



UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
Facultad Técnica



CÁLCULO DE PARÁMETROS DE
RADIACIÓN EN EQUIPOS DE RAYOS X,
PARA LA DETECCIÓN DE FISURAS
INTERNAS EN METALES, COMO UNA
TÉCNICA RCM

TESIS DE MAESTRÍA

Presentada por:

Juan Carlos Chura Choque

Dirigida por:

MSc. Ing. Carlos Andrade

La Paz - Bolivia

2010



TESIS DE MAESTRÍA
CALCULO DE PARAMETROS DE
RADIACION EN EQUIPOS DE RAYOS X,
PARA LA DETECCION DE FISURAS
INTERNAS EN METALES, COMO UNA
TECNICA RCM

Presentada por:

Juan Carlos Chura Choque

Facultad Técnica

Universidad Mayor de San Andrés - Bolivia

Trabajo de conclusión
Para la obtención del grado de
Maestría en Gestión del Mantenimiento



Tesis sustentada ante el cuerpo docente del Programa de Postgrado de la Facultad Técnica en la Universidad Mayor de San Andrés, como requisito necesario para la obtención del grado de:

Maestría en Gestión del Mantenimiento

Dirigida por:

Msc. Ing. Carlos Andrade

Tribunal Examinador:

Dr. Ing. Marco Ruiz

MSc. Lic. Jhonny Tenorio Misto

Coordinador del Postgrado:

MSc. Ing. Victor Herrera Cusicanqui

Dedicatoria

A mi querida madre, la cual supo orientarme y darme lo más importante en la vida, confianza en mí, la cual me ve y me cuida desde el cielo.

A mi hermano Esteban y Juan por toda la ayuda y apoyo



A mi esposa, compañera y amiga Mónica, sin la cual este proyecto no se hubiera culminado, a mis hijos Saúl y Jazmín que son la luz que ilumina mi corazón.

Agradecimientos y reconocimientos

A mi asesor MSc. Ing. Carlos Andrade, por haberme brindado sus conocimientos, dando el camino correcto a mi proyecto con sus oportunos comentarios.

A los miembros del Tribunal examinador: Dr. Ing. Marco Ruiz MSc. lic. Jhonny Tenorio, mi agradecimiento por sus consejos y opiniones.

Al Lic. Juan Carlos Valencia por la colaboración, experiencia y atinados comentarios.

A un amigo muy especial José Luis Mamani Flores por la ayuda moral, material y desinteresada.

A Tsr. Willy Llamaca un experimentado radiólogo que conoce todo nuestro interior con sus valiosas radiografías.



Resumen

El tema central de esta tesis, es el desarrollo de una metodología, que permita utilizar un equipo de rayos X médico para tomar radiografías industriales, esta técnica es parte de los Ensayos No destructivos (END), los cuales son utilizados en mantenimiento del área industrial.

Para comprobar si las tomas radiográficas experimentales pueden detectar discontinuidades, se utilizan placas previamente preparadas y soldadas, las mismas que han sido elaboradas con grietas, escoria y fisuras.

Las radiografías nos permitirán observar si las piezas examinadas tienen fisuras, huecos, rajaduras, discontinuidad o algún desperfecto en su interior.

También se pretende demostrar que las radiografías tomadas puedan ser utilizadas como una herramienta para realizar mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).

Finalmente podemos mencionar que el RCM fue desarrollado a fines de los sesenta por la industria aeronáutica para mejorar las técnicas de mantenimiento de entonces (el mantenimiento preventivo se centraba en recomendaciones hechas por el fabricante las cuales no satisfacían las expectativas).

Esto llevo a realizarnos importantes preguntas en la investigación:

- La confiabilidad de soldaduras cumplen un papel importante en procesos de mantenimiento centrado en la confiabilidad.
- La confiabilidad de las piezas metálicas (engranajes, tubos, etc.) ejercen un papel crítico en procesos de mantenimiento centrado en la confiabilidad.
- El RCM es el sistema de mantenimiento más adecuado para la incorporación de la radiografía industrial.

El resultado de esta investigación demostró eso es posible tomar radiografías industriales con la ayuda de un equipo de rayos x medico.



Palabras clave: *Análisis no Destructivo, Equipo de Rayos X Medico, Mantenimiento Centrado en la Confiabilidad*

Abstract

The central topic of this thesis is the development of a methodology that allows using an x-ray medical system to take industrial x-rays. This technique it is part of the Non Destructive Examination (END), which are used in maintenance of the industrial area.

To check if the takings experimental radiograph can detect discontinuities, previously prepared badges and soldiers are used the same ones that have been elaborated with cracks, scum and fissures. The x-rays will allow us to observe if the examined pieces have fissures, holes, cracks, discontinuity or some damage in their interior.

In Addition is possible to demonstrate that the taken x-rays can be used as a tool to carry out maintenance centered in the reliability (RCM).

Finally we can mention that the RCM was developed at the end of the sixty by the Aeronautical Industry to improve the maintenance techniques of that time (where the preventive maintenance was centered in recommendations made by the maker which did not satisfy the expectations). This takes to be carried out important questions in the investigation such as:

- The dependability of welding completes an important paper in maintenance processes centered in the reliability.
- The dependability of the metallic pieces (engine, pipes, etc.) which exercise a critical paper in maintenance processes centered in the reliability.
- The RCM is the system of more appropriate maintenance for the incorporation of the industrial x-ray.

The result of this investigation demonstrated that is possible to take industrial radiograph with the help of this x-ray medical system

Key words:

Non Destructive Analysis, System of Rays X Medical, Maintenance Centered in the Reliability?



Índice de contenido

Dedicatoria	iii
Agradecimientos y reconocimientos	iv
Resumen	v
Abstract	vi
Índice de contenido	vii
Índice de figuras	viii
Índice de cuadros	ix
Capítulo i	
Introducción	
1.1 Introducción	1
1.2 Planteamiento del problema	3
1.3.1 Objetivo General	4
1.3.2 Objetivos específicos	5
1.4 Justificación de la investigación	5
1.5 Alcances y limites de la investigación	5
1.6 Hipótesis de la investigación	5
1.7 Metodología de la investigación (métodos, técnicas, clasificación de la forma y tipo de investigación)	6
1.8 Alcances y límites	6
Capítulo II	
Marco teórico referencial	
2.1 introducción a los rayos x.	7
2.1.1 descubrimiento de los rayos x	8
2.1.2 producción de rayos x	11
2.1.3 energía cinética de la placa	12
2.1.4 sistemas de detección.-	13
2.1.5 espectro continuo	13
2.1.6 espectro característico	15
2.1.7 interacción de los rayos x con la materia	17
2.1.8 riesgos a la salud	17
2.1.9 aplicaciones médicas	18
2.1.10 otras aplicaciones	18
2.2 análisis no destructivos.	19
2.2.1 introducción a los ensayos no destructivos (e.n.d)	19
2.2.2 radiografía industrial	21



2.3. Definición defectos y discontinuidades	22
2.3.1 tipos de discontinuidades	23
2.3.2 discontinuidades inherentes	24
2.3.3 soldadura	25
2.3.4 discontinuidades superficiales:	25
2.3.5 falta de penetración:	26
2.3.6 concavidad externa o falta de relleno	27
2.3.7 concavidad interna:	27
2.3.8 socavaduras o mordeduras de bordes	28
2.3.9 quemado	29
2.3.10 salpicaduras	30
2.3.11 fisuras internas	30
2.3.12 fisuras longitudinales:	31
2.3.13 fisuras transversales:	32
2.3.14 fisuras en caliente	32
2.3.15 fisuras en frío:	33
2.3.16 fisuras alrededor del cordón (en zac)- fisuración en	34
2.3.17 falta de fusión en el bisel	36
2.3.18 falta de fusión entre pasadas:	36
2.3.19 inclusiones gaseosas:	38
2.3.20 porosidad esférica aislada:	38
2.3.21 porosidad alineada:	40
2.3.22 inclusiones de escorias aisladas:	40
2.3.23 línea de escorias (huella de carro):	42
2.3.24 escorias en el interior de perforaciones:	42
2.3.25 inclusiones metálicas:	43
2.3.26 inclusiones aisladas:	43
2.4. Norma asme (artículos referidos a radiografía industrial)	44
2.4.2 qw-191.2.1 terminología	44
2.4.3 qw-191.2.2 normas de aceptación	45
2.4.4 qw-191.3 registro de pruebas.	46
2.4.5 qw-304.1 examen.	47
2.4.6 qw-304.2 falla en satisfacer normas radiográficas.	47
2.4.7 qw-305.1 examen.	47
2.4.8 qw-321.3 nueva prueba inmediata usando radiografía.	48
2.4.9 qw-404.30	49
Capítulo III	



Propuesta o modelo	
3.1 introducción	50
3.1.1 película radiográfica agfa ortho cp plus y equipo revelador	50
3.1.2 equipo de rayos x dx2 (uso medico)	51
3.1.3 preparación de las de placas de prueba	54
3.1.4 radiografías de placas alto 16.3 cm ancho 102.1 cm 198 largo	57
3.1.5 tomas radiográficas de placa 2,3 y 4	58
3.1.6 tomas radiográficas a un instrumento	60
3.1.7 tomas radiográficas cabezal de bomba de aire	61
Capítulo IV	
Análisis de los resultados	
4.1 antecedentes a la aplicación	63
4.2 análisis de los datos experimento 1	64
4.3 análisis de los datos experimento 2	65
4.4 análisis de los datos experimento 3	66
4.6 análisis de los datos experimento 4	67
4.6 análisis de las piezas según norma asme.	69
4.7 aplicación de la radiografía como una estrategia rcm (mantenimiento centrado en la confiabilidad)	72
4.8 Propuesta de implementación Radiografía.	74
4.9 Criterios de Criticidad	92
Capítulo V	
Resultados y conclusiones	
5.1 presentación, análisis e interpretación	99
5.2 comprobación de hipótesis	99
5.3 conclusiones	100
5.4 sugerencia para investigación consecutiva	100
5.6 Sugerencias del equipo al sacar radiografías	101
Referencias bibliográficas	102
Anexos	102



Índice de Figuras

Figura N° 1 longitud de onda rayos X	7
Figura N° 2 tubo de rayos X	12
Figura N° 3 generación de rayos X	12
Figura N° 4 Radiación Electromagnética	16
Figura N° 5 Tomas Radiográfica	22
Figura 6: Exceso de penetración.	25
Figura 7: Falta de penetración.	26
Figura 8: Concavidad externa.	27
Figura 9: Concavidad interna	28
Figura 10: a) Socavaduras b) mordeduras de bordes	29
Figura 11: Quemado	30
Figura 12: Fisuras longitudinales	32
Figura 13: Fisuras transversales	34
Figura 14: Fisuras alrededor del cordón (vista con Partículas magnetizables).	35
Fig. 15: Falta de fusión de un bisel en la raíz.	36
Fig. 16: Falta de fusión entre pasadas.	37
Figura 17: Porosidad Esférica aislada	39
Figura 18 Porosidad agrupada	39
Figura 19: Porosidad alineada	40
Figura 20: Inclusiones de escorias aisladas.	41
Figura 21: Línea de escorias	42
Figura 22: Inclusiones de tungsteno	43
Fig. 23 inclusiones no aisladas	44-xi-
Figura N°24 película radiográfica	51
Figura N°25 revelador, fijador para negativos	51
Figura N° 26 fotografía cabezal equipo de rayos X	52
Figura N° 27 Control rayos X	52
Figura N° 28 cama para sacar rayos X.	52
Figura N° 29 Negatoscopio instrumento utilizado para observar las placas radiográficas	53
Figura N° 30 PIEZA 1	54



Figura N° 31 PIEZA 4	54
Figura N°32 pieza 3	54
Figura N°34 PIEZA 2	54
Figura N° 35 PROCESO DE SOLDADURA figura N°	55
Figura N° 36 placas soldadas Figura N° placas soldadas	55
Figura N° 37 limpieza de escoria en las placas de prueba	56
Figura N°38 placas de prueba terminadas	56
Figura N° 39 radiografía con parámetros de tiempo 3/20 segundos, Kilovoltios	50 57
Figura N° 40 radiografía con parámetros de tiempo 3/10 segundos, Kilovoltios	68 57
Figura N° 41 radiografía con parámetros de tiempo 1/2 segundos, Kilovoltios	88 57
Figura N° 42 radiografía con parámetros de tiempo 1 segundos, Kilovoltios	110 57
Figura N° 43 radiografía de placas con parámetros de tiempo 1/2 segundos, 78 Kilovoltios	58
Figura N° 44 radiografía de placas con parámetros de tiempo 1 segundos, 78 Kilovoltios	59
Figura N° 45 radiografía de un milímetro con parámetros de tiempo 3/10 segundos, 78 Kilovoltios	60
Figura N° 46 radiografía con parámetros de tiempo 2 segundos, 115 Kilovoltios	-xii- 61
Figura N° 47 radiografía con parámetros de tiempo 1 segundos, 90 Kilovoltios	61
Figura N° 48 radiografía con parámetros de tiempo 2/3 segundos, 80 Kilovoltios	62
Figura N° 49 radiografía con parámetros de 1/2 segundo, 60 Kilovoltios	62
Figura N° 50 radiografía con parámetros de tiempo 1/3 segundos, 60 Kilovoltios	62
Figura N° 51: Proceso de toma radiográfica industrial	63
Figura N° 52 validación de datos experimento 1	65
Figura N° 53 experimento 2, valores óptimos columna verde	66
Figura N° 54 grafico de resultados experimento 3	67
Figura N° 55 grafico experimento 4	69
Figura N° 56 detección de fisuras en placa	70
Figura N° 57 detección de fallas en tres piezas	71

Capítulo I

Introducción

1.1 Introducción

Los Rayos X, los Ensayos No Destructivos (END) son metodologías que son conocidas en la actualidad, se han realizado muchas investigaciones en los dos campos, pero se debe reconocer que no están al alcance de muchas empresas, técnicos, y otros profesionales en nuestro medio, algunos factores que podemos mencionar son: el costo y la falta de capacitación, además los equipos deben ser de origen industrial, esto hace que sean inaccesibles.

El tema central de esta tesis, es el desarrollo de una metodología, que permita utilizar un equipo de rayos X médico el cual pueda tomar radiografías industriales, esta técnica es parte de los Ensayos No destructivos (END), los cuales son utilizados en mantenimiento del área industrial.

El documento se ha dividido en cinco capítulos de la siguiente manera:

Primer capítulo

En este se colocan los objetivos, la hipótesis, delimitación del problema, metodología de investigación, etc. Los cuales dan el lineamiento a todo el proyecto, sabiendo previamente donde estamos y hacia donde queremos llegar.

Segundo capítulo.

En este capítulo se realiza una investigación de toda la teoría que pueda respaldar a la investigación, en la cual se puede mencionar el origen de los rayos X, la aplicación de los ensayos no destructivos, las técnicas de soldadura, y las normas ASME que se deben cumplir al realizar la soldadura.

Tercer capítulo.

