4.1.1.1 Image quality indicators (IQIs) shall be fabricated from materials or alloys identified or listed in accordance with 7.3. Other materials may be used in accordance with 7.4.

4.1.1.2 Image quality indicators (IQIs) shall dimensionally conform to the requirements of Fig. 1.

4.1.1.3 Both the rectangular and the circular IQI shall be identified with number(s) made of lead or a material of similar radiation opacity. The number shall be bonded to the rectangular IQI's and shall be placed adjacent to circular IQI's to provide identification of the IQI on the image. The identification numbers shall indicate the thickness of the IQI in thousandths of an inch, that is, a number 10 IQI is 0.010 in. thick, a number 100 IQI is 0.100 in. thick, etc. Additional identification requirements are provided in 7.2.

4.1.1.4 Alloy-group identification shall be in accordance with Fig. 2. Rectangular IQI's shall be notched. Image quality indicators (IQI's) shall be vibrotooled or etched as specified.

4.1.2 Modified Hole-Type IQI:

4.1.2.1 The rectangular IQI may be modified in length and width as necessary for special applications, provided the hole size(s) and IQI thickness conform to Fig. 1.

4.1.2.2 The IQI's shall be identified as specified in 4.1.1.3, except that the identification numbers may be placed adjacent to the IQI if placement on the IQI is impractical.

4.1.2.3 When modified IQI's are used, details of the modification shall be documented in the records accompanying the examination results.

5. IQI Procurement

5.1 When selecting IQI's for procurement, the following factors should be considered:

5.1.1 Determine the alloy group(s) of the material to be examined.

5.1.2 Determine the thickness or thickness range of the material(s) to be examined.

5.1.3 Select the applicable IQI's that represent the required IQI thickness and alloy(s).

NOTE 1—This practice does not recommend or suggest specific IQI sets to be procured. Section 5 is an aid in selecting IQI's based on specific needs.

6. Image Quality Levels

6.1 Image quality levels are designated by a two part expression X-YT. The first part of the expression X refers to the IQI thickness expressed as a percentage of the specimen thickness. The second part of the expression YT refers to the diameter of the hole and is expressed as a multiple of the IQI

¹ This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee E-7 on Nondestructive Testing and is the direct responsibility of Subcommittee E07.01 on Radiographic Practice and Penetrants.

Current edition approved Sept. 10, 1995. Published November 1995. Originally published as E 1025 - 84. Last previous edition E 1025 - 94.

² For ASME Boiler and Pressure Vessel Code applications see related Practice SE-1025 in Section II of that Code.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 02.02.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Vol 02.04.

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.03.

ASME E 1025

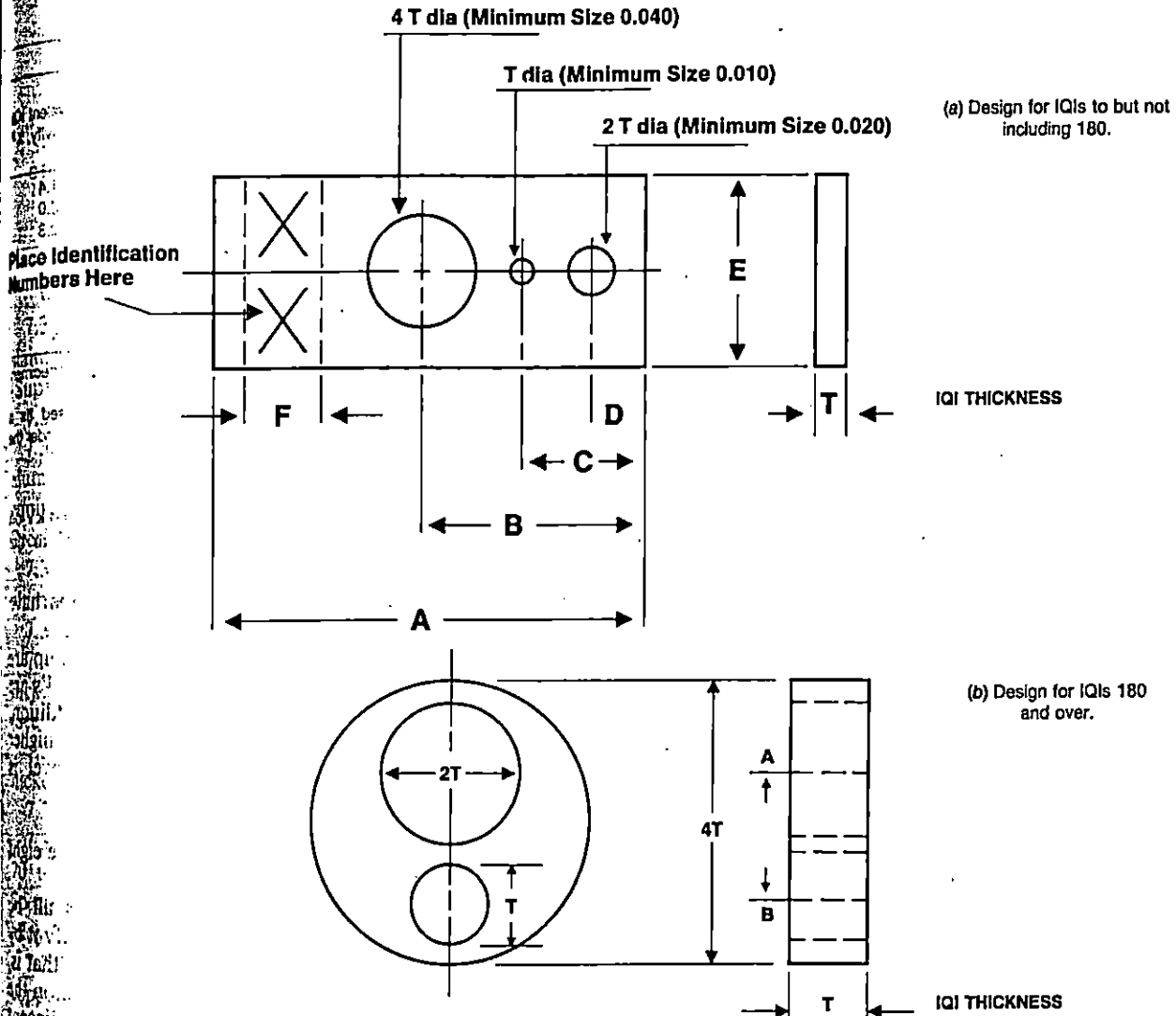


Table of Dimensions of IQI (Note 1)

NOTE 1—All dimensions in inches (Note 6).
 NOTE 2—Tolerances for IQI thickness and hole diameter.
 NOTE 3—XX identification number.
 NOTE 4—IQIs No. 5 through 9 are not 1T, 2T, and 4T.
 NOTE 5—Holes shall be true and normal to the IQI. Do not chamfer.
 NOTE 6—To convert inch dimensions to metric, multiply by 25.4.

Number	A	B	C	D	E	F	Tolerances (Note 2)
5-20	1.500 ±0.015	0.750 ±0.015	0.438 ±0.015	0.250 ±0.015	0.500 ±0.015	0.250 ±0.030	±0.0005
21-50	...	...	...	...	...	...	±0.0025
Over 50-160	2.250 ±0.030	1.375 ±0.030	0.750 ±0.030	0.375 ±0.030	1.000 ±0.030	0.375 ±0.030	±0.005
Over 160	1.330T ±0.005	0.830T ±0.005	...	...	...	...	±0.010

FIG. 1 IQI Design

thickness, T . The image quality level 2-2T means that the hole diameter of the IQI imaged hole is $2 \times$ the IQI thickness.

