

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



**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN LABORATORIO DE
RADIOGRAFÍA PARA USOS DIDÁCTICO E INDUSTRIAL EN
JUNTAS SOLDADAS**

PRESENTADO POR:

JOSÉ RAFAEL CRUZ SOSA

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

CIUDAD UNIVERSITARIA, DICIEMBRE DE 2014

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIA GENERAL :

DRA. ANA LETICIA ZAVALETA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

DIRECTOR :

ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ

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 :

**PROPUESTA DE DISEÑO DE UN LABORATORIO DE
RADIOGRAFÍA PARA USOS DIDÁCTICO E INDUSTRIAL
EN JUNTAS SOLDADAS**

Presentado por :

JOSÉ RAFAEL CRUZ SOSA

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

DR. Y M.SC. JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ

San Salvador, diciembre de 2014

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

DR. Y M.SC. JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ

DEDICATORIA

A mi padre José Paz Cruz Rivera, mi madre Anabella Sosa de Cruz (Q.D.D.G), mis abuelos José Paz Cruz y Rosa Rivera de Cruz, mi esposa Raquel Azucena C. de Cruz, mi hijo que aún está en el vientre de mi esposa que es una bendición de dios obtener este logro y dedicárselo a él con todo mi amor y mis hermanos Diego Fernando, Alvaro Josué, Emmanuel y Abraham, por ser parte importante de cada acontecimiento que pasa en mi vida, mi padre mi orgullo y mi ejemplo a seguir como persona ejemplar, mis abuelos por ayudarme económica y moralmente con mis estudios, mi esposa apoyo incondicional siempre dando ánimos para seguir con mis metas y mis hermanos por ser siempre mis consejeros y quienes me apoyan cuando más los necesito.

José Rafael Cruz Sosa

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme el discernimiento, la inteligencia, sabiduría y la capacidad de llegar a esta meta sabiendo que en su voluntad estaba de regalarme este logro en mi vida.

A mi esposa Raquel Azucena Catillo, por el amor y el apoyo incondicional.

A mis hermanos Alvaro y Diego por siempre ayudarme a salir adelante.

A mis hermanos del camino neocatecumenal por estar siempre en sus oraciones que me ayudan a diario.

Al Ing. Roberto Falcónido, por comprenderme en mi trabajo y estar siempre pendiente de mis estudios brindándome los conocimientos y la ayuda no como jefe si no como amigo ayudándome en este trabajo de graduación.

A la Arq. Karla Mariela Parada quien con sus conocimientos apporto la ayuda necesaria para lograr culminar mi proyecto de graduación

A los compañeros de Ing. Mecánica, Ing. Arnulfo Andrade e Ing. Sergio Erazo quienes colaboraron con sus conocimientos en mi proyecto.

A mi asesor Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berrios Ortiz por su inmensa ayuda y asesoría muy conforme para la elaboración del Trabajo de Graduación.

José Rafael Cruz Sosa

ÍNDICE GENERAL

| | Pág. |
|--|------|
| INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1. MARCO TEÓRICO..... | 2 |
| 1.1. Pruebas no destructivas..... | 2 |
| 1.1.1. Inspección visual..... | 3 |
| 1.1.2. Inspección con líquidos penetrantes..... | 4 |
| 1.1.3. Inspección por partículas magnéticas..... | 6 |
| 1.1.4. Inspección radiográfica..... | 7 |
| 1.1.5. Inspección ultrasónica..... | 8 |
| 1.2. Descripción de la prueba radiográfica..... | 10 |
| 1.2.1. El descubrimiento de los rayos X..... | 10 |
| 1.2.2. Generación de rayos X..... | 12 |
| 1.3. Característica de los rayos X..... | 14 |
| 1.3.1. Tipos de equipos de rayos X..... | 20 |
| 1.4. Medida de seguridad..... | 20 |
| 1.4.1. Medidas protectoras contra la radiación..... | 21 |
| 1.4.2. Tiempo de exposición..... | 22 |
| 1.4.3. Distancia a la fuente de radiación..... | 23 |
| 1.4.4. Blindaje..... | 24 |
| 1.4.5. Dosis de radiación..... | 27 |
| 1.4.6. Efectos de radiación..... | 28 |
| 1.5. La película radiográfica..... | 29 |
| 1.5.1. Características de las películas radiográficas..... | 29 |
| 1.5.2. Tipos película..... | 31 |
| 1.5.3. Proceso de rebelado..... | 32 |
| 1.6. Penetrómetro..... | 34 |
| 1.7. Requisitos y secuencia de la inspección radiográfica..... | 40 |
| 1.8. Aplicaciones de la radiografía..... | 42 |
| 1.9. Limitaciones de la inspección radiográfica..... | 45 |
| 1.9.1. Seguridad..... | 46 |
| 1.9.2. Medidas fundamentales de protección radiológica..... | 47 |
| 1.9.3. Vigilancia y control de la radiación..... | 48 |
| 2. PROPUESTA DE PREDISEÑO Y ESPECIFICACIÓN DE LA OBRA CIVIL DE LAS INSTALACIONES DE UN LABORATORIO PARA LA TOMA DE RADIOGRÁFICAS EN JUNTAS SOLDADAS..... | 50 |
| 2.1. Consideraciones previas..... | 50 |
| 2.2. Procesos implicados en el laboratorio de toma de muestras radiográficas..... | 51 |
| 2.3. Flujoigramas de los procesos implicados en el laboratorio de toma de muestras radiográficas..... | 51 |
| 2.4. Propuesta de distribución del laboratorio..... | 54 |
| 2.5. Especificación y justificación de las zonas que se presentan en la propuesta de distribución del laboratorio..... | 57 |

| | Pág. |
|--|------|
| 3. EQUIPAMIENTO E INFRAESTRUCTURA PARA EL LABORATORIO DE RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL PARA JUNTAS SOLDADAS | 62 |
| 3.1. Propuesta de equipamiento del laboratorio..... | 62 |
| 3.2. Mobiliario..... | 65 |
| 3.3. Evaluación de la exposición del trabajador expuesto..... | 65 |
| 3.3.1. Tipo de trabajo que desarrollan..... | 68 |
| 3.3.2. La vigilancia especial..... | 70 |
| 3.3.3. Vigilancia y control de la contaminación..... | 70 |
| 3.4. Necesidades de infraestructura..... | 72 |
| 4. PRESUPUESTO Y JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA DE DISEÑO DE UN LABORATORIO DE RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL EN JUNTAS SOLDADAS..... | 74 |
| 4.1. Presupuesto requerido para el equipamiento del laboratorio..... | 75 |
| 4.2. Presupuesto de mobiliario..... | 76 |
| 4.3. Presupuesto para el funcionamiento anual..... | 77 |
| 4.4. Elaboración del presupuesto de la infraestructura..... | 77 |
| 4.5. Presupuesto general..... | 81 |
| 4.6. Justificación de la inversión..... | 82 |
| CONCLUSIONES..... | 83 |
| RECOMENDACIONES..... | 84 |
| REFERENCIAS..... | 85 |
| ANEXOS..... | 87 |
| ANEXO I: Glosario de indicaciones de defectos de soldaduras e inspecciones no destructivas..... | 87 |
| ANEXO II: Planos arquitectónicos del laboratorio de radiografía industrial para placas soldadas..... | 90 |
| ANEXO III: Cotización de equipos y accesorios de radiografía industrial con sus respectivos detalles..... | 96 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|---|------|
| Fig. 1.1. Representación esquemática de la prueba por radiografía de una muestra que contiene varios tipos de defectos, donde: a es el espesor, b es un hueco, c es un círculo transversal, y d es un círculo longitudinal..... | 14 |
| Fig. 1.2. Intensidad relativa de la radiación blanca proveniente de un foco de emisión de tungsteno en función de la longitud de onda y del voltaje máximo de aceleración..... | 16 |
| Fig. 1.3. Relación entre la oscuridad o densidad de una película para rayos X con la cantidad de radiación incidente en ella para cuatro tipos de películas..... | 19 |
| Fig. 1.4. Distancia de emisividad de rayos X..... | 22 |
| Fig. 1.5. Distancia que debe existir entre la fuente de radiación y una persona..... | 23 |
| Fig. 1.6. Percepción de la calidad de imagen de la película radiografía..... | 30 |
| Fig. 1.7. Penetrómetro, al lado de la soldadura y alejado de la película: (a) Diseño de penetrómetro para espesores de 0.005 a 0.050 pulg, y (b) colocación del penetrómetro..... | 35 |
| Fig. 1.8. Penetrómetros típicos..... | 35 |
| Fig. 1.9. Representación esquemática de un penetrómetro; en donde e es el espesor del dispositivo..... | 37 |
| Fig. 2.1. Flujograma del proceso de toma de las placas radiográficas en el laboratorio..... | 52 |
| Fig. 2.2. Flujograma del proceso de revelado de las placas radiográficas..... | 53 |
| Fig. 2.3. Propuesta de vista en planta del laboratorio de radiografía industrial para juntas soldadas; en donde: A es el flujo de las juntas soldadas a radiografiar, y B es el flujo de las placas de radiografía..... | 55 |
| Fig. 2.4. Propuesta de vista en planta del laboratorio de radiografía industrial con las dimensiones propuestas..... | 56 |
| Fig. 3.1. Equipo generador de rayos X con sus dimensiones en mm..... | 63 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | Pág. |
|---|------|
| Tabla 1.1. Isótopos más usados en radiografía..... | 21 |
| Tabla 1.2. Espesores de blindajes más comunes..... | 26 |
| Tabla 1.3. Sensibilidad Radiográfica expresada como función del penetrómetro más delgado perceptible, en porcentaje del espesor de la pieza, y el mínimo diámetro perceptible del penetrómetro. La práctica industrial produce un 2% de sensibilidad..... | 37 |
| Tabla 1.4. Factores de equivalencia radiográfica aproximados..... | 39 |
| Tabla 1.5. Información en donde se puede realizar una inspección radiográfica..... | 44 |
| Tabla 1.6. Dispositivos de protección radiológica vigentes hasta la fecha..... | 48 |
| Tabla 2.1. Simbología que aparece en la propuesta de distribución..... | 60 |
| Tabla 3.1. Especificación de equipos para el laboratorio de radiografía industrial para juntas soldadas..... | 64 |
| Tabla 4.1. Presupuesto de equipamiento del laboratorio..... | 75 |
| Tabla 4.2. Presupuesto requerido de equipo del laboratorio..... | 76 |
| Tabla 4.3. Presupuesto requerido para funcionamiento anual y mantenimiento del equipo..... | 77 |
| Tabla 4.4. Presupuesto de la infraestructura del laboratorio de radiografía industrial..... | 79 |
| Tabla 4.5. Costos requeridos para propuesta de diseño de un laboratorio de radiografía para uso didáctico e industrial en juntas soldadas..... | 81 |

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

| | |
|------------------|---|
| Co-60: | Cobalto 60 |
| CSN: | Consejo de seguridad nuclear |
| Cs-137: | Cesio 137 |
| CVM: | Número de capas |
| D: | Distancia de emisividad de Rayos X |
| Hp: | Homogeneidad parcial |
| Hs: | Homogeneidad superficial |
| I: | Intensidad de radiación deseada |
| Ir-192: | Iridio 192 |
| IV: | Inspección visual |
| I _o : | Intensidad en el punto |
| I ₁ : | Rapidez de exposición |
| mR: | MiliRoentgen |
| mSv: | Milisievert |
| MT: | Partículas magnéticas |
| n: | Número de capas valor medio |
| P: | Densidad |
| PT: | Líquidos penetrantes |
| Rayos X: | Radiación electromagnética |
| RX: | Rayos X |
| S: | Sensibilidad radiográfica porcentual |
| SDP: | Servicio de dosimetría personal |
| SNT: | Society for Nondestructive Testing |
| SPRL: | Servicio de prevención de riesgo de laboratorio |
| SPR: | Servicio de prevención de riesgo |
| TL: | Termoluminiscente |
| Tm-170: | Tulio 170 |
| UT: | Ultrasonido |
| γ: | Gamma de la película coeficiente de exposición |
| λ: | Longitud de onda |
| μ: | Coeficiente de atenuación del material |
| μ _m : | Coeficiente de absorción másica |

PROPUESTA DE DISEÑO DE UN LABORATORIO DE RADIOGRAFÍA PARA USOS DIDÁCTICO E INDUSTRIAL EN JUNTAS SOLDADAS

Alumno: José Rafael Cruz sosa

Docente Asesor: Dr. y M.Sc. Jonathan A. Berríos Ortiz

RESUMEN

Se ha elaborado una propuesta de diseño de un laboratorio de radiografía para usos didáctico e industrial en juntas soldadas. Este laboratorio de Radiografía Industrial contará con un equipo de tipo tubo de rayos X estático y portátil, para poder realizar inspecciones de soldaduras en placas soldadas ya sean en campo o en el laboratorio dentro de la Universidad de El Salvador. Así, esta propuesta cuenta con sus respectivas salas debidamente equipadas para que cada una desempeñe su función como son la sala de tomas de placas radiográficas o toma de muestras, luego la sala de revelado en donde se realizará bajo los procedimientos, hasta llegar a la sala de interpretación de placas para determinar el problema o indicaciones encontradas para determinar la magnitud del daño o el procedimiento a seguir para su reparación o aprobación de la misma. La elaboración de planos arquitectónicos con sus respectivas salas de acomodación como lo son: Sala de rayos X, Sala de control del equipo y observación de placas reveladas de rayos X, Cuarto oscuro para revelado de tomas, Sala de espera para la toma de placas radiográficas y Sala de recepción, para cada uno de los pasos que se tienen en la inspección de soldaduras en este caso por radiografía industrial. Además, se elaboraron los diferentes presupuestos para el equipamiento del Laboratorio desde mobiliario, equipos e infraestructura de forma detallada y clara, hasta obtener el presupuesto general de la inversión que se tiene que hacer para lograr la consecución del proyecto.

INTRODUCCIÓN

La soldadura es un proceso de fabricación en donde se realiza la unión de dos piezas (generalmente metálicas), lo cual se logra a través de la coalescencia por calor, se puede realizar sin o con material de aporte el cual al enfriarse formará parte del cordón de soldadura. Así, la soldadura es un proceso industrial, y su versatilidad radica en que se puede realizar en ambientes diversos, entre los cuales se incluyen al aire libre, debajo del agua y en el espacio. No obstante, el proceso de soldadura es peligroso, por lo cual se deben tomar las debidas precauciones para evitar quemaduras, descargas eléctricas, humos venenosos y la sobreexposición a la luz ultravioleta. Así como también, se tiene que tener presente que en las juntas soldadura se puede producir defectos como porosidad, inclusiones no metálicas, agrietamiento longitudinal en el cordón de soldadura, falta de penetración y socavaduras, para los cuales se realizan inspecciones o ensayos no destructivos, ya que estos pueden eventualmente conducir a una posible cedencia o fractura de la junta soldada. Así, entre estas técnicas de ensayos no destructivos se pueden citar inspección visual, líquidos penetrantes, partículas magnéticas y radiografía industrial, ultrasonido. Entre éstas la técnica de radiografía industrial es la más comúnmente utilizada y requiere de amplio conocimiento tanto de de la técnica para poder observar la ausencia o presencia de defectos en las placas radiográficas como también de las medidas de seguridad por la radiación de rayos X comúnmente empleados. Es por ello que realizar una propuesta de diseño de un laboratorio de radiografía industrial para uso académico, investigación y de servicio con aplicaciones en juntas soldadas, es de suma importancia en el desarrollo en forma sistemática.

Dado lo anterior, la temática para poder desarrollar el temas se realizará una recopilación de información técnica y detallada, principalmente, sobre radiografía industrial, defectos en juntas soldadas y medidas de seguridad en radiografía utilizando rayos X; luego, el proceso de pre-diseño arquitectónico del laboratorio de radiografía industrial; se justifican las necesidad del equipamiento

de laboratorio, mobiliario, funcionamiento y su presupuesto para el desarrollo de la propuesta o proyecto de construcción de laboratorio de radiografía industrial.

1. MARCO TEÓRICO

A través de los años, los ensayos no destructivos han presentado un gran avance en la rama industrial, debido a que ellos no requieren de la destrucción de la pieza a examinar.

El estudio y análisis de los defectos de soldadura se han convertido en algo esencial para quienes trabajan en el ramo de la soldadura, dado que un defecto, puede llegar a afectar el buen funcionamiento de todas aquellas máquinas, ductos y construcciones en donde esté presente. Esto ha llevado a profundizar en el estudio del área de pruebas no destructivas.

Dentro de las pruebas no destructivas, una de las más aplicadas es la radiográfica, la interpretación de esta prueba es compleja, por lo que se requiere de personal calificado para poder efectuarla [1].

1.1. PRUEBAS NO DESTRUCTIVAS

La sociedad para pruebas no destructivas (SNT, Society for Nondestructive Testing) define las pruebas no destructivas como un grupo de pruebas que se utilizan para detectar defectos o fallas en metales, que dejan a la sección analizada en condiciones aptas para realizar las funciones para la que fue construida [2]. Los métodos principales de pruebas no destructivas (de inspección) se presentan a continuación.

1.1.1. INSPECCIÓN VISUAL

Éste es el más usado de los métodos de inspección, por ser fácil de aplicar, rápido y costo relativamente bajo; también, por que proporciona información muy importante en relación con el cumplimiento de la especificación de la junta soldada. La inspección visual se efectúa durante todo el proceso; es decir antes, durante y después de haber realizado la soldadura.

Antes de comenzar a soldar, el inspector revisa el material a soldar, en busca de defectos tales como costras, soldaduras, escamas, de laminaciones de las placas y las dimensiones de la placa. Después de ensamblar las partes que han de soldarse, el inspector puede revisar la separación de raíz, preparación de los bordes y demás características de preparación de la junta que pudieran afectar la calidad de la junta soldada.

Durante la aplicación de la soldadura, el inspector comprueba que se estén cumpliendo con todos los requerimientos de la hoja de procedimientos.

Después de haber terminado la soldadura, el inspector verifica generalmente el conjunto soldado en busca de datos, tales como:

- 1) Exactitud dimensional del conjunto (incluyendo el alabeo);
- 2) Conformidad con los requerimientos del dibujo (esta involucra la determinación de que se haya aplicado toda la soldadura requerida y de las soldaduras terminadas se ajusten a lo indicado en cuanto a tamaño y contorno);
- 3) Aceptabilidad de la soldadura respecto al aspecto, incluyendo conceptos como regularidad, rugosidad de superficie y salpicaduras de soldadura; y
- 4) La presencia de cráteres, poros, picaduras, socavamientos, traslapes y grietas [1 y 2].

1.1.2. INSPECCIÓN CON LÍQUIDOS PENETRANTES

La inspección con líquidos penetrantes es un método no destructivo recomendado para localizar grietas superficiales y pequeños poros invisibles a simple vista. Es una técnica favorable para localizar fallas en soldadura, y. Se puede aplicar en donde no es posible la inspección por partículas magnéticas, como en los aceros inoxidable austeníticos o en los metales no ferrosos. Existen en uso dos tipos de estas técnicas, que se definen por la sustancia de colorante.

En la inspección por líquidos penetrantes fluorescente se aplica líquidos altamente fluorescentes, con buena calidad de penetración de superficie de la parte que va a examinar. La acción capilar arrastra al líquido en la falla de la pieza, y se usa un revelador para el penetrante a la superficie, y la indicación resultante se ve a la luz ultravioleta “negra”. El fuerte contraste entre el material fluorescente y el fondo hace posible detectar hasta pequeñas trazas de penetrante.

Como interviene la penetración de aberturas diminutas, la parte por inspeccionar debe de estar perfectamente limpia y seca, ya que cualquier material extraño puede cerrar las aberturas y conducir a conclusiones falsas. El penetrante se aplica por inmersión, por aspersion o a cepillado, se da tiempo suficiente para que se realice la absorción del líquido en las discontinuidades, el que necesita una hora o más en trabajo de gran precisión.

Cuando la penetración es completa, o cuando se supone que es adecuada de acuerdo con las especificaciones de la prueba, se quita el exceso de material de la superficie. Si el penetrante está diseñado para lavarse con agua, se usa rociado de agua a baja presión. No obstante, algunos sistemas de penetrantes comerciales requieren de un lavado con disolvente, el que se conoce como postemulsionador, con estos últimos sistemas se aplica un emulsionador a la parte, y se deja actuar por cuatro minutos antes de rociar con agua. Así, se deben de cumplir fielmente las instrucciones para usar los emulsionadores y para la operación de lavado, ya que sólo se debe remover el exceso de penetrante.

Después del lavado se secan las partes si se va usar un revelador seco. Puede aplicarse aire caliente para acelerar el secado. El revelador seco se aplica con una pistola aspersora de polvo, con un bulbo aspersor, o por inmersión. El revelador arrastra el penetrante de los defectos, haciéndolo accesible a la vista con luz ultravioleta. Si sólo se buscan discontinuidades grandes, puede no ser necesario un revelador para hacer detectar la discontinuidad, si se usa un revelador húmedo no es necesario secar la parte después de remover el exceso de penetrante. El revelador húmedo se aplica en forma de suspensión coloidal en agua, por inmersión o por aspersion, después de los cual se seca la parte con aire caliente.

La inspección con penetrante colorante es similar a la de penetrante fluorescente, con la excepción de que se emplean colorantes visibles a la luz ordinaria. Eliminando la necesidad de luz ultravioleta se logra una mayor portabilidad del equipo.

La inspección con penetrante líquido se usa mucho para detectar defectos. Un procedimiento común es aplicar material fluorescente en un lado de la junta, con brocha o por aspersion, se tiene que dejar secar durante un tiempo adecuado para la acción capilar, y observar luego el otro lado de la junta con luz ultravioleta. Debe usarse revelador seco en el lado en que se está inspeccionando, para intensificar las indicaciones. En recipientes de pared delgada, esta técnica presentará defectos que no se detectan de ordinario con la prueba usual de aire a presión de 24.4121 a 97.6485 kg/m² (5 a 20 lb/pulg²). La sensibilidad de la prueba de defectos decrece, sin embargo cuando el espesor de la pared es mayor que 0.00635 m. La inspección por líquidos penetrantes se usa mucho también en la inspección de conjuntos soldados grandes y pequeños [1, 6 y 7].

1.1.3. INSPECCIÓN POR PARTÍCULAS MAGNÉTICAS

La inspección por partículas magnéticas es un método para localizar y definir discontinuidades en los materiales magnéticos. Es excelente para detectar

defectos superficiales en soldaduras, porque revela discontinuidades que son demasiado finas para apreciarse a simple vista. Con equipo especial, también se puede usar para detectar defectos que estén cercanos a la superficie [1].

El método de inspección por partículas magnéticas es mucho más simple de aplicar que la inspección radiográfica, aunque tiene sus limitaciones. Sólo es aplicable a materiales ferromagnéticos. Una junta entre el metal base y un metal de soldadura de diferentes características magnéticas creará discontinuidades magnéticas que pueden producir predicciones de interpretación como falta de confiabilidad, aun cuando la junta sea enteramente sana. Por otra parte, puede ocultarse un defecto verdadero por el polvo que se acumule sobre una discontinuidad magnética inofensiva. La sensibilidad es menor en las formas redondas, tales como los poros, y es óptima en las formas alargadas, como las grietas [4 y 5].

Las piezas antes de la inspección deben de estar limpias y secas, la limpieza con cepillo de alambre o a chorro de arena son métodos satisfactorios para limpiar soldaduras. La rugosidad de la superficie hace decrecer la sensibilidad, tiende a distorsionar el campo magnético, e interfiere físicamente mecánicamente con la formación de las figuras de las partículas [6].

Para penetración completa se requiere corriente directa o rectificada. La corriente alterna magnetiza sólo la superficie, y por lo mismo está limitada a inspección superficial. La corriente trifásica de onda completa produce resultados comparables a los producidos por la corriente directa de batería. La corriente doblemente rectificada monofásica de media onda brinda la máxima sensibilidad. Normalmente se emplea corriente de alto amperaje, y bajo voltaje en todas las pruebas con partículas magnéticas, para limitar el arqueado o el quemado de la pieza de prueba.

El polvo magnético se puede aplicar en seco o en húmedo. Utilizando polvo seco se esparce uniformemente sobre la superficie de la pieza de trabajo con una pistola aspersora, un saco de espolvorear o un atomizador. Se consigue en colores gris, negro o rojo. En el método húmedo se usan partículas rojas o negras muy finas suspendidas en agua o petróleo. El polvo para suspensión en

líquido viene del fabricante en forma seca o en pasta, preparado para ser usado en baño de agua o aceite. Después de que se ha hecho la suspensión, de acuerdo con las instrucciones del fabricante, se extiende sobre la superficie que se va a inspeccionar, o bien, se sumerge la pieza en el líquido.

La inspección por partículas magnéticas se aplica a muchos tipos de soldadura en la práctica de producción. El método del polvo seco es popular especialmente para conjuntos soldados pesados. Muchos conjuntos soldados de acero, en la fabricación de aviones, se inspeccionan por el método húmedo, usando corriente directa [1 y 6].

1.1.4. INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA

Este método de prueba aprovecha la posibilidad que ofrecen las radiaciones de onda corta, como los rayos X y los gamma, de penetrar a través de objetos opacos a la luz ordinaria. Estos rayos tienen tal propiedad por su longitud de onda más corta que la de la luz.

En general, a menor longitud de onda corresponde mayor poder de penetración. No toda la radiación penetra a través de la soldadura; parte de ella es absorbida. La magnitud de la absorción es función de la densidad y del espesor de la soldadura. Si existe una cavidad, como por ejemplo un poro, el haz de radiación tendrá menos metal que traspasar que en una soldadura sana.