Teniendo una teoría bastante desarrollada, se procede a realizar una experimentación, con placas de prueba las cuales serán objeto de nuestra investigación.



Se sacan radiográficas experimentales de las placas previamente preparadas y soldadas, las mismas que han sido elaboradas con grietas, escoria y fisuras.

Las radiografías nos permitirán observar si las piezas examinadas tienen fisuras, huecos, rajaduras, discontinuidad o algún desperfecto en su interior.

Cuarto capítulo.

Realizada la experimentación, se procede a realizar un análisis de los resultados obtenidos en el tercer capítulo, en el cual se demostrara si los objetivos, hipótesis, se han demostrado, además se realiza una propuesta para aplicar esta metodología en mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM).

Quinto capítulo.

Finalmente podemos concluir con este capítulo, el cual sacamos conclusiones de toda la experimentación, y de los resultados obtenidos, posteriormente se da algunas recomendaciones para futuras investigaciones, como principales conclusiones son:

Demostrar que es posible tomar radiografías industriales con la ayuda de un equipo de rayos x medico.

Esta metodología puede ser utilizada como una técnica de mantenimiento centrado en la confiabilidad.

1.2 Planteamiento del Problema

Cuando se utiliza equipos que funcionan en condiciones elevadas de temperatura, presión, humedad, como ser: calderos, compresores, garrafas, etc.; se necesita garantizar que el material utilizado no tenga fisuras internas, las cuales causen accidentes, el tipo de soldadura utilizada debe cumplir normas de calidad y seguridad, de esta manera evitar explosiones y fisuras que puedan venir por defectos de fábrica.

Los sentidos con los que cuenta el hombre no permiten percibir porosidades, grietas, fisuras, rajaduras internas en los materiales. Por lo cual debe reducir la subjetividad del inspector mediante alguna técnica.

Otro factor muy importante es el factor económico, pues al diseñar piezas con defectos internos, se perderá mercado, clientes y posiblemente causar daños al personal y la empresa perderá prestigio e ira al fracaso.



1.3 Objetivos de la Investigación

1.3.1 Objetivo General

Calcular los parámetros de radiación para obtener radiografías industriales, que permitan detectar fisuras internas en materiales metálicos y soldaduras

1.3.2 Objetivos Específicos

- Utilizando los rayos X, Cuantificar matemáticamente la intensidad de radiación necesaria, para detectar fisuras internas en materiales y soldaduras.
- Determinar el tiempo necesario de exposición de películas expuestas a los rayos X, para obtener imágenes confiables.
- Determinar los parámetros de exposición como ser: distancia focal, intensidad de radiación, tiempo de exposición en materiales y soldaduras.

1.4 Justificación de la Investigación

En las actividades rutinarias de mantenimiento industrial, comercial y doméstico particular la soldadura es utilizada muy frecuentemente, y el proceso de certificación es indispensable, para garantizar que la soldadura no tenga fisuras internas, ya que la misma estará expuesta a condiciones externas, como ser: presión, temperatura, corrosión. Etc.

En la actualidad se carece de estudios dedicados a cuantificar la intensidad, tiempo y el tipo de radiación utilizada para determinar eficientemente fisuras internas en soldaduras.

En este sentido se plantea la presente investigación. Por que todos los procesos industriales deben garantizar la seguridad, estabilidad y confiabilidad.

1.5 Alcances y Limites de la investigación

El alcance de este trabajo, es estudiar los de parámetros de radiación en equipos médicos para su aprovechamiento en la detección de fisuras internas en distintos tipos de soldaduras y/o materiales.



El tiempo de exposición en los materiales será de 15 milisegundos a 3 segundos como máximo de exposición a la radiación electromagnética.

Se limita el análisis al empleo de un equipo de rayos X del tipo convencional.

Se limita la investigación en materiales con espesores mayores a 3 pulgadas.

1.6 Hipótesis De La Investigación

El cálculo y determinación adecuados de los parámetros de radiación en equipos médicos de rayos X aseguran una correcta detección de fisuras internas en materiales y soldaduras.

1.7 Metodología De La Investigación (Métodos, Técnicas, Clasificación De La Forma Y Tipo De Investigación)

El análisis del comportamiento de las placas expuestas a la radiación, partirá por observar cada uno de los componentes que afectan y así posteriormente analizar el conjunto.

A partir de una investigación experimental, se pretende analizar el tipo de radiación más adecuado para la detección de fisuras en soldaduras y en base a un diseño factorial se podrá cuantificar los resultados.

1.8 Alcances Y Límites

El alcance de este trabajo, es estudiar los parámetros de radiación en equipos médicos para su aprovechamiento en la detección de fisuras internas en distintos tipos de soldaduras y/o materiales.

El tiempo de exposición en los materiales será de 15 milisegundos a 3 segundos como máximo de exposición a la radiación electromagnética.

Se limita el análisis al empleo de un equipo de rayos X del tipo convencional.

Se limita la investigación en materiales con espesores mayores a 3 pulgadas.



Capítulo II

Marco Teórico Referencial

2.1 Introducción a los Rayos X.

Los rayos X son una radiación electromagnética de la misma naturaleza que las ondas de radio, las ondas de microondas, los rayos infrarrojos, la luz visible, los rayos ultravioleta y los rayos gamma. La diferencia fundamental con los rayos gamma es su origen: los rayos gamma son radiaciones de origen nuclear que se producen por la desexcitación de un nucleón de un nivel excitado a otro de menor energía y en la desintegración de isótopos radiactivos, mientras que los rayos X surgen de fenómenos extra nucleares, a nivel de la órbita electrónica, fundamentalmente producidos por desaceleración de electrones. La energía de los rayos X en general se encuentra entre la radiación ultravioleta y los rayos gamma producidos naturalmente. Los rayos X son una radiación ionizante porque al interactuar con la materia produce la ionización de los átomos de la misma, es decir, origina partículas con carga (iones).

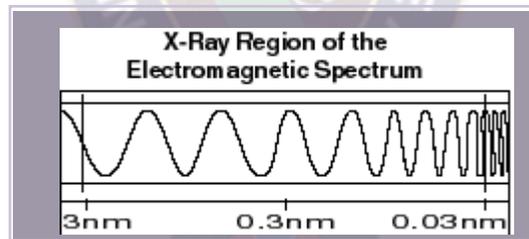


Figura N° 1 longitud de onda rayos X

2.1.1 Descubrimiento de los Rayos X

La historia de los rayos X comienza con los experimentos del científico británico William Crookes, que investigó en el siglo XIX los efectos de ciertos gases al aplicarles descargas de energía. Estos experimentos se desarrollaban en un tubo vacío, y electrodos para generar corrientes de alto voltaje. Él lo llamó tubo de Crookes. Pues bien, este tubo, al estar cerca de placas fotográficas, generaba en las mismas algunas imágenes borrosas. Pese al



descubrimiento, Crookes no continuó investigando este efecto.

Es así como Nikola Tesla, en 1887, comenzó a estudiar este efecto creado por medio de los tubos de Crookes. Una de las consecuencias de su investigación fue advertir a la comunidad científica el peligro para los organismos biológicos que supone la exposición a estas radiaciones.

Pero hasta el 8 de noviembre de 1895 no se descubrieron los rayos X; el físico Wilhelm Conrad Röntgen, realizó experimentos con los tubos de Hittorff-Crookes (o simplemente tubo de Crookes) y la bobina de Ruhmkorff. Analizaba los rayos catódicos para evitar la fluorescencia violeta que producían los rayos catódicos en las paredes de un vidrio del tubo. Para ello, crea un ambiente de oscuridad, y cubre el tubo con una funda de cartón negro. Al conectar su equipo por última vez, llegada la noche, se sorprendió al ver un débil resplandor amarillo-verdoso a lo lejos: sobre un banco próximo había un pequeño cartón con una solución de cristales de platino-cianuro de bario, en el que observó un oscurecimiento al apagar el tubo. Al encender de nuevo el tubo, el resplandor se producía nuevamente. Retiró más lejos la solución de cristales y comprobó que la fluorescencia se seguía produciendo, así repitió el experimento y determinó que los rayos creaban una radiación muy penetrante, pero invisible. Observó que los rayos atravesaban grandes capas de papel e incluso metales menos densos que el plomo.

En las siete semanas siguientes, estudió con gran rigor las características propiedades de estos nuevos y desconocidos rayos. Pensó en fotografiar este fenómeno y entonces fue cuando hizo un nuevo descubrimiento: las placas fotográficas que tenía en su caja estaban veladas. Intuyó la acción de estos rayos sobre la emulsión fotográfica y se dedicó a comprobarlo. Colocó una caja de madera con unas pesas sobre una placa fotográfica y el resultado fue sorprendente. El rayo atravesaba la madera e impresionaba la imagen de las pesas en la fotografía. Hizo varios experimentos con objetos como una brújula y el cañón de una escopeta. Para comprobar la distancia y el alcance de los rayos, pasó al cuarto de al lado, cerró la puerta y colocó una placa fotográfica. Obtuvo la imagen de la moldura, el gozne de la puerta e incluso los trazos de la pintura que la cubría.



Cien años después ninguna de sus investigaciones ha sido considerada como casual. El 22 de diciembre, un día memorable, se decide a practicar la primera prueba con humanos. Puesto que no podía manejar al mismo tiempo su carrito, la placa fotográfica de cristal y exponer su propia mano a los rayos, le pidió a su esposa que colocase la mano sobre la placa durante quince minutos. Al revelar la placa de cristal, apareció una imagen histórica en la ciencia. Los huesos de la mano de Berta, con el anillo flotando sobre estos: la primera imagen radiográfica del cuerpo humano. Así nace una de las ramas más poderosas y excitantes de la Medicina: la Radiología.

El descubridor de estos tipos de rayos tuvo también la idea del nombre. Los llamó "rayos incógnita", o lo que es lo mismo: "rayos X" porque no sabía que eran, ni cómo eran provocados. Rayos desconocidos, un nombre que les da un sentido histórico. De ahí que muchos años después, pese a los descubrimientos sobre la naturaleza del fenómeno, se decidió que conservaran ese nombre.

La noticia del descubrimiento de los rayos "X" se divulgó con mucha rapidez en el mundo. Roentgen fue objeto de múltiples reconocimientos, el emperador Guillermo II de Alemania le concedió la Orden de la Corona, fue honrado con la medalla Rumford de la Real Sociedad de Londres en 1896, con la medalla Barnard de la Universidad de Columbia y con el premio Nobel de Física en 1901.

Cabe recalcar que el descubrimiento de los rayos "X" fue el producto de la investigación, experimentación y no por accidente como algunos autores afirman; W.C. Roentgen, hombre de ciencia, agudo observador, investigaba los detalles más mínimos, examinaba las consecuencias de un acto quizás casual, y por eso tuvo éxito donde los demás fracasaron. Además este genio no quiso patentar su descubrimiento cuando Thomas Alva Edison se lo propuso, manifestando que lo legaba para beneficio de la humanidad.

2.1.2 Producción de Rayos X

Los rayos X son productos de la desaceleración rápida de electrones muy energéticos (del orden 1000eV) al chocar con un blanco metálico. Según la mecánica clásica, una carga acelerada emite radiación electromagnética, de este modo, el choque produce un espectro continuo de rayos X (a partir



de cierta longitud de onda mínima). Sin embargo experimentalmente, además de este espectro continuo, se encuentran líneas características para cada material.

La producción de rayos X se da en un tubo de rayos X que puede variar dependiendo de la fuente de electrones y puede ser de dos clases: tubos con filamento o tubos con gas.

El tubo con filamento es un tubo de vidrio al vacío en el cual se encuentran dos electrodos en sus extremos. El cátodo es un filamento caliente de tungsteno y el ánodo es un bloque de cobre en el cual esta inmerso el blanco. El ánodo es refrigerado continuamente mediante la circulación de agua, pues la energía de los electrones al ser golpeados con el blanco, es transformada en energía térmica en un gran porcentaje. Los electrones generados en el cátodo son enfocados hacia un punto en el blanco (que por lo general posee una inclinación de 45°) y producto de la colisión los rayos X son generados. Finalmente el tubo de rayos X posee una ventana la cual es transparente a este tipo de radiación elaborada en berilio, aluminio o mica.

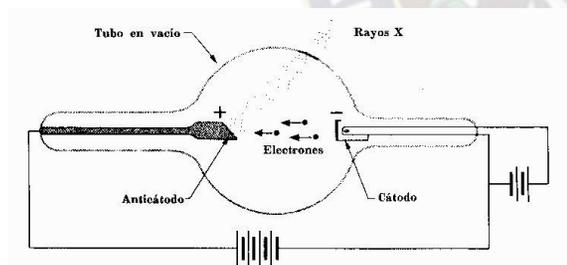


Figura N° 2 tubo de rayos X

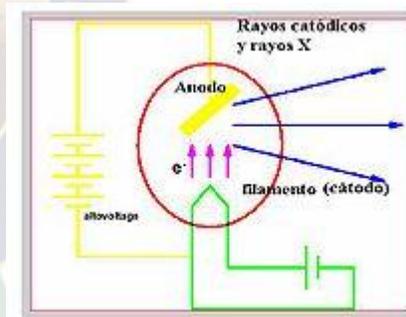


Figura N° 3 generación de rayos X

El tubo con gas se encuentra a una presión de aproximadamente 0.01 mmHg y es controlada mediante una válvula; posee un cátodo de aluminio cóncavo, el cual permite enfocar los electrones y un ánodo. Las partículas ionizadas de nitrógeno y oxígeno, presentes en el tubo, son atraídas hacia el cátodo y ánodo. Los iones positivos son atraídos hacia el cátodo e inyectan electrones a este. Posteriormente los electrones son acelerados hacia el ánodo (que contiene al blanco) a altas energías para luego producir rayos X. El mecanismo de refrigeración y la ventana son los mismos que se encuentran en el tubo con filamento.



2.1.3 Energía Cinética De La Placa

La energía cinética del electrón en el instante que alcanza la placa puede expresarse según:

$$T = eV = \frac{1}{2}mv^2$$

Siendo T la energía cinética, $e=4.8 \times 10^{-10}$ la carga del electrón, V la diferencia de potencial entre ánodo y cátodo, m la masa del electrón y v la velocidad con la que el electrón incide en la placa.

2.1.4 Sistemas De Detección.-

Los sistemas de detección más usuales son las películas fotográficas y los dispositivos de ionización.

La emulsión de las películas fotográficas varía dependiendo de la longitud de onda a la cual se quiera exponer. La sensibilidad de la película es determinada por el coeficiente de absorción másico y es restringida a un rango de líneas espectrales. La desventaja que presentan estas películas es, por su naturaleza granizada, la imposibilidad de un análisis detallado pues no permite una resolución grande.

Los dispositivos de ionización miden la cantidad de ionización de un gas producto de la interacción con rayos X. En una cámara de ionización, los iones negativos son atraídos hacia el ánodo y los iones positivos hacia el cátodo, generando corriente en un circuito externo. La relación entre la cantidad de corriente producida y la intensidad de la radiación son proporcionales, así que se puede realizar una estimación de la cantidad de fotones de rayos X por unidad de tiempo. Los contadores que utilizan este principio son el contador Geiger.