NOTE 2—Image Quality Indicators (IQI's) less than number 10 have hole diameters 0.010, 0.020, and 0.040 in. diameter regardless of the IQI thickness. Therefore, IQI's less than number 10 do not represent the image quality levels specified in 6.1 and Table 1. The equivalent sensitivity can be computed from data furnished in Appendix X1.

6.2 Typical image quality level designations are shown in

Table 1. The level of inspection specified should be based on service requirements of the product. Care should be taken in specifying image quality levels 2-1T, 1-1T, and 1-2T by first determining that these levels can be maintained in production.

6.3 In specifying image quality levels, the contract, purchase order, product specification, or drawing should state the proper two-part expression and clearly indicate the thickness of the metal to which the level refers. In place of a

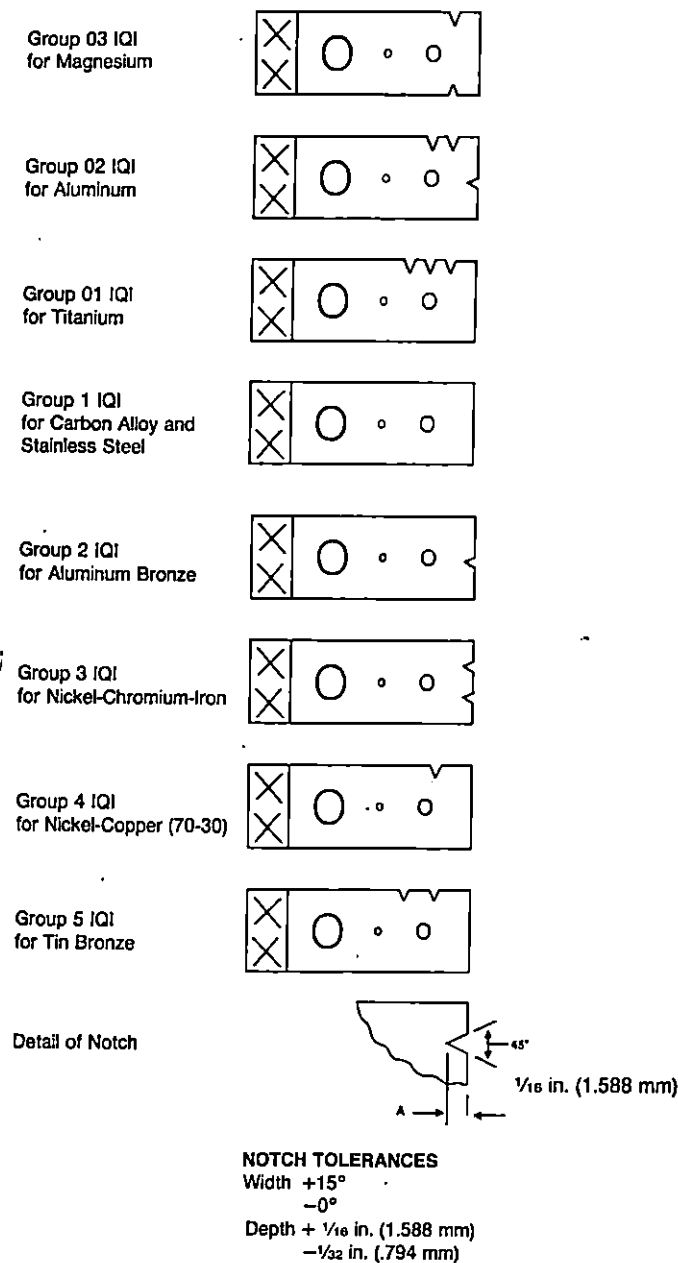


FIG. 2. Rectangular IQI Notch Identification and Material Grouping

designated two-part expression, the IQI number and minimum discernible hole size shall be specified.

7. Material Groups

7.1 General:

7.1.1 Materials have been designated in eight groups based on their radiation absorption characteristics: Groups 03, 02, and 01 for light metals and Groups 1 through 5 for heavy metals.

7.1.2 The light metal groups, magnesium (Mg), aluminum (Al), and titanium (Ti) are identified 03, 02, and 01 respectively for their predominant alloying constituent. The materials are listed in order of increasing radiation absorption.

7.1.3 The heavy metal groups, steel, copper base, nickel base, and kindred alloys are identified 1 through 5. The materials increase in radiation absorption with increasing numerical designation.

TABLE 1 Typical Image Quality Levels

Standard Image Quality Levels			
Image Quality Levels	IQI Thickness	Minimum Preceptible Hole Diameter	Equivalent Sensitivity, %
2-1T	1/50 (2 %) of Specimen Thickness	1T	1.4
2-2T ^A		2T	2.0
2-4T		4T	2.8
Special Image Quality Levels			
1-1T	1/100 (1 %) of Specimen Thickness	1T	0.7
1-2T		2T	1
4-2T	1/25 (4 %) of Specimen Thickness	2T	4

^A For Level 2-2T Radiologic—The 2T hole in an IQI, 1/50 (2 %) of the specimen thickness, is visible.

^B Equivalent IQI sensitivity is that thickness of the IQI, expressed as a percentage of the part thickness, in which the 2T hole would be visible under the same conditions.

NOTE 3—These groups were established experimentally at 180 kV on 1/4-in. (19-mm) thick specimens. They apply from 125 kV to the multivolt range.

7.1.4 Common trade names or alloy designations have been used for clarification of the pertinent materials.

7.1.5 The materials from which the IQI for the group are to be made are designated in each case, and these IQI's are applicable for all materials listed in that group. In addition, any group IQI may be used for any material with a higher group number, provided the applicable quality level is maintained.

7.2 Identification System:

7.2.1 A notching system has been designated for the eight groups of IQI's and is shown in Fig. 2.

7.2.2 For circular IQI's, a group designation shall be vibrotooled or chemically etched on the IQI to identify it by using the letter "G" followed by the group number, that is, G4 for a Group 4 IQI. For identification of the group on the image, corresponding lead characters shall be placed adjacent to the circular IQI, just as is done with the lead number identifying the thickness. The identification is shown in Fig. 3.

7.3 Materials Groups:

7.3.1 Materials Group 03:

7.3.1.1 Image quality indicators (IQI's) shall be made of magnesium or magnesium shall be the predominant alloying constituent.

7.3.1.2 Use on all alloys of which magnesium is the predominant alloying constituent.

7.3.2 Materials Group 02:

7.3.2.1 Image quality indicators (IQI's) shall be made of aluminum or aluminum shall be the predominant alloying constituent.

7.3.2.2 Use on all alloys of which aluminum is the predominant alloying constituent.

7.3.3 Materials Group 01:

7.3.3.1 Image quality indicators (IQI's) shall be made of titanium or titanium shall be the predominant alloying constituent.

7.3.3.2 Use on all alloys of which titanium is the predominant alloying constituent.

7.3.4 Materials Group 1:

7.3.4.1 Image quality indicators (IQI's) shall be made of carbon steel or Type 300 series stainless steel.

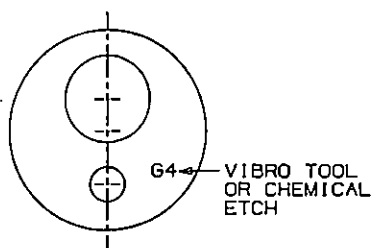
CIRCULAR IQI
IDENTIFICATION

FIG. 3 Circular IQI Identification

7.3.4.2 Use on all carbon steel, all low-alloy steels, all stainless steels, manganese-nickel-aluminum bronze (Superston).⁶

7.3.5 Materials Group 2:

7.3.5.1 Image quality indicators (IQI's) shall be made of aluminum bronze (Alloy No. 623, of Specification B 150 or equivalent, or nickel-aluminum bronze (Alloy No. 630 of Specification B 150) or equivalent.