Consecuentemente, habrá una variación, que si se mide o registra una película sensible a la radiación, dará una imagen que indicará la presencia del defecto. La imagen es una sombra de rayos X del defecto interno y tal revelado de la sombra se llama radiografía. Una buena radiografía es aquella que fielmente graba la imagen de los rayos X de manera que permita establecer la presencia o ausencia de defectos en la soldadura si existen, y define claramente su tamaño, forma y ubicación.

El método de los rayos X es el de más éxito y el más confiable para la prueba no destructiva de soldaduras. No obstante, como la mayoría de las

técnicas, tiene ciertas limitaciones y su aplicación e interpretación correcta requieren de un amplio conocimiento técnico del método, una concepción razonable del tipo de defectos que se pueden encontrar, y un conocimiento de la relación que existe entre los defectos y la especialización aplicable.

Debe tenerse presente que en una radiografía se proyectan en ese plano todos los defectos que existen en la soldadura. En consecuencia, la radiografía tiende a dar una impresión exagerada de todos los tipos de defectos, tales como porosidades o inclusiones, y al no ser aplicada una discrepancia por este hecho, una soldadura que sea enteramente adecuada para su función puede declararse defectuosa. El ángulo de exposición tiene también influencia radiografía [2 y 3].

1.1.5. INSPECCIÓN ULTRASÓNICA

La inspección ultrasónica es un método supersensible para detectar, localizar y medir defectos tanto superficiales como sub-superficiales en los metales. Las fallas que no se pueden descubrir por otros métodos, y hasta las grietas sumamente pequeñas para clasificarse como micro fisuras, pueden detectarse por este método. En la inspección práctica de soldadura, la sensibilidad del proceso se restringe a menudo por diseño, o ajustando el equipo para dar una respuesta equivalente a una sensibilidad del 2% del espesor del metal, para obtener resultados comparables con los obtenidos por inspección radiográfica.

La inspección ultrasónica se basa en el hecho de que una discontinuidad o cambio de densidad actúa como reflector de las ondulaciones de alta frecuencia propagadas a través del metal. La unidad controladora del equipo ultrasónico, del tipo pulsación-eco, contiene un cristal de cuarzo u otro material piezoeléctrico que cambia de dimensiones al aplicar una fuerza electromotriz. Usando corriente alterna, los cambios dimensionales ocurren alternadamente en una dirección. Y luego en otra, y la rapidez de cambio varía con la frecuencia de la fuerza electromotriz aplicada. Esto pone al cristal a oscilar rápidamente, al hacerlo le

genera oscilaciones mecánicas de la misma frecuencia a los materiales con los que hace contacto.

Cuando se sostiene una sonda ultrasónica contra el metal, las ondas vibratorias se propagan a través del material hasta que llegan a una discontinuidad o un cambio de densidad. En estos puntos, parte de la energía vibratoria se refleja hacia atrás. Si entre tanto se corta la corriente que ha causado la vibración, el cristal de cuarzo (sonda) puede actuar entonces de receptor, para captar la energía reflejada, la vibración reflejada causa presión en el cristal de cuarzo, la cual se traduce en la generación de corriente eléctrica. Alimentada a un tubo de rayos catódicos (TRC), esta corriente produce deflexiones verticales en la línea de base horizontal.

Se tienen dos tipos disponibles de presentación TRC, el de radiofrecuencia (RF) y el de video. La mayoría de unidades comerciales presentan el tipo de video, aunque muchos inspectores creen que el de RF da información más útil para la identificación de fallas.

Las interpretaciones se basan en muestras estándares de figuras construidas con placas de referencia, las cuales se preparan en concordancia con los procedimientos aprobados por la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME), y otras. Se ofrecen para uso en el campo equipos de ultrasonido de pulsación-eco accionados por batería [8].

1.2. DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA RADIOGRÁFICA

La historia de la prueba radiográfica (RT) en realidad implica dos principios. El primero comenzó con el descubrimiento de los rayos X por Wilhelm Conrad Roentgen en 1895 y el segundo con el anuncio de Marie Curie, en 1898 que se había demostrado la existencia de nuevo material radiactivo "radio" [3].

1.2.1. EL DESCUBRIMIENTO DE LOS RAYOS X

La historia de los rayos X, comienza con los experimentos del científico británico William Crookes, que en el siglo XIX, investigó los efectos de ciertos gases al aplicarles descargas de energías. Estos experimentos se desarrollaban en un tubo al vacío y electrodos para generar corrientes de alto voltaje. Así, éste dispositivo es llamado como el tubo de Crookes. Este tubo, al estar cerca de las placas fotográficas, generaba en las mismas unas imágenes borrosas. Subsecuentemente, Nikolas Tesla en 1887, comenzó a investigar el efecto creado por los tubos de Crookes, así descubrió e informó a la comunidad científica que una de las consecuencias de la exposición a la radiación es el daño que se produce a los organismos biológicos [3].

El físico Wilhelm Conrad Rontgen descubrió los rayos X en 1895, al experimentar con los tubos de Hittorff-Crookes y la bobina de Ruhmkorff para investigar la fluorescencia violeta que producían los rayos catódicos. Tras cubrir el tubo con cartón negro para eliminar la luz visible, observo un débil resplandor amarillo-verdoso proveniente de una pantalla con una capa de platino-cianuro de bario, que desaparecía al apagar el tubo. Así, determinó que los rayos creaban radiación muy penetrante, aunque invisible, que atravesaba grandes espesores de papel e incluso metales poco densos. Para estos experimentos, uso placas fotográficas, para demostrar que los objetos eran más o menos transparentes a los rayos X dependiendo de su espesor. Rontgen los llamo “Rayos incógnita” o “Rayos X” porque no sabían que eran, sólo que eran generados por los rayos catódicos al chocar contra ciertos materiales [9 - 11].

Por otra parte, durante ese mismo año, el francés *Henri Becquerel* estudió la fluorescencia de los compuestos de uranio; y al realizar varios experimentos colocó cristales de uranio sobre una placa fotográfica envuelta en papel negro, observó que al exponerlos a la luz solar, la parte de la placa que se encontraba en contacto con los cristales se oscurecía. Como consecuencia de estos experimentos, Becquerel formuló su primera hipótesis, donde consideró que el

oscurecimiento de la película fotográfica se debía a que la iluminación o la luz solar producían alguna fluorescencia en los compuestos de uranio.

Para demostrar su teoría, Becquerel expuso una película envuelta en papel negro a los rayos solares y observó que ésta no se había oscurecido, por lo que creyó que era debido a la envoltura de papel negro y que éste no permitía el paso de la luz. Sin embargo, una casualidad lo llevo a la conclusión de que el uranio emitía rayos de forma espontánea, sin necesidad del estímulo de la luz exterior. A este fenómeno de emisión espontanea de radiación le dio el nombre de radioactividad [12].

Ante estos hechos, Becquerel llego a otra hipótesis para establecer que la presencia de radioactividad en algunos minerales de uranio indicaba la existencia de una sustancia aún más radioactiva que este; para lo cual la identificación y separación de dicha sustancia, fue encomendado a Pierre y Marie Curie. Así, los esposos Curie efectuaron la separación química y el análisis de minerales de uranio, logrando aislar en 1898 un nuevo elemento radioactivo: El polonio, nombre dado en honor al país natal de Marie.

En 1902 los esposos Curie lograron aislar del mineral pechblenda (de uranio) una pequeña cantidad de otro elemento nuevo, el cual era 300.000 veces más radioactivo que el uranio y al que llamaron radio [2 y 12].

En la actualidad, dentro del campo de la industria existen dos técnicas comúnmente empleadas en la inspección radiográfica, las cuales son:

- 1) Los rayos X: Los cuales son generados por un alto potencial eléctrico, mediante dispositivos electrónicos. La fuente de rayos X es el ánodo en el tubo eléctrico de alto voltaje. Cuando se energiza, el haz de electrones generado en el cátodo impacta sobre el ánodo y esto provoca la emisión de rayos X en todas direcciones; la capa de blindaje alrededor del tubo absorbe los rayos X, excepto aquellos que escapan a través de un orificio o ventana que existe para tal fin. Los rayos que pasan se emplean para producir radiografía. Cuando se apaga la máquina de rayos X, la radiación cesa y la pieza inspeccionada no conserva radioactividad.

2) Los rayos gamma: Los cuales son generados por desintegración atómica espontánea de un radioisótopo, y los rayos son generados por fuentes radioactivas naturales o por isótopos radiactivos artificiales producidos para fines específicos de radiografía industrial, tales como: iridio 192, cobalto 60, cesio 137 y tulio 170. Un radio isótopo, como por ejemplo el cobalto 60 o el iridio 192, emiten radiación constante por lo que se emplean contenedores especiales o cámaras para almacenar y controlarlos dentro de una capsula, que es una pequeña píldora que se conecta al final del cable de control. Cuando la cápsula está en el contenedor, la mayoría de los rayos gamma son absorbidos por el blindaje. Cuando la fuente se saca del contenedor por medio del cable de control, la radiación del radioisótopo se dispersa en todas direcciones y se emplea para crear una radiografía [3 y 11].

1.2.2. GENERACIÓN DE RAYOS X

Los rayos X se producen en tubos al vacío cuando las altas velocidades de los electrones, con carga negativa, son atraídas hacia el potencial positivo generado por el ánodo y estos electrones chocan contra el material, los electrones son producidos cuando el filamento, usualmente tungsteno, se calienta hasta la incandescencia. Esto provoca que los electrones se exciten y choquen contra el material.

Al aplicar una corriente al filamento de tungsteno, puede resultar en el aumento en el número de electrones, entonces provocando así una mayor intensidad de radiación. La energía de esta radiación es función directa del voltaje aplicado en el ánodo, lo cual causa un incremento en la velocidad de los electrones, así al aplicar un voltaje mayor se produce un incremento de la radiación. Esta característica es la más importante, debido a que está relacionada con la longitud de onda generada, para la capacidad de penetración en el material. El filamento del ánodo está fabricado de tungsteno (típicamente) ya que éste posee un alto número atómico, lo cual lo hace un material ideal para la

interacción con los electrones de alta velocidad, debido a que tiene un alto punto de fusión, con lo cual generaran altas temperaturas al chocar los electrones. La energía cinética que generan los electrones es transformada en calor. El ánodo debe tener la capacidad de disipar el calor generado, en un factor de 97 a 99% de la energía que se convierte en calor y aproximadamente del 1 a 3% se convierte en rayos X. Es decir, si la energía se incrementa, la radiación genera una longitud de onda corta que se traduce en una mayor penetración.

El tamaño del ánodo es muy importante, debido a que afecta la nitidez del objeto que se presenta en la radiografía. Esto está relacionado directamente con la definición final de la imagen. Además, al ser menor la radiación aplicada al objetivo, la imagen resultante será más clara en la radiografía.

La energía de la radiación se expresa en voltaje o kilovoltios, un Electrón-volt es la cantidad de energía necesaria para desplazar un electrón. La expresión común para la energía que generan los rayos X es el kiloelectrón voltios (keV). La mayoría de técnicas radiográficas industriales usan un intervalo de energía entre 100 a 400 keV. La intensidad de la radiación se expresa en miliamperios (mA). En general la energía de radiación puede describir la “calidad” de la intensidad de la radiación [2].

1.3. CARACTERÍSTICAS DE LOS RAYOS X

Como se citó, este método aprovecha la posibilidad que ofrecen las radiaciones de onda corta, como los rayos X y los gamma, de penetrar a través de objetos opacos a la luz ordinaria. El método de los rayos X es el de más éxito y el más confiable para la prueba no destructiva de soldadura.

La radiografía es un método de ensayo no destructivo en el que se registra como imagen bidimensional en algún tipo de medio de registro la atenuación de un haz de rayos X proyectado según diferentes trayectorias, a través de la muestra. Como se ilustra de manera esquemática en la Fig. 1.1, este proceso

registra virtualmente cualquier característica que cambie la atenuación del haz de rayos X a lo largo de la dirección en la que penetran los fotones de tal radiación en la estructura, provocando así un cambio en la densidad u oscuridad de la película de dicha localización. Este cambio es el que se utiliza en la inspección para determinar anomalías internas [11].

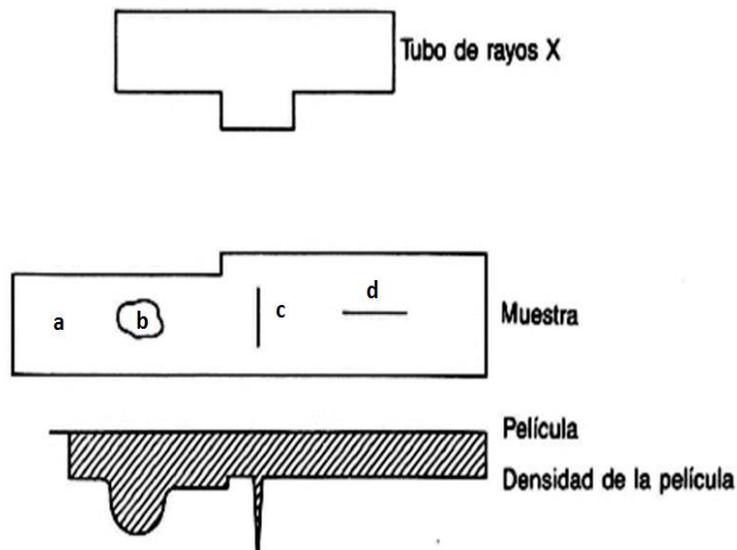


Fig. 1.1. Representación esquemática de la prueba por radiografía de una muestra que contiene varios tipos de defectos, donde: a es el espesor, b es un hueco, c es un círculo transversal, y d es un círculo longitudinal.

La inspección se facilita con la detección y cuantificación de defectos específicos mediante las relaciones geométricas de la Fig. 1.1. Por ejemplo, con frecuencia se puede determinar una gran cantidad de datos acerca de un defecto, como las características de tamaño, su localización en la pieza y su probable naturaleza. Debe de observarse que en la Fig. 1.1. Que sólo se registran los defectos que cambian la atenuación del haz de rayos X durante su paso a través de la pieza [3].

Existen varios procesos mediante los cuales es posible producir radiactividad, la forma más usual de producir es con un tubo electrónico en el que el haz de electrones de alta energía chocan (impacta) con un foco de emisión metálico, desacelerándose rápidamente y produciendo una banda ancha de

radiación X, conocida como Bremsstrahlung o radiación de frenamiento. Los electrones de mayor energía producen rayos X de menor longitud de onda o más energéticos. La relación entre la radiación X producida de más corta longitud de onda y el voltaje máximo aplicado al tubo, está dada por:

$$\lambda = \frac{12\,336}{\text{voltaje}} \quad (1.1)$$

donde: λ es la mínima longitud de onda de la radiación X producida en el tubo medida en angstroms (\AA).

En la Fig. 1.2 se presenta gráficamente la relación entre la intensidad de radiación y longitud de onda para varios voltajes de aceleración, en el caso de un tubo con blanco o foco de emisión de tungsteno.

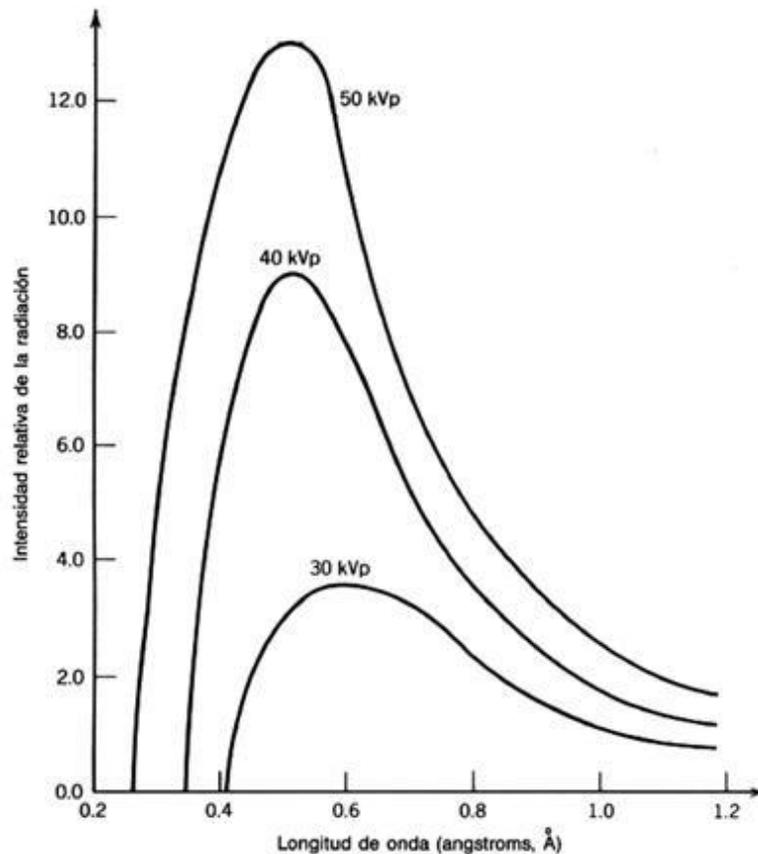


Fig. 1.2. Intensidad relativa de la radiación blanca proveniente de un foco de emisión de tungsteno en función de la longitud de onda y del voltaje máximo de aceleración.

Por lo general se utiliza radiación de alta energía para inspeccionar materiales densos, como por ejemplo, soldaduras en acero y grandes estructuras. En ambos casos, se atenúa muy significativamente el haz de rayos X. Para estos objetivos, por lo general, se utilizan un equipo capaz de producir varios millones de electronvoltios (es decir, mega electronvoltios) para acelerar el haz de electrones. Por otra parte, en la inspección de materiales delgados y poco atenuadores como los compuestos, se utilizan rayos X de muy baja energía, dentro del intervalo de 10 a 50 kV [2 y 3].

También, es posible obtener rayos X a partir de la desintegración de fuentes radiactivas. En este caso, la radiación se conoce como rayos gama (o

gamma). Estos tipos de fuentes de radiación poseen varias características distintivas, entre ellas se tienen [13]:

- 1) La radiación es monocromática o casi monocromática; es decir, el espectro de radiación contiene sólo una o dos energías dominantes características.
- 2) Las energías de la mayor parte de las fuentes de rayos gamma se encuentra en el orden del millón de voltios, lo cual hace que dichas fuentes sean ideales para inspeccionar estructuras altamente atenuadoras.
- 3) Su pequeño tamaño permite utilizarlas en casos en los que no sería posible usar un tubo de rayos X.
- 4) Como el decaimiento (desintegración) radiactivo en la fuente de rayos gamma es continuo, se necesita llevar a cabo ajustes en el tiempo de exposición para lograr resultado congruentes a lo largo del tiempo [11].
- 5) El operador constantemente debe tener conciencia de que la fuente radiactiva está en funcionamiento y constituye una causa de potencial peligro.

Con respecto a su funcionamiento, la radiografía gamma difiere poco de la práctica normal con tubos de rayos X, por lo que en lo que sigue del documento no se realizarán más distinciones entre estos dos tipos de métodos.

Debido a que la interpretación de una radiografía requiere conocimiento acerca de los fundamentos de absorción del haz de rayos X, se presenta en la Ecuación 1.2 la relación básica que rige este fenómeno:

$$I = I_0 \exp(-\mu x) \quad (1.2)$$

donde: I e I_0 son intensidades de los haces transmitido e incidente de los rayos, respectivamente; μ es el coeficiente de atenuación del material en cm^{-1} ; y x es el espesor de la muestra en cm, a través de la cual pasa el haz de rayos X.

Además, como el coeficiente de atenuación es función tanto de la composición de la muestra como de la longitud de onda de la radiación X, es necesario calcular o medir μ para cada caso de prueba o examen. Así, es posible calcular el coeficiente de atenuación de un material para un haz de rayos X, con

energía específica, mediante el siguiente procedimiento que implica el coeficiente de absorción másico μ_m , que se define en la Ecuación 1.3. Los coeficientes de absorción másicos de casi todos los materiales existen a disposición para una variedad de energías de rayos X:

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho} \quad (1.3)$$

donde: μ es el coeficiente de atenuación de un elemento específico en cm^{-1} , y ρ es la densidad en g/cm^3 .

Si se multiplica el coeficiente de absorción másico de cada elemento por la fracción de la masa de un material y se suman estas cantidades, se obtiene el coeficiente de absorción másico de cada material. Al multiplicar esta cantidad por la densidad se obtiene el coeficiente de atenuación del material. Este procedimiento no se utiliza con frecuencia, ya que los resultados son válidos para una banda angosta de longitudes de onda. En su lugar, se utilizan los factores de equivalencia radiográficos, procedimiento en que cada elemento componente de un material contribuye al coeficiente de atenuación en una cantidad determinada por su porcentaje atómico en la composición [3 y 10].

El método clásico para registrar una imagen de rayos X, es mediante la película radiográfica. Debido a la continua importancia de este método y al hecho de que gran parte de la tecnología asociada a su utilización se aplica a nuevos métodos de registro de estado sólido, la siguiente sección se dedica a la radiografía en película.

La relación entre la oscuridad (ennegrecimiento) producida en una película de rayos X y la cantidad de radiación que incide en dicha película se presenta en la Fig. 1.3, la cual es una gráfica log-log de la oscuridad y la densidad de la película, y la exposición relativa con respecto al tiempo de exposición, la intensidad del haz de rayos X o el espesor de la muestra. La pendiente de la curva a lo largo de su parte lineal se conoce como coeficiente gamma de película gamma. Así, entre más pequeño es su intervalo dinámico, o margen de

exposición mejor se registran con exactitud los cambios en el espesor de la pieza. En consecuencia, de ser necesario se pueden utilizar película de gamma alta para detectar defectos muy sutiles en varias regiones de una muestra que posee diferentes espesores, en la cual será necesario utilizar dos tipos distintos de película en el mismo cartucho o casete.

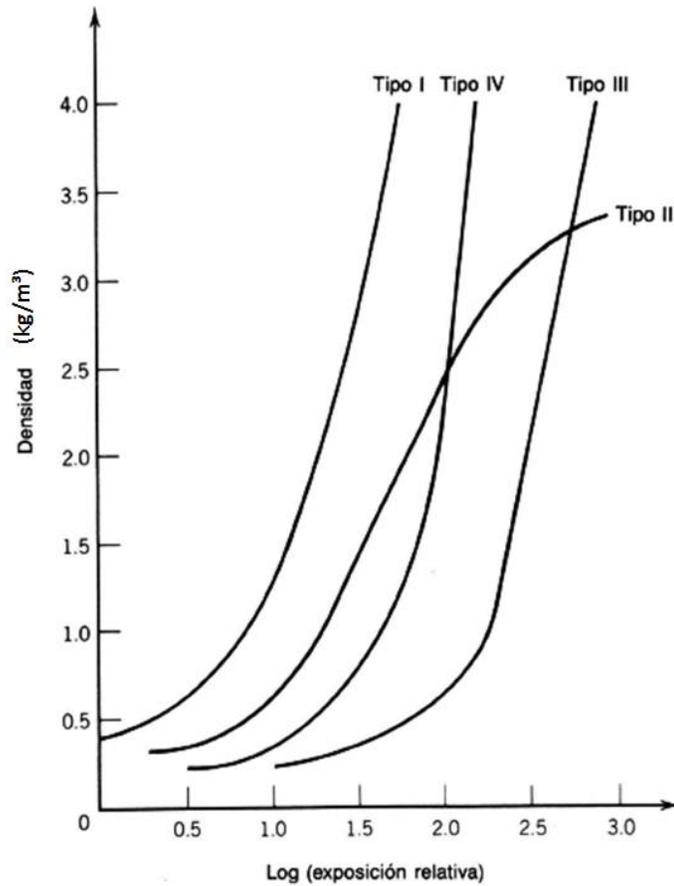


Fig. 1.3. Relación entre la oscuridad o densidad de una película para rayos X con la cantidad de radiación incidente en ella para cuatro tipos de películas.

1.3.1. TIPOS DE EQUIPOS DE RAYOS X

Los equipos de rayos X se construyen en tres tipos, estos son:

- ✓ Equipos fijos
- ✓ Equipos portátiles
- ✓ Equipos semiportátiles.

Los equipos fijos utilizan instalaciones pesadas y máquinas de gran volumen y requieren de construcciones especiales, por ello comúnmente se utilizan en sanatorios u hospitales [10].

Los equipos de tipo portátil y estático se utilizan en la industria debido a que estos deben de ser fáciles de trasladar al sitio de trabajo o soldadura a inspeccionar.

En la actualidad se cuenta con el equipo pesado que cae en la clasificación de los estáticos ya que se encuentra montado en la plataforma de un remolque de camión diesel o en las plataformas de ferrocarril, única forma de transportar los transformadores y el conjunto de la instalación de rayos X que usa un millón de voltios. Estos equipos de rayos X utilizan una barrera de protección de plomo colocada alrededor del ánodo para impedir el paso de los rayos X al exterior de la zona donde se dirige la radiación, además de una protección en forma de cono alrededor del haz de rayos X con plomo. Las protecciones siempre se colocan considerando la intensidad de los rayos X, el poder de penetración, la cantidad de electrones y la longitud de la onda, todo esto en relación con el tipo de inspección y los kV disponibles [3].

1.4. MEDIDAS DE SEGURIDAD

Dentro de la elaboración de la propuesta existe una parte muy importante que tiene que ser descrita como lo son las medidas de seguridad empleadas dentro del laboratorio o espacio en donde se realizaran las pruebas de inspección de soldaduras mediante radiografía industriales, en donde se especificarán las

protecciones y medidas de seguridad que se tienen que seguir en el momento de la manipulación del equipo de Radiografía, así como el tiempo de exposición y la distancia a la que se debe de estar manejando el procedimiento de inspección.