El contador proporcional y el contador de destellos. La diferencia entre ellos es la amplificación de la señal y la sensibilidad del detector. PICO PAL JEREMY

2.1.5 Espectro Continúo

El tubo de rayos X está constituido por dos electrodos (cátodo y ánodo), una fuente de electrones (cátodo caliente) y un blanco. Los electrones se aceleran mediante una diferencia de potencial entre el cátodo y el ánodo. La



radiación es producida justo en la zona de impacto de los electrones y se emite en todas direcciones.

La energía adquirida por los electrones va a estar determinada por el voltaje aplicado entre los dos electrodos. Como la velocidad del electrón puede alcanzar velocidades de hasta $(1/3)c$ debemos considerar efectos relativistas, de tal manera que:

$$E = \frac{m_e c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = eV$$

Los diferentes electrones no chocan con el blanco de igual manera, así que este puede ceder su energía en una o en varias colisiones, produciendo un espectro continuo.

La energía del fotón emitido, por conservación de la energía y tomando los postulados de Planck es:

$$h\nu = K - K'$$

Donde K y K' es la energía del electrón antes y después de la colisión respectivamente.

El punto de corte con el eje x de la gráfica de espectro continuo, es la longitud mínima que alcanza un fotón al ser acelerado a un voltaje determinado. Esto se puede explicar desde el punto de vista de que los electrones chocan y entregan toda su energía. La longitud de onda mínima esta dada por:

$$\lambda = hc / eV$$

La energía total emitida por segundo, es proporcional al área bajo la curva del espectro continuo, del número atómico (Z) del blanco y el número de electrones por segundo (i). Así la intensidad esta dada por:

$$I = AiZ^m$$

Donde A es la constante de proporcionalidad y m una constante alrededor de 2.

2.1.6 Espectro Característico



Cuando los electrones que son acelerados en el tubo de rayos X poseen cierta energía crítica, pueden pasar cerca de una subcapa interna de los átomos que componen el blanco. Debido a la energía que recibe el electrón, este puede escapar del átomo, dejando al átomo en un estado supremamente excitado. Eventualmente, el átomo regresará a su estado de equilibrio emitiendo un conjunto de fotones de alta frecuencia, que corresponden al espectro de líneas de rayos X. Este indiscutiblemente va a depender de la composición del material en el cual incide el haz de rayos X, para el molibdeno, la gráfica del espectro continuo muestra dos picos correspondientes a la serie K del espectro de líneas, estas están superpuestas con el espectro continuo.

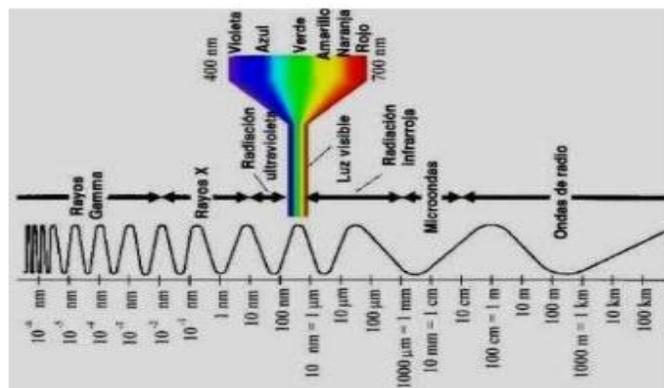


Figura N° 4 Radiación Electromagnética

La intensidad de cualquier línea depende de la diferencia del voltaje aplicado (V) y el voltaje necesario para la excitación (V') a la correspondiente línea, y está dada por:

$$I = Bi(V - V')^N$$

Donde n y B son constantes, e i es el número de electrones por unidad de tiempo.

Para la difracción de rayos X, la serie K del material es la que usualmente se utiliza. Debido a que los experimentos usando esta técnica requieren luz monocromática, los electrones que son acelerados en el tubo de rayos X deben poseer energías por encima de 30 keV. Esto permite que el



ancho de la línea K utilizada sea muy angosto (del orden de 0.001 \AA). La relación entre la longitud de cualquier línea en particular y el número atómico del átomo esta dada por la Ley de Moseley





2.1.7 Interacción De Los Rayos X Con La Materia

Cuando los rayos X interactúan con la materia, estos pueden ser en parte absorbidos y en parte transmitidos. Esta característica es aprovechada en medicina al realizar radiografías.

La absorción de rayos X va a depender de la distancia que estos atraviesan y de su intensidad. Esta dada por:

$$I_x = I_0 e^{(-\mu / \rho) \rho x}$$

μ / ρ , es característico del material e independiente del estado físico. μ el coeficiente lineal de absorción y ρ la densidad del material.

Si un material esta compuesto de diferentes elementos, el coeficiente de absorción másico μ / ρ es aditivo, de tal manera que

$$\frac{\mu}{\rho} = w_1 \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_1 + w_2 \left(\frac{\mu}{\rho} \right)_2 + \dots$$

Donde w significa la fracción del elemento constituyente.

2.1.8 Riesgos A La Salud

La manera como la radiación afecta la salud depende del tamaño de la dosis de radiación. La exposición a las dosis bajas de rayos X a las que el ser humano se expone diariamente no es perjudicial. En cambio, sí se sabe que la exposición a cantidades masivas puede producir daños graves. Por lo tanto, es aconsejable no exponerse a más radiación ionizante que la necesaria.

La exposición a cantidades altas de rayos X puede producir efectos tales como quemaduras de la piel, caída del cabello, defectos de nacimiento, cáncer, retraso mental y la muerte. La dosis determina si un efecto se manifiesta y con qué severidad. La manifestación de efectos como quemaduras de la piel, caída del cabello, esterilidad, náuseas y cataratas, requiere que se exponga a una dosis mínima (la dosis umbral). Si se aumenta la dosis por encima de la dosis umbral el efecto es más grave. En grupos de personas expuestas a dosis bajas de radiación se ha



observado un aumento de la presión psicológica. También se ha documentado alteración de las facultades mentales (síndrome del sistema nervioso central) en personas expuestas a miles de rads de radiación ionizante.

2.1.9 Aplicaciones Médicas

Desde que Röntgen descubrió que los rayos X permiten captar estructuras óseas, se ha desarrollado la tecnología necesaria para su uso en medicina. La **radiología** es la especialidad médica que emplea la radiografía como ayuda de diagnóstico, en la práctica, el uso más extendido de los rayos X.

Los rayos X son especialmente útiles en la detección de enfermedades del esqueleto, aunque también se utilizan para diagnosticar enfermedades de los tejidos blandos, como la neumonía, cáncer de pulmón, edema pulmonar, abscesos.

2.1.10 Otras Aplicaciones

Los rayos X pueden ser utilizados para explorar la estructura de la materia cristalina mediante experimentos de difracción de rayos X por ser su longitud de onda similar a la distancia entre los átomos de la red cristalina. La difracción de rayos X es una de las herramientas más útiles en el campo de la cristalografía.

También puede utilizarse para determinar defectos en componentes técnicos, como tuberías, turbinas, motores, paredes, vigas, y en general casi cualquier elemento estructural. Aprovechando la característica de absorción/transmisión de los Rayos X, si aplicamos una fuente de Rayos X a uno de estos elementos, y este es completamente perfecto, el patrón de absorción/transmisión, será el mismo a lo largo de todo el componente, pero si tenemos defectos, tales como poros, pérdidas de espesor, fisuras (no suelen ser fácilmente detectables), inclusiones de material tendremos un patrón desigual.

Esta posibilidad permite tratar con todo tipo de materiales, incluso con compuestos, remitiéndonos a las fórmulas que tratan el coeficiente de absorción másico. La única limitación reside en la densidad del material a examinar. Para materiales más densos que el plomo no vamos a tener transmisión.



2.2 Análisis No Destructivos.

2.2.1 Introducción a Los Ensayos No Destructivos (E.N.D)

Son un conjunto de técnicas que permiten obtener información de un material o pieza en servicio sin alterar sus características ni capacidades para cumplir con las exigencias de diseño.

Sus características más importantes son:

- Pueden aplicarse en diferentes etapas de un proceso de fabricación.
- Detectan, localizan y determinan la probable naturaleza de discontinuidades (inherentes o en servicio)
- Son complementarios
- Se aplican mediante procedimientos escritos
- Necesitan de personal especializado.
- Son específicos en sus aplicaciones.
- Pueden ser aplicados a componentes en servicio
- Aplicaciones reguladas por Normas como ser:
 - 1.- ASME
 - 2.- AWS
 - 3.- ASNT (SNT-TC-1A)
 - 4.- ISO 9712 (COVENIN 1.999)

Los ensayos no destructivos mas utilizados:

- Inspección Visual.
- Líquidos Penetrantes.
- Partículas Magnéticas.
- Corrientes Inducidas.



- Ultrasonidos.
- Radiografía Industrial.

2.2.2 Radiografía Industrial

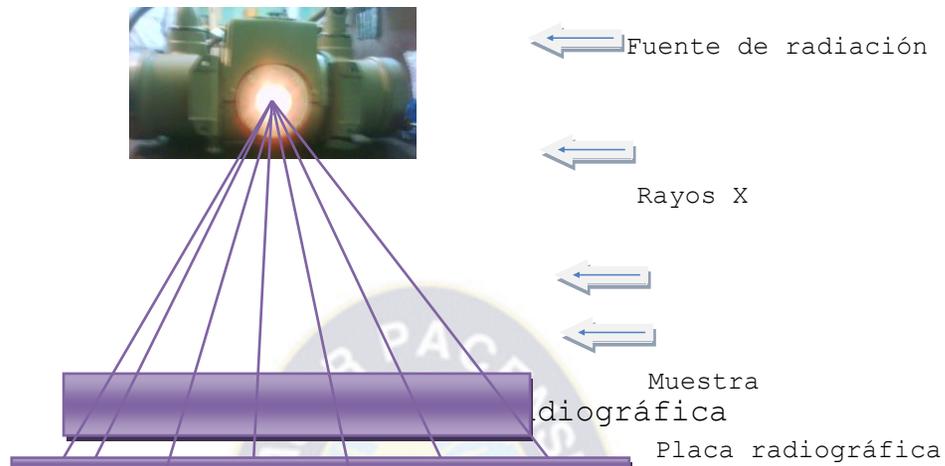
Técnica que produce imágenes del interior de piezas o componentes mediante la aplicación de radiaciones ionizantes rayos X.

- Se basa en la absorción diferencial de la radiación por los materiales
- Peligrosa para los seres vivos.
- Da un registro permanente
- Se produce de manera artificial (Rx) y natural (Rγ)
- Usa fuentes naturales (Isótopos) que se agotan con el tiempo.
- Afectada por factores geométricos.
- Equipos e insumos costosos.
- Necesidad de aplicación de procedimientos de Seguridad Radiológica.

Ventajas	Desventajas
Da un registro permanente	Peligroso
Alto poder de penetración	Acceso a ambas caras
No afectado por recubrimientos	Lento
Identifica discontinuidades	Costoso
	No dimensiona



Tabla N°1 Radiografía industrial



2.3. Definición Defectos Y Discontinuidades

En Ensayos No Destructivos se habla de defectos y/o discontinuidades.

Se asocia que cualquier indicación encontrada es llamada "discontinuidad" hasta que se pueda identificar y evaluar el efecto que puede tener sobre la pieza en servicio. Si, de acuerdo a esto, la "discontinuidad" es inaceptable con arreglo a un criterio de especificaciones, será un "defecto", ahora, si esa discontinuidad no afecta el rendimiento de la pieza en el servicio al que se destina, se deberá llamar simplemente "discontinuidad".

De esto se deduce que un defecto siempre es una discontinuidad pero no siempre una discontinuidad es un defecto. Un ejemplo de discontinuidad se podría encontrar en la indicación, por medio de ultrasonido, que da un chavetero o el mismo eco de fondo de la pieza si lo hay.



2.3.1 Tipos De Discontinuidades

Una discontinuidad puede producirse en cualquier momento de la vida de una pieza metálica. Si la misma se crea durante la producción inicial desde el estado de fusión, se denomina **discontinuidad inherente**. Si se produce durante procesos posteriores de fabricación o terminado, entonces se denomina **discontinuidad de proceso**. Finalmente, pueden producirse también discontinuidades durante el uso del producto debido bien a circunstancias ambientales o de carga, o ambas, en cuyo caso se denominan discontinuidades por servicio.

Tipos de discontinuidades					
Inherentes		De proceso			De servicio
Lingotes	fundición	Primarios		Secundarios	Tensiones Fatiga Corrosión
		Forjados	Laminados	Maquinado Amolado Tratamientos Soldadura	
Inclusiones no metálicas Inclusiones gaseosas Porosidad sopladuras Contracciones Segregaciones	Soplado en frío Desgarro en caliente Segregaciones Rechupes Porosidad inclusiones	Pliegues Laminaciones Estallido Fisuras	Cordones Laminaciones Costuras	Desgarramientos Fisuras	Fisuras

Tabla N° 2 tipos de discontinuidades

El conocimiento previo de qué tipo de falla puede estar presente en la pieza en ensayo, da una gran ayuda en la interpretación. Para ello es necesario conocer la historia previa de la pieza, cómo fue hecha, cual fue el proceso de fabricación, etc.

Las discontinuidades se pueden clasificar también en superficiales o internas.

Por último debemos distinguir entre indicaciones relevantes, indicaciones no relevantes e indicaciones falsas.

Indicaciones relevantes

Son aquellas indicaciones provenientes de fallas suficientemente serias como para afectar la aptitud para el servicio de la pieza.

Indicaciones no relevantes



Son aquellas indicaciones que provienen de discontinuidades que no afectarían la aptitud para el servicio de la pieza. Estas discontinuidades pueden ser la misma geometría de la pieza como por ejemplo chaveteros, orificios, tratamientos térmicos localizados, en ultrasonido transformaciones de ondas debidas a la geometría, etc. (indicaciones espurias), o pequeñas fallas como por ejemplo poros, fisuras y otras que no presenten peligro para el buen funcionamiento de la pieza y su aptitud para el servicio.

Indicaciones falsas:

Son aquellas indicaciones causadas por interferencias eléctricas y electrónicas, superficies muy rugosas, etc.

2.3.2 Discontinuidades Inherentes

Si el uso final del metal fundido no va a ser el de formar una pieza, la práctica habitual es verterlo en un molde para lingotes. Generalmente el lingote es cilíndrico u alargado y es de forma y tamaño conveniente para su fácil manejo. Se destina a un proceso posterior.

Los defectos asociados con condiciones de colada son un tanto similares a los que se describen en la fabricación de piezas fundidas.

2.3.3 Soldadura

Las discontinuidades y defectos en soldadura se pueden clasificar en superficiales e internas:

2.3.4 Discontinuidades Superficiales:

Exceso de penetración:

Se producen por efecto de un movimiento que causa la penetración del electrodo dentro de los biseles, los cuales son distribuidos en esas áreas. Este exceso de penetración produce una chorreadura interna de material la que puede retener o no escoria en su interior.