7.3.5.2 Use on all aluminum bronzes and all nickel-aluminum bronzes.

7.3.6 Materials Group 3:

7.3.6.1 Image quality indicators (IQI's) shall be made of nickel-chromium-iron alloy (UNS No. NO6600) (Inconel).⁷ (See Specification B 166.)

7.3.6.2 Use on nickel-chromium-iron alloy and 18 % nickel-maraging steel.

7.3.7 Materials Group 4:

7.3.7.1 Image quality indicators (IQI's) shall be made of 70 to 30 nickel-copper alloy (Monel)⁸ (Class A or B of Specification B 164) or equivalent, or 70 to 30 copper-nickel alloy, (Alloy G of Specification B 161) or equivalent.

7.3.7.2 Use on nickel, copper, all nickel-copper series, or copper-nickel series of alloys, and all brasses (copper-zinc alloys). Group 4 IQI's may be used on the leaded brasses, since leaded brass increases in attenuation with increase in lead content. This would be equivalent to using a lower group IQI.

7.3.8 Materials Group 5:

7.3.8.1 Image quality indicators (IQI's) shall be made of tin bronze (Alloy D of Specification B 139).

7.3.8.2 Use on tin bronzes including gun-metal and valve bronze, leaded-tin bronze of higher lead content than valve bronze. Group 5 IQI's may be used on bronze of higher lead content since leaded bronze increases in attenuation with

increase in lead content. This would be equivalent to using a lower group IQI.

NOTE 4—In developing the eight listed materials groups, a number of other trade names or other nominal alloy designations were evaluated. For the purpose of making this practice as useful as possible, these materials are listed and categorized, by group, as follows:

(1) Group 2—Haynes Alloy IN-100.⁹

(2) Group 3—Haynes Alloy No. 713C, Hastelloy D,¹⁰ G.E. Alloy SEL, Haynes Stellite Alloy No. 21,¹⁰ GMR-235 Alloy, Haynes Alloy No. 93, Inconel X,⁷ Inconel 718, and Haynes Stellite Alloy NO. S-816.

(3) Group 4—Hastelloy Alloy F, Hastelloy Alloy X, and Multimeter Alloy Rene 41.

(4) Group 5—Alloys in order of increasing attenuation: Hastelloy Alloy B, Hastelloy Alloy C, Haynes Stellite Alloy No. 31, Thetaloy, Haynes Stellite No. 3, Haynes Alloy No. 25. IQIs of any of these materials are considered applicable for the materials that follow it.

NOTE 5—The committee formulating these recommendations, recommended other materials may be added to the materials groups listed as the need arises or as more information is gained, or that additional materials groups may be added.

7.4 Radiographic Method for Other Materials:

7.4.1 For materials not herein covered, IQI's of the same materials, or any other material, may be used if the following requirements are met. Two blocks of equal thickness, one of the material to be examined (production material) and one of the IQI material, shall be radiographed on one film by one exposure at the lowest energy level to be used for production. Transmission densitometer readings for both materials shall be read from the film and shall be between 2.0 and 4.0 (radiographic) density for both materials. If the radiographic image density of the material from which the IQI's are to be fabricated is within +15 to -0 % of the radiographic image density of the production material, the IQI material may be used to fabricate IQI's for examination of the production material. The percentage figure is based on the radiographic density of the IQI material.

7.4.2 It shall always be permissible to use IQI's of similar composition as the material being examined.

8. IQI Certification

8.1 Records shall be available that attest to the conformance of the material type, grouping (notches), and dimensional tolerances of the IQI's specified by this practice.

9. Precision and Bias

9.1 *Precision and Bias*—No statement is made about the precision or bias for indicating the quality of radiographs since the results merely state whether there is conformance to the criteria for success specified in this practice.

10. Keywords

10.1 density; image quality level; IQI; radiologic; radiology; X-ray and gamma radiation

⁶ Superston is a registered trademark of Superston Corp., Jersey City, NJ.

⁷ Inconel is a registered trademark of The International Nickel Co., Inc., Hamington, WV 25720.

⁸ Monel is a registered trademark of The International Nickel Co., Inc., Hamington, WV 25720.

⁹ All Haynes alloys are registered trademarks of Union Carbide Corp., New York, NY.

¹⁰ All Hastelloys and Haynes Stellite alloys are registered trademarks of Cabot Corp., Boston, MA.

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. EQUIVALENT IQI (PENETRATOR) SENSITIVITY (EPS)¹¹

X1.1 To find the equivalent IQI sensitivity (percent), the hole size (diameter in inches), of the IQI thickness (inches), for a section thickness (inches), the following computations may be used:

where:

$$\alpha = \frac{100}{X} \sqrt{\frac{TH}{2}}$$

α = equivalent IQI sensitivity, %,

X = section thickness to be examined, in.,

T = IQI Thickness, in., and

H = hole diameter, in.

X1.2 Alternate method for determining EPS using Fig. X1.1 Nomograph:

Example:

Given:

$$X = 0.5 \text{ in.},$$

$$T = 0.005 \text{ in.}, \text{ and}$$

$$H = 0.0625 \text{ in.}$$

Solution:

$$A = \frac{100T}{X} = \frac{100 \times 0.005}{0.5} = 1.0 \%$$

$$B = \frac{100H}{X} = \frac{100 \times 0.0625}{0.5} = 12.5 \%$$

X1.3 Proceed to the nomograph (Fig. X1.1) and draw a line joining the 1.0 % Value A and the 12.5 % Value B and look on the center percent scale where the line crosses it and read the answer—2.5 %. Thus under the given conditions equivalent IQI (penetrator) sensitivity (EPS) is 2.5 %.

¹¹ O'Connor, D. T., and Criscuolo, E. L., "The Quality of Radiographic Inspection," *ASTM Bulletin*, ASTM, Vol 213, 1956, p. 52.



Designation: E 1390 - 90 (Reapproved 1995)^{ε1}

Standard Guide for Illuminators Used for Viewing Industrial Radiographs¹

This standard is issued under the fixed designation E 1390; 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 (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

^{ε1} NOTE—Section 12 was added editorially in December 1994.

1. Scope

1.1 This guide provides the recommended minimum requirements for illuminators used for viewing industrial film radiographs using transmitted light.

1.2 The illuminator has to ensure the same safety for personnel, or users of any electric apparatus, as specified by electrical standards applicable in the country in which the illuminator is used.

2. Referenced Document

2.1 ASTM Standard:

E 1316 Terminology for Nondestructive Examinations²

3. Terminology

3.1 *Definitions*—For definitions of terms used in this guide, see Terminology E 1316.

4. Significance and Use

4.1 The function of the illuminator is to provide sufficient illumination and viewing capabilities to visually review industrial film radiographs by light transmitted through them for the purpose of identification and interpretation of the images.

4.2 This guide is to be used primarily for the manufacturer of illuminators and is not intended to be applicable to the users of illuminators. Requirements, if imposed on users, should be established by contractual agreement.

5. Design Characteristics

5.1 *General*—The illuminator shall consist of a housing with one or more of the sides containing a viewing screen illuminated from the inside of the housing. The viewing screen may also be the diffusing screen. There shall be thermal protection to prevent overheating, and subsequent damage to the radiographs placed on the viewing screen. The housing or system may or may not require ventilation. A thermostat or suitable electrical circuit shall be provided to vary the light intensity.

5.2 *Viewing Screen*—The viewing screen shall be easy to clean and made of material which is resistant to scratches. The size of the screen shall allow the user to view the radiograph without excessive glare. If the illuminator is to be

used for viewing radiographs of various sizes, masks of various sizes and configurations, for example, circular or rectangular, shall be provided. Alternately, an adjustable aperture may be used.