Se presentará los tipos de blindaje que se tienen que utilizar para cuando la persona este expuesta al equipo radiográfico, así como la dosificación a la que puede ser sometida una persona cuando se hace la toma radiográfica.

1.4.1. MEDIDAS PROTECTORAS CONTRA LA RADIACIÓN

Las medidas protectoras contra la radiación son primordialmente diseñadas para mantener la exposición de radiación dentro de los límites permitidos, o aun menores. Esto es necesario porque no existe ninguna manera de desechar o regresar los daños de radiación después de que estos ocurren [14].

Los cálculos de razón de dosis son importantes puesto que son usados para diseñar los requerimientos en la protección personal. Por cada Curie de actividad de un isótopo, existe una razón de dosis predeterminada. Así, la razón de dosis, de cada isótopo para una actividad es diferente. La razón de dosis estándar de la mayoría de los isótopos se expresa en Roentgen por hora por Curie y se da para una distancia exacta de un pie. En la Tabla 1.1 se presenta los isótopos más utilizado en radiografía [15].

Tabla 1.1. Isótopos más usados en radiografía.

| Radioisótopo | $\frac{R \cdot \text{pie}}{h \cdot \text{Curie}}$ |
|---------------------|---|
| Cobalto-60 (Co-60) | 14.5 |
| Iridio-192 (Ir-192) | 5.9 |
| Cesio-137 (Cs-137) | 4.2 |
| Tulio-170 (Tm-170) | 0.03 |

Existen tres maneras básicas de proporcionar protección contra la radiación, las cuales son:

- 1) Controlando la duración del tiempo que una persona está expuesta a una fuente de radiación;
- 2) Controlando la distancia entre el personal y la fuente de radiación; y
- 3) Blindaje (colocar materiales absorbentes entre el personal y la fuente de radiación) [14].

1.4.2. TIEMPO DE EXPOSICIÓN

La relación del tiempo de exposición de radiación simple. Mientras se esté más tiempo en un área de radiación, más será la exposición a la radiación que se recibe. La exposición aumenta en proporción directa al tiempo que se pase en la radiación ionizante. Supóngase que una persona recibe un 1 mR (miliRoentgen) en un minuto de fuente de radiación. Si esa misma persona permaneciera 5 minutos a la misma distancia de la fuente recibiría 5 mR. Para un ejemplo observemos la Fig. 1.4, que presenta diferentes tiempos a la exposición de mR [2 y 10].

Nota: Un Roentgen es la cantidad de radiación ionizante que transferiría 83 ergios de energía al atravesar un gramo de aire. Realmente la unidad Roentgen es una cantidad de radiación muy grande. Por lo tanto, es común usar una cantidad más pequeña llamada mili-Roentgen que se abrevia “mR” $1 \text{ mR} = 1/1000 \text{ Roentgen}$.

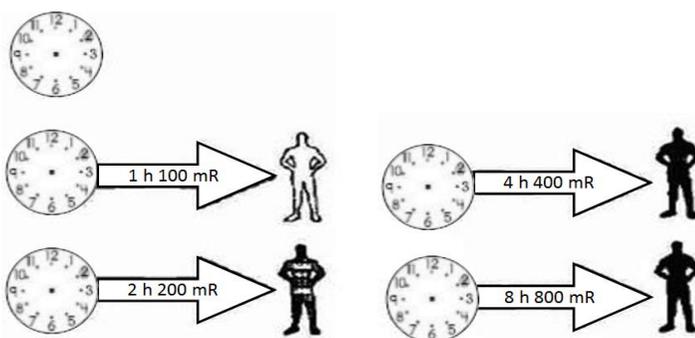


Fig. 1.4. Distancia de emisividad de Rayos X.

1.4.3. DISTANCIA A LA FUENTE DE RADIACIÓN

La distancia que existe entre la fuente de radiación y una persona, es otra forma muy importante y efectiva de protección personal, ya que la rapidez de radiación decrece drásticamente cuando la distancia aumenta.

Una ley matemática conocida como la “Ley de inversos al cuadrado” expone que la rapidez de la radiación varía inversamente al cuadrado de la distancia de la fuente. Esta ley es válida cuando la radiación viene de un “punto” fuente y se considera todas las máquinas de rayos X y fuentes de rayos gamma como fuentes “punto”.

Para definir más la relación de los inversos cuadrados, si se supone que una persona está parada a cierta distancia de una fuente y recibe una determinada cantidad de radiación. Si esta persona aumenta su distancia al doble de la fuente, ella recibirá sólo $\frac{1}{4}$ de la cantidad de radiación. Además, para ilustrar el efecto de la distancia de seguridad, en la Fig. 1.5 se presenta una fuente con intensidades a varias distancias de la misma. A un pie de distancia de la fuente, se registra una razón de dosis de 1000 mR/h (al doblar la distancia la radiación se reduce a $\frac{1}{4}$) al alejarse una distancia de 10 pies de la fuente, la razón de dosis solamente es de 10 mR/h. Las mismas consideraciones se aplican si se va acercando a la fuente en lugar de alejarse.

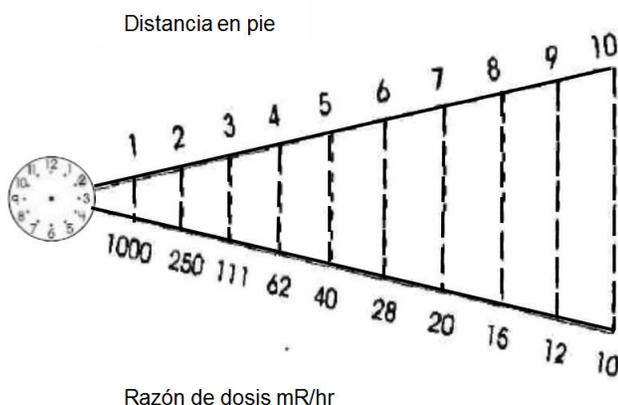


Fig. 1.5. Distancia que debe existir entre la fuente de radiación y una persona.

Existe una fórmula simple usada en radiografía para determinar la rapidez de radiación o razón de dosis a distancias variables de máquina de rayos X o fuentes de rayos gamma. La fórmula de la ley de los cuadrados inversos para determinar la razón de dosis, tal como se presenta a continuación:

$$I_1 D_1^2 = I_2 D_2^2 \quad (1.4)$$

donde: I_1 es la rapidez de exposición a la distancia D_1 y I_2 es la rapidez de exposición a la distancia D_2 .

La misma fórmula puede usarse para encontrar la rapidez de exposición o razón de dosis cuando la persona se acerca al isótopo [2, 3 y 11].

1.4.4. BLINDAJE

Los materiales de blindaje absorben la energía de radiación cuando los rayos X o gamma chocan con los electrones del material, debido a que los fotones son absorbidos por el material de blindaje, existe menos radiación al otro lado del material y por ende las personas que están en el lado protegido reciben menos radiación. Algunos materiales proporcionan mayor blindaje para un espesor dado que otros. Por ejemplo, se requiere de 15.75 cm de espesor de concreto para reducir la intensidad de radiación a un décimo de su valor original, cuando la fuente es Ir-192 mientras que sólo se requiere 1.6256 milésimas de cm de espesor de plomo para reducirla a la misma proporción, por lo que de esto se deduce que el plomo proporciona mayor blindaje contra la radiación que el concreto. El mayor número de electrones en un átomo de plomo en comparación con el concreto, incrementa la posibilidad de que los fotones sean detenidos cuando penetran en el plomo. En pocas palabras, el plomo es un material más denso. Así, mientras más denso sea el material, protege mejor contra la radiación. Así, por lo general se usan plomo, concreto y hierro como materiales

de blindaje, donde el plomo es el más absorbente, luego sigue el hierro y a éste el concreto.

En la aplicación industrial los materiales más comunes para blindaje son el plomo, concreto y combinaciones de estos. Para operaciones radiográficas en áreas cerradas, se construyen cuartos especiales para hacer exposiciones de rayos X y gamma. Estos cuartos se diseñan con la intención de mantener la radiación fuera de los cuartos a un nivel aceptable. Las paredes de los cuartos y si se requiere el piso y el techo, puede ser de concreto con protección adicional de láminas de plomo. Además, mediante el control remoto se permite la operación del equipo radiográfico desde fuera de los cuartos.

Cuando se llevan a cabo operaciones radiográficas fuera de los cuartos blindados, se usan pantallas portátiles para proporcionar blindaje. Por lo general es necesario limitar la radiación que pasa a través del blindaje a un nivel permisible. Es entonces, necesario tener una forma de calcular la cantidad de blindaje requerido para reducir la radiación a un nivel permitido. Este concepto expone que existe un cierto espesor de material que reducirá la radiación que pase a través de ese material a la mitad de la intensidad original.

La capa hemirreductora (CVM) es el espesor de un material que reducirá la radiación a la mitad de su intensidad original.

Para cada radioisótopo o cada rayo X de una energía dada, existe una capa hemirreductora característica de cualquier material. Estos valores estándar y como el espesor del material se reducirán la radiación que pasa a través del material a un décimo de su intensidad original.

En la Tabla 1.2 se presentan tres isótopos y dos de los materiales de blindaje más comunes, plomo y concreto.

Tabla 1.2. Espesores de blindajes más comunes.

| Material de blindaje | Fuente de radioisótopos | | | | | |
|----------------------------|-------------------------|------|------------|------|------------|------|
| | Cobalto-60 | | Iridio-192 | | Cesio-0137 | |
| | 1/10 | 1/2 | 1/10 | 1/2 | 1/10 | 1/2 |
| Plomo (espesor en pulg) | 1.62 | 0.49 | 0.64 | 0.19 | 0.84 | 0.25 |
| Concreto (espesor en pulg) | 8.6 | 2.6 | 6.2 | 1.9 | 7.1 | 2.1 |

A continuación se propone un ejemplo práctico. En donde la intensidad de radiación en cierto “punto” es de 81 R/h. Cuantas capas de CVM se requieren para reducir la intensidad a 3 R/h, suponga que las capas serán de plomo. ¿Cuál será el espesor de plomo requerido?. Solución: Sí se recuerda que cada CVM colocada en un haz de radiación, reduce a ésta en la mitad de su intensidad original. Entonces se puede aplicar la Ecuación 1.5:

$$I = \frac{I_o}{2^n} \quad (1.5)$$

donde: I es la intensidad de radiación deseada; I_o es la intensidad de la radiación en el “punto” y n es el número de capas de la CVM.

De lo anterior se tiene que: $I_o = 81$ R/h, e $I = 3$ R/h. Así, en este caso interesa conocer “ n ”, la cual al despejarla de la Ecuación 1.5 se obtiene que:

$$n = \frac{\log\left(\frac{I_o}{I}\right)}{\log 2} = \frac{\log\left(\frac{81}{3}\right)}{\log 2} = \frac{\log 26.83}{\log 2} = \frac{1.43}{0.3} = 4.77$$

Esto significa que se necesitan $4.77 \approx 4.8$ capas hemirreductoras de plomo. El espesor de plomo requerido = (número de capas valor medio) * (espesor dado en tablas). Espesor de plomo requerido = $4.8 * 0.49$ pulg = 2.35 pulg [3, 14 y 15].

1.4.5. DOSIS DE RADIACIÓN

El problema de los riesgos de la radiación para las personas que trabajan con radiografía es muy importante. Esto hace necesario establecer límites de dosis para aquellas personas relacionadas con la radiación y asegurarse que estos límites sean observados.

Como se describió anteriormente cuando se trabaja con radiografía se está expuesto a cierta cantidad de radiación. La idea es mantener la exposición al mínimo requerido y seguir desempeñando el trabajo satisfactoriamente. La dosis biológica es algo acumulativa. Cada dosis se suma a aquellas recibidas en el pasado para así formar una especie de registro permanente.

Los efectos de la radiación no sólo varían con la cantidad del cuerpo expuesto, si no también varían con la parte del cuerpo expuesto. Además, una dosis de una cantidad determinada tendrá menos efecto si es recibida por un largo período de tiempo; es decir, la misma dosis puede causar daño permanente si es recibida en un período corto. Esto es debido a que los tejidos del cuerpo son capaces de reparar los daños por radiación si se da el tiempo suficiente adecuado para hacerlo. La reparación de los tejidos es ejecutada por las células de tejido no dañados creando nuevas células para reponer las células muertas o dañadas. Cuando una exposición dada es por un período largo de tiempo, una considerable reparación de daños es llevada a cabo durante el período de exposición. Por otro lado, si la exposición es intermitente, ocurrirían reparaciones entre las exposiciones. No obstante, cuando la misma exposición es recibida en un período de tiempo muy corto, los daños son palpables, y la reparación de tejidos se vuelve más difícil.

Otra variable que interviene en la cantidad de daño causado por la radiación, es la edad de la persona expuesta. Se ha demostrado científicamente que las células del cuerpo, aquellas que están más activas para dividirse y reproducirse por sí mismas y las que son las menos maduras, son las más vulnerables a la radiación.

Una variable final en los efectos que la radiación puede causar en el cuerpo es la diferencia biológica entre individuos. Una sobredosis de radiación de una cantidad determinada puede matar a una persona y no a otra, eso quiere decir que la “diferencia biológica” entre individuos juega un papel muy importante.

Las cinco variables que más influyen en el efecto que tienen las dosis de radiación en los individuos son [14 y 16]:

- 1) La cantidad del cuerpo expuesto,

- 2) La parte del cuerpo expuesta,
- 3) La duración del tiempo sobre el cual una dosis de radiación es recibida,
- 4) La edad del individuo expuesto, y
- 5) La diferencia biológica entre individuos.

1.4.6. EFECTOS DE LA RADIACIÓN

La información sobre los efectos de la radiación en humanos es aun escasa e inconclusa en muchas áreas, sin embargo, algunos hechos están bien establecidos y esos son los que interesan. Los efectos biológicos causados por una sobredosis de radiación pueden dividirse en dos grupos que son: efectos somáticos y efectos genéticos.

Los efectos somáticos son efectos físicos en el cuerpo del individuo que recibe la radiación. Una reducción en el número de glóbulos blancos en la sangre, como resultado directo de exposición a radiación ionizante es un ejemplo de efecto somático. Los efectos genéticos son aquellos que pueden ser pasados a descendientes futuros tales como características hereditarias.

Los efectos más severos por radiación son causados por una dosis grande en un período corto de tiempo. Por ejemplo: una persona podría acumular 200 rems en un tiempo de 40 años trabajando en radiografía. Esto no excedería los límites permisibles de dosis. Sin embargo, si esa misma persona recibe una dosis de 200 rems en un período de 24 horas, podría ser muy grave.

Los efectos de una sobredosis de radiación no son necesariamente detectados inmediatamente después de la exposición. La mayoría de ellos aparece en cuerpo después de algún tiempo. El período entre la exposición y la aparición de síntomas se llama “período latente”.

Los efectos que se han presentado dan una idea general de que tan seria puede ser una sobredosis de radiación. Así, manteniendo la dosificación dentro de los límites prescritos y siguiendo buenas prácticas de seguridad se podrá llevar a cabo todos los trabajos de radiografía sin problemas [13].

1.5. LA PELÍCULA RADIOGRÁFICA

Las películas radiográficas es la parte fundamental para realizar la inspección y los detalles de la supervisión sobre la soldadura, en esta parte se presentan los diferentes tipos de películas que existen para realizar las prácticas radiográfica, así como también su almacenamiento y la manipulación que tiene que recibir antes de realizar las pruebas de inspección en el laboratorio de radiografía industrial.

A continuación se aborda el procedimiento de revelado para obtener una mejor calidad de imagen de la película, los métodos que existen para poder certificar la prueba como es el uso del penetrómetro y su secuencia de inspección para realizar las prácticas o pruebas [9].

1.5.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS PELÍCULAS RADIOGRÁFICAS

Las películas utilizadas para reproducir las imágenes radiográficas presentan características complicadas en cuanto a que sus procesos de fabricación, ya que exigen condiciones y calidades especiales, tal y como se presenta en la Fig. 1.6.

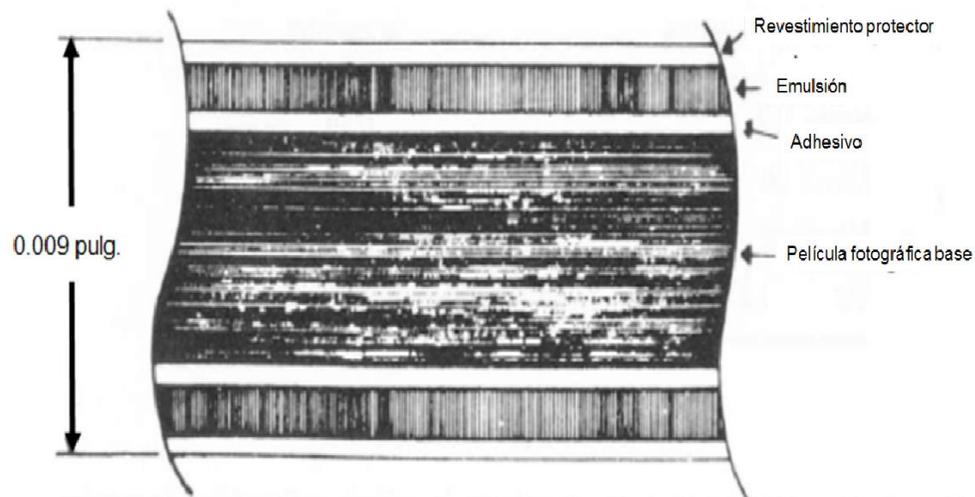


Fig. 1.6. Percepción de la calidad de imagen de la película radiografía.

La película para radiografías se fabrica sobre una base plástica, la cual se reviste por ambas caras con una emulsión que se integra con granos de sales de plata embebidas en gelatina. Estas sales son altamente sensitivas a las radiaciones electromagnéticas, a los rayos X, los rayos Gamma y las ondas de luz visible. El film o película se entinta en color azul y con una capa de pegamento se adhiere la emulsión a la película por ambas caras. Esto se hace con el propósito de aumentar la velocidad del film base, ya que la penetración afecta a la emulsión, en las dos caras de la película. Esto se hace cuando se desea ver la misma a simple vista.

Si se requieren hacer ampliaciones a la radiografía, se puede presentar una doble imagen en ella, por lo que deben usarse películas a las que se aplican 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 que no es visible a simple vista. Es por ello que para que se revele la imagen en la emulsión, la película debe ser procesada.

Las películas para radiografías industriales se fabrican en dos tipos:

- ✓ De exposición directa, y
- ✓ De tipo de pantalla fluorescente.

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. La calidad de la película depende, principalmente, de la densidad del gradiente de potencial, del graneado y opacidad que la caractericen, esto lo determinará el radiólogo, en función de la velocidad deseada, el tipo de exposición, de la fuerza de la fuente de radiación, la forma de la pieza, absorción de la energía radiada y de las características de la pantalla o pantallas empleadas [9].

1.5.2. TIPOS DE PELÍCULAS

La clasificación de películas radiográficas es complicada, sin embargo la Sociedad Americana de Ensayos de Materiales (ASTM), ha efectuado una simplificación y las ha clasificado de acuerdo con la norma ASTM E94, en cuatro tipos que son:

- 1) Las características de las películas lentas son: *alto contraste y grano muy fino*. Estas características son adecuadas cuando se requiere trabajos de alta calidad o de investigación con el propósito de obtener gran sensibilidad de detalle como por ejemplo en metales y materiales ligeros (aluminio, madera, plásticos, etc.) o en trabajos de investigación (obras pictóricas, pergaminos, textiles, etc.) los tiempos de exposición largos no importan en este tipo de trabajo. Si se cuenta con fuentes de alta intensidad, esta película puede también ser usada en trabajos de exposición rutinarias.
- 2) Velocidad media. Las grandes industrias de producción radiográfica han seleccionado siempre esta película, por llenar requisitos ordinarios en trabajos comerciales donde la facturación depende de la producción. Sus características son: alto contraste y grano fino pudiendo usarse con o sin pantallas de plomo. Es de 4 a 6 veces más rápida que la película lenta, dependiendo de la calidad de radiación a la que se expone. También responde con éxito a bajas y altas energías.

- 3) Película rápida. La velocidad extraordinaria de esta película es una de sus principales características, de 5 a 10 veces más rápida que la anterior, dependiendo de la calidad de radiación. Su contraste muy fino y su grano grande, baja considerablemente la sensibilidad de detalle. Responde muy bien a altas energías. Se usa especialmente en grandes espesores ya sean de acero o materiales densos como el bronce y el plomo.
- 4) Película extra rápida. Esta emulsión con alta sensibilidad a la luz, se fabrica para usarse especialmente con pantallas de calcio (éstas emiten luz azul al absorber rayos X o rayos gamma) es la más indicada cuando el kilovoltaje que se dispone es limitado. También puede usarse con éxito en espesores considerables de acero y bronce.

Por lo tanto se puede decir que:

- Las películas radiográficas mientras más lentas son, su grano es más pequeño y da mayor sensibilidad de detalle y más alto contraste.
- Las películas rápidas, mientras más rápida son, más grande es su grano y menor su sensibilidad de detalle, además su contraste se reduce [9].

1.5.3. PROCESO DE REVELADO

El proceso químico a que se somete una película que ha sido expuesta a los rayos X o rayos gamma, tiene por objeto hacer patente la imagen latente que existe en la emulsión fotográfica. El proceso se divide en cuatro pasos que son:

- 1) Revelado. Cuando la emulsión fotográfica ha absorbido rayos X o rayos gamma los halogenuros de plata que se encuentran en suspensión, sufren un cambio físico en su estructura, el cual no se puede determinar a simple vista, sino mediante un agente revelador químico. El agente revelador, es una fórmula balanceada, la cual consiste en primer lugar de dos substancias: la hidroquinona y el paramidofenol, los cuales convierten en metal la plata, que en mayor o menor dosis de radiación, absorbieron los halogenuros. Para que el agente revelador pueda cumplir con su acción específica, requiere el tiempo

necesario para actuar y la facilidad para hacerlo. Si se usa solamente el agente revelador para hacer evidente la imagen, la oxidación inmediata que se presenta lo impediría; por lo tanto, antes de disolver el agente revelador se debe disolver una substancia conservadora que para este caso es el sulfito de sodio, que actúa como catalizador del oxígeno. Posteriormente es necesario añadir carbonato de sodio, que actúa como ablandador de la emulsión, permitiendo que el agente revelador penetre hasta el fondo de la misma y revela la totalidad de la imagen en un tiempo determinado y a temperatura controlada. La cuarta y última substancia de que se compone la fórmula es el bromuro de potasio, que actúa como agente retenedor; es decir, que retiene el tiempo necesario la acción del revelador.

- 2) Fijador. La fórmula comúnmente usada para fijar películas durante el proceso de laboratorio contiene: hiposulfito de sodio, alumbre de potasio y ácido acético. El hiposulfito de sodio actúa sobre la emulsión fotográfica removiendo todos aquellos halogenuros que no fueron afectados por la radiación y fijando la plata reveladora que dará la imagen. El alumbre de potasio, actúa como endurecedor de la emulsión, la cual había sido ablandada. El ácido acético, actuará como neutralizador del agente revelador y terminará definitivamente su acción.
- 3) Lavado. Cuando la película sale de los pasos de revelado y fijado, entra al tanque de lavado, lo ideal es que se use agua corriente, y en ese caso el lavado durará el doble del tiempo fijado. Si una película que sale del fijador no se lava el tiempo requerido, unas semanas después se tornará amarilla. Cuando termina el lavado, la película se sumerge por 30 segundos en una solución de fotofolio, para evitar manchas de gotas de agua que puedan desorientar el momento de la interpretación. Si no se dispone de esta solución en el momento la película se escurre con dos esponjas que darán el mismo resultado.
- 4) Secado. El secado de la película puede hacerse en una cámara cerrada con corriente de aire seco y caliente o en su defecto, al aire ambiente dentro de una habitación, con el objeto de que no se le pegue el polvo [10].

1.6. PENETRÓMETRO

Para reducir la probabilidad de mala interpretación de las radiografías por falta de claridad y contraste, se usa un calibrador conocido como penetrómetro, al lado de la soldadura que se va a inspeccionar y alejado de la película. En la Fig. 1.7a se presentan las dimensiones de un penetrómetro estándar de tipo ASTM. El penetrómetro especificado por el código de calderas y recipientes sujetos a presión de la ASME, está formado por una cinta delgada de metal con las mismas características de absorción que el metal de la soldadura. Cuando se va a radiografiar una soldadura, se selecciona un penetrómetro de espesor igual o menor que 2% del espesor de la soldadura, y se coloca a lo largo de la soldadura que se va a radiografiar (Fig. 1.7b). El número que está en el extremo del penetrómetro indica el espesor de la soldadura para la que ha de usarse el penetrómetro. Para fines de referencia, se barrenan en la cara del calibrador tres agujeros cuyos diámetros son múltiplos del espesor del penetrómetro. La apariencia de la imagen del penetrómetro en la película radiográfica indica al observador si se han logrado el mínimo 2% de sensibilidad y la calidad y contraste adecuados en las manos de un inspector experto, el penetrómetro de además de otros elementos de información, la presencia de la Fig. 1.8. De penetrómetro es también una prueba que puede presentarse en cualquier tiempo posterior, para comprobar que se efectuó correctamente la soldadura.