Este defecto suele producir, por ejemplo en soldaduras de gasoductos, desgaste por erosión.

La imagen radiográfica da una densidad más clara en el centro del ancho de la imagen, ya sea extendida a lo largo de la soldadura o en gotas circulares aisladas, presentando en su interior una mancha deforme negra. Figura 6.

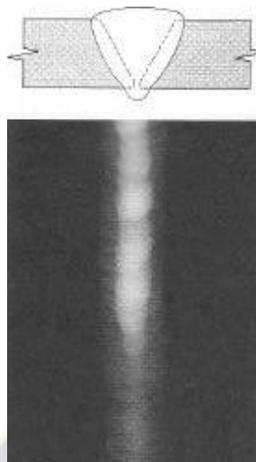


Figura 6: Exceso de penetración.

2.3.5 Falta De Penetración:

Como en las uniones en U o en V la raíz es visible por la cara posterior, esta imperfección puede considerarse superficial.

A menudo la raíz de la soldadura no quedará adecuadamente rellena con metal dejando un vacío que aparecerá radiográficamente como una línea oscura firmemente marcada, gruesa y negra, continua o intermitente reemplazando el cordón de la primera pasada. Esta penetración incompleta puede ser debida a una separación excesivamente pequeña de la raíz, a un electrodo demasiado grueso, a una corriente de soldadura insuficiente, a excesiva velocidad de pasada, penetración incorrecta en la ranura, etc. Este defecto por lo general no es aceptable y requiere la eliminación del cordón de soldadura anterior y repetición del proceso. Figura 7.

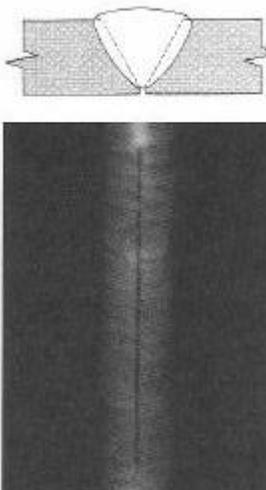




Figura 7: Falta de penetración.





2.3.6 Concavidad Externa O Falta De Relleno

Es una soldadura que tiene una disminución de refuerzo externo, por poco depósito de material de aporte en el relleno del cordón.

La imagen radiográfica muestra una densidad de la soldadura más oscura que la densidad de las piezas a soldarse, la cual se extiende a través del ancho completo de la imagen. Figura 8.



Figura 8: Concavidad externa.

2.3.7 Concavidad Interna:

Es insuficiente refuerzo interno de la soldadura en su cordón de primera pasada, el cual al enfriarse disminuye su espesor pasando a ser menor que el del material base. Figura 9.



Figura 9: Concavidad interna.

2.3.8 Socavaduras O Mordeduras De Bordes

La socavadura es una ranura fundida en el metal base, adyacente a la raíz de una soldadura o a la sobremonta, que no ha sido llenado por el metal de soldadura. Son debidas a un arco incorrecto (por la corriente utilizada o por la longitud del mismo), se producen extracciones de materiales en la superficie del elemento a soldar la cual puede ser anterior (del lado de la sobremonta) o posterior (lado de la raíz o primera pasada) Ver Figura 10 a) y b) respectivamente.

Un electrodo húmedo puede provocar socavado. Otra causa de socavado en los laterales del cordón es una alta velocidad de traslación del arco a causa de una rápida solidificación del metal de soldadura.

La imagen radiográfica muestra una línea gruesa que bordea el cordón soldado, de densidad homogénea (lado exterior) o una imagen circundante al cordón de primera pasada no muy negra (lado interior).

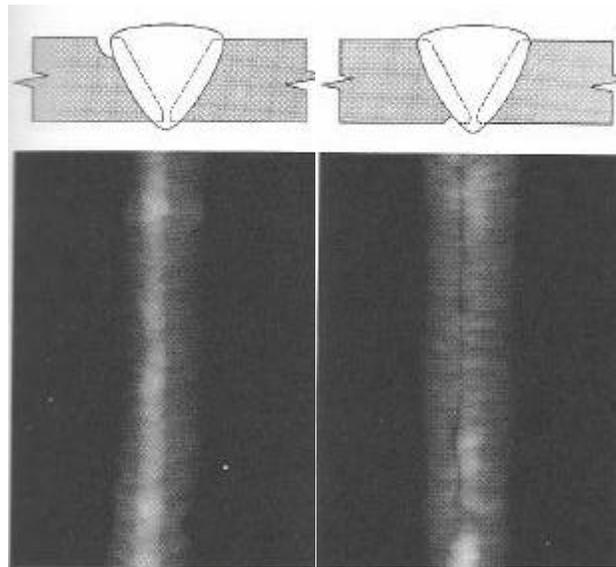


Figura 10: a) Socavaduras b) mordeduras de bordes.

2.3.9 Quemado

Es una zona de la pasada de raíz donde la penetración excesiva ha causado que el aporte de la soldadura penetre dentro de la misma soplándose.

Resulta de factores que producen un calor excesivo en un área determinada tales como excesiva corriente, velocidad lenta del electrodo, manejo incorrecto del electrodo, etc. Hay destrucción completa de biseles.

La imagen radiográfica muestra una densidad localizada más oscura con bordes borrosos en el centro del ancho de la imagen. Puede ser más ancha que la imagen del cordón de raíz. Figura 11.

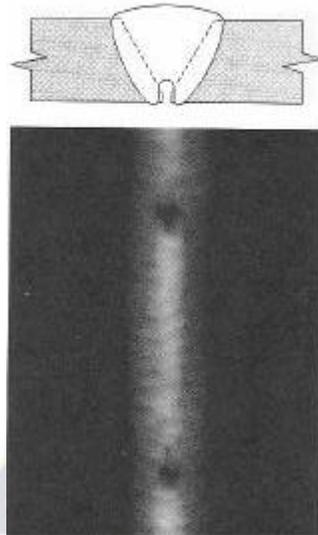


Figura 11: Quemado.

2.3.10 Salpicaduras

Son imperfecciones consistentes, como su nombre lo indica, en esférulas de metal fundido depositadas aleatoriamente sobre el cordón y su vecindad. Pueden ser provocadas por humedad en el revestimiento del electrodo. Generalmente, no tienen importancia respecto a la calidad de la soldadura.

En la imagen radiográfica, aparecen como manchitas blancas, redondeadas, aisladas o en colonias. En algunas técnicas de soldadura que emplean electrodos de tungsteno (volframio), las salpicaduras de este metal se dibujan como circulitos muy claros y nítidos. Entonces, conviene asegurarse de que se trata, efectivamente, de salpicaduras y no de inclusiones.

2.3.11 Fisuras Internas

Pueden ser clasificadas en:

2.3.12 Fisuras Longitudinales:

Se pueden producir en el centro del cordón (generalmente por movimientos durante o posteriores a la soldadura) o en la interfase del material base con el de aporte (por causa de un enfriamiento brusco o falta de correcto precalentamiento en grandes espesores). Fig. 12

Cuando este defecto aparece en el metal de la soldadura se lo llama "fisura de solidificación" mientras que si se



produce en la ZAC se llama " fisura de licuación" (intergranular).

Estos dos tipos comprenden la llamada fisuración en caliente y se producen por la combinación de una composición química desfavorable (elementos que forman precipitados de bajo punto de fusión, por ejemplo azufre que forma SFe -solidificación de bordes de grano) y tensiones de solidificación, restricción o deformación. En este caso el precalentamiento no tiene casi influencia sobre estos defectos.

La única precaución posible es la de soldar con bajo aporte térmico.

Son bastantes raras y típicas de ciertos aceros inoxidables estabilizados como el AISI 321 y especialmente el 37 y ciertos aceros bonificados como el HY 80.

La fisuración en frío (de hidrogeno) longitudinal es menos frecuente que las transversales

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

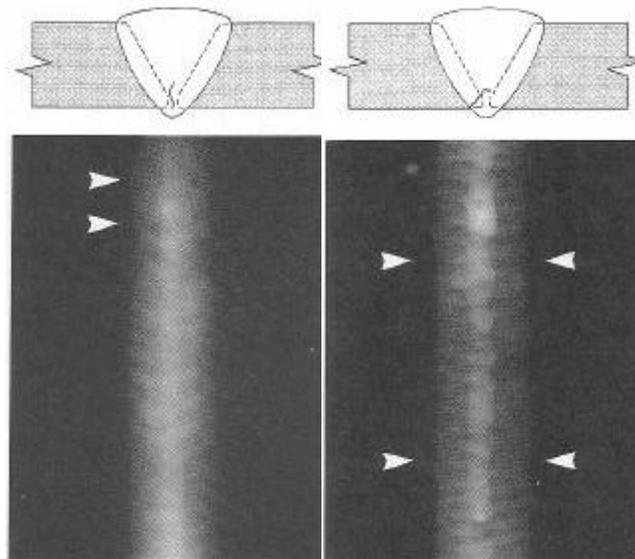


Figura 12: Fisuras longitudinales.

2.3.13 Fisuras Transversales:

Producidas principalmente en aceros duros, por combinación de elementos que al enfriarse a la temperatura normal producen la fisura que puede o no prolongarse al metal base. Pueden ser:



2.3.14 Fisuras En Caliente

Denominándose así porque se producen durante la solidificación de la junta.

Las causas principales de este defecto en aceros al carbono no aleados o de baja aleación son:

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

Las fisuras en caliente se pueden manifestar en todos los materiales metálicos, ferrosos y no ferrosos. Son intergranulares y pueden tener orientaciones diversas.

2.3.15 Fisuras en frío:

Se llaman así porque se forman cuando la temperatura se acerca o alcanza la temperatura ambiente.

La causa principal es el elevado tenor de hidrógeno en la zona fundida, una elevada velocidad de enfriamiento y las tensiones producidas sobre el cordón por el enfriamiento. En soldadura de aceros dulces y aquellos con baja aleación de manganeso y microaleados las fisuras son muy pequeñas (llamadas micro fisuras de hidrógeno) y frecuentemente se reagrupan en un cierto número en la misma zona fundida de la junta; en aceros de elevada resistencia como los bonificados, las fisuras son generalmente más grandes pudiendo atravesar todo el cordón en dirección transversal.

Se observa radiográficamente como una línea fina muy negra y recortada, de poca ondulación y transversal al cordón soldado. Figura 13.

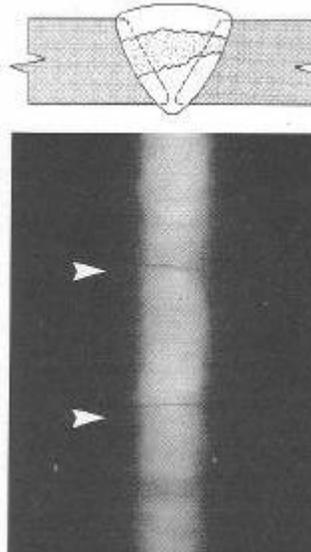


Figura 13: Fisuras transversales.

2.3.16 Fisuras Alrededor Del Cordón (en zac) - Fisuración En Frío:

Se produce debido a la falta de precalentamiento (crítica para ciertos tipos de aceros) en aceros duros (estructuras martensíticas en la ZAC como resultado del ciclo térmico de soldadura) o de mucho espesor. Estas fisuras se presentan invariablemente en los granos más gruesos de la zona afectada por el calor (ZAC) del acero. Esto se atribuye al efecto del hidrógeno disuelto liberado por el electrodo (por ejemplo húmedo) o por el metal que se solidifica, por lo que puede evitarse por precalentamiento y manteniendo el material soldado alrededor de unos 200 °C un tiempo determinado o por el uso de electrodos básicos. También afectan las tensiones alcanzadas como resultado de la contracción de la junta o geometrías con entallas.

Tienen generalmente una dirección longitudinal, aunque algunas veces pueden también ser transversales; pueden ser internas (estar bajo el cordón de soldadura) o aflorar al lado del cordón.

La imagen radiográfica es de líneas negras de poca ondulación un poco más gruesas que un cabello, en la zona adyacente al cordón soldado. Figura 14.

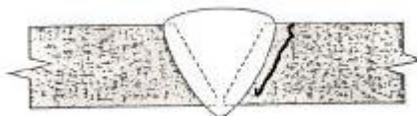




Figura 14: Fisuras alrededor del cordón (vista con Partículas magnetizables).





2.3.17 Falta De Fusión En El Bisel

Se produce cuando falta la abertura de la raíz y la temperatura no es lo bastante elevada; por una incorrecta alineación de los elementos a soldar; por fallas en la preparación; por diferencias de espesor o diámetro, o por deficiente penetración por parte del soldador al realizar la primer pasada.

Radiográficamente se ve como una línea oscura y fina, continua o intermitente con los bordes bien definidos. La línea puede tender a ser ondulada y difusa (Ver Figura 15). En las uniones en X o en K, queda en el mismo centro de los cordones y es frecuente que vaya asociada a faltas de penetración.



Fig. 15: Falta de fusión de un bisel en la raíz.

2.3.18 Falta de Fusión Entre Pasadas:

Se produce en las interfaces de la soldadura, donde las capas adyacentes del metal, o el metal base y el metal de soldadura no se fusionan debidamente debido, principalmente, a una capa muy fina de óxido que se forma en las superficies. Por lo general, esta capa de óxido se debe a una falta de calentamiento del metal base o al depósito previo de metal de soldadura en volumen suficientemente alto que impide que cualquier capa de óxido, escoria, impurezas, etc. migre a la superficie.

Otras causas pueden ser la falta de corriente suficiente o la mala ubicación del arco eléctrico dentro de los biseles, el cual al producirse más sobre uno, deja al otro sin fundir.



Radiográficamente se observa una franja negra con densidad en disminución desde el borde al centro. El lateral es recto.

A veces, cuando la falta de fusión es entre el metal base y el metal de aporte, es difícil de interpretar, conviene radiografiar el cordón según direcciones comprendidas en la prolongación del plano formado por los bordes del bisel (frecuentemente a 45°). Figura 16 y Figura.13.



Fig. 16: Falta de fusión entre pasadas.



Inclusiones:

Se consideran inclusiones, las impurezas producidas por gases atrapados en la masa del metal durante el proceso de fusión, o materiales extraños sólidos (metálicos y no metálicos). Se dividen en:

2.3.19 Inclusiones Gaseosas:

Por razones diversas, en el metal de soldadura fundido se pueden formar gases que pueden quedar atrapados si no hay tiempo suficiente para que escapen antes de la solidificación de la soldadura. El gas así atrapado, por lo general, tiene la forma de agujeros redondos denominados porosidades esféricas, o de forma alargada llamados porosidad tubular o vermicular.

La formación de gas puede ser causada por reacciones químicas durante la soldadura con alto contenido de sulfuro en la plancha y/o en el electrodo; humedad excesiva en el electrodo o en los bordes de la plancha de base; arco excesivamente corto; corriente incorrecta o polaridad inversa; corrientes de aire; o limpieza prematura de la escoria al terminar una pasada, pues, no hay que olvidar que la escoria evita el enfriamiento demasiado rápido del metal fundido.