6. Illumination Requirements³

6.1 Luminance:

6.1.1 The luminance (or brightness) of the transmitted light through the radiograph shall not be less than 30 cd/m² for film densities equal or less than 2.5, and 10 cd/m² for film densities greater than 2.5.

NOTE—Where possible, approximately 100 cd/m² or higher luminance should be used.

6.1.2 To achieve the maximum luminance value, that is, 10 cd/m², given in 6.1.1, the illuminator brightness shall be at least 10⁵ cd/m². This should be determined with a suitably calibrated photometer or telephotometer placed at the center of the viewing surface. Follow manufacturer's instructions in using the photometer.

6.1.3 When servicing is required, it shall usually be sufficient to follow manufacturer's recommendations in, for example, replacing a bulb.

6.2 *Spectral Characteristics of Illuminator Light Source*—The color of the light used to illuminate the radiograph is normally "white." However, in the case of colored film bases, light with adapted colors may be used if they have been recommended by the film manufacturers.

6.3 *Diffusion of Light*—If the illuminator has a diffusing screen, the light shall be sufficiently divergent so that both eyes of the observer receive rays from all parts of the screen. The divergence factor shall exceed 0.7 (see 9.1.1).

6.4 *Uniformity of Illumination*—The screen shall be uniformly illuminated, the uniformity factor g being higher than 0.5 (see 9.1.2).

7. Anti-Glare Protection

7.1 The illuminator shall be fitted with an anti-glare switch or device that minimizes the probability of the operator being subjected to excessive glare when the radiograph is removed. This switch or device may be manual or automatic.

8. Heating Protection

8.1 Appropriate precautions shall be taken to ensure that

¹ 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.

² Current edition approved Oct. 26, 1990. Published December 1990.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.03.

³ Luminance requirements are intended to be satisfied by the illuminator manufacturer.

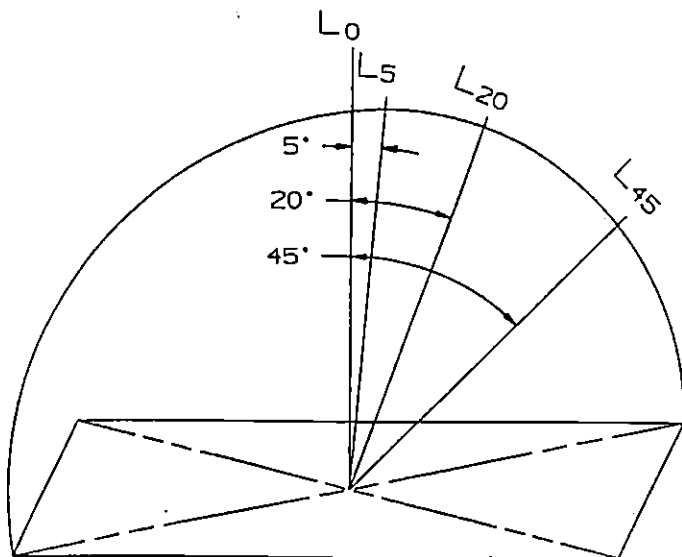


FIG. 1 Measurement Angles of Diversion and Dispersion of Light

the temperature of the housing does not exceed 60°C (140°F) at the usual contact surface after one hour of operation at a 50 % duty cycle.

8.2 A radiograph having a density of 2.0 when placed on the illuminator viewing surface shall not warp or curl after 1 min of continuous viewing time and 1 h of operation of the illuminator at 50 % of duty cycle.

9. Photometric Measurements of Illuminator⁴

9.1 Photometric measurements of the illuminator shall be carried out in a darkened room. The photometer should be used in the middle part of its measuring scale. The illuminator shall not allow any direct light to escape when the viewing screen is completely masked.

9.1.1 *Divergence and Dispersion of Light (of Diffuser)*—The brightness shall be measured on a semi-circle, the center of which is center of the screen. The diameter of the circle is approximately the same as the maximum dimension of the screen (the diagonal). The radius of this semi-circle should be at least 25 cm (10 in.). The brightness is measured with the aid of an appropriate illumination photometer whose sensitive surface is tangent to the curve of the circle (see Fig. 1). These measurements shall be made at angles of 5° (L_5), 20° (L_{20}), and 45° (L_{45}) relative to the normal (L_0) to the

⁴ Photometric measurements are intended to be satisfied by the illuminator manufacturer.

The American Society for Testing and Materials 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 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, 1916 Race St., Philadelphia, PA 19103.

diffusing screen. The divergence factor shall be calculated according to the following equation:

$$\text{Divergence Factor} = \frac{L_{45} + L_{20}}{2 L_5}$$

These measurements and calculations shall be made in both planes formed by the two diagonals and the corresponding semi-circle. For illuminators with variable intensity capability, they shall be made at three brightness levels (low, medium, high) along the diagonals of the rectangular screen or along two diameters at 90° angles to each other for a circular screen.

9.1.2 *Uniformity of Illumination on Screen*—If the screen is rectangular or circular, it shall be divided into squares measuring approximately 5.0 cm (2 in.) on a side. The brightness of each square shall be measured separately. In both cases, the network of the squares shall be arranged so that the middle square is centered in the middle of the screen. The average of the four highest and the average of the four lowest readings shall be determined. These averages will be designated L_{\max} and L_{\min} . The uniformity factor g shall be calculated according to the equation:

$$g = \frac{L_{\min}}{L_{\max}}$$

These measurements and calculations for g shall be made at three brightness levels (low, medium, high).

10. Identification Marking

10.1 The following information shall be permanently affixed to the illuminator by the manufacturer:

- 10.1.1 Nominal operating voltage or permissible voltage range,
- 10.1.2 Nominal line frequency or permissible frequency range,
- 10.1.3 Whether direct, or alternating current, or both may be used,
- 10.1.4 Nominal power consumption, and
- 10.1.5 Maximum brightness in cd/m^2 .

11. Operating Instructions

11.1 Operating instructions shall be provided with each illuminator, and include the following, as a minimum:

- 11.1.1 The operation of the illuminator,
- 11.1.2 Instructions for mounting and replacement of lamps and screens,
- 11.1.3 Care and maintenance procedures, and
- 11.1.4 Safety precautions.

12. Keywords

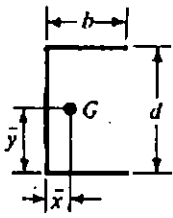
- 12.1 illumination; illuminator; radiographs; viewing