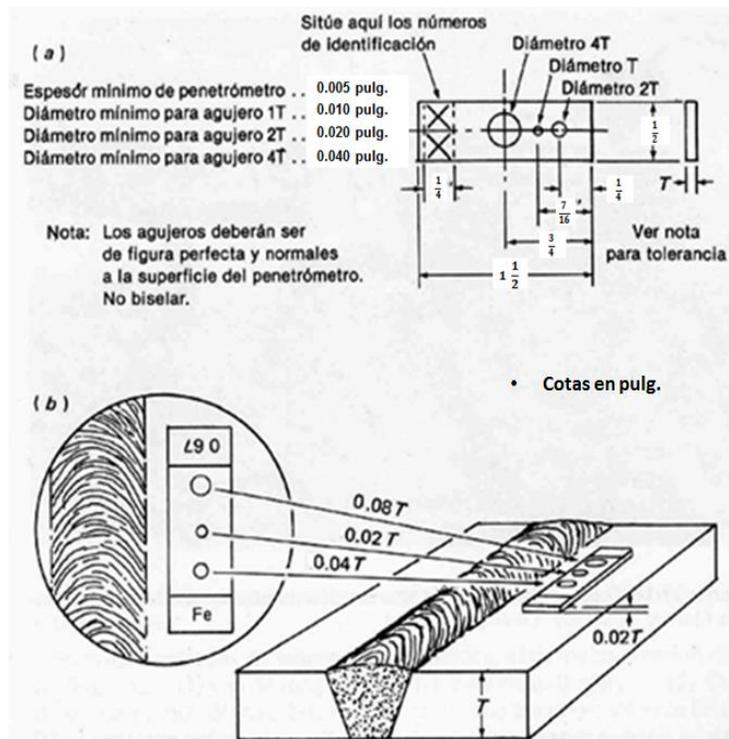


Fig. 1.7. Penetrómetro, al lado de la soldadura y alejado de la película: (a) Diseño de penetrómetro para espesores de 0.005 a 0.050 pulg, y (b) colocación del penetrómetro.

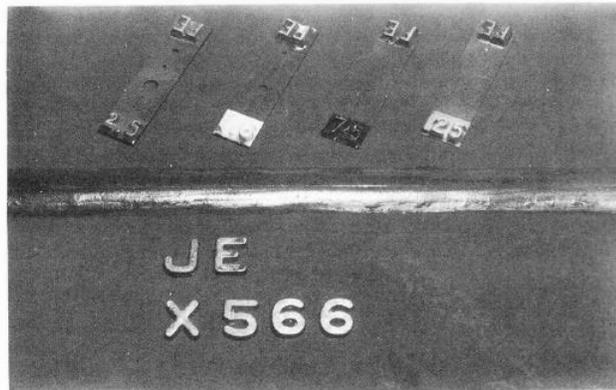


Fig. 1.8. Penetrómetros típicos.

La inspección radiográfica debe hacerse usando solamente procedimientos de inspección calificados. Los métodos de inspección radiográfica están cubiertos por la ASTM designación E94.

Mediante el uso de los conceptos que se han presentado hasta el momento, se puede calcular el tamaño del defecto más pequeño que es posible detectar, en términos de un cambio de espesor, según una inspección radiográfica particular. Existe a disposición un método para probar el procedimiento de la película radiográfica con el fin de verificar si es capaz de proporcionar información acerca del defecto con la capacidad calculada. Este procedimiento no asegura que la radiográfica haya sido tomada con la muestra en la posición apropiada, de manera que el defecto de interés sea visible; solamente proporciona un medio para verificar los procedimientos radiográficos en cuanto a su ejecución apropiada.

Utilizando el conocimiento de la diferencia mínima que es posible detectar por el sistema radiográfico de tipo medio, se puede obtener la siguiente relación que vincula la máxima sensibilidad, S , con los cambios de espesor y con parámetros de la película y de la muestra:

$$S = \frac{2.3}{\gamma \mu e} \quad (1.6)$$

donde: S es la sensibilidad radiográfica porcentual, γ es el coeficiente gamma de la película para las condiciones de exposición utilizadas, μ es el coeficiente de atenuación del material de muestra y e es el espesor máximo de la pieza que habrá de inspeccionarse con tal película.

Antes de cualquier análisis que tenga que ver con la relación entre la sensibilidad radiográfica y el mínimo espesor detectable, esto es con el tamaño de defecto correctamente orientado, es necesario examinar el dispositivo de medición de la sensibilidad, el anteriormente denominado penetrómetro.

En la Fig. 1.9 se presenta de manera esquemática un ejemplo de penetrómetro, se eligió en particular debido a que es posible relacionarlo con facilidad al siguiente análisis acerca de la sensibilidad radiográfica. Tal dispositivo es sencillamente una cinta delgada de metal en la que se efectuado tres agujeros

de diferentes tamaños, sobre la cual se han colocado una señal de identificación de modo que el penetrómetro sea fácilmente identificable en la radiografía.

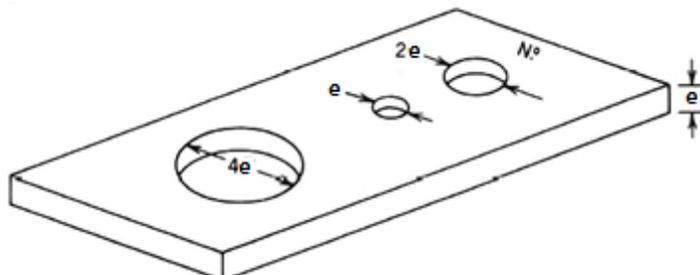


Fig. 1.9. Representación esquemática de un penetrómetro; en donde e es el espesor del dispositivo.

El penetrómetro, se construye del mismo material que la muestra en inspección, y su espesor es igual a 1.2 o 4% de su espesor máximo. Los diámetros de los agujeros del penetrómetro son igual a 1, 2, y 4 veces el espesor de este dispositivo. Es fácil determinar la sensibilidad lograda por cada radiografía mediante la observación del menor agujero que apenas es visible en el penetrómetro más delgado de la película. Haciendo referencia a la Tabla 1.3 es posible determinar la sensibilidad radiográfica obtenida para esa radiografía en particular.

Tabla 1.3. Sensibilidad radiográfica expresada como función del penetrómetro más delgado perceptible, en porcentaje del espesor de la pieza, y el mínimo diámetro perceptible del penetrómetro. La práctica industrial produce un 2% de sensibilidad.

| Sensibilidad radiográfica, % | Mínimo espesor perceptible del penetrómetro (% del espesor de la pieza) | Mínimo diámetro perceptible de agujero |
|------------------------------|---|--|
| 0.7 | 1 | $1T$ |
| 1.0 | 1 | $2T$ |
| 1.4 | 2 | $1T$ |
| 2.0 | 2 | $2T$ |
| 2.8 | 2 | $4T$ |
| 4.0 | 4 | $2T$ |

En consecuencia, utilizando la Ecuación 1.6 de la sensibilidad y observando sí en la práctica se logró el nivel, es posible controlar cuantitativamente el proceso radiográfico desde el punto de vista de procesamiento. Aunque este procedimiento no ofrece ninguna garantía en cuanto a detección de defectos, es muy útil para controlar los mecanismos de inspección.

En la práctica se evita el procedimiento anterior con la ayuda de tablas y figuras que permiten que el inspector determine rápidamente las disposiciones óptimas de exposición para casi cualquier muestra que requiera inspección radiográfica. Dichas ayuda casi siempre están a disposición por conducto del proveedor de material de la película (sensible). Un ejemplo pueden ser los factores de equivalencias que se presentan en la Tabla 1.4.

Si se supone que en una tarea común de inspección radiográfica de piezas fundidas de acero delgado, típicamente de $\frac{1}{4}$ a 1 pulg de espesor, y que se ha pedido la inspección de grietas en una pieza forjada de titanio, en una sección cuyo espesor es igual a $\frac{1}{2}$ pulg. Con referencia a la Tabla 1.4, debe observarse que el factor de equivalencia para el titanio es de 0.54 para los 220 kV de que se dispone en el laboratorio. Para lograr una radiografía equivalente de esta nueva muestra, es necesario multiplicar el espesor por $\frac{1}{2}$ pulg por su factor de equivalencia 0.54, a fin de obtener como resultado 0.27 pulg. En consecuencia, si la radiografía se toma con los ajustes que normalmente se utilizan para una pieza de acero de 0.27 o $\sim\frac{1}{4}$ de pulg de espesor debe producir una radiografía equivalente a las que se suelen obtenerse con muestras de acero. Estas ayudas sencillas normalmente serán necesarias para la producción de una radiografía aceptable.

También, es posible cambiar rápida y fácilmente otras variables del proceso radiográfico con ayuda de tablas y figuras, que por lo general son proporcionados sin cargo extra por el fabricante de películas.

Aunque la radiografía con película representa la mayor parte de las evaluaciones no destructivas que se efectúan en la actualidad, existen nuevos métodos para registrar y analizar los datos que se generan con rapidez. Por ejemplo, en la radiografía sin película (RSP o FR, de filmless radiography) se

utilizan detectores de estado sólido o detección por televisión y métodos para procesamiento de imágenes, en vez de película para el registro. Estos métodos poseen varias ventajas, así como también algunos inconvenientes. Por ejemplo, la RSP permite observar una imagen radiográfica cuando la muestra se mueve.

Tabla 1.4. Factores de equivalencia radiográfica aproximados.

| Metal | Nivel de energía | | | | | | | | | |
|----------------------|------------------|---------|---------|---------|---------|-------|-------|----------|--------|-------|
| | 100, kV | 150, kV | 220, kV | 250, kV | 400, kV | 1, MV | 2, MV | 4-25, MV | Ir-192 | Co-60 |
| Magnesio | 0.05 | 0.05 | 0.08 | | | | | | | |
| Aluminio | 0.08 | 0.12 | 0.18 | | | | | | 0.35 | 0.35 |
| Aleación de aluminio | 0.10 | 0.14 | 0.18 | | | | | | 0.35 | 0.35 |
| Titanio | | 0.54 | 0.54 | | 0.71 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 | 0.9 |
| Hierro/aceros | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| Cobre | 1.5 | 1.6 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.1 | 1.1 | 1.2 | 1.1 | 1.1 |
| Cinc | | 1.4 | 1.3 | | 1.3 | | | 1.2 | 1.1 | 1.0 |
| Latón | | 1.4 | 1.3 | | 1.3 | 1.2 | 1.1 | 1.0 | 1.1 | 1.0 |
| Monel | 1.7 | | 1.2 | | | | | | | |
| Zirconio | 2.4 | 2.3 | 2.0 | 1.7 | 1.5 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.2 | 1.0 |
| Plomo | 14.0 | 14.0 | 12.0 | | | 5.0 | 2.5 | 2.7 | 4.0 | 2.3 |
| Hafnio | | | 14.0 | 12.0 | 9.0 | 3.0 | | | | |

Este hecho permite con frecuencia la detección de defectos que normalmente no serían captados en la radiografía ordinaria con película. Debido al número limitado de vistas y exposiciones que se suelen tomar; se debe de recordare que el haz de rayos X debe pasar a lo largo de un defecto parecido a una grieta, para que este sea detectable. Además, el movimiento de algunas imperfecciones mejora su detectabilidad, ya que se presentan al inspector una imagen diferente en función del tiempo en que se acostumbra a ver. El precio que debe pagarse por estas ventajas es la menor resolución del RSP, en comparación con la película. Las capacidades usuales de resolución de un sistema RSP, se encuentran en el intervalo de 4 a 12 pares de líneas por mm, mientras que las capacidades de resolución de la película se encuentran en el intervalo de 10 a 100 pares de líneas por mm. Esto significa que no es posible detectar algunos tipos de defectos muy pequeños mediante un sistema RSP, por lo cual es necesario recurrir a la película. Otro hecho que debe considerarse al comparar

ambos métodos es la posibilidad de procesamiento digital de imágenes, que puede realizarse con facilidad en los sistemas RSP. Tales métodos pueden proporcionar grandes ventajas para destacar defectos que de otra forma serían invisibles para el inspector. También, es posible destacar las imágenes de la película mediante la utilización de los mismos métodos de procesamiento de imágenes, aunque no es posible llevarlos a cabo en tiempo real o casi real, como se puede hacer con un sistema completamente electrónico [10].

1.7. REQUISITOS Y SECUENCIA DE LA INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA

El procedimiento que normalmente se sigue para obtener una radiografía se describe en esta sección. Inicialmente, se deben conocer algunas características del material que se va a examinar, como son el tipo de metal, la configuración y el espesor del material a ser radiografiado. Todo esto con el fin de seleccionar el radioisótopo o los kV más adecuado. Así, una vez establecida la fuente de radiación, se debe calcular la distancias entre el objeto y la película, para así poder obtener la nitidez deseada. Igualmente, se selecciona la película con ciertas características que permitan una exposición en un tiempo razonable y una calidad de imagen óptima. Ésta se coloca dentro de un porta película que sirve como protección para evitar que la luz dañe la emulsión fotográfica y, además, contiene pantallas intensificadores que sirven para reducir el tiempo de exposición, mejorando con esto la calidad de la imagen. Este proceso se efectúa en el laboratorio.

Una vez realizado el paso anterior, se procede a poner en práctica las medidas de seguridad radiológica en la zona en la que va a efectuar la radiografía, con el fin de evitar una sobredosis al personal que pueda estar laborando cerca de la zona de inspección. La aplicación del proceso radiográfico implica aplicar todas las medidas de seguridad obligatorias que eviten dosis de radiación innecesarias al operario; ya que si bien es indudable el valor que como método de inspección representa, también es innegable el riesgo al que está

expuesto todo ser humano debido a la utilización de radiaciones ionizantes, motivo por el cual ningún tipo de protección de seguridad serán excesivos. Mantenerse a una distancia prudente de la fuente, es el mejor camino para evitar la exposición. La segunda medida es usar protección (plomo, acero o concreto) entre el individuo y la fuente. El tiempo también es un factor importante, ya que cuanto menos tiempo se encuentre expuesto a la radiación, menor será la dosis que se reciba.

A continuación, se presenta un arreglo para colocar la fuente a distancia calculada con respecto al objeto y se coloca la película radiográfica del otro lado de este para registrar la radiación que logre atravesar el material sujeto a inspección. Esta radiación provoca la impresión en la película radiográfica, que corresponde al negativo de una fotografía. Entre mayor sea la cantidad de radiación que incida sobre la película, más se ennegrecerá ésta [19].

La exposición se realiza, bien sea sacando la capsula que contiene al radioisótopo o encendiendo al aparato de rayos X; esto se lleva a cabo durante el tiempo previamente calculado para realizar la exposición. Una vez terminada la exposición, se introduce la capsula o se apaga el equipo de rayos X y la película se lleva a revelar, tal como se describió previamente. Como ya se citó, el proceso de revelado, también conocido como cuarto oscuro. El revelado es la parte más crítica de la radiografía industrial y consiste en convertir la imagen virtual, producida por el paso de la radiación a través de la película, en una imagen real por medio de una serie de reacciones químicas. El revelado se efectúa en varios pasos, estos son [14]: a) Revelado, b) Baño de ácido o de parada, c) Baño de fijado, y d) Lavado final.

Al terminar el revelado, se seca la película y se procede a la interpretación de la imagen obtenida; siendo primero evaluada para comprobar si reúne los requisitos de calidad indicados en el procedimiento de inspección.

Las radiografías para ser confiables necesitan cumplir con ciertos requisitos (fijados por las normas correspondientes), tales como densidad radiográfica y calidad de imagen.

La densidad radiográfica de una película en su grado de “ennegrecimiento”; es decir, la cantidad de luz que puede pasar de un lado a otro de ésta. Para que una película pueda interpretarse confiablemente, debe de tener una densidad entre 2 y 4, dependiendo del tipo de fuente empleada. Si se comprueba que la imagen es satisfactoria, entonces se interpreta para conocer qué tipo de indicaciones están presentes [13].

1.8. APLICACIONES DE LA RADIOGRAFÍA

La radiografía es usada para detectar las características de un componente o ensamblaje que tenga diferencia en el espesor o en la densidad física comparado con el material circundante. Las grandes diferencias son más fáciles de detectar que las pequeñas. En general, la radiografía puede detectar sólo aquellas características que tienen un espesor apreciable en la dirección paralela a la radiación, esto significa que la capacidad del proceso para detectar discontinuidades en un plano, como las grietas, depende de la orientación propia de la pieza de prueba durante la inspección. Las discontinuidades como burbujas e inclusiones, las cuales tienen un espesor medible en todas direcciones, pueden ser detectadas, mientras que aquellas que sean más pequeñas que su tolerancia no podrán ser detectadas.

Aunque no está limitada la detección de fallas internas, la radiografía es un método en el cual se puede determinar satisfactoriamente las fallas que son completamente internas y estén bien localizadas bajo la superficie de la pieza examinada. Por lo tanto, se puede decir que en la radiografía se tienen tres ventajas principales, las cuales son.

- 1) La capacidad para detectar fallas internas,
- 2) La capacidad para detectar variaciones significativas en la composición del material, y
- 3) Grabado permanente de los datos de la inspección original.

La inspección radiográfica se usada extensamente en pruebas particularmente cuando existe una necesidad de asegurar la existencia de fallas internas. Por ejemplo se pueden usar en la inspección de piezas fundidas de paredes anchas (2 pulg.), en las soldaduras de equipos generadores de vapor, así como en otros sistemas de alta presión, la radiografía también se puede usar en piezas forjadas y ensambles mecánicos, en ocasiones la radiografía de ensambles mecánicos está limitado a la condición de la colocación de los componentes o al nivel del líquido relleno en los sistemas sellado; sin embargo, en algunas piezas especiales es más conveniente inspeccionarlas por radiografía. Como por ejemplo la radiografía es muy usada en la inspección de dispositivos semiconductores con la finalidad de localizar poros o inclusiones, la radiografía es también usada para buscar grietas, cables rotos en los integrados, materiales para uso exterior y elementos mal colocados o mal alineados dentro de equipos donde existe poca visibilidad. La alta resolución de la imagen en tiempo real, ha hecho posible usar la radiografía como una herramienta de análisis para semiconductores y otros componentes electrónicos. Las imágenes en tiempo real permiten el análisis de una variedad de ángulos.

La sensibilidad de la radiografía de rayos X y rayos gamma para varios tipos de defectos depende de muchos factores, incluyendo el tipo de material, el tipo de falla y la forma del producto; el tipo del material es expresado en término de su número atómico por ejemplo los metales que tienen bajo número atómico están clasificados como metales ligeros y aquellos con alto número atómico, se les denomina metales pesados. En la Tabla 1.5. Se indica el grado general de conveniencia de los tres principales métodos radiográficos para la detección de discontinuidades en metales ligeros y pesados.

La radiografía puede ser usada para inspeccionar la mayoría de los materiales sólidos, con la posible excepción de los materiales que tienen muy alta o muy baja densidad. Las aleaciones ferrosas, pueden ser radiografiadas al igual que los materiales y compuestos no-metálicos. Existe una amplia gama en el espesor del material que puede ser inspeccionado y en las técnicas que pueden ser usadas.

En algunos casos, la radiografía no se puede aplicar aunque parezca conveniente hacerlo, esto debido a que la pieza sólo es accesible desde un lado. La radiografía típicamente involucra la transmisión de radiación a través de la pieza de prueba, en todo caso, el lado de la pieza debe de ser accesible [11 y 13].

Tabla 1.5. Información en donde se puede realizar una inspección radiográfica.

| Inspección | Conveniencia para metales ligeros | | | Conveniencia para los metales pesados | | |
|-------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------------------|----------------------------|--------------------------|
| | Película con rayos X | Radiografía de tiempo real | Película con rayos gamma | Película a con rayos X | Radiografía de tiempo real | Película con rayos gamma |
| General | | | | | | |
| Grietas superficiales | F _(a) | R | F _(a) | F _(a) | R | F _(a) |
| Grietas internas | F _(a) | R | F _(a) | F _(a) | R | F _(a) |
| Burbujas o inclusiones | B | B | B | B | B | B |
| Espesor | R | B | R | R | B | R |
| Variaciones metalúrgicas | R | R | R | R | R | R |
| Placas planas | | | | | | |
| Espesor | G _(b) | B | G _(b) | G _(b) | B | G _(b) |
| Laminaciones | I | I | I | I | I | I |
| Burbujas o inclusiones | B | B | B | B | B | B |
| Hierro vaciado | | | | | | |
| Grietas superficiales | F _(a) | R | F _(a) | F _(a) | R | F _(a) |
| Contracción interna | B | B | B | B | B | B |
| Burbujas, inclusiones o poros | B | B | B | B | B | B |
| Corrimiento del núcleo | B | B | B | B | B | B |
| Soldaduras | | | | | | |
| Contracciones Agrietadas | G _(a) | B | G _(a) | G _(a) | B | G _(a) |
| Inclusiones de escoria | B | B | B | B | B | B |
| Fusión incompleta | B | B | B | B | B | B |
| Poros | B | B | B | B | B | B |
| Penetración Incompleta | B | B | B | B | B | B |

B es buena, R es regular, P es pobre, I es insatisfactoria.

(a) Incluye sólo fallas visibles. (b) El haz de radiación debe de estar paralelamente a las grietas, a las depresiones, o a la falla.

1.9. LIMITACIONES DE LA INSPECCIÓN RADIOGRÁFICA

Comparado con otros métodos de inspección no-destructivos, la radiografía es un método caro, ya que por lo regular se requiere de un gran capital, de un local grande para el laboratorio radiográfico, poniendo de lado el

hecho de que los costos de operación pueden ser altos, ya que, en algunos casos el 60 % del tiempo total de la inspección se usa en el montaje de la radiografía. Sin embargo, los costos pueden ser relativamente bajos cuando se utilizan unidades portátiles, debido a que el espacio que se requiere es sólo para el procesamiento de la película y la interpretación de datos. Otra opción es la radiografía en tiempo real, en ésta los costos de operación son mucho menores y no existen costos extras por procesamiento e interpretación de datos.

La inspección en campo de una sección gruesa puede ser un proceso que consume mucho tiempo debido a que la radiación efectiva de salida de la fuente portátil puede requerir de un tiempo de exposición más prolongado que la película radiográfica. Las fuentes radiactivas (rayos gamma) están limitadas en su salida primaria por que la alta actividad de la fuente implica que el personal debe llevar consigo protección. La baja salida de la fuente portátil de rayos X puede también limitar la inspección de campo de las secciones gruesas. El tubo portátil de rayos X emite relativamente baja energía de radiación (300 keV) y está limitado en la radiación de salida. Ambas, características se combinan para limitar su aplicación en la inspección radiográfica.

Como se citó, cierta clase de defectos son difíciles de detectar por radiografía, como las grietas que no pueden ser detectadas a menos que estén paralelas a la radiación. Las grietas pequeñas en secciones gruesas pueden no ser detectadas en su totalidad, incluso con una buena orientación. Las discontinuidades como inclusiones en materiales forjados, hojuelas, microporosidades y microfisuras pueden no ser detectadas a menos que haya suficientemente segregado para producir un defecto detectable. Por lo general se piensa que por el hecho de radiografiar una pieza, no habrá ningún defecto en ella que no haya sido detectado. También, se puede dar el caso, en el que el radiólogo sea demasiado escéptico y al ver cualquier marca en la radiografía solicite que está sea desechada.

En ambos casos la radiografía ha sido interpretada equivocadamente, ya que no en todos los casos la radiografía registra el 100 % de los defectos, y por otro lado, la radiografía puede tener defectos de proceso o de revelado que nada

tienen que ver con defectos de la pieza. Para interpretar una radiografía de la mejor forma posible es necesario conocer debidamente los factores que pueden afectar su calidad, tales como marcas o defectos ya sea por el proceso o por el revelado, fallas en el contraste o en el detalle y, por último, fallas en la película.

Otras limitaciones de la radiografía industrial son:

- 1) No se recomienda su utilización en piezas de geometría complicada;
- 2) No se debe emplear cuando la orientación de la radiación sobre el objeto sea inoperante, ya que no es posible obtener una información correcta;
- 3) La pieza de inspección debe tener acceso al menos por dos lados;
- 4) Su empleo requiere el cumplimiento de estrictas medidas de seguridad;
- 5) Requiere personal altamente capacitado, calificado y con experiencia; y
- 6) Requiere de instalaciones especiales como son: área de exposición, equipo de seguridad y un cuarto oscuro para el proceso de revelado.

Las discontinuidades de tipo laminar no pueden ser detectadas por este método [3 y 10].

1.9.1. SEGURIDAD

La ciencia de la protección radiológica, o "física de la salud", surgió en los últimos años del siglo XIX a partir de los descubrimientos paralelos de los rayos X y la radiactividad. Los expertos, los médicos, los laicos y los físicos por igual establecieron aparatos generadores de rayos X que salieron de sus investigaciones y su arduo trabajo con una preocupación por la energía incontrolable que este emanaría.

Esta falta de preocupación fue comprensible, ya que no había experiencia previa que reportara que los rayos X de alguna manera pudieran ser peligrosos. De hecho, lo opuesto es el caso, por quién sospecharía que un rayo similar a la luz, pero no se ve, no detectable por los sentidos sería perjudicial para las personas.

1.9.2. MEDIDAS FUNDAMENTALES DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA

Se deben tomar las medidas necesarias para que las dosis individuales y la probabilidad de que se produzcan exposiciones potenciales sean lo más bajas posibles. En cualquier caso, las dosis recibidas por los trabajadores expuestos y visitantes siempre han de ser inferiores a los límites de dosis establecidos en la Legislación.

En las instalaciones de radio diagnóstico el único riesgo posible que se pueden presentar será el de irradiación externa, la cual sólo se produce cuando está en funcionamiento un tubo de rayos X.

En radiodiagnóstico son fuentes de radiación todos los equipos dotados de tubo de rayos X cuando éste está en funcionamiento. Se pueden especificar como:

- 1) Radiografía convencional,
- 2) Equipo de fluoroscopia,
- 3) Radiografía con equipos móviles,
- 4) Radiografía intervencionista, y
- 5) Tomografía Computarizada.