La porosidad gaseosa puede producirse en forma aislada (porosidad esférica aislada) o agrupada (nido de poros), en forma alineada, etc. Se verán estos casos a continuación:

2.3.20 Porosidad Esférica Aislada:

Son bolsas de gas esféricas producidas por una alteración en el arco, una oxidación en el revestimiento del electrodo, o electrodo húmedo y/u oxidado, o una variación en la relación Voltaje-Amperaje-Velocidad en la soldadura automática.

La imagen radiográfica da puntos negros en cualquier ubicación. Fig.17.

Porosidad agrupada (Nido de poros):

Producida generalmente por un agente oxidante o excesiva humedad del revestimiento.

Pueden también encontrarse capas de óxido sobre los biseles, las que al fundirse desprenden gas. El tamaño de estos poros es aproximadamente igual en toda la zona.



La imagen radiográfica da puntos redondeados o ligeramente alargados de una densidad más oscura, agrupados pero irregularmente espaciados. Fig.18.

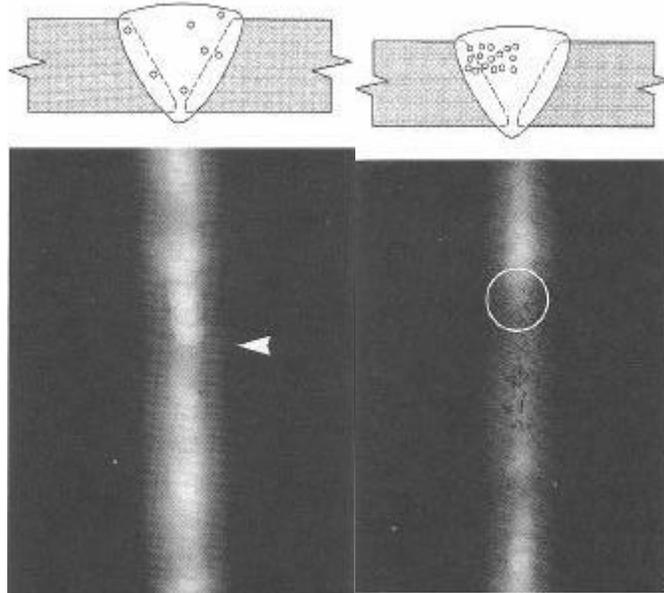


Figura 17: Porosidad
Esférica aislada

Figura 18 Porosidad
agrupada



2.3.21 Porosidad Alineada:

Generalmente surge en la pasada de base del cordón soldado, por efecto de la dificultad de penetrar con el electrodo, por mala regulación eléctrica en correspondencia con el fundente utilizado para máquinas automáticas y por acumulación de algunos de los elementos del mismo.

Radiográficamente se observan círculos alineados, negros, que pueden ir decreciendo o permanecer de igual diámetro. También pueden aparecer poros alargados de 1ra. Pasada "Cordón hueco": surgidos por la imposibilidad del hidrógeno producido en electrodos de alta velocidad de escapar, generalmente por insuficiente separación de los biseles.

La imagen radiográfica da formas grises inclinadas, semejantes al espinazo de un pez, confluyendo al centro, pudiendo llegar a crear un nervio central. Figura 19.

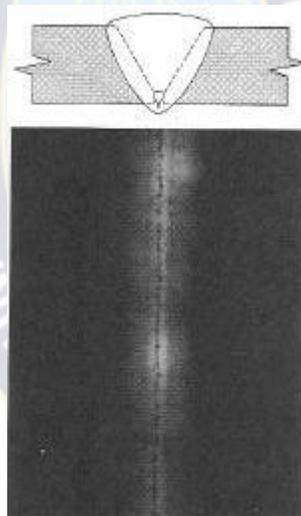


Figura 19: Porosidad alineada.

2.3.22 Inclusiones De Escorias Aisladas:

La mayoría de las soldaduras contienen escorias que han sido atrapadas en el metal depositado durante la solidificación. Son depósitos de carbón u óxido metálicos y silicatos principalmente. La escoria puede provenir del revestimiento del electrodo o fundente empleado.

El flujo tiene como finalidad eliminar las impurezas del metal. Si este no permanece derretido durante un período suficientemente largo para permitir que la escoria se eleve a la superficie, parte de esa escoria pudiera quedar atrapada dentro del metal. Esta puede a su vez quedar atrapada en el metal en pasadas posteriores. Las



superficies sucias e irregulares, las ondulaciones o cortes insuficientes contribuirán al atrapado de escoria.

Las inclusiones de escoria se asocian frecuentemente con falta de penetración, fusión deficiente, talón de raíz excesivamente grande, soldadura en V muy estrecha y manipulación defectuosa del electrodo

La imagen radiográfica da manchas negras irregulares sobre el cordón de soldadura. Figura 20.



Figura 20: Inclusiones de escorias aisladas.



2.3.23 Línea De Escorias (huella de carro):

Ubicadas entre el cordón de 1ra. y 2da. pasada. Por efecto de la mala limpieza en la zona de mordeduras que se forman sobre el bisel al efectuar la 1ra. pasada, se depositan escorias a ambos lados de este cordón.

La imagen radiográfica muestra líneas paralelas interrumpidas de ancho variable, pero bastante parejas. Figura 21.

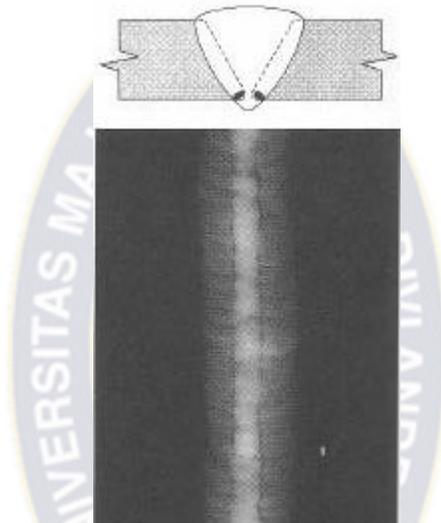


Figura 21: Línea de escorias

2.3.24 Escorias En El Interior De Perforaciones:

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

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

2.3.25 Inclusiones Metálicas:

A veces, en la masa del metal fundido quedan englobadas partículas de otros metales que pueden ser detectados radiográficamente como se observa en la figura 22.



Figura 22: Inclusiones de tungsteno

2.3.26 Inclusiones Aisladas:

Por efecto o combinación química de los elementos intervinientes en la soldadura, se suelen no fundir partículas de tungsteno que quedan aisladas en distintas áreas del cordón soldado (TIG), generalmente en aceros inoxidable. La imagen radiográfica muestra puntos de forma muy irregular y de una densidad más baja (muy claros), distribuidos aleatoriamente en la imagen de la soldadura. Figura 23.

Desalineado (high-low) de las piezas a ser soldadas: En la radiografía se observa un cambio abrupto en la densidad del film a través del ancho de la soldadura.

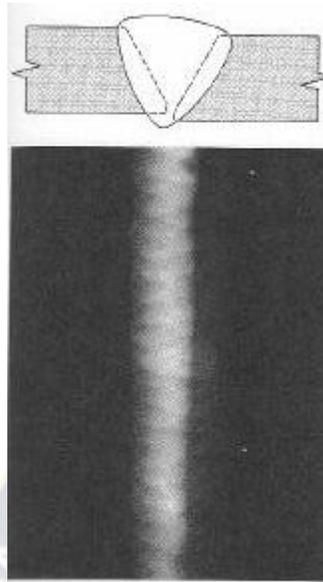


Fig. 23 inclusiones no aisladas

2.4. Norma ASME (Artículos Referidos a Radiografía Industrial)

2.4.1 QW-143 Examen para Operarios de Soldadura.

Un examen de una soldadura por radiografía puede servir en lugar de pruebas mecánicas de QW-141 para calificación de habilidad para soldadura en ranura como se permite en QW-305 para demostrar la capacidad de operarios de soldadura para hacer soldaduras sanas (ver anexos).

2.4.2 QW-191.2.1 Terminología

Indicaciones Lineales. Grietas, fusión incompleta, penetración inadecuada, y escoria son representadas en la radiografía como indicaciones lineales en las cuales la longitud es más que tres veces el ancho. (ver anexos)

Indicaciones Redondeadas. Porosidad e inclusiones tales como escoria o tungsteno son representadas en la radiografía como indicaciones redondeadas con una longitud de tres veces el ancho o menos. Estas indicaciones pueden ser circulares, elípticas, o de forma irregular; pueden tener colas; y pueden variar en densidad.

2.4.3 QW-191.2.2 Normas de Aceptación.

Las pruebas de habilidad para soldadores y operarios de soldadura mediante radiografía de soldaduras en conjuntos de prueba serán juzgados inaceptables cuando la radiografía



exhibe imperfecciones cualesquiera en exceso de los límites especificados abajo.

(a) Indicaciones Lineales

(1) cualquier tipo de grieta o zona de fusión o penetración incompleta;

(2) cualquier inclusión de escoria alargada la cual tenga una longitud mayor que:

(a) $1/8$ pulgada para t hasta de $3/8$ pulgada, inclusive

(b) $1/3 t$ para t de más de $3/8$ hasta $21/4$ pulgada, inclusive

(c) $3/4$ pulgada para t de más de $21/4$ pulgada

(3) cualquier grupo de inclusiones de escoria en línea que tengan una longitud agregada mayor que t en una longitud de $12t$, excepto cuando la distancia entre las imperfecciones sucesivas excede de $6L$ en donde L es la longitud de la imperfección más larga el grupo.

(b) Indicaciones Redondeadas

(1) La dimensión máxima permisible para indicaciones redondeadas será el 20% de t ó $1/8$ pulgada, cualquiera que sea lo menor.

(2) Para soldaduras en material con menos de $1/8$ pulgada de espesor, el número máximo de indicaciones redondeadas aceptables no excederá de 12 en una longitud de 6 pulgada de soldadura. Un número de más pocas en forma proporcional de indicaciones redondeadas será permitido en soldaduras de menos de 6 pulgada De longitud.

(3) Para soldaduras en material con espesor de $1/8$ pulgada o mayor, las gráficas de Apéndice I representan los tipos aceptables máximos, de indicaciones redondeadas ilustradas en configuraciones en forma típica grupadas, surtidas, y dispersas al azar. Las indicaciones redondeadas de menos de $1/32$ pulgada de diámetro máximo no se tomarán en consideración en las pruebas de aceptación radiográficas de soldadores y de operarios de soldadura en estas series de espesores de material.

2.4.4 QW-191.3 Registro de Pruebas.

Los resultados de pruebas para habilidad de soldadores y de operarios de soldadura mediante radiografía serán registrados de acuerdo con QW-301.4. (ver anexos)



QW-300.1 Este Artículo pone en lista los procesos de soldar en forma separada, con las variables esenciales que se aplican a calificaciones de habilidad de soldador y de operario de soldadura.

La calificación de soldador está limitada por las variables esenciales dadas para cada proceso de soldar. Se da relación de estas variables en QW-350, y se definen en el Artículo IV, Datos de Soldadura. La calificación de operario de soldadura está limitada por las variables esenciales dadas en QW-360 para cada tipo de soldadura. (ver anexos)

Un soldador o un operario de soldadura puede ser calificado mediante radiografía de una muestra de prueba, una radiografía de su soldadura de producción original, o mediante pruebas de doblez tomadas de una muestra de prueba excepto como se declara en QW-304 y QW-305

2.4.5 QW-304.1 Examen.

Las soldaduras hechas en muestras de prueba para calificación de habilidad se pueden examinar mediante pruebas visuales y mecánicas (QW302.1, QW-302.4) o mediante radiografía (QW- 302.2) para el (los) proceso (s) y el modo de transferencia de arco especificados en QW-304. En forma alterna, un tramo de 6 pulgadas de la primera soldadura de producción hecha por un soldador que use el (los) proceso (s) y/o modo de transferencia de arco especificados en QW-304 se puede calificar por radiografía. (ver anexos)

2.4.6 QW-304.2 Falla en Satisfacer Normas Radiográficas.

Si una soldadura de producción es seleccionada para calificación de habilidad de soldador y no satisface las normas radiográficas, el soldador ha fallado la prueba. En este caso, la soldadura de producción entera hecha por este soldador será radiografiada y reparada por un soldador o un operario de soldadura que esté calificado. En forma alterna, se pueden hacer nuevas pruebas como se permite en QW-320. (ver anexos)

2.4.7 QW-305.1 Examen. Las soldaduras hechas en muestras de prueba pueden ser examinadas por radiografía (QW-302.2) o por pruebas visuales y mecánicas (QW-302.1, QW-302.4). En forma alterna, un tramo de 3 pies de la primera soldadura de producción hecha enteramente por el operario de soldadura con una WPS calificada puede ser examinado por radiografía. (ver anexos)



2.4.8 QW-321.3 Nueva Prueba Inmediata Usando Radiografía.

Cuando la muestra de calificación ha fallado el examen radiográfico de QW-302.2, la nueva prueba inmediata será mediante el método de examen radiográfico.

(a) Para soldadores y operarios de soldadura la nueva prueba será examinar radiográficamente dos muestras de placa de 6 pulgadas; para tubo, examinar dos tubos para un total de 12 pulgadas de soldadura, lo cual incluirá la circunferencia entera de soldadura para tubo o tubos (para tubo de diámetro pequeño, el número total de muestras de prueba hechas consecutivamente no necesita exceder de ocho).

(b) A la opción del fabricante, el soldador que haya fallado la prueba (de alternativa de soldadura de producción) de QW-304.1 se puede volver a probar con radiografiar un tramo de 12 pulg. Adicional de la misma soldadura de producción. Si ese tramo de soldadura pasa la prueba, el soldador está calificado y el área de soldadura en la cual él había fallado previamente la prueba será reparada por él o por otro soldador calificado. Si este tramo de 12 pulgadas no satisface las normas radiográficas, el soldador ha fallado la nueva prueba y todas las soldaduras de producción hechas por este soldador serán radiografiadas completamente y reparadas por un soldador o un operario de soldadura calificado.

(c) A la opción del fabricante, el operario que ha fallado la prueba de QW-305.2 puede ser vuelto a probar por radiografía de un tramo adicional de 6 pies de la misma soldadura de producción. Si este tramo de soldadura pasa la prueba, el operario de soldadura está calificado y el área de soldadura en la cual él había fallado previamente la prueba será reparada por él u otro soldador u operario de soldadura calificado. Si este tramo de 6 pies no satisface las normas radiográficas, el operario de soldadura ha fallado la nueva prueba y todas las soldaduras de producción hechas por este operario de soldadura serán radiografiadas completamente y reparadas por un soldador u operario de soldadura calificado.