FORMA DE UNIÓN

ÁREA DE GARGANTA

UBICACIÓN DE G

SEGUNDO MOMENTO DE ÁREA UNITARIO

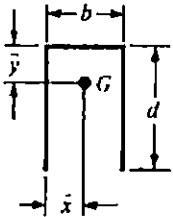


$$A = 0.707h(2b + d)$$

$$\bar{x} = \frac{b^2}{2b + d}$$

$$I_u = \frac{d^2}{12}(6b + d)$$

$$\bar{y} = d/2$$

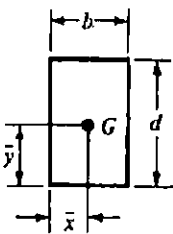


$$A = 0.707h(b + 2d)$$

$$\bar{x} = b/2$$

$$I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2$$

$$\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d}$$

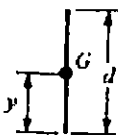


$$A = 1.414h(b + d)$$

$$\bar{x} = b/2$$

$$I_u = \frac{d^2}{6}(3b + d)$$

$$\bar{y} = d/2$$

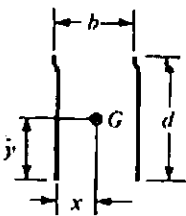


$$A = 0.707hd$$

$$\bar{x} = 0$$

$$I_u = \frac{d^3}{12}$$

$$\bar{y} = d/2$$

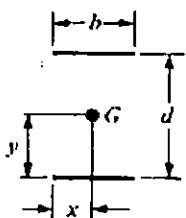


$$A = 1.414hd$$

$$\bar{x} = b/2$$

$$I_u = \frac{d^3}{6}$$

$$\bar{y} = d/2$$



$$A = 1.414hb$$

$$\bar{x} = b/2$$

$$I_u = \frac{bd^2}{2}$$

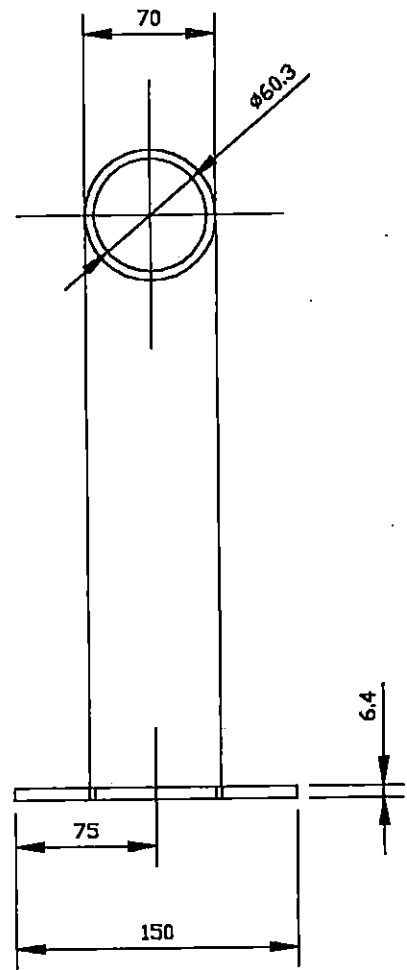
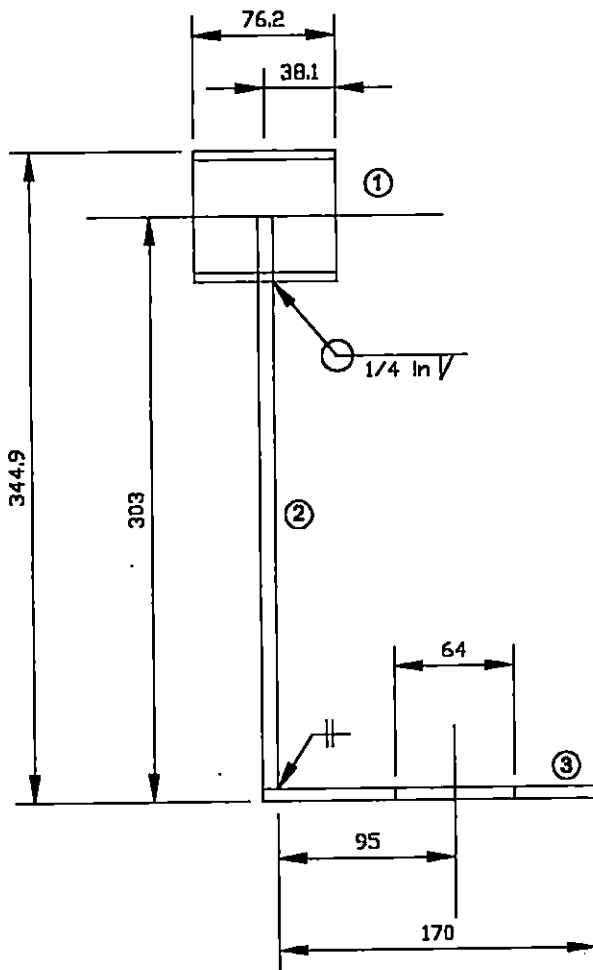
$$\bar{y} = d/2$$



$$A = 1.414\pi hr$$

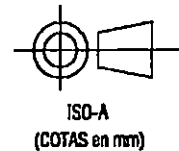
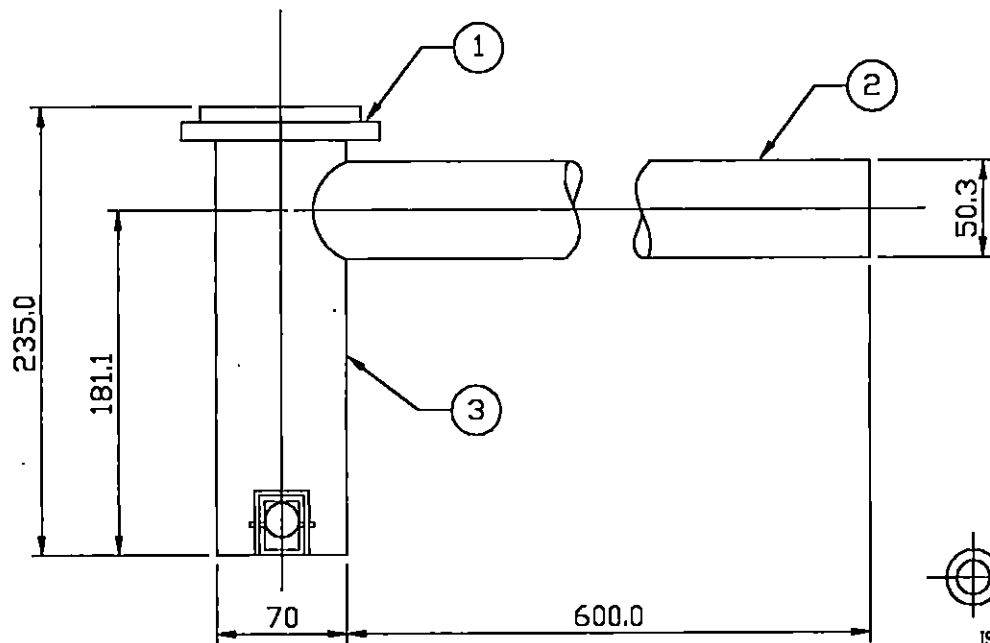
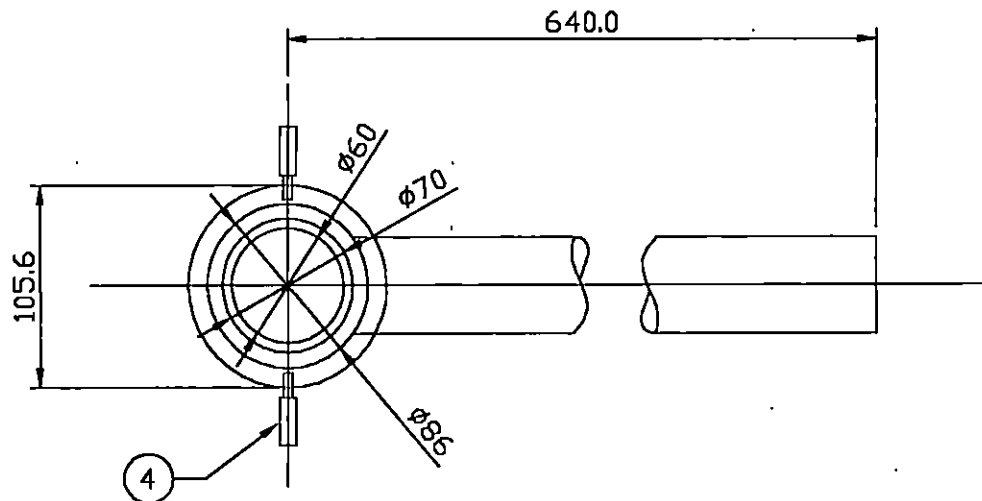
$$I_u = \pi r^3$$

* I_u , el segundo momento de área unitario, se toma con respecto a un eje que pasa por G, el centroide del grupo de juntas soldadas; h es el tamaño de junta; el plano del par flexionante es normal al de la página y paralelo al eje y ; todas las juntas de soldadura son del mismo tamaño.