En la Tabla 1.6 se presenta los dispositivos de protección radiológica establecidos en la normativa vigente de la Secretaria de Salud.

Tabla 1.6. Dispositivos de protección radiológica vigentes hasta la fecha.

| Aplicación | Mínimo por departamento | Características (equivalente de plomo) |
|--|--|---|
| Convencional y fluoroscopia | <ul style="list-style-type: none"> - Mandil Plomado - Guantes Plomados - Protector de gónadas - Collarín protector de tiroides | <ul style="list-style-type: none"> - 0.5 mm. Para cuando cubra solamente el frente del cuerpo. - 0.25 mm. Para cuando cubran completamente el frente, los costados del tórax y la pelvis. - 0.5 mm. Para guantes de compresión. - 0.25 mm. Para guantes para intervención. - 0.5 mm. |
| Nota: En departamentos donde existan varias salas de fluoroscopia debe existir además un mandil por sala | | |
| Hemodinamia | <ul style="list-style-type: none"> - Mandil plomado - Collarín protector de tiroides - Anteojos para protección de cristalino - Guantes plomados | <ul style="list-style-type: none"> - Uno por cada persona que participe en el procedimiento |
| Tomografía Computarizada | <ul style="list-style-type: none"> - Mandil plomado | |

1.9.3. VIGILANCIA Y CONTROL DE LA RADIACIÓN

Su finalidad es hacer una estimación de los niveles de radiación y contaminación en los lugares de trabajo, que permita realizar el mismo dentro de los límites anuales de dosis.

Para poder estimar los niveles de radiación, se realizarán medidas de radiación en todos los lugares situados en las proximidades de las fuentes de radiación y en zonas de trabajo, de forma periódica o rutinaria, para poder determinar los niveles de radiación en el puesto de trabajo, para comprobar la idoneidad de algún procedimiento concreto o blindaje.

También, se realiza una vigilancia y control de la radiación externa con el fin de establecer si los niveles de riesgo existentes, están dentro de los límites

correspondientes a cada zona. Dicha vigilancia incluye la dosimetría de área, que se aborda a continuación y la dosimetría personal, que se trata en el apartado (control dosimétrico personal).

Así, la vigilancia de las áreas de trabajo puede dividirse en tres categorías:

- 1) De rutina: Asociada a las operaciones habituales o cotidianas,
- 2) Operacional: Proporciona información sobre un procedimiento en particular, y
- 3) Especial: Se aplica a una situación que se sospecha anómala.

La vigilancia de rutina en el puesto de trabajo debe realizarse para confirmar que el trabajo se realiza satisfactoriamente. Ésta se realiza mediante los procedimientos adecuados, de forma continuada y en tanto no se produzcan cambios significativos.

La vigilancia operacional se realizará para estimar el riesgo asociado con procedimientos de trabajo determinados.

2. PROPUESTA DE PREDISEÑO Y ESPECIFICACIÓN DE LA OBRA CIVIL DE LAS INSTALACIONES DE UN LABORATORIO PARA LA TOMA DE RADIOGRÁFICAS EN JUNTAS SOLDADAS

En este capítulo se realizará una propuesta de prediseño para la obra civil de un laboratorio de radiografía industrial en juntas soldadas que tendrá tantos fines académicos de investigación como también de servicios a nivel académico y en aplicación industrial. Así, esto es importante ya que este laboratorio estará diseñado tanto para que estudiantes de ingeniería puedan llevar a la práctica los conceptos recibidos en clases teóricas, como también para la inspección precisa y rigurosa de juntas soldadas que son necesarias en muchos procesos industriales. Esta propuesta de prediseño del laboratorio de radiografía industrial, deberá ser tal que cumpla con las condiciones y necesidades de las partes tanto académicas como industriales antes citadas, las cuales se presentan detalladamente en las secciones de este capítulo.

2.1. CONSIDERACIONES PREVIAS

Para poder llevar a cabo la implementación de un laboratorio de rayos X en juntas soldadas es necesario conocer toda la información relacionada tanto de los equipos de rayos X como de las precauciones necesarias para poder llevar a cabo de manera segura y prolongada el proceso de toma de radiografía sin que esto afecte tanto al personal de laboratorio como a cualquier otra persona u otros equipos que pueden resultar afectados por la radiación emitida de los rayos X. Dicha información teórica ya se ha recolectado y presentado en el Capítulo 1, por lo que aquí solo se hace mención de ello, siendo necesario sólo referirse al capítulo anterior en caso de ser necesaria alguna aclaración o especificación propia de los equipos, mecanismos de seguridad y de cualquier otra especificación que necesite fundamento teórico.

2.2. PROCESOS IMPLICADOS EN EL LABORATORIO DE TOMA DE MUESTRAS RADIOGRÁFICAS

Los procesos básicos que se necesitan para llevar a cabo la obtención de las placas radiográficas para su correspondiente análisis de radiografía industrial, se describen a continuación:

- 1) Toma de radiografía con el equipo de rayos X. Este proceso implica la preparación y colocación de las piezas o juntas soldadas que van a ser radiografiadas. En la preparación se lleva a cabo una especificación de la zona que se va a analizar, perfil a analizar, espesor del material, entre otras, y cualquier parámetro que se considere de interés y que sea necesario especificar para la toma de las placas radiográficas.
- 2) Revelado de las tomas de las placas radiográficas. Después de ser tomada la placa radiográfica se procede al revelado de las mismas tomando en cuenta todas las condiciones de calidad y seguridad requeridas para el proceso de revelado óptimo. Este debe de cumplir con los estándares de calidad y precisión requeridos tanto para uso didáctico como para la industria.

Dado que ambos procesos (toma de muestra y revelado) se encuentran especificados y normalizados, no se van a detallar en este apartado sino que ya son parte de la información teórica presentada en el Capítulo 1.

2.3. FLUJOGRAMAS DE LOS PROCESOS IMPLICADOS EN EL LABORATORIO DE TOMA DE MUESTRAS RADIOGRÁFICAS

En las Fig. 2.1 y 2.2 se presentan los diagramas de flujo de los procesos realizados en la obtención de las placas radiográficas, en la Fig. 2.1 se presenta el flujograma del proceso de toma de las placas radiográficas realizadas a las juntas soldadas a analizar, y en la Fig. 2.2 se presenta el flujograma del proceso de revelado de las placas tomadas durante el proceso anterior.

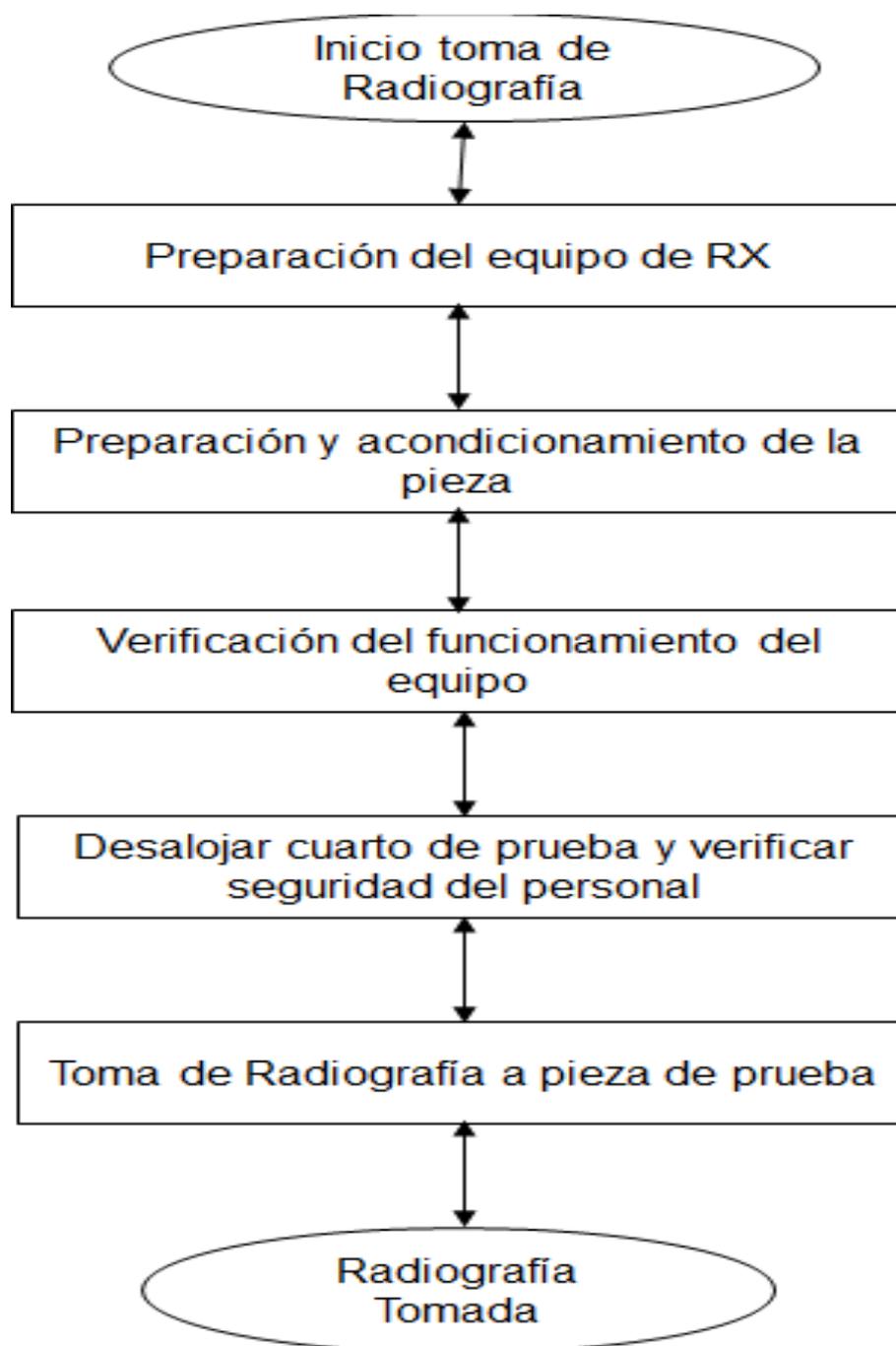


Fig. 2.1. Flujograma del proceso de toma de las placas radiográficas en el laboratorio.

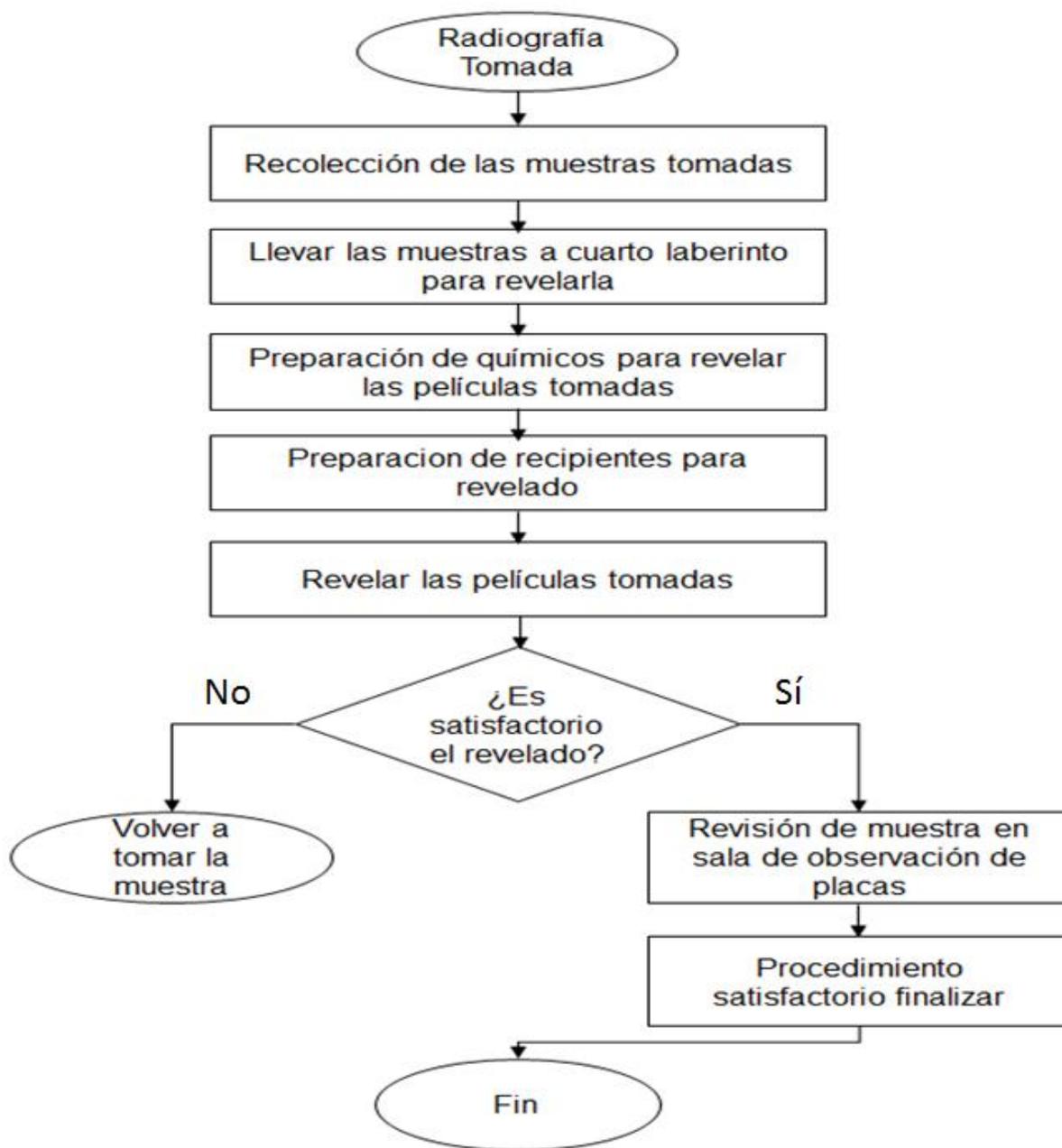


Fig. 2.2. Flujograma del proceso de revelado de las placas radiográficas.

2.4. PROPUESTA DE DISTRIBUCIÓN DEL LABORATORIO

En la Fig. 2.3 se presenta la propuesta de distribución del laboratorio con las respectivas líneas de flujo de los procesos elaborados anteriormente (toma de muestra y revelado) y los nombres de las salas, cuyas especificaciones y características se detallaran posteriormente, las cuales son:

- 1) Sala de rayos X,
- 2) Sala de control del equipo y observación de placas reveladas de rayos X,
- 3) Zona de laberinto,
- 4) Cuarto oscuro para revelado de tomas,
- 5) Sala de espera para la toma de placas radiográficas,
- 6) Sala de recepción,
- 7) Sala para usos múltiples,
- 8) Zona de parqueo y descarga, y
- 9) Zonas verdes.

En la Fig. 2.4 se presenta la propuesta de distribución del laboratorio con todas sus medidas establecidas para su correcto funcionamiento. Las especificaciones y detalles de dicha distribución se presentarán en la siguiente sección (sección 2.4).

En la Tabla 2.1 se presenta la simbología utilizada, la cual se puede encontrar en las vistas de planta de las Figs. 2.3 y 2.4

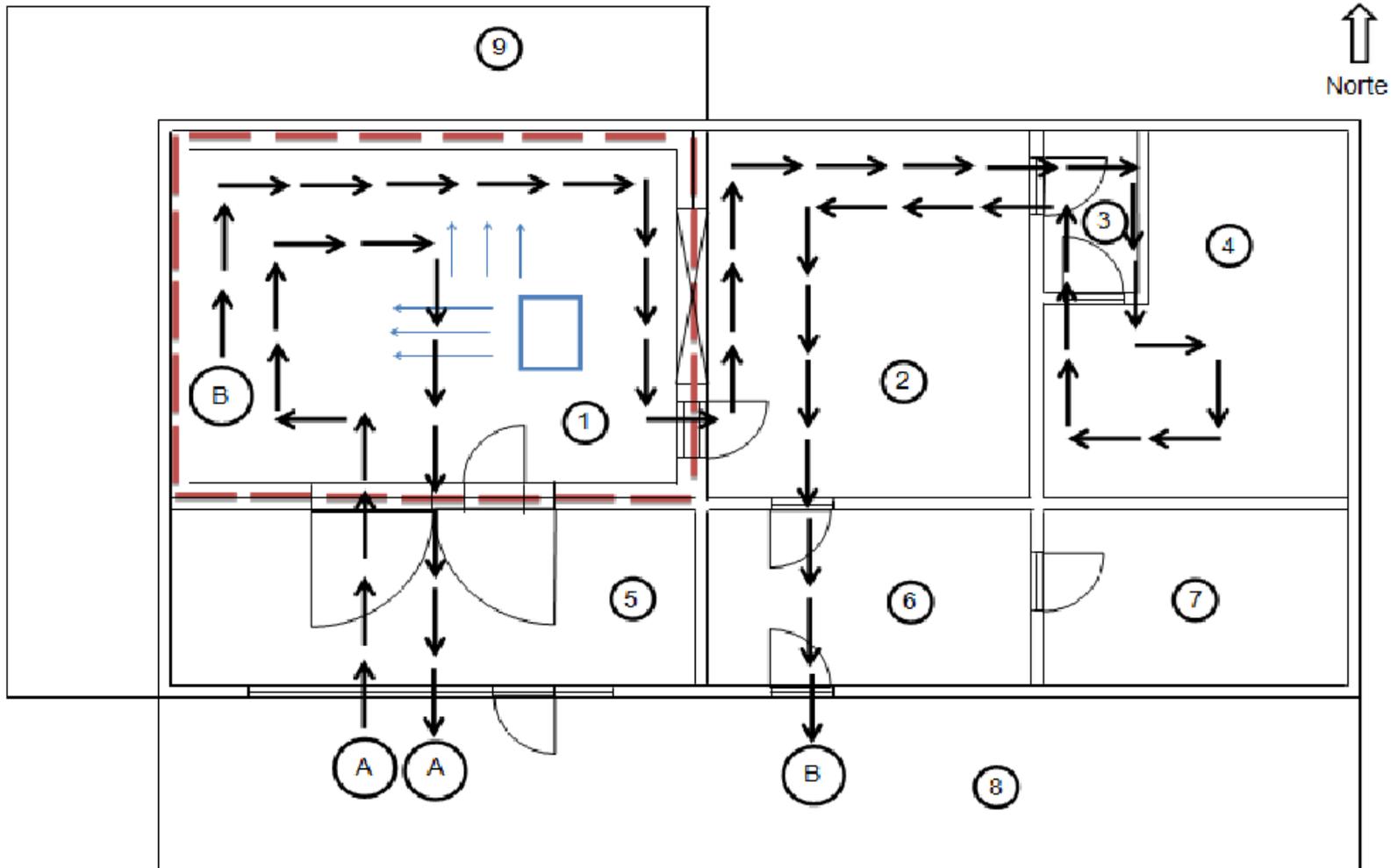


Fig. 2.3. Propuesta de vista en planta del laboratorio de radiografía industrial para juntas soldadas; en donde: A es el flujo de las juntas soldadas a radiografiar, y B es el flujo de las placas de radiografía.

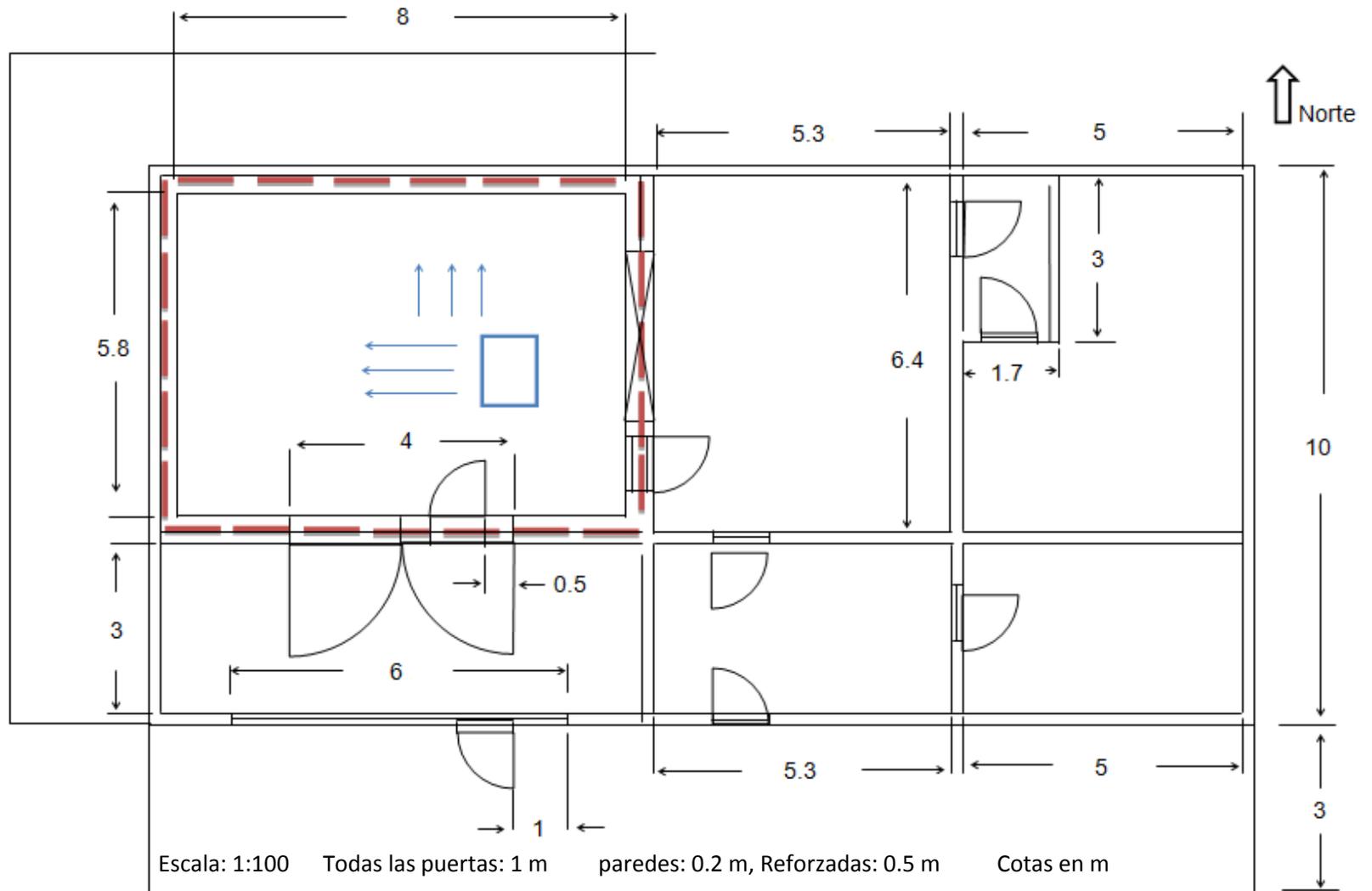
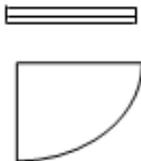
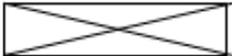


Fig. 2.4. Propuesta de vista en planta del laboratorio de radiografía industrial con las dimensiones propuestas.

Tabla 2.1. Simbología que aparece en la propuesta de distribución.

| | |
|---|--|
|  | Puerta, acceso a zonas |
|  | Ventana especial para la observación del interior de la sala de rayos X |
|  | Aislamiento especial, zona aislada especial para la radiación de rayos X |
|  | Líneas de flujo de proceso |
|  | Líneas de dirección de la radiación de rayos X |
|  | Fuente de radiación de rayos X |

2.5. ESPECIFICACIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE LAS ZONAS QUE SE PRESENTAN EN LA PROPUESTA DE DISTRIBUCIÓN DEL LABORATORIO

En este apartado se especifican las zonas que se han colocado en la propuesta de distribución en planta, justificando el porqué de la existencia de dichas zonas, sus dimensiones, posición y se especifican las medidas de seguridad a tomar, así como los detalles necesarios para una especificación de diseño óptima de la propuesta de distribución en planta, las cuales se presentan a continuación:

- 1) Sala de Rayos X: Esta deberá estar completamente aislada del exterior, construida con paredes de ladrillo sólido recubierto tanto internamente como exteriormente con asbesto y láminas de plomo reforzado de tal forma que

asegure su completo aislamiento. La dirección de la radiación debe ser de tal manera que ésta no apunte a las salas de control, recepción ni a ninguna zona donde puedan estar personas u otros equipos que puedan resultar afectados por este tipo de radiación. Cuando el equipo de rayos X estén en funcionamiento no se deben abrir las puertas de acceso a dicha sala. Las dimensiones de la sala son de 8x5.8 m y está destinado para albergar pequeñas estructuras de hasta 1 m de largo x 1 m de ancho como puede ser el caso de estructuras de camiones pequeños, o partes de maquinarias de tamaño variado, dejando suficiente espacio para el equipo de rayos X, el porta placa de toma de la radiografía y 4 personas que estén colocando las piezas o estructuras, el equipo de rayos X y el porta placas podrán adecuarse a las necesidades y forma de las piezas a las que se van a tomar las placas radiográficas. Las puertas se deberán construir de madera sólida recubierta por asbesto y plomo, debidamente identificadas como puertas de acceso a “zona con radiación ionizante potencialmente peligrosa”.