2.4.9 QW-404.30

Un cambio en el espesor de metal de soldadura depositado más allá del orden calificado en QW-451 para calificación de procedimiento o QW-452 para calificación de habilidad, excepto como se permite en otra manera en QW-303.1 y QW-303.2. Cuando un soldador se califica usando radiografía,



se aplican los ordenes de espesores de QW-452.1. (ver anexos)





Capítulo III

Propuesta o modelo

3.1 Introducción

Para realizar las tomas radiográficas, previamente se debe preparar los materiales y equipos a utilizar como ser: placas radiográficas, líquidos reveladores, piezas con soldadura, arco eléctrico, equipo de rayos X, los cuales se describen a continuación con sus respectivas características.

3.1.1 Película Radiográfica Agfa Ortho Cp Plus Y Equipo Revelador

Película universal de elevado contraste en zonas de baja densidad para garantizar imágenes nítidas y detalladas.

El equipo revelador tiene tres divisiones, las cuales contiene liquido revelador, liquido fijador, y agua, estos materiales se utilizan para revelar la radiografía.

- Película sensible al verde, apta para una completa serie de aplicaciones.

Tamaño 35x43

Tamaño 30x40

Tamaño 24x30

Tamaño 18x24



Figura N°24 película radiográfica



Figura N°25 revelador, fijador para negativos

3.1.2 Equipo De Rayos X Dx2 (Uso Medico)

Características técnicas del equipo utilizado en el experimento.

- Equipo de rayos X uso medico
- Marca General Electric DXE 225
- Características técnicas.
- Generador de mediana frecuencia
- 100 Ma (constant)
- Corriente maxima 250 mA
- 50-120 kVp
- Tube Focal point of 1.0 mm
- Overcharge protection circuit
- Stabilizer circuit MA and kVp
- Anode rotation control Manual
- Manual collimator con luz central
- Temporizador manual de 0.015625 hasta 5 segundos



Figura N° 26 fotografía cabezal equipo de rayos X



Figura N° 27 Control rayos X Figura N° 28 mesa para sacar radiografías



Figura N° 29 Negatoscopio instrumento utilizado para observar las placas radiográficas



3.1.3 Preparación De Las De Placas De Prueba

INFORMACION GENERAL

DESCRIPCION DE LAS PIEZAS: PIEZA DE ACERO

PROCESO DE FABRICACION: ACERO AL CARBON

ACABADO SUPERFICIAL: PULIDO

DIMENSIONES: PIEZA 1 ALTO 16.3 cm ANCHO 102.1 cm 198 LARGO

PIEZA 2 ALTO 12.7 cm ANCHO 61.4 cm 160 LARGO

PIEZA 3 ALTO 10.1 cm ANCHO 69.5 cm 141.8 LARGO

PIEZA 4 ALTO 6.3 cm ANCHO 49.7 cm 95.6 LARGO

PROCESO DE SOLDADURA: ARCO ELECTRICO



Figura N° 30 PIEZA 1

Figura N° 31 PIEZA 4



Figura N°32 pieza 3

Figura N°34 PIEZA 2

INFORMACION GENERAL

DESCRIPCION DE LAS PIEZAS: PIEZA DE ACERO

DIMENSIONES: PIEZA 1 ALTO 16.3 cm ANCHO 102.1 cm 198 LARGO
PIEZA 2 ALTO 12.7 cm ANCHO 61.4 cm 160 LARGO
PIEZA 3 ALTO 10.1 cm ANCHO 69.5 cm 141.8 LARGO
PIEZA 4 ALTO 6.3 cm ANCHO 49.7 cm 95.6 LARGO

PROCESO DE SOLDADURA: ARCO ELECTRICO

ELECTRODO UTILIZADO: F6013 CONARCO 13A



Figura N° 35 PROCESO DE SOLDADURA



Figura N° 36 placas soldadas



INFORMACION GENERAL

DESCRIPCION DE LAS PIEZAS: PIEZA DE ACERO

DIMENSIONES: PIEZA 1 ALTO 16.3 cm ANCHO 102.1 cm 198 LARGO
PIEZA 2 ALTO 12.7 cm ANCHO 61.4 cm 160 LARGO
PIEZA 3 ALTO 10.1 cm ANCHO 69.5 cm 141.8 LARGO
PIEZA 4 ALTO 6.3 cm ANCHO 49.7 cm 95.6 LARGO

PROCESO DE LIMPIEZA: RETIRADO DE LA ESCORIA

PROCESO DE SOLDADURA: SOLDADURA FINAL

ELECTRODO UTILIZADO: E6013 CONARCO 13A



Figura N° 37 limpieza de escoria en las placas de prueba



Figura N°38 placas de prueba terminadas

3.1.4 Radiografías De Placas Alto 16.3 Cm Ancho 102.1 Cm 198 Largo

INFORMACION GENERAL

DESCRIPCION DE LAS PIEZA: PIEZA DE ACERO

ACABADO SUPERFICIAL: ESMERILADO

DIMENSIONES: PIEZA 1 ALTO 16.3 cm ANCHO 102.1 cm 198 LARGO

TOMA RADIOGRAFICA: EQUIPO GENERAL ELECTRIC DXE225

EXPERIMENTO PRIMER



Figura N° 39 radiografía con parámetros de tiempo 3/20 segundos, 50

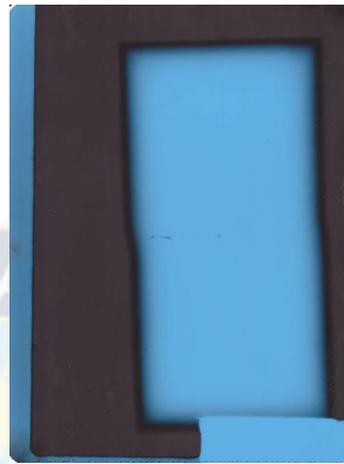


Figura N° 40 radiografía con parámetros de tiempo 3/10 segundos, 68



Figura N° 41 radiografía con parámetros de tiempo 1/2 segundos, 88



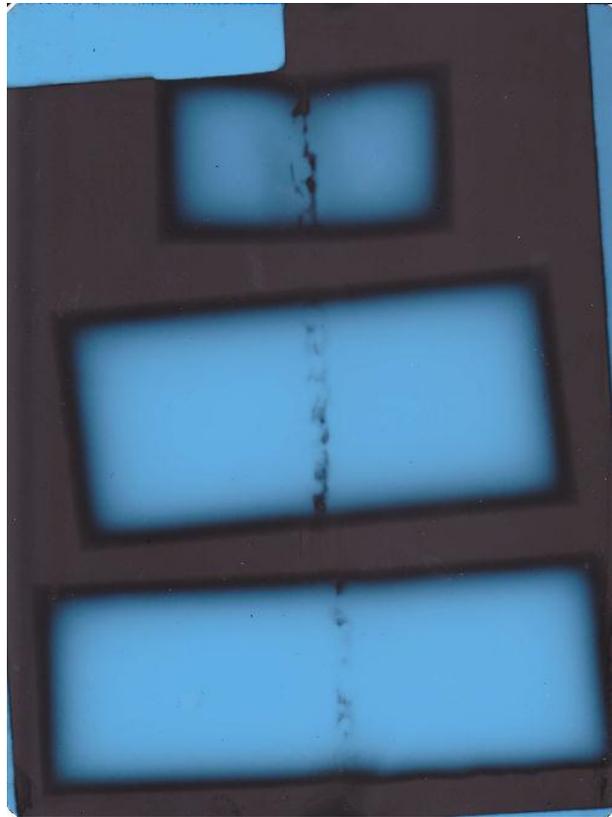
Figura N° 42 radiografía con parámetros de tiempo 1 segundos, 110 Kilovoltios

Kilovoltios

3.1.5 Tomas Radiográficas De Placa 2,3 y 4

INFORMACION GENERAL

DESCRIPCION DE LAS PIEZA: PIEZA DE ACERO
 ACABADO SUPERFICIAL: PULIDO
 DIMENSIONES: PIEZA 2 ALTO 12.7 cm ANCHO 61.4 cm 160 LARGO
 PIEZA 3 ALTO 10.1 cm ANCHO 69.5 cm 141.8 LARGO
 PIEZA 4 ALTO 6.3 cm ANCHO 49.7 cm 95.6 LARGO
 TOMA RADIOGRAFICA: EQUIPO GENERAL ELECTRIC DXE225
 EXPERIMENTO: SEGUNDO



**Figura N° 43 radiografía
de placas con parámetros
de tiempo 1/2 segundos, 78
Kilovoltios**

3.1.6 Tomas Radiográficas A Un Instrumento

INFORMACION GENERAL

DESCRIPCION DE LAS PIEZA: MULTIMETRO
ACABADO SUPERFICIAL: PLASTICO
DIMENSIONES: PIEZA ALTO 50 cm ANCHO 102 cm 240 LARGO
TOMA RADIOGRAFICA: EQUIPO GENERAL ELECTRIC DX2
EXPERIMENTO: TERCERO

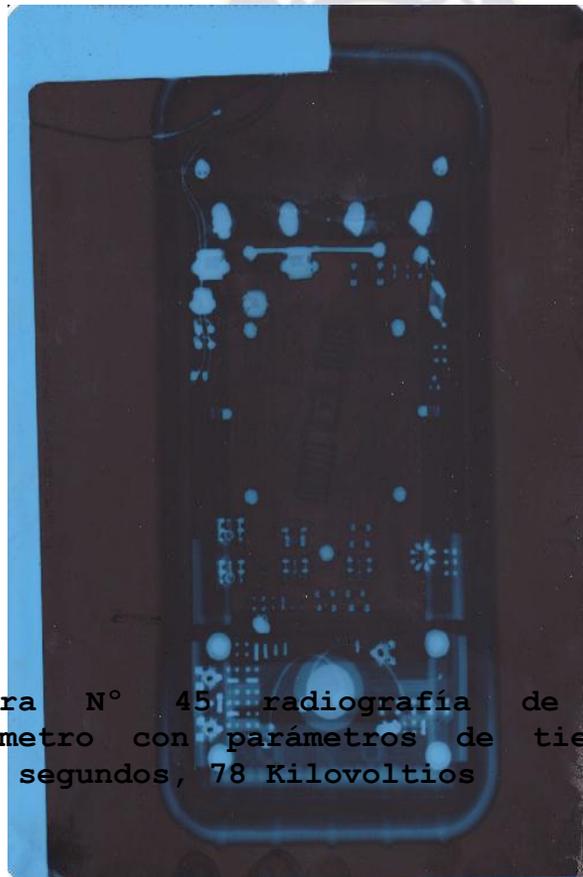


Figura N° 45 radiografía de un milímetro con parámetros de tiempo 3/10 segundos, 78 Kilovoltios



3.1.7 Tomas Radiográficas Cabezal De Bomba De Aire

INFORMACION GENERAL

DESCRIPCION DE LAS PIEZA: CABELZAL EQUIPO BOMBA DE AIRE

ACABADO SUPERFICIAL: HIERRO FUNDIDO Y BRONCE

DIMENSIONES: PIEZA ALTO 450 mm, radio 100 mm

TOMA RADIOGRAFICA: EQUIPO GENERAL ELECTRIC DXE 225

EXPERIMENTO: CUARTO





Figura N° 46 radiografía con parámetros de tiempo 2 segundos, 115 Kilovoltios
Figura N° 47 radiografía con parámetros de tiempo 1 segundos, 90 Kilovoltios

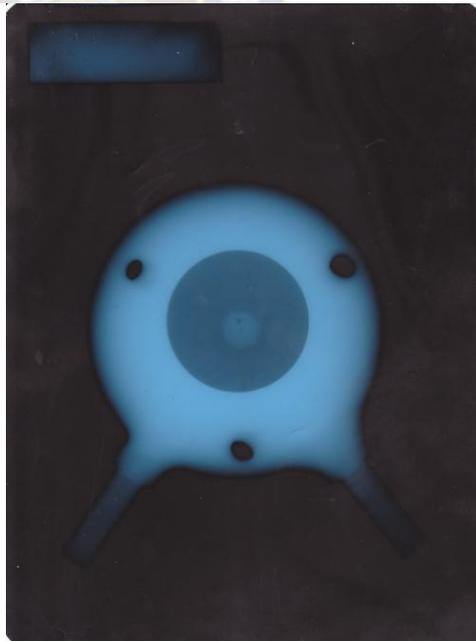


Figura N° 48 radiografía con parámetros de tiempo 2/3 segundos, 80 Kilovoltios
Figura N° 49 radiografía con parámetros de tiempo 1/2 segundo, 60 Kilovoltios

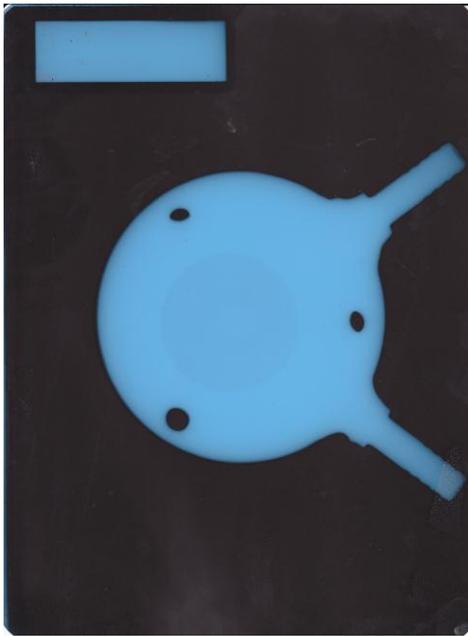


Figura N° 50 radiografía con parámetros de tiempo 1/3 segundos, 60 Kilovoltios

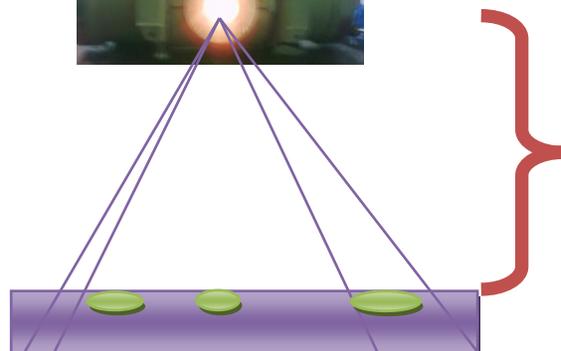
Capítulo IV Análisis de los resultados

4.1 Antecedentes A La Aplicación

De las radiografías tomadas en el anterior capítulo, se elaboran las siguientes tablas. Para realizar un análisis de los resultados obtenidos.

Para todos los experimentos se utilizó la siguiente distribución, donde la distancia focal es 50 centímetros constante.

Fuente de radiación
equipo DXE 225



Distancia focal 50 cm



fisuras

Muestra

Placa radiográfica

Figura N° 51: Proceso de toma radiográfica industrial

4.2 Análisis De Los Datos Experimento 1

Por las radiografías tomadas se puede realizar el siguiente análisis:

Radiografía N°1, el tiempo y la radiación no son suficientes para poder atravesar la muestra, por lo cual se observa una figura transparente (no es una toma educada)

Radiografía N°2, se incrementa el tiempo y la radiación estos parámetros originan una radiografía con algunas pequeñas manchas, no son suficientes para poder atravesar la muestra, por lo cual se observa una figura transparente (no es una toma educada)

Radiografía N°3, se incrementa el tiempo y la radiación estos parámetros originan una radiografía con mayores detalles y se puede observar la fisura (es una toma educada)

Radiografía N°4, se incrementa el tiempo y la radiación estos parámetros originan una radiografía con varios tipos de fisuras internas, estas manchas tienden a ser mas gruesas que las anteriores, por lo cual el nivel de radiación es elevado (no es una toma educada).