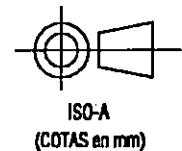
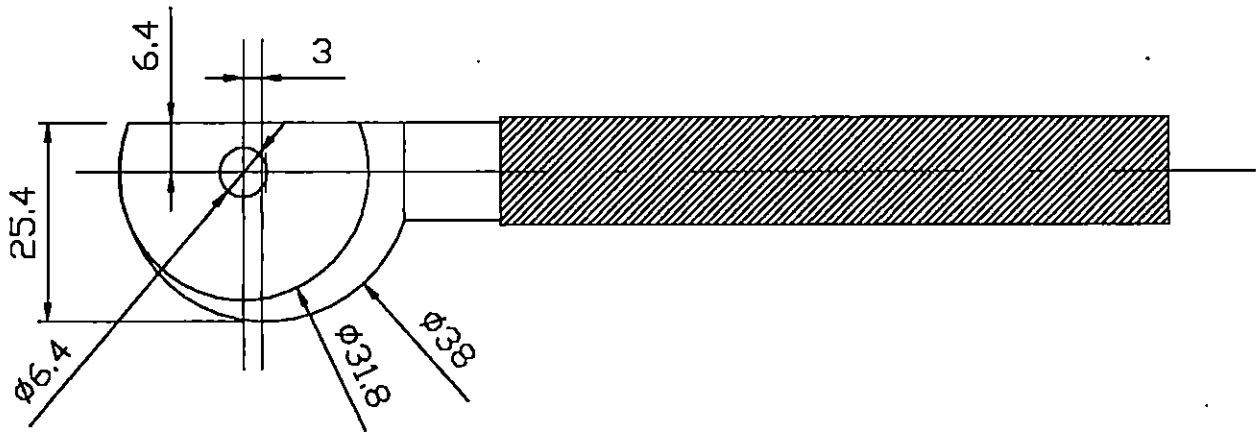
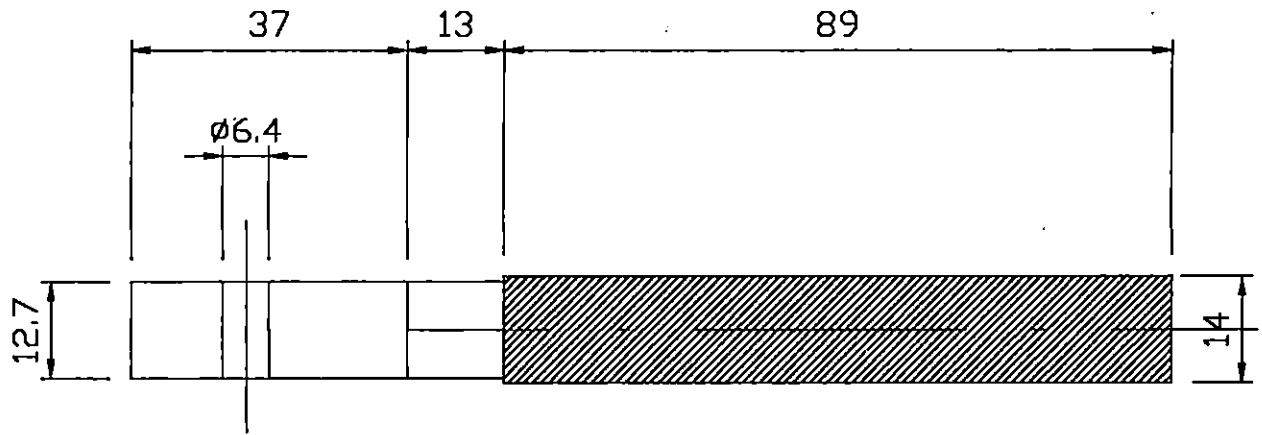


3	1	BASE PARA LA FUENTE	PLATINA AISI 1020	6.4 mm x 155 mm x 175 mm
2	1	SOPORTE VERTICAL	PLATINA AISI 1020	6.4 mm x 70 mm x 300 mm
1	1	BUJE DEL SOPORTE	TUBERÍA NEGRA	Ø60 mm x 80 mm
No.	CANTIDAD	DENOMINACIÓN	MATERIAL	DIMENSIONES
		FECHA	NOMBRE	
DIBUJADO		20-MARZO-2001	ELMER MARTÍNEZ - ERNESTO VIDES	
COMPROBADO		22-MARZO-2001	ING. S. GÁMEZ - ING. PINEDA - ING. PORTILLO	
NORMA		-	ICATI	
DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN EQUIPO EXPERIMENTAL DE GAMMAGRAFÍA INDUSTRIAL PARA EVALUAR SOLDADURAS A TOPE Y LA CALIDAD DE IMAGENES DE RADIOGRAFÍAS INDUSTRIALES			UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	

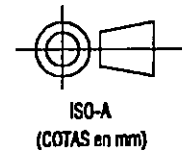
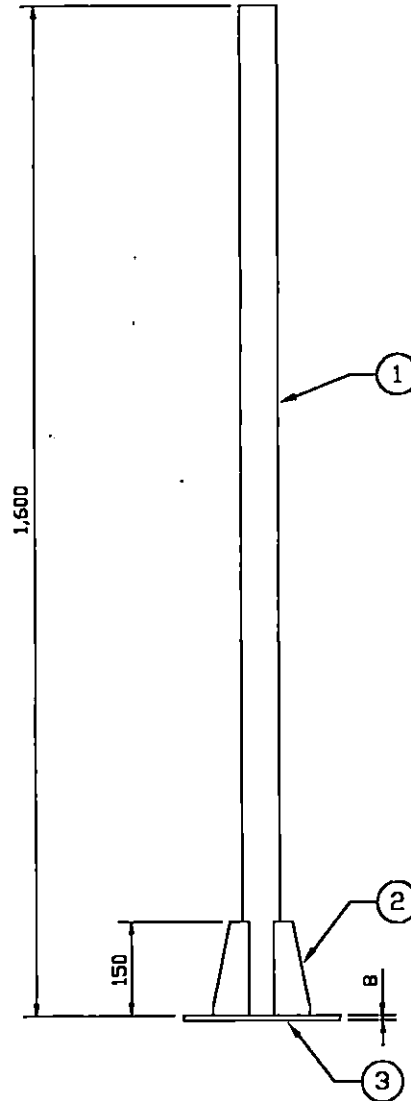
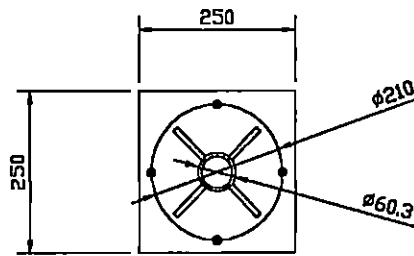
ESCALA	SOPORTE DEL CONTENEDOR DE LA FUENTE	PLANO
1:4		1/7



4	1	PALANCA DE FIJACIÓN	-	-
3	1	SOPORTE DEL BRAZO GIRATORIO	TUBERÍA NEGRA	Ø 70 mm x 235 mm
2	1	BRAZO HORIZONTAL	TUBERÍA NEGRA	Ø 51 mm x 640 mm
1	1	ANILLO GIRATORIO	BARRA PERFORADA	Ø 55 mm x 110 mm
No.	CANTIDAD	DENOMINACIÓN	MATERIAL	DIMENSIONES
		FECHA	NOMBRE	FIRMA
DIBUJADO		20-MARZO-2001	ELMER MARTÍNEZ - ERNESTO VIDES	
COMPROBADO		22-MARZO-2001	ING. S. GÁMEZ - ING. PINEDA - ING. PORTILLO	
NORMA		-	ICAITI	
DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN EQUIPO EXPERIMENTAL DE GAMMAGRAFÍA INDUSTRIAL PARA EVALUAR SOLDADURAS A TOPE Y LA CALIDAD DE IMAGENES DE RADIOGRAFÍAS INDUSTRIALES			UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	
ESCALA 1:4		BRAZO GIRATORIO		PLANO 2/7