- 2) Sala de control del equipo y observación de placas reveladas de rayos X: Los paneles de control deben estar de tal forma que no se encuentren en la dirección de la radiación de rayos X y deben estar en un lugar tal que sea posible observar el proceso de toma de placas, para ese propósito se colocará una ventana especial, cuyas especificaciones se detallaran más adelante, para observar el proceso. Además, se debe tener una puerta de acceso cercana a la sala de rayos X sin la necesidad de abrir la puerta principal de la sala de rayos X. Las dimensiones de la sala son de 6.4x5.3 m y esto es debido a la ventana en la que se colocará un vidrio reforzado especial (especificado más adelante) de 3 m de largo por 2 m de alto, esto para poder observar el interior de la sala de rayos X sin estar dentro ni tener abiertas las puertas de la sala y con la presencia de varias personas, con estas dimensiones de ventana se asegura la visibilidad completa del interior de sala, dicha ventana deberá acoplarse a las dimensiones de la sala de rayos X. También, esta sala deberá tener el suficiente espacio para que los equipos de control estén suficientemente libres de otros equipos que puedan instalarse en un futuro,

que sea necesario más de un panel de control en la sala. En dicha sala podrán estar como máximo 6 personas a la vez para que estas no interfieran en el control del sistema. También, en esta sala se observarán los revelados de las tomas de rayos X realizadas, para esto se contará con 2 o más pizarras retro iluminadas para realizar el proceso y que los estudiantes puedan observarlo detalladamente.

- 3) Zona de laberinto: Esta sala tiene la función de aislar completamente el cuarto oscuro de revelado de la luz exterior y de cualquier tipo de iluminación que pueda resultar perjudicial para el revelado de las placas. Además, se puede usar para guardar objetos como gafas, prendas de vestir u objetos personales de las que entren al cuarto oscuro. Esta sala deberá iluminarse con luces muy tenues y de colores como el rojo o el magenta que no afectan en el proceso de revelado de las placas radiográficas tomadas, sus dimensiones son de 3x1.7 m.
- 4) Cuarto oscuro para revelado de placas: Es el lugar donde se realizarán los revelados de las placas tomadas durante la realización de las radiografías en la sala de rayos X, la cual debe estar completamente oscura y debe tener las condiciones necesarias para realizar un revelado óptimo de calidad, debe contar con su propio sistema de agua potable y drenaje además de conexiones eléctricas para los diferentes equipos. Las dimensiones de este cuarto de oscuro son de 5x3.4 m, lo cual se debe a que tiene que contener todos los equipos necesarios para el proceso de revelado. También, esta sala de revelado contará con una bodega de 3.4x3 m para guardar películas sin radiografiar u otros objetos necesarios para el revelado de las placas. Con estas dimensiones de la sala se permite que puedan estar cómodamente hasta 6 personas a la vez en esta sala sin interferir el proceso de revelado.
- 5) Sala de espera para la toma de muestras radiográficas: Este lugar tiene la función de asegurar un aislamiento de la sala de rayos X con el exterior, debe contar con acceso a la sala de rayos X y con la zona de parqueo y descarga, debe estar completamente cerrado cuando se realicen las tomas de placas en la sala de rayos X, y no debe permanecer ningún equipo en dicha sala que

pueda resultar afectado, debido a las radiaciones parasitas que pudiesen salir de la sala de rayos X. Las dimensiones de esta sala de espera son de 8 x 3 m y se debe principalmente por el tamaño de la sala de rayos X ya que por esta sala deberán entrar las estructuras que van a ser colocadas en la sala de rayos X y este lugar debe estar acorde al tamaño de dicha sala, la función principal de esta sala es evitar al máximo la fuga de rayos X al exterior ya que la puerta principal de acceso a la sala de rayos X es la parte de mayor peligro en donde la radiación se puede fugar y representar un peligro potencial a las personas y equipos que puedan estar cercanos a la puerta de acceso a la sala de rayos X. Así, esta es la finalidad principal de esta sala, como factor de seguridad. Esta sala contará con 2 puertas, una de ellas la que permite el acceso desde la zona de parqueo y descarga la cual será de tipo cortina con una pequeña puerta para el acceso de personas, además no deberá interferir con la puerta interna de esta sala, que será la que permita el acceso a la sala de rayos X, dicha puerta será de tipo doble hoja, esto es debido a las láminas de recubrimientos absorbentes de los rayos X que deberá tener dicha puerta, esta también tendrá una pequeña puerta para el acceso de personas, tal como se presenta en las Figs. 2.3 y 2.4.

- 6) Sala de recepción: Es el lugar destinado para la estancia de personas que visiten el lugar ya sea para recibir las placas reveladas o para atender visitantes. También, está pensado como zona de seguridad en caso de accidentes o fortuitos. Sus dimensiones son de 5.3 x 3 m y pueden estar hasta 6 personas en este lugar.
- 7) Sala para usos múltiples: Esta sala está destinada para múltiples propósitos tanto para el almacenamiento de las placas reveladas, almacenamiento de equipos y accesorios que se usan en las diferentes salas, como también reuniones y usos académicos, por lo cual se dispondrá de sillas, mesas entre otros. Las dimensiones de esta sala son de 5 x 3 m.
- 8) Zona de parqueo y descarga: Zona destinada para la recepción y salida de las piezas a las que se les realizarán o han realizado tomas de placas, las cuales pueden ser de varios tamaños hasta estructuras relativamente pequeñas y de

fácil transporte. Así en esta zona se contempla el estacionamiento de vehículos livianos de carga que pueden ser utilizados para transportar las piezas o las estructuras antes citadas que se van a analizar.

- 9) Zona verde: Zonas destinadas para la ambientación del edificio. El radio de esta zona verde no debe ser inferior a 30 m². Además, se debe asegurar que esta zona verde siempre se mantendrá con plantas como grama, flores, arboles pequeños que no produzcan frutos comestible, entre otros, no debe haber objetos en este lugar como bancas, sillas, mesas u otros objetos que pueden propiciar la estancia de personas en dicha zona, ya que en estas instalaciones se mantendrán “radiaciones ionizantes” que pueden ser dañinas para la salud.

3. EQUIPAMIENTO E INFRAESTRUCTURA PARA EL LABORATORIO DE RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL PARA JUNTAS SOLDADAS

En este capítulo se presentará las necesidades de equipamiento y mobiliario mínimo del laboratorio de radiografía para uso didáctico e industrial en juntas soldadas, así como también las necesidades de infraestructura para el correcto funcionamiento del mismo. Para estas necesidades de equipamiento e infraestructura se proporciona la información que se tiene que seguir para la debida seguridad y comodidad de del personal de planta y visitantes al laboratorio.

3.1. PROPUESTA DE EQUIPAMIENTO DEL LABORATORIO

Con base en el estudio realizado se ha presentado una propuesta de distribución del laboratorio en lo que corresponde a cada una de sus salas o áreas de trabajo, del cual se puede deducir un equipamiento mínimo para que el mismo pueda cumplir con los objetivos por los cuales se está realizando un prediseño.

El equipo principal que se tiene que seleccionar para cumplir con las expectativas de la radiografía industrial en juntas soldadas para un espesor de placa determinado es la fuente de radiación industrial. Cabe destacar que mediante la obtención de las placas radiográficas y su posterior revelado se pueden encontrar en la junta soldada radiografiada los siguientes defectos en la misma, como son: poros, incrustaciones de escoria, grietas dentro del cordón de soldadura, falta de penetración de raíz, entre otros.

Así, el equipo de prueba de radiografía será utilizado tanto dentro del laboratorio como también en campo (*in situ*), y por seguridad y mejor comodidad o manejo se ha seleccionado un equipo portátil (tubo generador de rayos X) con capacidad de 200 kV y 4.5 mA con haz direccional formando un cono elíptico cuyos ángulos desde su origen son entre 40 y 60⁰, enfriado por un flujo de 500 m³/h de aire. Además, este equipo consta de una unidad de control automático

programable, con cable de unión entre la unidad de control y el equipo de 40 m y un piloto (luz) de seguridad. En la Fig. 3.1 se presenta una fotografía del equipo seleccionado, las vistas frontal y de planta, con el fin de especificar las dimensiones del mismo para su correspondiente manipulación y selección de las mesa de trabajo.



Fig. 3.1. Equipo generador de rayos X con sus dimensiones en mm.

En el mismo sentido con el fin de agrupar los diferentes equipos para el funcionamiento del laboratorio, en la Tabla 3.1 se presenta detalladamente todo el equipamiento, incluyendo la fuente descrita previamente. Además, en la Tabla

3.1 se agrupa el equipamiento por cada una de las salas del laboratorio de radiografía industrial y sus respectivos detalles en cuanto a su utilización en el laboratorio.

Tabla 3.1. Especificación de equipos para el laboratorio de radiografía industrial para juntas soldadas.

| Salas del laboratorio | Equipo Requerido |
|--|--|
| Rayos X | <ul style="list-style-type: none"> a) ERESKO 65 MF4 - Equipo de toma de placas de RX. b) CA-27J78 – Película o acetato para toma de la muestra de RX con un 10% de recubrimiento de plomo para mejorar la resolución de la imagen por la adsorción del haz de luz. c) 101-085-147 – Cable de 20 m – Para conectar control de disparo del equipo ERESKO 65 MF4 para la toma de la película radiográfica. d) ASTM-1A – Alambre o placas para colocar las especificaciones (fecha, número correlativo, empresa, hora, etc.) En la película que se radiografiara. e) Batería o Transformador de voltaje de 900 W a 220 W. f) Mesa metálica de preferencia de aluminio de 1.5 x 1.5 m de dimensión y 0.95 m de altura. g) Placa de plomo de 1.5x1.5x0.005 m para recubrimiento de la mesa y aislamiento de la radiación. |
| Control y observación de la toma radiográfica revelada | <ul style="list-style-type: none"> a) Control de disparo de equipo de RX ERESKO 65 MF4. b) Lámpara de luz blanca para poder observar las películas reveladas. |
| Cuarto oscuro para revelado de tomas | <ul style="list-style-type: none"> a) 7261221 - Lámpara de luz roja suave para ayudar a la mejor resolución de la película a revelar. b) 4ANZ3B – 20 galones de químico que funciona como penetrante para películas radiografiadas con tubo ERESKO 65 MF4 para plasmar la Fig. 3.2 tomada por la muestra de tipo FIXER/REPLENISHER/HARDENES. c) 4NZY2 – 20 galones de revelador químico manual tipo FC59P001/AGFA. |

3.2. MOBILIARIO

Se presentara un listado de la propuesta de mobiliario que se podría utilizar dentro del laboratorio de Radiografía Industrial para juntas soldadas para la comodidad y confort tanto del personal que estará haciendo las prácticas o inspecciones dentro del Laboratorio, como también del personal a cargo del mismo:

- 1) Mesa de aluminio para sala de toma de muestra, de 6.50x8.20 m.
- 2) Archivero metálico de 4 gavetas para guardar películas y equipos para la toma de muestras,
- 3) Mesa para reuniones de 2x1x1 m. para la sala de control del equipo de rayos X y la Sala de observación de la toma radiográfica revelada,
- 4) 8 sillas para mesa de reuniones,
- 5) 10 Sillas para espera modelo;
- 6) Mesa laminada para cuarto oscuro, de 1x2x1 m;
- 7) Oasis para sala de espera; y
- 8) Lámpara blanca para placas reveladas, de 0.50x1 m.

3.3. EVALUACIÓN DE LA EXPOSICIÓN DEL TRABAJADOR EXPUESTO

Dentro de la seguridad está también los tiempos de exposición y los niveles de radiación a los que pueden ser expuestos las personas que estén dentro del laboratorio. Para ello se deben determinar las dosis a la que han sido expuesta las personas tanto las que manipulan los equipos como los encargados del laboratorio.

La dosimetría de las persona a cargo de la manipulación de los equipos de Radiografía expuestos deberá ser realizada por un Servicio de Dosimetría Personal (SDP) expresamente autorizado por el CSN; es decir una personal externa Luego estos resultados de los controles dosimétricos se remitirán al Servicio de Prevención de Riesgos Laborales (SPRL), a quién corresponderá

interpretarlos desde el punto de vista sanitario. En caso de urgencia, dicha información deberá ser trasladada de inmediato al Servicio de Prevención de Riesgos Laborales para su evaluación.

En la clasificación de los trabajadores expuesto los se deben tener por categorías, como los son:

- 1) Categoría A: Pertenecen a esta categoría los que puedan recibir una dosis efectiva superior a 6 mSv por año oficial, o una dosis equivalente superior a 3/10 de los límites de dosis equivalente para el cristalino, la piel y las extremidades.
- 2) Categoría B: Pertenecen a esta categoría aquellos que es muy improbable que reciban dosis efectivas superiores a 6 mSv por año oficial, o a 3/10 de los límites de dosis equivalente para el cristalino, la piel y las extremidades.

Las dosis individuales por irradiación externa se estimarán, como mínimo mensualmente, con dosímetros personales. El dosímetro de solapa permite estimar las dosis equivalentes individuales, profundas y superficiales, a cuerpo entero. En el caso de riesgo de exposición parcial o no homogénea del organismo, se deberán utilizar dosímetros adecuados en las partes potencialmente más afectadas. En situaciones de exposición especialmente autorizada y en cuantas situaciones sea necesario a criterio del SPR, se pueden utilizar dosímetros personales de lectura directa, por la ventaja que supone su lectura inmediata. Su control y registro depende del SPR. Su uso nunca sustituye a los dosímetros personales de termoluminiscencia, de uso obligatorio para todos los trabajadores expuestos según categoría A.

Se pueden estimar las dosis a trabajadores de categoría B con dosímetros personales o a partir de los datos obtenidos de la dosimetría de área de los diferentes locales y zonas de trabajo, siempre que estos datos permitan demostrar que los trabajadores están clasificados correctamente en la categoría B.

La metodología para el uso de los dosímetros o instrumentos utilizados para la dosimetría de área, y el procedimiento de asignación de dosis asociado,

deberán incluirse en un protocolo escrito sujeto a la evaluación e inspección del CSN.

Cuando esa dosimetría de área se realice por medio de dosímetros de termoluminiscencia, se deberá tener en cuenta que:

Las características de los dosímetros serán equivalentes a las de los dosímetros TL (termoluminiscente) utilizados en dosimetría personal, siendo capaces de medir 10 Hp (homogeneidad del tejido personal) y 0.07 Hs (Homogeneidad superficial):

- ✓ La lectura de los dosímetros debe ser realizada por servicios de dosimetría personal autorizados por el CSN;
- ✓ El período de uso de estos dosímetros será mensual y se procurará hacerlo coincidir con el mes natural;
- ✓ En ningún caso se podrán asignar estos dosímetros a personas, si tener verificado en qué lugar se encuentra y si estarán expuestos o no a la radiación;
- ✓ Debe disponerse de algoritmos apropiados para, asignar dosímetros los trabajadores expuestos;
- ✓ En caso de que la dosis registrada en un dosímetro de área utilizado para la asignación de dosis al personal excediera el límite anual, se notificará al CSN;
- y
- ✓ Determinación de dosis por contaminación interna.

Las dosis resultantes de una eventual contaminación interna se deben determinar con una periodicidad acorde al período de semidesintegración efectivo de los contaminantes por servicios de dosimetría expresamente autorizados a tal fin por el CSN.

El SPR es responsable de identificar a aquellos trabajadores expuestos que, por las circunstancias en que se desarrolla su trabajo, deberían someterse a controles de contaminación interna (rutinarios o especiales) en servicios de dosimetría autorizados.

3.3.1. TIPO DE TRABAJO QUE DESARROLLAN

Las características del material radiactivo que manipulan (actividad, energía, tipo de desintegración, forma física y química), los resultados de la vigilancia radiológica de la contaminación ambiental y de superficie de las instalaciones; y las incidencias operacionales de las instalaciones (derrames, fugas, etc.) son los resultados de las medidas directas o indirectas que el SPR pudiera realizar sobre un trabajador en caso de sospecha de contaminación.

En los casos en los que no sea posible o resulten inapropiadas las mediciones individuales, la vigilancia de estos se basará en una estimación realizada a partir de mediciones individuales realizadas a otros trabajadores expuestos o a partir de los resultados de la vigilancia del ambiente de trabajo, haciéndose constar expresamente este hecho en el historial dosimétrico del trabajador.

En caso de exposiciones accidentales se evaluarán las dosis asociadas y su distribución en el cuerpo. En caso de exposiciones de emergencia se realizará una vigilancia individual o evaluaciones de las dosis individuales en función de las circunstancias que concurran.

Cuando a consecuencia de una exposición especialmente autorizada, exposición accidental o exposición de emergencia se hayan superado los límites de dosis permitidas, se deberá realizar un estudio para evaluar, con la mayor rapidez y precisión posible, las dosis recibidas en la totalidad del trabajador en las regiones u órganos afectados del mismo. Estos casos, y los resultados del estudio, serán inmediatamente puestos en conocimiento del que desarrolle la función de vigilancia y control de la salud de los trabajadores.

Cuando se registren dosis que superen los límites establecidos, en condiciones normales de trabajo, se deberá iniciar una investigación con objeto de averiguar las causas que originaron el suceso. Al mismo tiempo, se separará al trabajador de su puesto de trabajo, hasta que el que desarrolle la función de vigilancia y control de la salud de los trabajadores determine que dicho trabajador es apto para trabajar con radiaciones ionizantes. El momento de la

reincorporación al puesto de trabajo, así como la posible necesidad de recibir atención médica, los determinará el SPRL.

En el plazo de un mes, se remitirá al CSN un informe sobre las circunstancias de la sobre exposición y se indicarán las medidas correctoras aplicables para evitar que en un futuro se produzcan situaciones similares. En este informe, igualmente, se hará constar la decisión del SPRL sobre la aptitud del trabajador.

El uso del dosímetro es personal y restringido al centro al que está asignado. El dosímetro se debe de colocar en aquella posición que sea más representativa de la parte más expuesta de la superficie del cuerpo.

Las dosis en las extremidades, especialmente en las manos, pueden ser algo mayores, pero a menos que sea probable que estas dosis se aproximen al 3% es por ciento de los límites de dosis equivalente no será necesaria la utilización de dosímetros adicionales.

En aquellos casos en los que sea necesario el uso del delantal plomado, el dosímetro se colocará debajo de éste, y en la posición recomendada anteriormente.

En los casos particulares en que los valores registrados estén próximos a los niveles de investigación, puede ser necesaria, a juicio de la SPR, la utilización de dos dosímetros, uno debajo del delantal para estimar la dosis efectiva, y otro por encima del delantal para estimación de la dosis equivalente en cristalino y piel.

Si un dosímetro se pierde o se daña, el usuario del mismo estará obligado a comunicarlo a la SPR inmediatamente. La responsabilidad de la utilización correcta del dosímetro es del propio usuario.

El trabajador está obligado a efectuar el cambio mensual del dosímetro en el plazo y en la forma establecidos por la SPR, quién deberá comunicar a la dirección del Centro el uso indebido o la negligencia reiterada en la utilización o cambio de los dosímetros por parte de algún trabajador.

Como orientación general, no será preciso entregar dosímetro personal a los trabajadores que se citan a continuación:

- 1) Radiodiagnóstico: Administrativos, celadores y limpiadoras; y
- 2) Radioterapia e instalaciones con fuentes no encapsuladas: Administrativos.

3.3.2. LA VIGILANCIA ESPECIAL

Se realizará la vigilancia de las dosis absorbidas, las tasas de dosis absorbidas o de fluencia con los equipos del tipo y sensibilidad adecuados a la naturaleza y calidad de la radiación emitida. Así, estos equipos pueden ser fijos o portátiles, distribuidos en la forma siguiente:

- ✓ Equipos fijos: Se ubicarán, previa fijación de un nivel de alarma en lugares de almacenamiento y preparación de material radiactivo. Los accesos a zonas controladas donde se manipulen fuentes encapsuladas y no encapsuladas. Las salas de tratamiento de Radioterapia.
- ✓ Equipos portátiles: Dispondrán de ellos la Sociedad de Prevención Radiológica (SPR) y los servicios que manejen fuentes encapsuladas y no encapsuladas.

Se deberán definir niveles de actuación en términos de tasa de dosis de radiación, de manera que en caso de alcanzarse, se tomen las medidas de investigación o de intervención necesarias.

Los documentos correspondientes al registro, evaluación y resultado de la vigilancia y control de la radiación externa deberán ser archivados por el Titular, quién los tendrá a disposición de la Autoridad competente.

3.3.3. VIGILANCIA Y CONTROL DE LA CONTAMINACIÓN

Es el conjunto de medidas que deben establecerse con objeto de comprobar empíricamente, y con la periodicidad necesaria, los niveles de contaminación existentes en las instalaciones.

Cuando se miden las concentraciones de actividad en el aire y la contaminación superficial, se especificará la naturaleza de los radionúclidos contaminantes y su estado fisicoquímico en caso de contaminación.

La vigilancia de la contaminación puede ser:

- ✓ De área: superficial y ambiental; y
- ✓ Personal: interna y externa.

La vigilancia rutinaria se realizará periódicamente en puntos de referencia establecidos previamente por parte de la SPR y mediante el procedimiento específico correspondiente, sin perjuicio de los controles que deban realizar los operadores de la instalación de acuerdo con su Reglamento de funcionamiento.

Las medidas de control de la contaminación externa se realizarán diariamente en los lugares de trabajo, al final de la jornada, al salir de zonas con riesgo de contaminación radiactiva, y siempre que se sospeche que existe contaminación o se produzca un incidente o accidente. Las normas de actuación en el caso de contaminación personal o ambiental serán las descritas en los procedimientos correspondientes y cualquier incidencia se anotará en el Diario de Operaciones.

Se debe disponer de una zona específica con todo lo necesario para la descontaminación de las personas. En caso de contaminación interna significativa se debe estimar la actividad incorporada y enviar si es necesario al trabajador a un Centro de referencia. Este accidente o incidente se registrará en su historial dosimétrico.

Las personas que trabajan con fuentes no encapsuladas deberán notificar al SPR cualquier sospecha de contaminación interna. De la misma forma se notificarán las situaciones de contaminación externa persistente.

Cuando se desee evaluar la contaminación desprendible, o cuando no se pueda estimar directamente el nivel de contaminación superficial, por el excesivo fondo ambiental, se procederá a la realización de estudios de las zonas posiblemente contaminadas. Así, quien haya ocasionado una contaminación importante o quien conozca que se ha producido está obligado a comunicarlo inmediatamente al SPR. La medida de la posible contaminación se realizará por

medio de equipos, fijos o portátiles, adecuados en sensibilidad y respuesta en energía al radionúclido empleado en cada caso. En el mismo sentido, los equipos fijos se situarán a la salida de las zonas con riesgo de contaminación. Los equipos portátiles estarán disponibles en el SPR y en los Servicios que manejan fuentes radiactivas.

Contaminación externa, para aquellas instalaciones en las que, en condiciones normales de trabajo, exista contaminación superficial persistente, se definirá un nivel de acción (expresado en Bq/cm²) que, en caso de superarse, obligará a adoptar medidas de descontaminación.

Se establecerá como contaminación interna, un nivel de registro de 1 mSv y un nivel de investigación de 5 mSv. Estos valores se refieren a las dosis efectivas comprometidas resultantes de la incorporación de radiactividad a lo largo de un periodo anual.

3.4. NECESIDADES DE INFRAESTRUCTURA

La infraestructura es una de las partes más importante para la elaboración de un proyecto y en este caso se tiene el pre-diseño de unos planos arquitectónicos en donde se presentan los espacios y distribución del laboratorio de radiografía industrial para placas soldadas. Es por ello que se presenta un presupuesto de toda la infraestructura que se necesitará.

El presupuesto general de la infraestructura cuenta con los costos desde la preparación del terreno en donde se construirá, soleras, puertas, ventanas, redes eléctricas, sistema hidráulico y todos los detalles de construcción que requiere una obra civil para que los estudiantes o visitantes a este laboratorio estén debidamente cómodos dentro de las instalaciones del laboratorio de Radiografía industrial

En esta propuesta se tendrá que incidir con:

- ✓ La propuesta del diseño arquitectónico y costo de esta propuesta de laboratorio de Radiografía Industrial para placas soldadas;

- ✓ La construcción de las condiciones generales del inmueble; y
- ✓ La promoción del cuidado y mantenimiento de las instalaciones.

Para identificar las necesidades de la construcción de un nuevo espacio físico y, en su caso, el equipamiento requerido para el desarrollo de los trabajos de la propuesta de laboratorio, se considera la normatividad que regula el desarrollo de cada espacio físico para la construcción del laboratorio y teniendo en cuenta los siguientes aspectos a agregar: estructura, acabados, instalaciones eléctricas e hidrosanitarias, impermeabilización, mobiliario y equipo, para poder integrar un programa anual de trabajo vinculado con las prácticas de laboratorio en la Escuela de Ingeniería Mecánica en el área de Materiales.

4. PRESUPUESTO Y JUSTIFICACIÓN DE LA PROPUESTA DE DISEÑO DE UN LABORATORIO DE RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL EN JUNTAS SOLDADAS

En este capítulo se presentan los diferentes rubros de inversión que se tendrían que efectuar para poder realizar el equipamiento de un Laboratorio de radiografía industrial para uso académico y de servicio en juntas soldadas para que funcione de manera más adecuada y eficiente.

Así como también se presentan los costos de inversión por infraestructura y el espaciamiento físicos que ocuparía cada una de las partes del Laboratorio de radiografía industrial, las cuales son Sala de rayos X, Sala de control del equipo y observación de placas reveladas de rayos X, Zona de laberinto, Cuarto oscuro para revelado de tomas, Sala de espera para la toma de muestras radiográficas, Sala de recepción, Sala para usos múltiples, Zona de parqueo y descarga y Zonas verdes, todo esto se ha tomado en cuenta para un mejor comodidad cuando se efectúen las pruebas de laboratorio ya sean de manera didáctico o industrial.

Se presenta un presupuesto anual de los materiales consumibles así como el mantenimiento de equipos para que funcione eficientemente y de manera efectiva, como también el número de inspecciones estimadas que se tendrían al año tomando en cuenta si se hicieran como prácticas estudiantiles, social o en empresas que soliciten el servicio de radiografía de placas soldadas.