	Experimento N°1				
Radiografía N°	kilovoltaje	tiempo	Miliamperaje	Distancia focal	
1	50	0,15	200	50	
2	68	0,30	200	50	
3	88	0,50	200	50	Adecuado
4	110	1,00	200	50	

Tabla N° 3 datos de radiación experimento 1

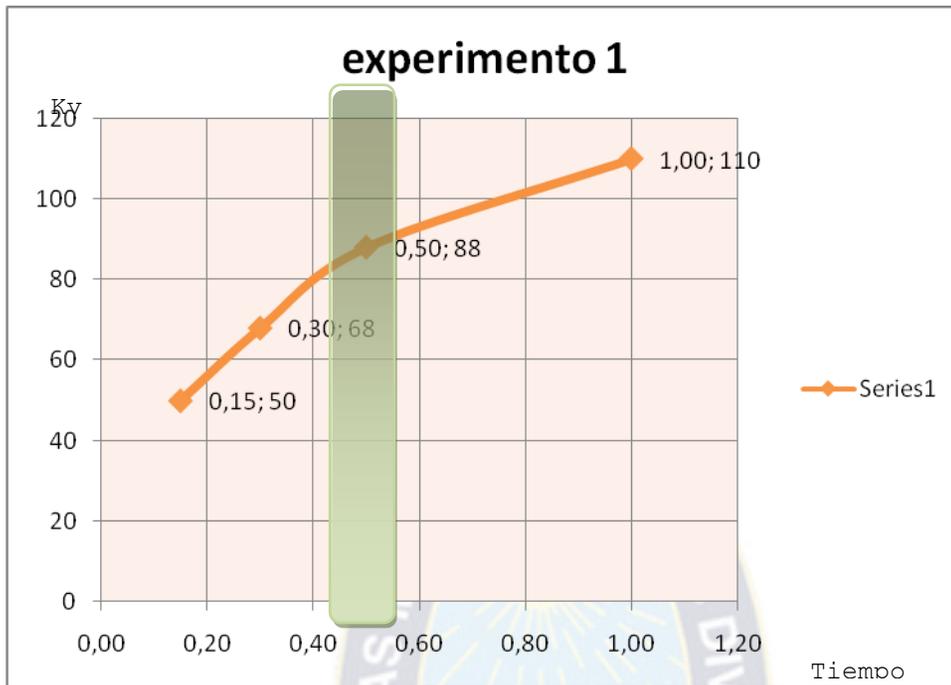


Figura N° 52 validación de datos experimento 1

4.3 Análisis De Los Datos Experimento 2

Los datos del experimento 2, se tabulan en la siguiente tabla, donde se observan las siguientes características

Radiografía N°1, el tiempo y la radiación es adecuado para la muestra pequeña, no así para la muestra de mayor tamaño por que se observa los huecos con una pequeña intensidad, los bordes oscuros se deben a que no esta bien unidos la muestra y la placa radiográfica

Radiografía N°2, se incrementa el tiempo y la radiación estos parámetros originan una radiografía con mayores detalles la radiación no es suficiente para muestra grande, pero si para la pequeña



Experimento N°2					
Radiografía N°	kilovoltaje	tiempo	Miliamperaje	Distancia focal	
1	78	0,06	200	50	
2	78	1,00	200	50	Adecuado

Tabla N°4 datos de radiación experimento 1

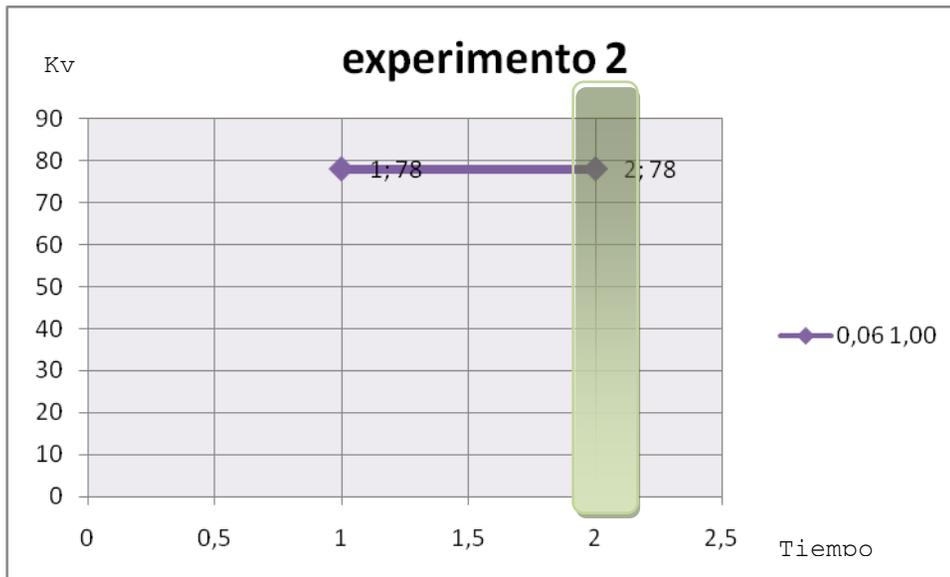


Figura N° 53 experimento 2, valores óptimos columna verde

4.4 Análisis De Los Datos Experimento 3

Los datos de la toma radiográfica del experimento 3 se tabulan en la siguiente tabla N° 5, en la que se pueden realizar el siguientes análisis.

Radiografía N°1, el tiempo y la radiación son adecuados para poder tomar este tipo de muestras (milímetro digital), en la radiografías se observan con detalle las partes internas del instrumento con claridad. Por lo cual los parámetros son adecuados.

Experimento N°3				
Radiografía N°	kilovoltaje	tiempo	Miliamperaje	distancia focal
1	78	0,30	200	50

Tabla N° 5 datos de radiación experimento 1

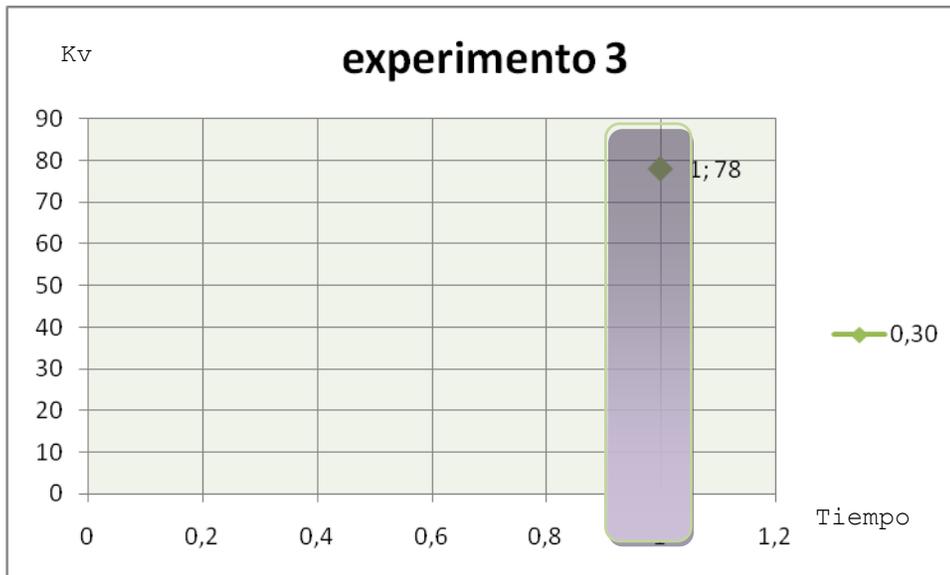


Figura N° 54 grafico de resultados experimento 3

4.6 Análisis De Los Datos Experimento 4

En este experimento se cambia a hierro dulce fundido, el cual como se observa en las graficas correspondientes presenta menor resistencia a los rayos X

Radiografía N°1, el tiempo y la radiación son muy elevados, ya que la radiación llega a sobrepasar el material, esta es la razón por la que se observa una mancha negra (no es una toma educada)

Radiografía N°2, se disminuye el tiempo y el nivel de radiación, estos parámetros originan una radiografía, donde se puede observar que va apareciendo la figura de la muestra (no es una toma educada)

Radiografía N°3, se disminuye el tiempo y el nivel de radiación, estos parámetros son adecuados, ya que se observa la muestra con todos los detalles (es una toma educada)

Radiografía N°4, se disminuye aun mas el tiempo y la radiación estos parámetros originan una radiografía con pocos detalles, pero es posible observarlos (es una toma educada)

Radiografía N°5, se disminuye aun mas el tiempo y el nivel de radiación esto lleva a que el nivel de penetración que tiene los rayos X, no lleguen a pasar por la muestra, dando una radiografía de mala calidad. (No es una toma educada)



Experimento N°4					
Radiografía N°	kilovoltaje	Tiempo	miliamperaje	distancia focal	
1	60	0,33	200	50	
2	60	0,50	200	50	
3	80	0,67	200	50	
4	90	1,00	200	50	adecuado
5	115	2,00	200	50	

Tabla N° 6 datos de radiación experimento 1

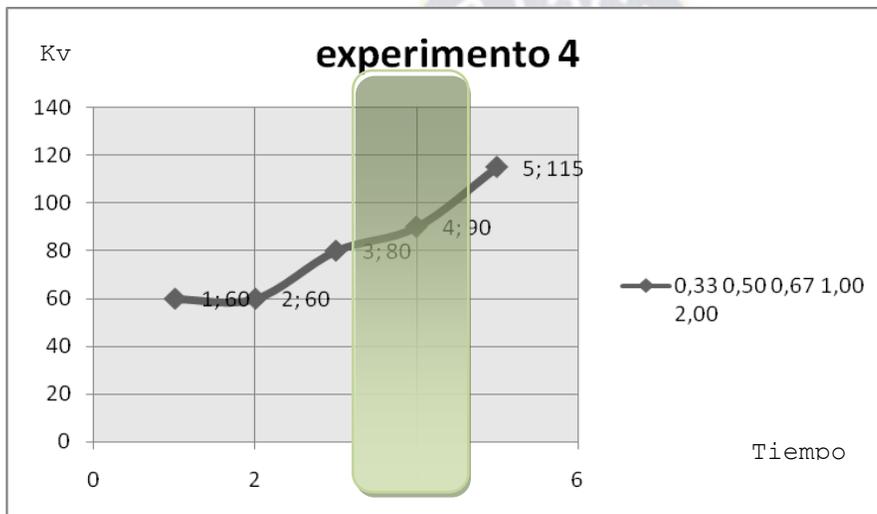


Figura N° 55 grafico experimento 4

4.6 Análisis De Las Piezas Según Norma ASME.

En la pieza examinada, se pueden observar los siguientes defectos:

- **QUEMADO.**- Resulta de factores que producen un calor excesivo en un área determinada tales como excesiva corriente, velocidad lenta del electrodo, manejo incorrecto del electrodo, etc.
- **INCLUSIONES DE ESCORIAS AISLADAS.**- La imagen radiográfica da manchas negras irregulares sobre el cordón de soldadura
- **CONCAVIDAD EXTERNA O FALTA DE RELLENO**

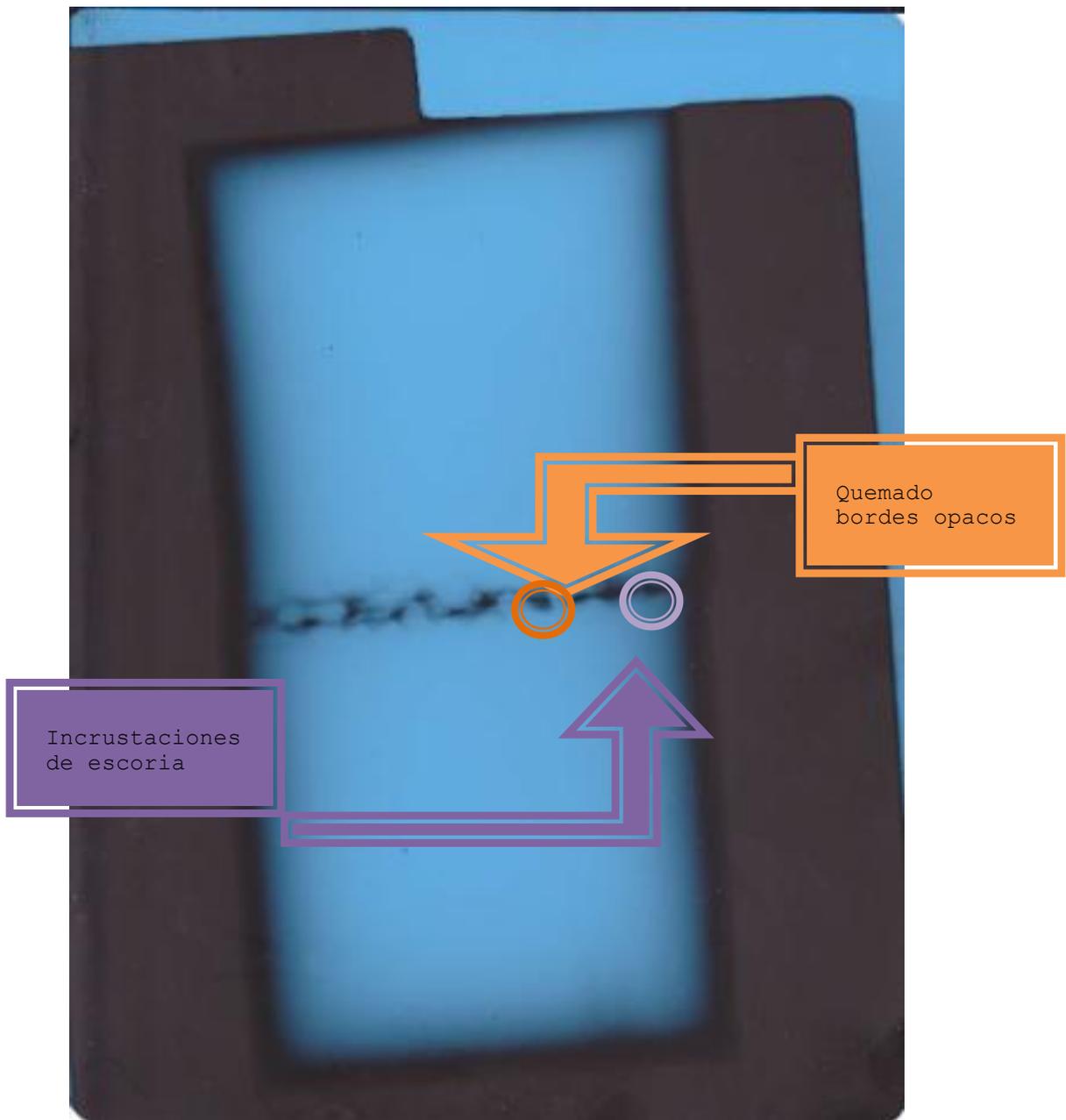
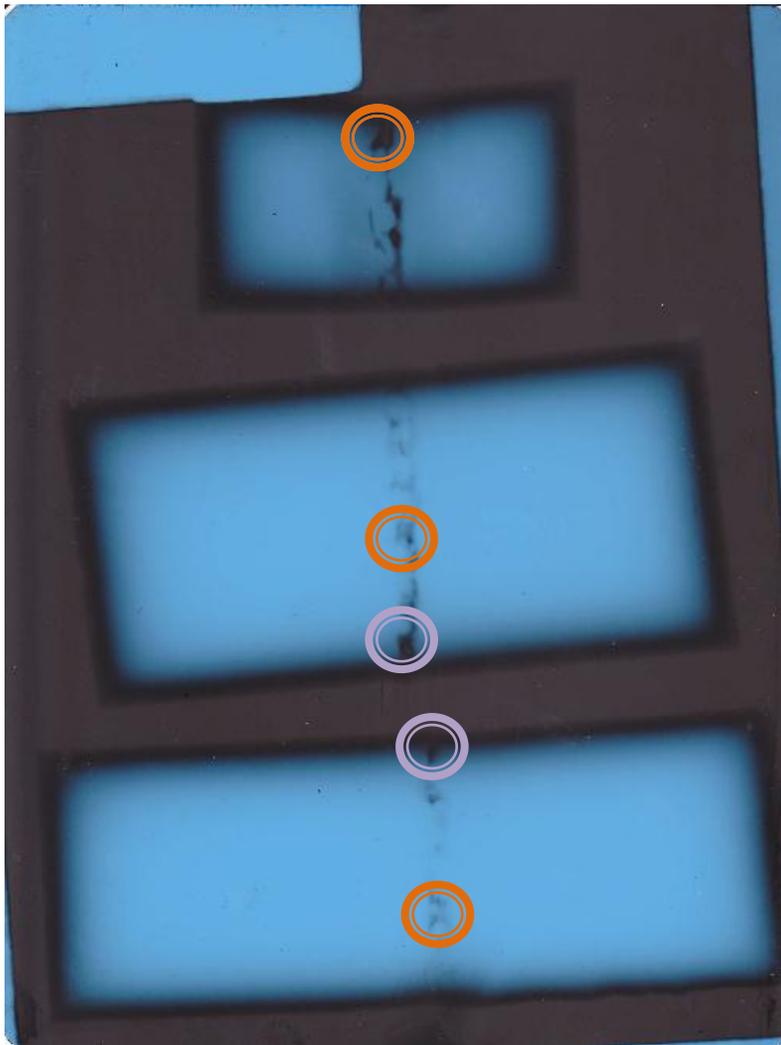