1	2	PALANCA DE SUJECIÓN		AISI 1020	-
No.	CANTIDAD	DENOMINACIÓN		MATERIAL	DIMENSIONES
		FECHA	NOMBRE		FIRMA
DIBUJADO	20-MARZO-2001	ELMER MARTÍNEZ - ERNESTO VIDES			<i>neto</i>
COMPROBADO	22-MARZO-2001	ING. S. GÁMEZ - ING. PINEDA - ING. PORTILLO			
NORMA	-	ICATI			
DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN EQUIPO EXPERIMENTAL DE Gammagrafía INDUSTRIAL PARA EVALUAR SOLDADURAS A TOPE Y LA CALIDAD DE IMAGENES DE RADIOGRAFÍAS INDUSTRIALES				UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	
ESCALA	PALANCA DE SUJECIÓN				PLANO
1:1					3/7

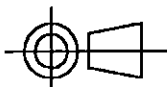
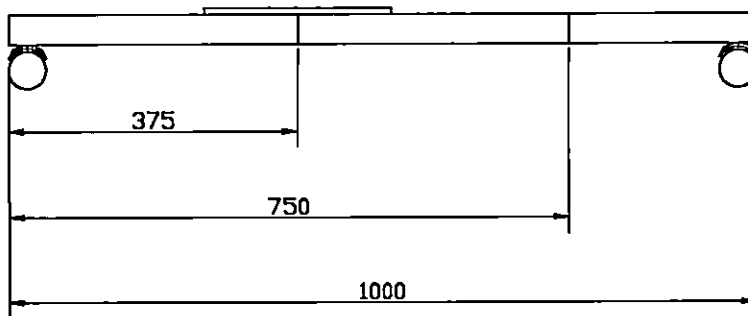
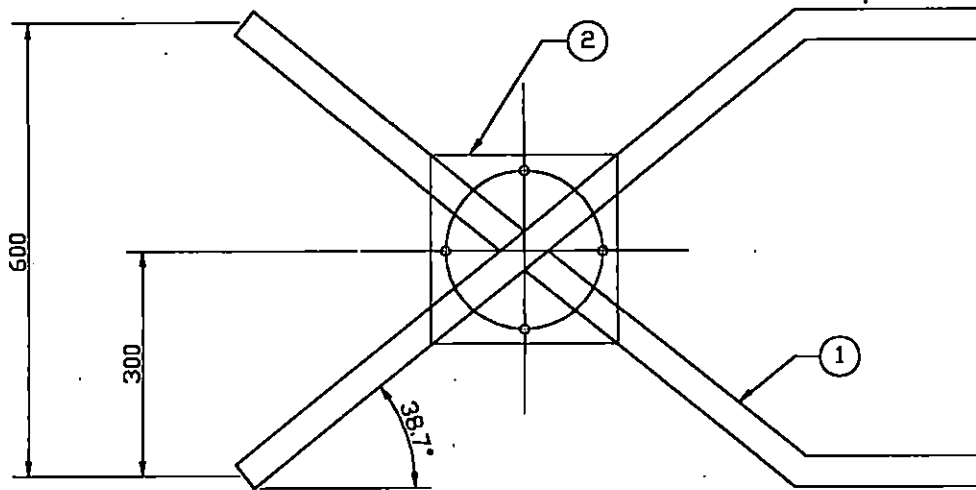


No.	CANTIDAD	DENOMINACIÓN	MATERIAL	DIMENSIONES
3	1	BASE DE LA COLUMNA	PLATINA AISI 1020	8 mm x 250 mm x 250 mm
2	4	NERVADURAS	PLATINA AISI 1020	8 mm x 75 mm x 150 mm
1	1	COLUMNA	TUBERÍA NEGRA	Ø60 mm x 1600 mm

FECHA		NOMBRE		FIRMA
DIBUJADO	20-MARZO-2001	ELMER MARTÍNEZ - ERNESTO VIDES		
COMPROBADO	22-MARZO-2001	ING. S. GÁMEZ - ING. PINEDA - ING. PORTILLO		
NORMA	-	ICATI		

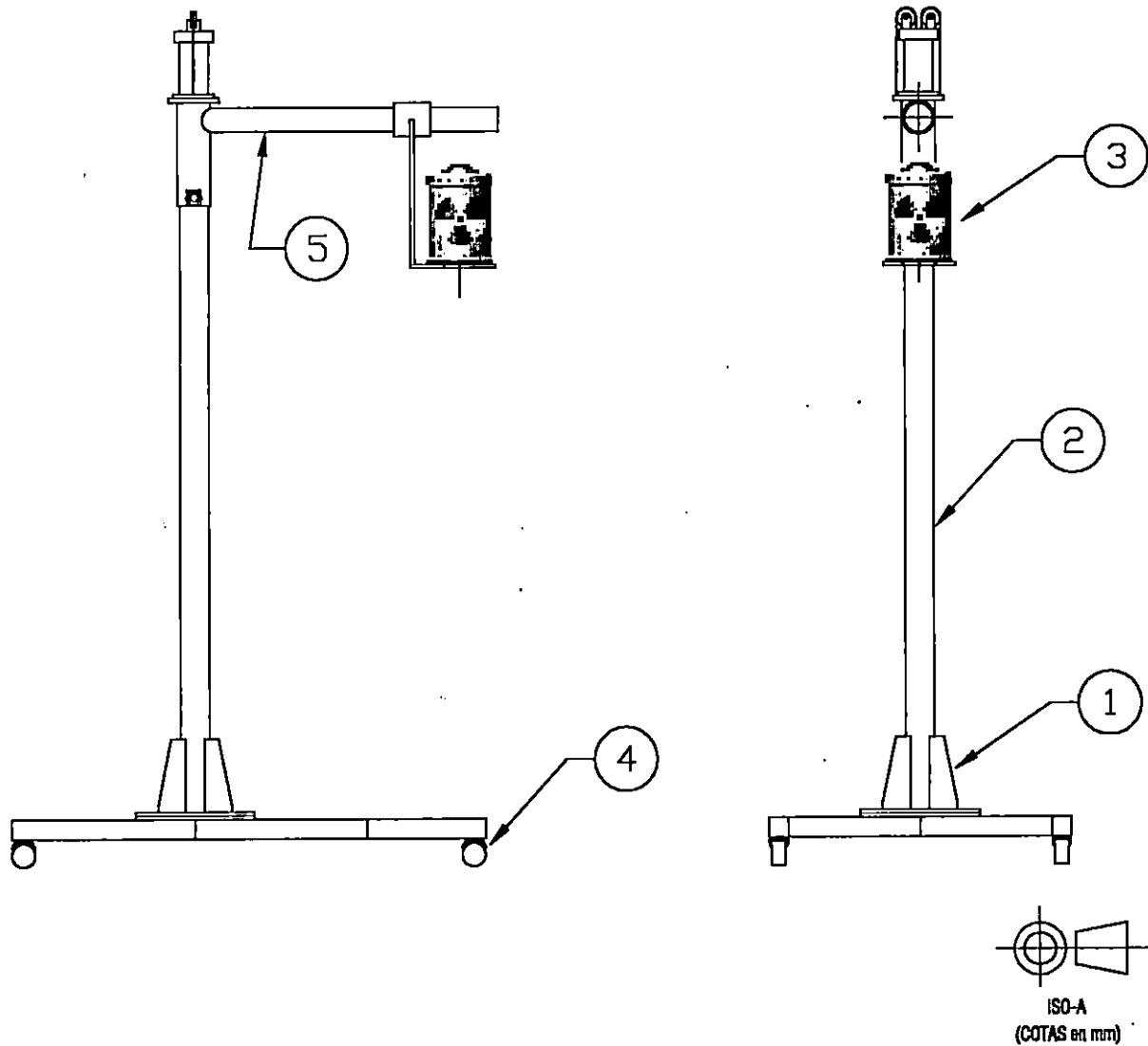
DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN EQUIPO EXPERIMENTAL DE GAMMAGRAFÍA INDUSTRIAL PARA EVALUAR SOLDADURAS A TOPE Y LA CALIDAD DE IMAGENES DE RADIOGRAFÍAS INDUSTRIALES	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA
--	---