También se presenta el costo total de la inversión el cual está conformado por la sumatoria de todos los costos directos e indirectos derivados de infraestructura, mantenimiento de equipos, limpieza, instalaciones eléctricas e hidráulicas, y los accesorios industriales; esto es necesario conocerlo para determinar la inversión estimada la cual se pretende llevar a cabo cuando se ejecute el proyecto ya sea para corto o largo plazo manteniendo como base un análisis integral de todo lo relacionado a la ejecución del proyecto [21].

4.1. PRESUPUESTO REQUERIDO PARA EL EQUIPAMIENTO DEL LABORATORIO

En el presupuesto de equipamiento se detallan los instrumentos, materiales e insumos necesarios para una instalación adecuada de la sala de inspecciones radiográficas. El cual está comprendido desde el tubo de toma de radiografías, control remoto para manejar el equipo, cables de conexión y hasta los químicos a utilizar para el revelado de las películas tomadas para ver los detalles de las soldaduras, ya que con el equipo instalado se estará cubriendo las necesidades de la propuesta de diseño de un laboratorio de radiografía para uso didáctico e industrial en juntas soldadas.

Todos los equipos requeridos se detallan en la Tabla 4.1. Así, en esta presenta el presupuesto reflejando el costo total de equipar correctamente el laboratorio.

Tabla 4.1. Presupuesto de equipamiento del laboratorio.

| Cant. | Descripción | P/U, \$ | P/T, \$ |
|-------|---|-----------|-----------|
| 1 | Equipo ERESKO para toma radiográfica (completo). | 34,500.00 | 34,500.00 |
| 1 | Lente roja para rayos X en el tubo. | 49.00 | 49.00 |
| 1 | Cable del sistema | 1,340.00 | 1,340.00 |
| 1 | Cable de unión (conexión) de poder 115 VA | 265.00 | 265.00 |
| 1 | 20 m Cable de extensión para MF4 longitud Total máxima entre el control y tubo de radiografía: 60 m | 1,315.00 | 1,315.00 |
| 1 | Rieles de sujeción para tubo ERESKO | 738.00 | 738.00 |
| 1 | Carro de desplazamiento del equipo | 3,450.00 | 3,450.00 |
| 1 | Soporte de 4 patas de equipo | 1,600.00 | 1,600.00 |
| 1 | Caja de aluminio transporte por radiación | 1,375.00 | 1,375.00 |
| 1 | Tubo de conector macho de cable para ventana utilizada para protección haz primario en acondicionamiento del tubo | 1,306.00 | 1,306.00 |
| 1 | Mando a distancia portátil, 40 m cable | 450.00 | 450.00 |
| 1 | Lámpara del Destello w/cable "rojo" (Protegido contra fallos) 115 V AC | 1,169.00 | 1,169.00 |
| 1 | Soporte del trípode para lámpara del destello | 160.00 | 160.00 |
| 1 | Kit revelador para películas radiográficas | 1,065.00 | 1,065.00 |
| | Sub-Total | | 48,857.00 |

4.2. PRESUPUESTO DE MOBILIARIO

En la Tabla 4.2 se presenta el presupuesto correspondiente a la necesidad de mobiliario que el laboratorio de Radiografía Industrial requiere para su funcionamiento adecuado. Cabe recalcar que la necesidad de cada uno de los artículos que se citan con dicha Tabla 4.2, son indispensables para que el equipamiento de éste, satisfaga las necesidades requeridas y para que se puedan desarrollar todas las actividades previstas en el laboratorio, así como también es necesario contar con 4 mini Split debido a que los locales en los que se desarrollarán las pruebas e inspecciones deben permanecer con adecuadas temperaturas por el manejo de los químicos que se utilizaran para el revelado de las películas.

El mobiliario que se requiere es necesario para desarrollar las actividades de la toma de muestras radiográficas en las mesas en donde se pondrá las placas que se les tomará las muestras radiográficas, los revelados de cada muestra y la utilización de cada uno de los artículos presupuestados.

Tabla 4.2. Presupuesto requerido de equipo del laboratorio.

| Cant. | Descripción | P/U, \$ | P/T, \$ |
|-------|---|----------|----------|
| 1 | Mesa de reuniones | 1,733.66 | 1,733.66 |
| 8 | Sillas para mesa de reuniones | 110.00 | 880.00 |
| 10 | Sillas de espera | 20.00 | 200.00 |
| 1 | Mesa de aluminio 2 x 1 x 1 m | 953.00 | 953.00 |
| 1 | Lámpara de luz blanca | 730.00 | 730.00 |
| 1 | Mesa laminada para cuarto oscuro de 1 x 2 x 1 m | 115.87 | 115.87 |
| 3 | Archivero metálico | 149.00 | 447.00 |
| 1 | Oasis para sala de espera | 159.00 | 159.00 |
| 4 | Mini Split 12,000 btu. | 368.99 | 1,475.96 |
| | HERRAMIENTAS | | |
| 4 | Pinzas metálicas de 30.48 cm (12 pulg) | 23.72 | 94.88 |
| 4 | Recipiente metálico para revelado | 15.00 | 60.00 |
| 12 | Clip metálico para revelado | 8.35 | 100.20 |
| | Sub-Total | | 6,949.57 |

4.3. PRESUPUESTO PARA EL FUNCIONAMIENTO ANUAL

Los materiales a utilizar en este caso serían los consumibles que se ocuparían para cada práctica de laboratorio, ya sea de manera académica o de servicio para empresas que necesiten de esta clase de pruebas Radiográficas; con las cantidades y montos requeridos se prevén realizar de 60 a 65 prácticas durante el año siempre y cuando se le realice el respectivo mantenimiento y uso adecuado de cada uno de los materiales y equipos a utilizar.

En la Tabla 4.3 se presenta el presupuesto requerido para los materiales consumibles y mantenimiento que necesita el laboratorio de radiografía industrial.

Tabla 4.3. Presupuesto requerido para funcionamiento anual y mantenimiento del equipo.

| Cant. | Descripción | P/U, \$ | P/T, \$ |
|-----------|------------------------------------|---------|----------|
| 90 | Películas del rayo X de structurix | 9.33 | 840.00 |
| 1 | Alambré tipo IQI de disparo | 70.00 | 70.00 |
| 30 | Galones de solución para limpieza | 2.00 | 60.00 |
| 20 | Galones de solución penetrante | 8.25 | 164.85 |
| 20 | Galones de solución revelador | 13.67 | 273.36 |
| | Mantenimiento del equipo | 600.00 | 600.00 |
| Sub-Total | | | 2,008.21 |

4.4. ELABORACIÓN DEL PRESUPUESTO DE LA INFRAESTRUCTURA

Para presupuestar la infraestructura requerida con el fin de implementar el laboratorio de radiografía industrial de juntas soldadas, se realizó una serie de cotizaciones y la elaboración de diferentes planos arquitectónicos para seleccionar entre ellos el más conveniente para la construcción de 5 salas distribuidas adecuadamente para su correcto funcionamiento y operatividad (ver Capítulo 4 y Anexos I).

Se inicia presupuestando desde la limpieza del terreno, los trazos de nivelación, la terracería, los elementos estructurales, las paredes, la estructura y cubierta del techo, pisos, ventanas, puertas, instalaciones eléctricas, instalaciones hidráulicas, pintura, accesorios industriales y finaliza con el factor importante de los imprevistos, en donde para todo lo descrito es de suma importancia tener siempre la debida supervisión para evitar la mala utilización y mala distribución de materiales o fondos invertidos, así como también cada uno de los detalles citados son necesarios en la construcción para que la parte física sea terminada y garantizada con cada uno de sus detalles previstos.

Se ha presupuestado todo lo necesario que se prevé utilizar para la ejecución del proyecto ya que al momento de iniciar cada una de las pruebas o inspecciones se debe estar seguro de la correcta funcionalidad de todo el equipo y reducir todo tipo de fallas e inconvenientes no previstos [21].

Los materiales presupuestados en la Tabla 4.4 han sido seleccionados por su calidad y durabilidad reflejando un costo financiero que permite su ejecución y el respaldo para realizar una obra de calidad para un largo plazo. Además, cabe destacar que las cantidades requeridas son las necesarias para llevar a cabo la construcción del espacio físico donde se desarrollarán cada una de las prácticas en el laboratorio optimizando cada uno de los recursos de una manera eficiente y sin malversación de fondos ni de materiales.

En la Tabla 4.4 se presenta el presupuesto requerido para la construcción de espacio físico, cantidad de material a utilizar, áreas predeterminadas con su respectivo tamaño, mano de obra directa e indirecta que realizara la construcción, así como también los costos unitarios de cada cantidad de materiales, costo indirectos y el costo total del presupuesto de toda la infraestructura del laboratorio de Radiografía industria

Tabla 4.4. Presupuesto de la infraestructura del laboratorio de Radiografía Industrial.

| Cant. | Und. | Descripción partida | Costos directos | | | Costos indirectos, \$ | C/U, \$ | C/T, \$ |
|-------|----------------|---|-----------------|---------|-----------|-----------------------|---------|-----------|
| | | | Material, \$ | MO, \$ | Otros, \$ | | | |
| 224 | m ² | Limpieza | - | 82.04 | 12.64 | 23.67 | 0.53 | 118.35 |
| 100 | m ² | Trazo y nivelación lineal de construcción | 116.77 | 0.21 | 6.96 | 30.98 | 1.54 | 154.92 |
| 58 | m ³ | Excavación a Mano Hasta 1.50 m (material blando) | - | 1.51 | 65.45 | 16.74 | 1.46 | 85.16 |
| 58 | m ³ | Relleno Comp. 20:1(c/mat. Selecto) | 878.99 | 3.02 | - | 220.50 | 19.19 | 1,121.7 |
| 58 | m ³ | Desalojo de material | - | 10.08 | 120.00 | 32.52 | 2.83 | 165.43 |
| 100 | ml | Solera de Fundación 40x20 cm, 4#3 + 1#2 @ 15 cm | 1,096.35 | 125.50 | 6.28 | 307.03 | 15.29 | 1,550.45 |
| 15 | U | Zapata Z-2 0.50x0.50 m, e=1.20 mm; ref. #3 @ 7cm ambos sentidos | 416.89 | 71.25 | 178.35 | 166.62 | 55.54 | 888.65 |
| 1 | m ³ | Pedestal de 0.45x0.35 m, h=0.60 m, ref. 8#5 + est. #2 @ 0.15 F' C 210 | 412.96 | 60.67 | 2.55 | 119.04 | 595.22 | 1,190.44 |
| 7 | ml | Columna de 0.4x0.30 m, ref. 8#5 + est. #2 Y est. #3 @ 15 cm | 1,220.44 | 43.29 | 1.60 | 316.33 | 237.49 | 1,819.15 |
| 13 | ml | Refuerzo tipo cargadero en puertas Bloque de 15x20x40 cm | 95.92 | 18.35 | 9.70 | 30.99 | 12.20 | 167.16 |
| 201 | ml | Solera Intermedia, ref. 1#3 | 600.28 | 140.56 | 14.77 | 188.90 | 4.70 | 949.21 |
| 3 | ml | Solera Coronamiento 20x15 cm, ref. 4#3 + est. #2 @ 0.15 fc 210 | 499.23 | 3.01 | 9.22 | 127.86 | 212.26 | 851.58 |
| 326 | m ² | Paredes de bloque de 10x20x40 cm, ref. Vertical 1 #3 @ 60 cm., ref horiz. 2#2 @ 40 cm | 6,071.35 | 1,676.5 | 345.99 | 2,023.46 | 31.01 | 10,117.30 |
| 180 | ml | Polín C de 4x2 m, Chapa 16 | 632.46 | 144.00 | 4.32 | 195.20 | 5.42 | 981.4 |
| 35 | m ² | Cubierta de lámina de zinc alum | 1,273.90 | 134.68 | 4.04 | 353.16 | 50.45 | 1816.23 |
| 168 | m ² | Piso de ladrillo cemento 0,25x0,25 m color rojo | 2,214.36 | 336.70 | 10.10 | 640.29 | 19.02 | 3220.47 |
| 55 | m ² | Piso tipo acera espesor de acera de 10 cm | 232.17 | 69.38 | 2.08 | 75.91 | 6.84 | 386.38 |
| 6 | U | Ventana de celosía de vidrio nevado con marco de aluminio anodizado color natural 0.80x1.00 m | | | | 47.40 | 39.50 | 86.9 |
| 2 | | Ventana de celosía de vidrio nevado con marco de aluminio anodizado color natural 0.60x0.40 m | | | | 8.50 | 21.25 | 29.75 |

Continúa

Continuación.- Tabla 4.4. Presupuesto de la infraestructura del laboratorio de Radiografía Industrial.

| Cant. | Und. | Descripción partida | Costos directos | | | Costos indirectos, \$ | C/U, \$ | C/T, \$ |
|------------------|----------------|--|-----------------|--------|-----------|-----------------------|---------|------------------|
| | | | Material, \$ | MO, \$ | Otros, \$ | | | |
| 6 | U | Defensa metálica de hierro cuadrado de 1/2 pulg. 0.80x1.00 m | | | | 64.50 | 53.75 | 118.25 |
| 2 | U | Defensa metálica de hierro cuadrado de 1/2". 0.60x0.40 | | | | 11.00 | 27.50 | 38.5 |
| 1 | U | Puerta Balcón de 1.0x2.0 m. Marco de tubo estructural cuadrado de 1 pulg y forro de lámina de hierro calibre 3/64 pulg, el contramarco se la puerta será de angular de 1 1/4x 1/8 pulg, 3 bisagras tipo capsula de caño negro de 1/2 pulg y varilla lisa de 5/8 pulg, chapa de doble pasador y dos pasadores de varilla lisa de 5/8 pulg adicionales, contará con dos manos de pintura anticorrosiva | | | | 40.25 | 201.25 | 241.5 |
| 1 | U | Puerta Lisa de 1.0x2.0 m Marco de tubo estructural cuadrado de 1 pulg y forro de lámina de hierro calibre 3/64 pulg | | | | 27.25 | 136.25 | 163.5 |
| 1 | U | Puerta Lisa de 0.6x2.0 m. Marco de tubo estructural cuadrado de 1 pulg y forro de lámina de hierro calibre 3/64 pulg | | | | 66.25 | 331.25 | 397.5 |
| 1 | SG | Instalaciones eléctricas | 150.37 | 50.00 | - | 50.09 | 250.46 | 250.46 |
| 1 | SG | Instalaciones hidráulicas | 157.89 | 48.00 | - | 51.47 | 257.36 | 257.36 |
| 326 | m ² | Pintura | 351.75 | 65.26 | - | 104.25 | 1.60 | 521.26 |
| - | SG | Accesorios industriales | - | - | - | - | - | - |
| | | Sub - total | | | | | | 26,550.68 |
| | | Imprevistos | | | | | | 1,327.53 |
| Sub-Total | | | | | | | | 27,878.22 |

U: Unidad

MO: Mano de Obra

4.5. PRESUPUESTO GENERAL

A partir de los presupuestos y costos anteriores se elabora el presupuesto general de toda la inversión en la Tabla 4.5 de forma total para el área de laboratorio considerada

En esta Tabla 4.5 se puede visualizar la inversión requerida para el equipamiento estimado de la respectiva unidad de acuerdo con los requerimientos que el laboratorio necesita para su funcionamiento.

Los costos calculados en el equipamiento son aproximados y su estimación se establece según referencia del proveedor consultado en cada caso a la fecha de la realización de este trabajo. Así, en la Tabla 4.5 se presenta la inversión necesaria para la adquisición de equipamiento, mobiliario y construcción de la obra civil [21].

Tabla 4.5. Costos requeridos para propuesta de diseño de un laboratorio de radiografía para uso didáctico e industrial en juntas soldadas.

| Rubro | Costo total, \$ |
|--|------------------|
| Inversión en equipamiento de laboratorio y mantenimiento | 48,857.00 |
| Inversión de la infraestructura | 27,878.22 |
| Inversión para funcionamiento anual y mantenimiento | 2,008.21 |
| Inversión en mobiliario | 6,949.57 |
| TOTAL | 85,693.21 |

4.6. JUSTIFICACIÓN DE LA INVERSIÓN

La propuesta que se presenta del diseño de un laboratorio de radiografía para usos didáctico e industrial en juntas soldadas, como todo proyecto genera un costo de inversión, el cual ha sido obtenido sobre la base de cada uno de los requerimientos del proyecto ya que para ejecutarla se debe de considerar que toda la infraestructura, materiales y los equipos necesarios deben poseer la calidad necesaria para respaldar la vida útil del proyecto presentado; el costo de inversión de este proyecto contiene el prediseño de la obra civil de las instalaciones del laboratorio, el cual contempla la distribución en planta, recomendaciones de materiales que cumplan con las medidas de seguridad, planos de la red eléctrica y de suministro de agua, además se incorpora el listado del equipamiento básico del laboratorio, y los costos para su implementación y mantenimiento.

La Escuela de Ingeniería Mecánica tiene entre sus línea de trabajo, disponer de un laboratorios especializados en ensayos no destructivos de materiales, con el propósito de incorporar está temática en su nueva currícula, por lo tanto este trabajo de graduación facilitara la implementación de dicha temática, pues la inversión total sería de **\$85,693.21**, la cual generaría los resultados esperados en cuanto a la mejorada calidad de formación de los profesionales en Ingeniería Mecánica y a la competitividad con la que saldrían graduados para incorporarse de una manera más fácil al mercado laboral en esta área.

En términos monetarios la inversión puede catalogarse como grande, sin embargo la necesidad de implementar este trabajo de graduación es mucho más grande para el aprendizaje y práctica de los estudiantes y el uso didáctico sin dejar de recalcar que generaría ingresos económicos derivados de las inspecciones solicitadas por empresas privadas, y el reconocimiento que se le acreditaría a la Universidad de El Salvador [21].

CONCLUSIONES

Al finalizar el presente trabajo de investigación con base en la propuesta de diseño de un laboratorio de radiografía para usos didáctico e industrial en juntas soldadas se puede concluir que toda la información recopilada mediante la investigación es de mucha importancia para comprender la estructuración y desarrollo del trabajo de graduación y colaborar con el departamento de Ciencia de los Materiales y Procesos de Fabricación de la Universidad de El Salvador para que los estudiantes de Ingeniería Mecánica tomen conciencia del cuidado que se tiene que tomar cuando existe una fuente de rayos X y a su vez los beneficios de su utilización para la detección o no de defectos en las piezas metálicas.

Debido a la investigación se ha elegido la mejor opción en lo que son los equipos, mobiliarios y materiales para demostrar que el laboratorio estará equipado de una manera eficiente.

La investigación realizada proporciono todas las herramientas necesarias para la propuesta de diseño de un laboratorio de radiografía para usos didáctico e industrial en juntas soldadas en el cual se realizaran entre 60 y 65 prácticas, cumpliendo así el funcionamiento previsto del laboratorio y realizándole los respectivos mantenimientos para la vida útil de cada uno de los equipos utilizados, así como también el manejo de cada uno de los materiales, concluyendo así que la implementación de la propuesta de diseño de un laboratorio de radiografía para uso didáctico e industrial en juntas soldadas ha sido efectiva ya que se planificaron todas las medidas de seguridad entre ellas las medidas de protección radiológicas, vigilancia y control de la radiación, evaluación y exposición del trabajador expuesto, la determinación de dosis, la seguridad en general de área utilizada así como también la dotación de los mejores equipos acordes a las necesidades del laboratorio; lo cual se hubiese vuelto difícil de ejecutar sin el diseño correcto de la infraestructura que permitió la distribución adecuada para programar exitosamente cada una de las prácticas.

RECOMENDACIONES

- 1) Se propone que antes de obtener la fuente de radiación, capacitar personal para el manejo de los equipos relacionados con las radiaciones ionizantes. Esta formación debe realizarse con contenidos actualizados y con una calidad homogénea y contrastable.
- 2) Obtenida la fuente de radiación, se deberá mantener el control del personal que acceda a las instalaciones y los equipos del laboratorio, así como también el registro y control de la salida de los equipos cuando se realice trabajos de campo o uso externo en las empresas solicitantes.
- 3) Igualmente, obtenida la fuente de radiación, se deberá mantener siempre las normas de seguridad para garantizar el adecuado funcionamiento del laboratorio para prevenir riesgos, peligros y accidentes, así como también se recomienda que dentro del laboratorio se mantengan en lugares visibles dichas medidas de seguridad para que todas las personas tengan acceso a ellas.

REFERENCIAS

- [1] Henry Horwitz. Soldadura: Aplicaciones y práctica. Editorial Alfa Omega. Tercera Reimpresión de la versión original del inglés. México. 2007.
- [2] Alfonso González Zambrano. Aplicación de los rayos X en la industria como prueba No-Destructiva. Universidad Autónoma de Nuevo León. 2000.
- [3] Manual de cursos de ensayos No Destructivos. Cía. Servicios Marinos y Terrestres. Marzo de 1998.
- [4] Enciclopedia de la Ingeniería Mecánica. TOMO III. Grupo Editorial Océano. 2004.
- [5] Carlos A. de la vega. Control de calidad en soldadura industrial por métodos radiológicos,. Editorial Diana Primera edición. noviembre de 1997.
- [6] Manual de Procedimiento de Ensayos No Destructivos Por El Método de Ultrasonido. 27 de Abril de 2012.
- [7] Práctica Recomendada No. SNT-TC - 1ª Ed. Calificación y Certificación de Personales Pruebas No Destructivas. 2001.
- [8] ASTM E-164. Standard Practice for Ultrasonic Contact Examination of Weldments. 1997.
- [9] INTRODUCCIÓN A LOS MÉTODOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS. Libro editado por el Instituto Nacional de Tecnología Aeroespacial "Esteban Terradas" (España). 1999.
- [10] Holm T., Palmer P. E. S., Lehtinen E. Manual de técnica radiográfica. 1ª ed. Suiza: OMS. 1986.
- [11] Cid F. La obra de César Comas en el contexto de la radiología Ibérica (1896-1950). Ed. especial. Barcelona: Espaxs, 1998
- [12] Potchen E. J., Koehler P. R., Davis D. O. Diagnóstico Radiológico. 1ª ed. Barcelona: Salvat, 1979.
- [13] Griffiths H. J., Sarno R. C. Radiología Moderna. 1ª ed. México: Nueva Editorial Interamericana, 1982.

- [14] Manual General de Protección Radiológica. Instituto Nacional de la Salud. Ministerio de Sanidad y Consumo. Publicación INSALUD N° 1627. 1995.
- [15] Ismael cosió Villegas. Manual de protección y seguridad radiológica, Instituto nacional de enfermedades respiratorias. 1992.
- [16] CE. Colección Protección Radiológica N° 118. Guía de indicaciones para la correcta solicitud de pruebas de radiodiagnóstico por imagen. 2000.
- [17] Código ANSI/ASME B31.8 Sistemas de tubería para la transmisión y distribución de gas. 1999.
- [18] Jiménez Salas, R., & Conejo Solís, M. Laboratorio de Tecnología de Materiales. Cartago: Escuela de Ciencia e Ingeniería de los Materiales. 2004.
- [19] API Standard 1104. Welding of Pipelines and Related Facilities. Edition 1999. (Norma API1104. Unión con soldadura de tuberías y dispositivo relacionados. Edición 1999).
- [20] Directiva 96/29/EURATOM. Normas Básicas para la Protección sanitaria de los trabajadores y de la población contra los riesgos que resultan de las radiaciones ionizantes (DOCE L 159 del 29 de Junio de 1996).
- [21] BACA, Urbina, Evaluación de Proyectos, 5ta Edición, Editorial Mc Graw Hill, Pág. 50-62, México, 2006.

ANEXOS

ANEXO I: GLOSARIO DE INDICACIONES DE DEFECTOS DE SOLDADURAS E INSPECCIONES NO DESTRUCTIVAS

- Soldadura:** La soldadura es un proceso de fabricación en donde se realiza la unión de dos materiales, (generalmente metales o termoplásticos), usualmente logrado a través de la coalescencia (fusión).
- Socavación:** La eliminación por fusión de la pared de una ranura de soldadura en el borde de una capa o cordón, con la formación de una depresión marcada en la pared lateral en la zona a la que debe unirse por fusión la siguiente capa o cordón.
- Porosidad:** La porosidad o fracción de huecos es una medida de espacios vacíos en un material, y es una fracción del volumen de huecos sobre el volumen total, entre 0-1, o como un porcentaje entre 0-100%.
- Penetración incompleta:** Esta expresión se usa para describir la situación en que el metal depositado y el metal base no se funden en forma integral en la raíz de la soldadura. Puede ser ocasionada porque la cara de la raíz de la soldadura de ranura no alcance la temperatura de fusión a toda su altura, o porque el metal de la soldadura no llegue a la raíz de una soldadura de filete, y deje el hueco ocasionado por el puenteo del metal de la soldadura desde un miembro al otro.
- Inclusiones no Metálicas:** Son los óxidos no metálicos que se encuentran a veces en forma de inclusiones alargadas y globulares en los cordones de soldadura. Durante la formación del depósito y la subsecuente solidificación del metal de la soldadura, tienen lugar muchas reacciones químicas entre los materiales

(fundente), o con la escoria producida. Algunos de los productos de dichas reacciones son compuestos no metálicos, solubles solo en cierto grado en el metal fundido. Debido a su menor densidad, tienden a buscar la superficie exterior del metal fundido, salvo que encuentren restricciones para ello

Agrietamiento: El agrietamiento de las juntas soldadas ocurre por la presencia de esfuerzos multidireccionales localizados que en algún punto rebasan la resistencia máxima del metal. Cuando se abren grietas durante la soldadura o como resultado de ésta, generalmente solo es aparente una ligera deformación de la pieza de trabajo.