ESCALA 1:12	COLUMNA DE LA ESTRUCTURA	PLANO 4/7
-----------------------	---------------------------------	---------------------



ISO-A
(COTAS en mm)

2	1	BASE PARA SUJECIÓN DE LA COLUMNA	PLATINA AISI 1020	8 mm x 250 mm x 250 mm
1	4	PATA RODANTE	HIERRO ANGULAR	38 mm x 38 mm x 3 mm
No.	CANTIDAD	DENOMINACIÓN	MATERIAL	DIMENSIONES
		FECHA	NOMBRE	FIRMA
		DIBUJADO 20-MARZO-2001	ELMER MARTÍNEZ - ERNESTO VIDES	<i>[Signature]</i>
		COMPROBADO 22-MARZO-2001	ING. S. GÁMEZ - ING. PINEDA - ING. PORTILLO	
		NORMA -	ICAITI	
DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN EQUIPO EXPERIMENTAL DE GAMMAGRAFÍA INDUSTRIAL PARA EVALUAR SOLDADURAS A TOPE Y LA CALIDAD DE IMAGENES DE RADIOGRAFÍAS INDUSTRIALES			UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
ESCALA 1:10	BASE RODANTE DE LA ESTRUCTURA			PLANO 5/7



No.	CANTIDAD	DENOMINACIÓN	MATERIAL	DIMENSIONES
5	1	BRAZO GIRATORIO	TUBERÍA NEGRA	-
4	4	RODOS	-	Ø 3 pulgadas
3	4	CONTENEDOR DE LA FUENTE RADIACTIVA	-	Ø120 mm x 170 mm
2	1	COLUMNA DE LA ESTRUCTURA	TUBERÍA NEGRA	Ø60 mm x 1600 mm
1	4	NERVADURA	PLATINA AISI 1020	8 mm x 75 mm x 150 mm

	FECHA	NOMBRE	FIRMA
DIBUJADO	20-MARZO-2001	ELMER MARTÍNEZ - ERNESTO VIDES	
COMPROBADO	22-MARZO-2001	ING. S. GÁMEZ - ING. PINEDA - ING. PORTILLO	
NORMA	-	ICATT	

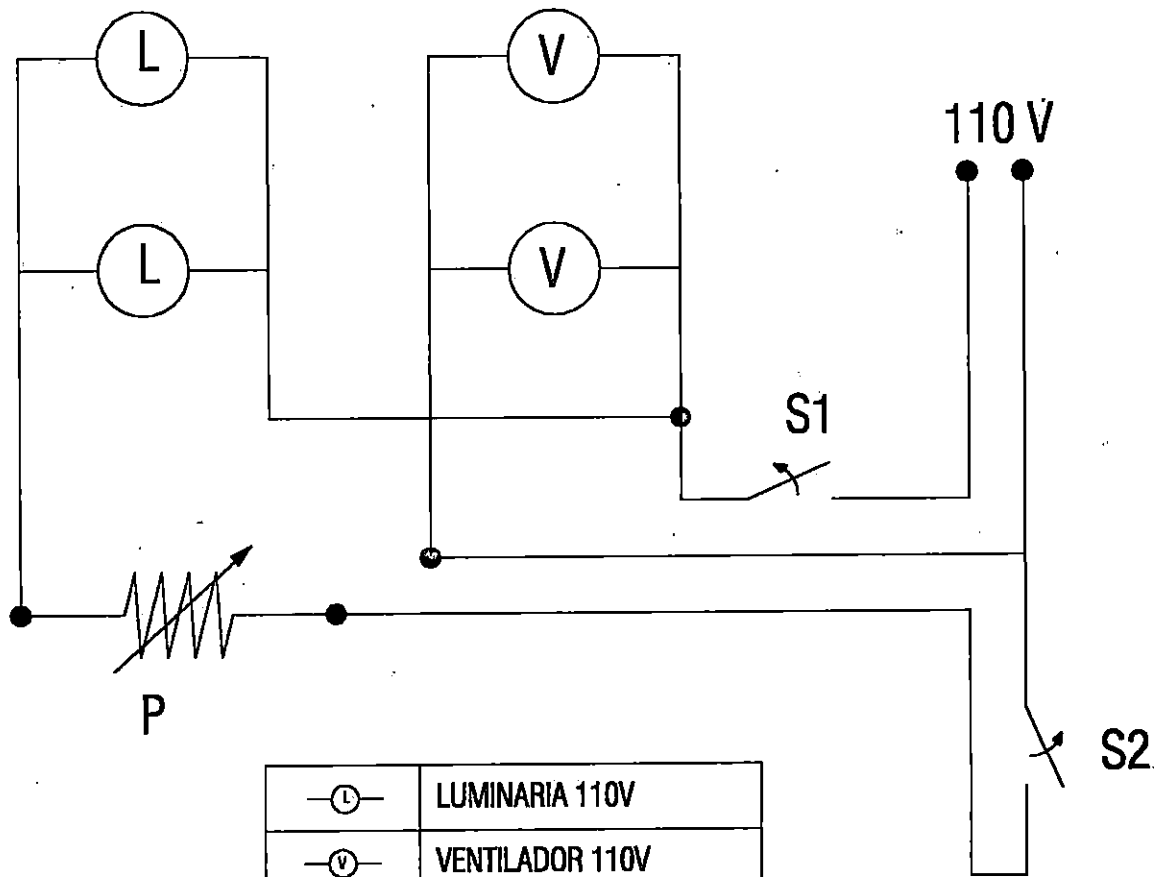
DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN EQUIPO EXPERIMENTAL DE GAMMAGRAFÍA INDUSTRIAL PARA EVALUAR SOLDADURAS A TOPE Y LA CALIDAD DE IMAGENES DE RADIOGRAFÍAS INDUSTRIALES

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA

ESCALA
1:10

MECANISMO DEL EQUIPO EXPERIMENTAL

PLANO
6/7



	LUMINARIA 110V
	VENTILADOR 110V
	POTECIOMETRO
	INTERRUPTOR PRINCIPAL
	INTERRUPTOR DEL PEDAL

FECHA		NOMBRE		FIRMA
DIBUJADO	20-MARZO-2001	ELMER MARTÍNEZ - ERNESTO VIDES		
COMPROBADO	22-MARZO-2001	ING. S. GÁMEZ - ING. PINEDA - ING. PORTILLO		
NORMA	---	ICATI		
DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN EQUIPO EXPERIMENTAL DE GAMMAGRAFÍA INDUSTRIAL PARA EVALUAR SOLDADURAS A TOPE Y LA CALIDAD DE IMÁGENES DE RADIÓGRAFÍAS INDUSTRIALES			UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR. FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA	
ESCALA	CIRCUITO ELECTRIC DEL NEGATOSCÓPIO		PLANO	
1:10			7/7	