Discontinuidad: Falta de continuidad; falta de cohesión (de unión); interrupción en la estructura física normal del material o producto.

Defecto: Discontinuidad cuyo tamaño, forma, orientación, ubicación o propiedades son inadmisibles para alguna norma específica. En particular, al realizar un ensayo no destructivo (END) se cataloga como defecto a toda discontinuidad o grupo de discontinuidades cuyas indicaciones no se encuentran dentro de los criterios de aceptación especificados por la norma aplicable.

Indicación: Respuesta o evidencia de una discontinuidad resultante de la aplicación de un END

Evaluación de Indicaciones: Proceso en el cual se decide la severidad del estado de la parte o pieza, luego de que la indicación ha sido interpretada. De la interpretación surgirá que la indicación es irrelevante o es una discontinuidad, y en este último caso surgirá que es un defecto o no. Dicha evaluación lleva a decidir, entonces, si

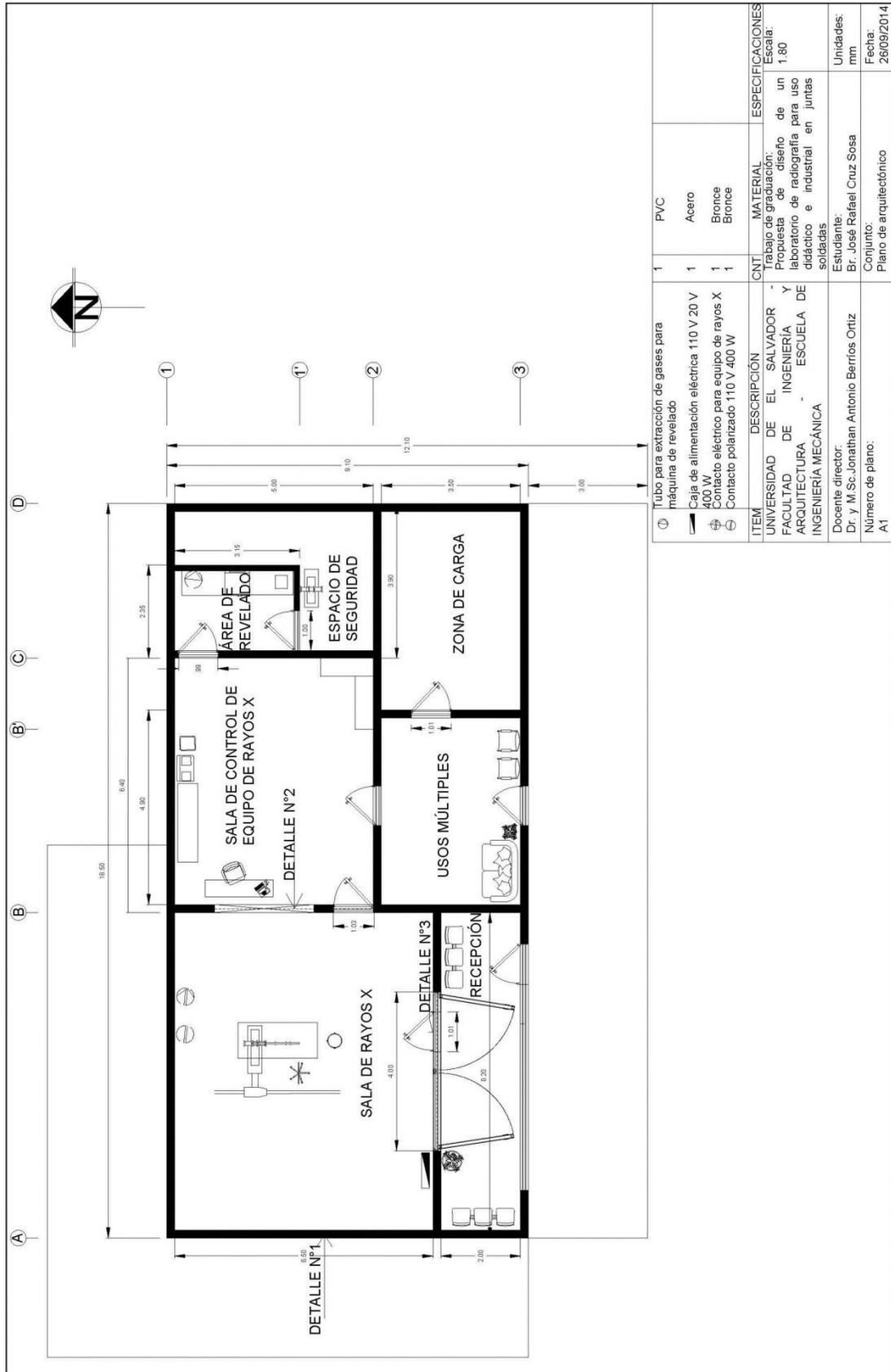
la parte o pieza debe ser rechazada, reparada o aceptada para su uso.

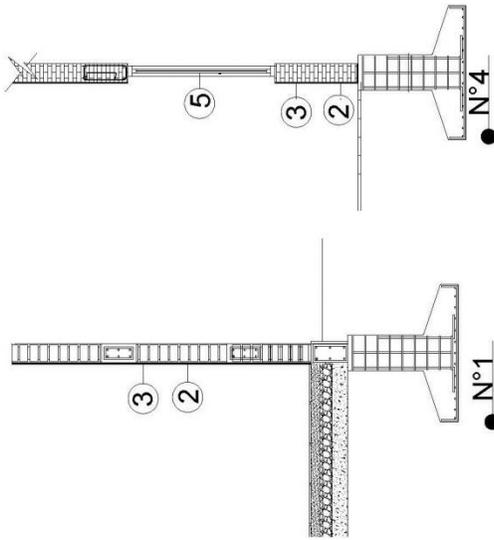
Indicaciones Irrelevantes: Las condiciones que las causan están presentes por diseño, por accidente, o por otras características de la pieza que no tienen relación con el defecto que está siendo investigado, por lo tanto se desprecian.

Fisuras: Ocurren en el metal base y en el metal de aporte, cuando las tensiones localizadas exceden la resistencia última del material. La mayor parte de las normas utilizadas en ANCAP consideran que las fisuras son, independientemente de su longitud, defectos y por lo tanto una vez detectadas deben removerse, eliminarse

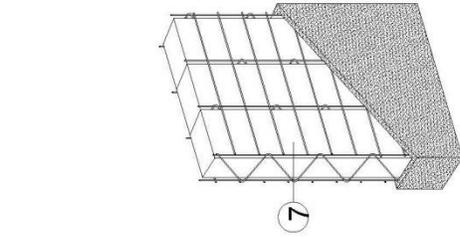
Desalineación: Esta discontinuidad se da cuando en las uniones soldadas a tope las superficies que deberían ser paralelas se presentan desalineadas; también puede darse cuando se sueldan

**ANEXO II: PLANOS ARQUITECTÓNICOS DEL LABORATORIO DE
RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL PARA PLACAS SOLDADAS**

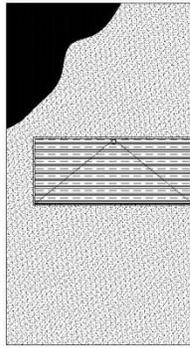




● N°1

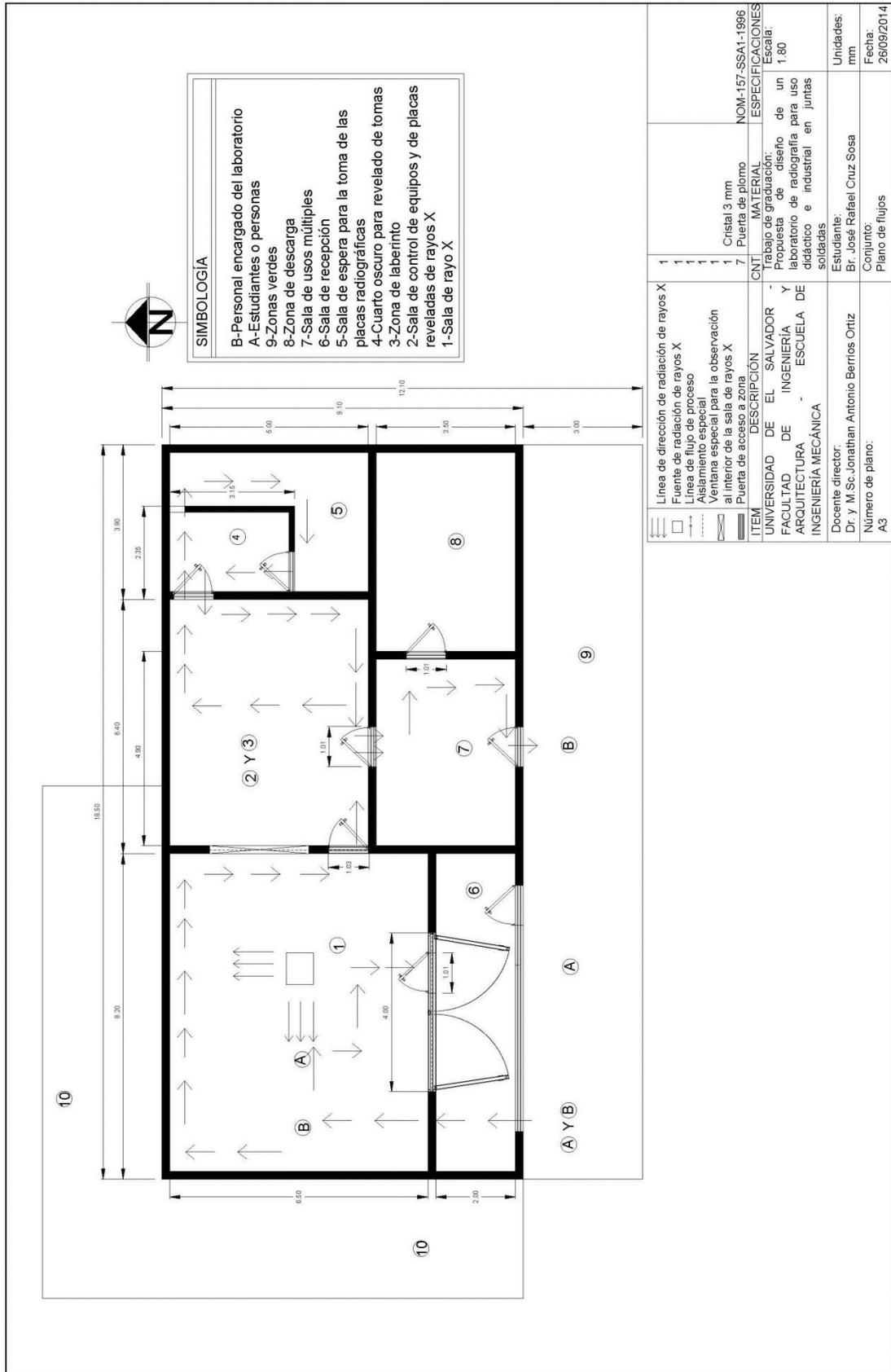


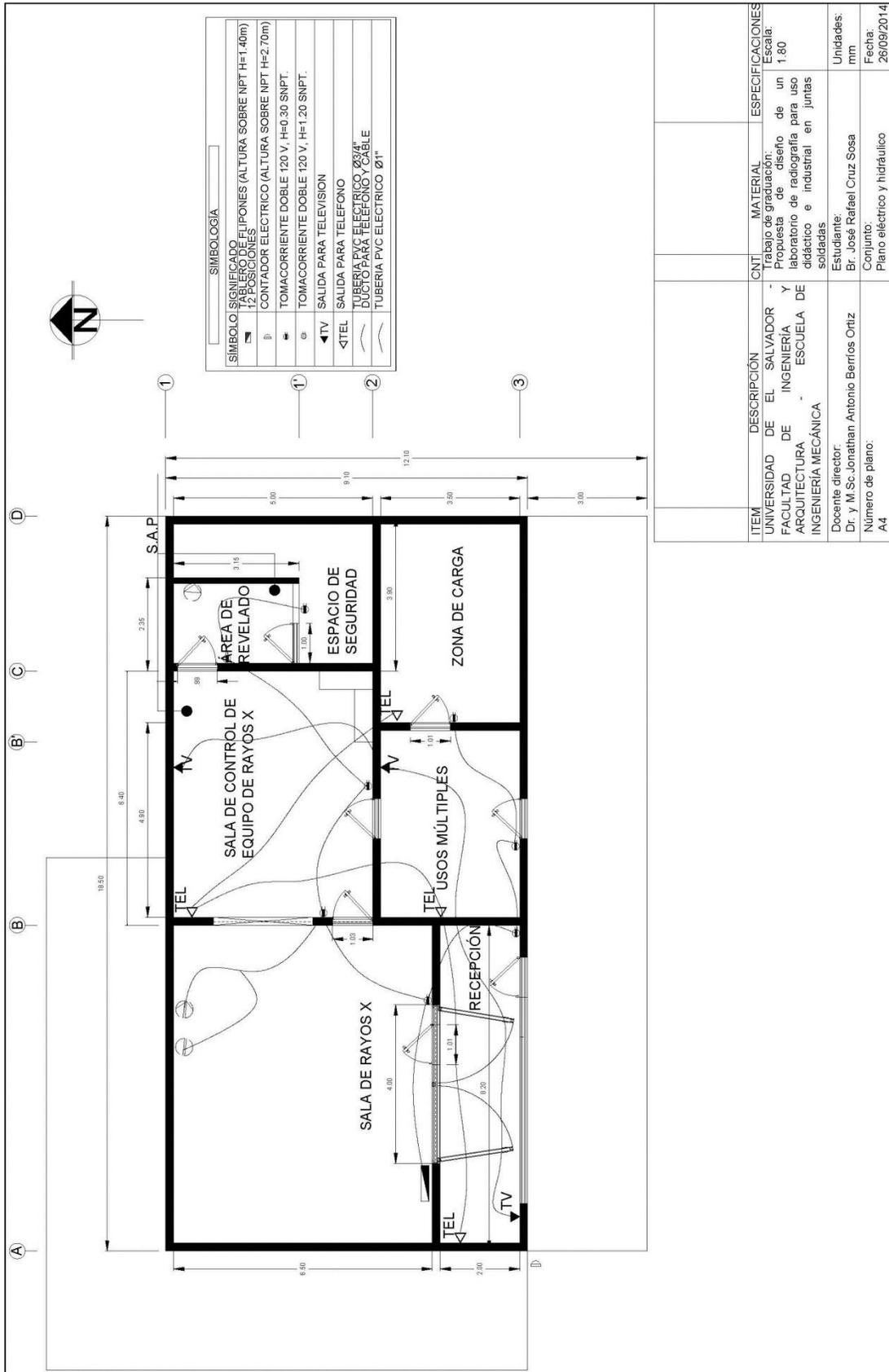
● N°7

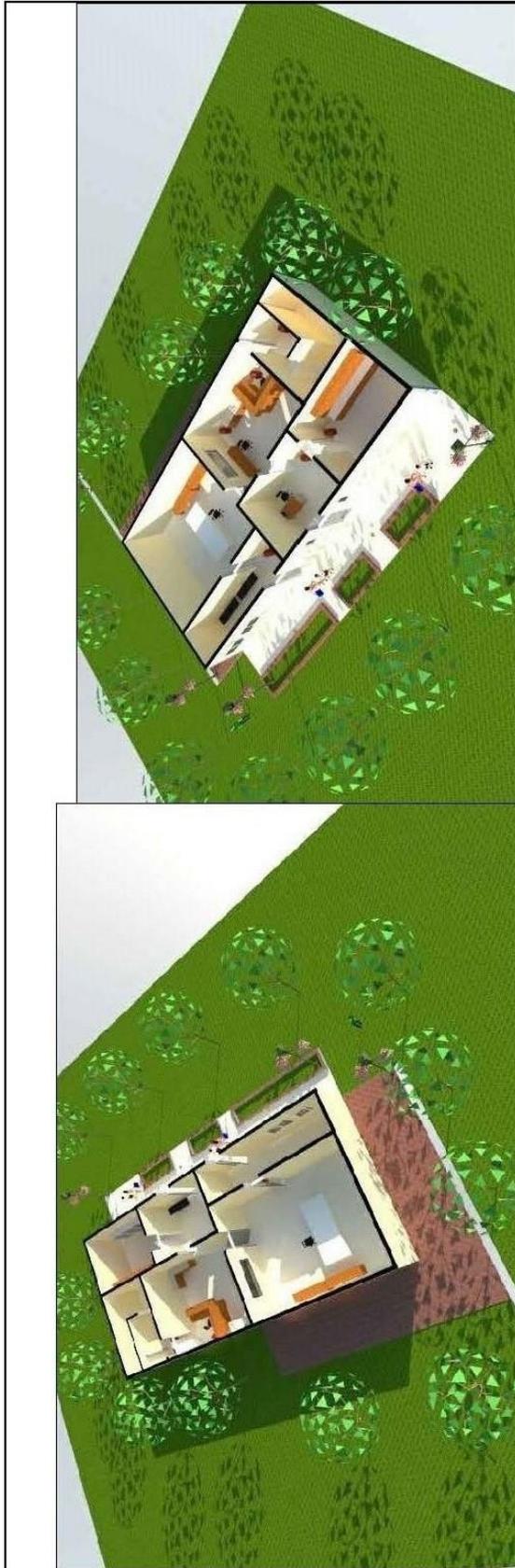


● N°6

| | | | | | |
|------|--|-----|---------------------------|-------------------------------------|-------------------|
| 7 | Aislamiento de plomo para rayos X | | 1 | Plomo | NOM-157-SSA1-1996 |
| 6 | Puerta emplomada | | 1 | Acero | |
| 5 | Cristal emplomado 3 mm de espesor | | 1 | Cristal | NOM-146-SSA1-1996 |
| 4 | Muro con ventana | | 1 | Muros | |
| 3 | Recubrimiento de mortero 2.5 mm de espesor | | 4 | Mortero | |
| 2 | Placa de plomo de 1 cm de espesor | | 4 | Plomo | |
| 1 | Muros | | 4 | Concreto reforzado | |
| ITEM | DESCRIPCIÓN | CNT | MATERIAL | ESPECIFICACIONES | |
| | UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR | - | | Trabajo de graduación: | |
| | FACULTAD DE INGENIERIA Y | | | Propuesta de diseño de un | |
| | ARQUITECTURA - ESCUELA DE | | | laboratorio de radiografía para uso | |
| | INGENIERIA MECÁNICA | | | didáctico e industrial en juntas | |
| | | | | soldadas | |
| | Docente director: | | Estudiante: | Unidades: | |
| | Dr. y M.Sc.Jonathan Antonio Berrios Ortiz | | Br. José Rafael Cruz Sosa | mm | |
| | Número de plano: | | Conjunto: | Fecha: | |
| | A2 | | Plano de detalles | 26/09/2014 | |







| | | | | |
|---|--|-----|--------------------|-------------------|
| 7 | Aislamiento de plomo para rayos X | 1 | Plomo | NOM-157-SSA1-1996 |
| 6 | Puerta emplomada | 1 | Acero | |
| 5 | Cristal emplomado 3 mm de espesor | 1 | Cristal | |
| 4 | Muro con ventana | 1 | Muros | |
| 3 | Recubrimiento de mortero 2.5 mm de espesor | 4 | Mortero | |
| 2 | Placa de plomo de 1cm de espesor | 4 | Plomo | |
| 1 | Muros | 4 | Concreto reforzado | NOM-146-SSA1-1996 |
| ITEM | DESCRIPCIÓN | CNT | MATERIAL | ESPECIFICACIONES |
| UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR - Trabajo de graduación: Propuesta de diseño de un laboratorio de radiografía para uso didáctico e industrial en juntas soldadas | | | | |
| FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA - ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA | | | | |
| Docente director: Br. José Rafael Cruz Sosa | | | | |
| Dr. y M. Sc. Jonathan Antonio Berrios Ortiz | | | | |
| Número de plano: A5 | | | | |
| Estudiante: Br. José Rafael Cruz Sosa | | | | |
| Unidades: mm | | | | |
| Conjunto: Plano de volumétrico | | | | |
| Fecha: 26/09/2014 | | | | |

ANEXO III: COTIZACIÓN DE EQUIPOS Y ACCESORIOS DE RADIOGRAFÍA INDUSTRIAL CON SUS RESPECTIVOS DETALLES



HIGH TECH SUPPLIES, INC.
12601 NW 115th Ave
Building A, Unit 114

Proforma Invoice

| | |
|----------|--------|
| Date | Number |
| 9/8/2014 | 17833 |

| |
|--|
| Name / Address |
| UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR Autopista Norte Final 25ª Avenida Norte, Ciudad Universitaria Final Av. Héroes y Mártires del 30 de Julio. El Salvador. C.A. Teléfono: 2225-8930 |

| |
|--|
| Ship To |
| UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR Autopista Norte Final 25ª Avenida Norte, Ciudad Universitaria Final Av. Héroes y Mártires del 30 de Julio. El Salvador. C.A. Teléfono: 2225-8930 |

| | | | | |
|----------|--------|-----------|-----|--------------|
| P.O. No. | Terms | Due Date | Rep | Incoterm |
| Pending | Net 30 | 10/8/2014 | FP | EXworksMiami |

| Item | Description | Qty | Rate | Total |
|---------|--|-----|-----------|-----------|
| 1540740 | ""ERESCO 42 MF4 with digital ERESO MF4 control, consisting of: 2515810 "ERESCO 42MF4 Air-cooled Tube Head 200kV - 900W Single Focal Spot 3.0mm EN12543 / 1.5 IEC336 {GEIT-30173}" Designed as a field portable unit with the larger focal spot and 900W output. IP65 Protected. 2523770: Digital ERESO MF4 Control , IP65 protected 9961430: Canvas Bag 7458400: Set of Accessories Fuses, Keys and Spare Bulbs 1540745: (2) Operation Manuals | 1 | 34,500.00 | 34,500.00 |
| 7261221 | USA ERESO MF4 Label and Lens Kit Includes: Warning and Info labels in both English and French. Includes Red lens for X-ray on lamp. | 1 | 49.00 | 49.00 |
| 7458220 | Connecting Cable MF4 20m long | 1 | 1,340.00 | 1,340.00 |
| 7302600 | Power connecting cable 115VAC | 1 | 265.00 | 265.00 |

Subtotal

Sales Tax (0.0%)

Total

HIGH TECH SUPPLIES, INC.
NDT, WELDING & SAFETY PRODUCTS
WE SELL PRODUCTS THAT MAKE THE WORLD SAFE!
E-MAIL: info@hightechndt.com
Ph: 305 822 4077, Fax 305 822 4577

Signature _____



HIGH TECH SUPPLIES, INC.
12601 NW 115th Ave
Building A, Unit 114

Proforma Invoice

| Date | Number |
|----------|--------|
| 9/8/2014 | 17833 |

| Name / Address |
|--|
| UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR Autopista Norte Final 25ª Avenida Norte, Ciudad Universitaria Final Av. Héroes y Mártires del 30 de Julio. El Salvador. C.A. Teléfono: 2225-8930 |

| Ship To |
|--|
| UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR Autopista Norte Final 25ª Avenida Norte, Ciudad Universitaria Final Av. Héroes y Mártires del 30 de Julio. El Salvador. C.A. Teléfono: 2225-8930 |

| P.O. No. | Terms | Due Date | Rep | Incoterm |
|----------|--------|-----------|-----|--------------|
| Pending | Net 30 | 10/8/2014 | FP | EXworksMiami |

| Item | Description | Qty | Rate | Total |
|---------|---|-----|-------------------------|-------------|
| 7458431 | ACCESORIOS (FAVOR SELECCIONAR SEGUN REQUERIDO POR CLIENTE) 20m Extension Cable for MF4 Maximum Total Length between control and X-ray tube: 60m. Cable is NOT same as control cable. | 1 | 1,315.00 | 1,315.00 |
| 7448970 | CARRYING CRADLE FOR ERESKO 160-200MF3 TUBE. Carrying Cradle Allows the Holding Rails on the 4-Legged Stand to Support Tubehousing. Tubehousing can also be rotated within the carrying cradle. | 1 | 738.00 | 738.00 |
| 2553740 | Four-Legged Stand with holding rails, (Requires above Carrying Cradle for mounting) | 1 | 1,660.00 | 1,660.00 |
| 6314500 | "Transport-and Positioning Cart for ERESKO MF3/4 200 and 300kV units" | 1 | 3,450.00 | 3,450.00 |
| 7260960 | Aluminum Transport Box for Radiating Unit | 1 | 1,375.00 | 1,375.00 |
| 7260722 | Aluminum Transport Box for ERESKO Control | 1 | 1,065.00 | 1,065.00 |
| 6020931 | Lead Plug for Tube Window Used to shield primary beam during tube conditioning. | 1 | 1,306.00 | 1,306.00 |
| 7205980 | HAND HELD REMOTE CONTROL,40Mts Cable | 1 | 458.00 | 458.00 |
| 7454961 | Warning Flash Lamp "RED" w/cable (Fail Safe) 115VAC | 1 | 1,169.00 | 1,169.00 |
| 7192730 | Tripod Stand for Flash Lamp | 1 | 167.00 | 167.00 |
| | NOTAS: 1-Delivery : 3-4 weeks ARO FROM FACTORY | | | |
| | | | Subtotal | \$48,857.00 |
| | | | Sales Tax (0.0%) | \$0.00 |
| | | | Total | \$48,857.00 |

HIGH TECH SUPPLIES, INC.
NDT, WELDING & SAFETY PRODUCTS
WE SELL PRODUCTS THAT MAKE THE WORLD SAFE!
E-MAIL: info@hightechndt.com
Ph: 305 822 4077, Fax 305 822 4577

Signature _____