Figura N° 56 detección de fisuras en placa

Para el siguiente experimento las fallas encontradas, son las siguientes:

QUEMADO.- Resulta de factores que producen un calor excesivo en un área determinada tales como excesiva corriente, velocidad lenta del electrodo, manejo incorrecto



Quemado
bordes opacos

Incrustaciones
de escoria

Figura N° 57 detección de fallas en tres piezas

4.7 Aplicación De La Radiografía Como Una Estrategia RCM (Mantenimiento Centrado En La Confiabilidad)

La filosofía RCM plantea como criterio general, el mantenimiento prioritario de los componentes considerados como críticos para el correcto funcionamiento de la instalación, dejando operar hasta su fallo a los componentes no críticos, instante en que se aplicaría el mantenimiento correctivo. El RCM tiene muy en cuenta las especificaciones de la instalación en estudio y plantea la necesidad de realizar un programa de seguimiento y actualización:



Un proceso general de análisis RCM requiere la realización de las siguientes tareas:

- Planteamiento del análisis.
- Análisis de la criticidad.
- Selección de tareas de mantenimiento.
- Implantación de recomendaciones y seguimiento de resultados

Por lo anteriormente expuesto en los experimentos, se puede determinar que la radiografía es una técnica que tiene las siguientes ventajas

Ventajas:

- **Registros permanentes con rayos X, se puede ajustar a varios niveles de energía.**
- **Se puede observar el interior de la pieza sin necesidad de afectarla o modificarla.**
- **Se puede observar el interior de la pieza no importando la forma que la misma tenga.**

Desventajas:



- **La sensibilidad decrece con el espesor de la parte a atravesar.**
- **Las fallas transversales son de difíciles de detectar**
- **Peligro de radiación y alto costo por el procedimiento y el equipo.**
- **Requiere de personal entrenado para su manejo e interpretación.**

Por lo cual es una herramienta muy buena para poder realizar el RCM (mantenimiento centrado en la confiabilidad), previamente antes de aplicar esta metodología a cualquier equipo o pieza se debe realizar un análisis de criticidad, ya que es un requisito del RCM, además no se debe olvidar que esta técnica es muy buena, pero también costosa y se requiere de un personal calificado para aplicarla.

Procedimiento SySO

Equipo de protección personal

4.8 Propuesta de implementación Radiografía.

1.- Objetivo

La presente propuesta tiene por objeto establecer las especificaciones y requisitos de seguridad radiológica, para el manejo y operación de los equipos de radiografía industrial con rayos X.

2.- Ámbito de Aplicación

La presente propuesta es aplicable a personas naturales o jurídicas, públicas, autónomas o privadas, que realizan prácticas con equipos de radiografía industrial con rayos X

Definiciones.

Para los efectos del presente documento las definiciones y abreviaturas se entenderán en el sentido o significado que a continuación se expresan:



- a) ALARA: Término que define que las "dosis utilizadas en el uso de radiaciones ionizantes debe ser tan bajo como razonablemente sea posible" sin definir valores mínimos.
- b) Barrera primaria: Blindaje suficiente para atenuar el haz útil de radiación a un nivel requerido.
- c) Barrera secundaria: Blindaje suficiente para atenuar la radiación secundaria que se dispersa del haz de radiación de fuga del equipo o fuente emisor de radiaciones.
- d) Colimador: Dispositivo utilizado para limitar el tamaño, forma y dirección de un haz de radiación ionizante o dispositivo que restringe el área de exposición.
- e) Colimación: Reducción del haz útil de radiación para disminuir el riesgo para el trabajador y mejorar la calidad de la radiografía.
- f) Haz útil: Radiación primaria utilizada para la formación de la imagen.
- g) Radiografía Industrial: Evaluación de las estructuras de los materiales por técnicas no destructivas, utilizando fuentes selladas o equipos generadores de radiaciones ionizantes.
- h) Ci: Curies
- i) Bq: Bequerel
- j) Kv: Kilovoltios
- k) Sv (Sievert) Rem: Unidad de Dosis Equivalente o de Exposición Laboral
- l) mSv/h: miliSievert/hora
- m) Roentgen (R): Unidad de intensidad o de exposición a la Radiación.
- n) mR/h: miliRoentgen/hora
- o) Rad (Gy): Unidad de Dosis de Radiación Absorbida

3.- Responsabilidades

Sin perjuicio de lo establecido en el Reglamento Especial de Protección y Seguridad Radiología, el titular de la autorización tendrá las siguientes responsabilidades:

- a) Efectuar una adecuada supervisión de las condiciones de seguridad radiológica en que se desarrollen las actividades de la práctica de radiografía industrial.
- b) Implementar un sistema de registros que incluya el control del movimiento de equipos, Inventario del instrumental de protección radiológica, control de equipos dosimétricos, resultados de la verificación y calibración de los equipos de monitoreo.
- c) Mantener expedientes radiológicos de los trabajadores ocupacionalmente expuestos que contengan las dosis personales, chequeos médicos anuales, resultados de la



capacitación y entrenamiento anual, registro de entrenamiento del personal, registros de la vigilancia radiológica de las zonas o áreas de trabajo, reparación y mantenimiento de equipos, situaciones anormales, inspecciones y auditorías internas, operación de los equipos de Radiografía Industrial, documentación de las modificaciones a la instalación de Radiografía Industrial, documentación técnica suministrada por el fabricante y copia de los informes de investigación de sucesos radiológicos.

4.- Del Operador.

Sin perjuicio de lo establecido en el Reglamento Especial de Protección y Seguridad Radiología, el operador del equipo de rayos X tendrá las siguientes responsabilidades:

- a) Tener el entrenamiento y calificaciones necesarios para realizar las tareas requeridas, así como para la atención de cualquier suceso
- b) Asegurar que los procedimientos apropiados sean seguidos sin excepción.
- c) Poseer un conocimiento del equipo de radiografía industrial y de los sistemas necesarios para ejecutar las tareas requeridas.
- d) Asegurar que todo equipo esté siendo utilizado de acuerdo a las exigencias del fabricante como de la Autoridad Reguladora.
- e) Reportar condiciones o prácticas inseguras al responsable de protección radiológica y a la Autoridad Reguladora.
- f) Detener en cualquier momento el trabajo de radiografía, si estima que se han reducido las condiciones de seguridad.
- g) No ejecutar tareas que estén más allá de su conocimiento y capacitación.
- h) Realizar las operaciones radiográficas de manera segura y de acuerdo con todos los procedimientos operacionales y requisitos reglamentarios.
- i) Controlar que el asistente del operador que trabaja bajo su supervisión realice el trabajo de forma segura.
- j) Velar por el cumplimiento del programa de mantenimiento de los equipos.
- k) Realizar los controles previos a los equipos antes de su uso y registrar sus resultados.
- l) Llevar el registro de las incidencias operacionales de los equipos.



5.- De las Prácticas

Para realizar practicas de radiografía industrial con equipos de rayos X, se debe contar con el siguiente personal:

- a) Un operador por cada equipo de radiografía industrial en operación
- b) Un asistente del operador por cada equipo de radiografía industrial en operación.
- c) Un responsable de protección radiológica.

6.- De las Instalaciones.

Sin perjuicio de los requisitos establecidos en el Reglamento Especial de Protección y Seguridad Radiología, toda persona interesada en diseño y construcción de instalaciones destinadas a trabajos de radiografía industrial con rayos X, debe cumplir, entre otros, los siguientes requisitos:

- a) Garantizar que las dosis que reciban los trabajadores y los miembros del público, sean tan bajas como razonablemente sea posible obtener y que en ningún caso superen las restricciones de dosis establecidas en la presente norma.
- b) El cálculo de los blindajes de instalaciones fijas de radiografía industrial debe ser optimizado tomando en cuenta las áreas circundantes y las características de la instalación. Se debe especificar las condiciones de carga de trabajo, los factores de ocupación y uso de los locales adyacentes empleados, la dirección del haz directo de los equipos de radiografía para el cálculo de la barrera primaria, la radiación dispersa y de fuga para el cálculo de la barrera secundaria, accesos, puertas, disposición del blindaje y otras características de diseño que puedan suponer fugas de radiación. Cualquier modificación a dichas condiciones será considerada un cambio de diseño y requerirá la aprobación de la Autoridad Reguladora;
- c) En el caso de que la zona exterior al recinto blindado sea una zona de libre acceso, fuera del límite de la propiedad del titular, la tasa de dosis equivalente en la superficie exterior al recinto, no superará la restricción de dosis para miembros del público establecido en la presente documento.
- d) Una vez construido un recinto para radiografía industrial, se deben hacer mediciones del nivel de radiación en las zonas adyacentes, en las condiciones de máximos niveles de radiación, con el objetivo de verificar los parámetros de diseño y comprobar que la seguridad de



las personas en estas zonas cumple con las condiciones para las cuales fue diseñada.

e) Poseer en los accesos barreras de protección y dispositivos de seguridad para evitar que se pueda efectuar una exposición mientras haya personas dentro del recinto y que accedan personas al mismo durante la operación del equipo de radiografía industrial.

f) Los accesos deben estar adecuadamente señalizados, utilizando señales luminosas que indiquen las situaciones de: "EQUIPO IRRADIANDO" y "EQUIPO SIN IRRADIAR";

g) Se debe contar al menos con una alarma externa sonora que se active durante todo el tiempo de la operación del equipo. Las señales luminosas serán activadas durante la operación del equipo de radiografía industrial y accionadas por un detector de radiación fijo ubicado en el interior del recinto. Se debe adoptar la convención de: luz roja para "EQUIPO IRRADIANDO" y luz verde para "EQUIPO SIN IRRADIAR".

h) Poseer enclavamientos que interrumpan la irradiación del equipo en el caso de acceso no autorizado al recinto.

i) El sistema de enclavamiento y la luz de advertencia deberán ser independientes, de manera que el fallo de uno no implique el del otro.

j) El panel de control debe ubicarse fuera del recinto blindado donde se realiza la irradiación garantizando que en todo momento el operador tenga visión adecuada del acceso a la zona controlada. El resto de los accesos al recinto, no visibles desde la posición del operador, no podrán ser abiertos desde el exterior.

k) No se utilizará en un recinto para radiografía industrial más de un equipo de radiografía, a menos que existan controles de ingeniería que aseguren que nunca podrán operarse ambos al mismo tiempo.

l) Cuando se realicen trabajos de radiografía en instalaciones de más de una planta o nivel y en sótanos, se deberá tener en cuenta además la protección radiológica de las personas que puedan encontrarse encima y debajo del sitio donde se va a realizar la radiografía.

7.- De los Equipos.

Los equipos de rayos X empleados en radiografía industrial deben cumplir como mínimo con los requisitos siguientes:

a) El equipo debe estar diseñado de tal forma que no puedan realizarse exposiciones en forma imprevista.



- b) El equipo debe poseer dispositivos de control del haz de radiación.
- c) Debe disponer de un sistema confiable de control de los tiempos de exposición.
- d) Debe contar con un dispositivo luminoso y sonoro que indique cuando se está generando radiación.
- e) El equipo debe garantizar que la distancia mínima entre el tubo generador de rayos X y el panel de control sea la recomendada por el fabricante.
- f) El tubo generador de rayos X y el panel de control deben de poseer de manera clara y permanente el símbolo internacional de radiación ionizante.
- g) El panel de control debe cumplir con los requerimientos mínimos siguientes:
 - Estar bien identificada la posición del sistema de la llave.
 - Contar con un dispositivo luminoso que indique cuando el equipo está listo para generar radiación (color amarillo) y otro que indique cuando se está generando radiación (color rojo).
 - Poseer dispositivos que permitan al operador interrumpir la exposición en caso de emergencia.
 - Poseer controlador del tiempo de la exposición radiográfica.

8.- De los equipos para la medición de la radiación ionizante.

Los equipos portátiles medidores de radiación ionizante que se usen deben cumplir como mínimo los siguientes requisitos:

- a) Tener un intervalo de medición que puedan registrar niveles de fondo desde 0.1 mSv/h hasta al menos 50 mSv/h;
- b) Deben ser calibrados como mínimo cada doce meses y cuando se requiera.
- c) Deben etiquetarse con la fecha de calibración, el valor del factor de calibración y en su caso, la curva de calibración.
- d) Los equipos portátiles de medición de tasa de dosis equivalente ambiental deben disponer de indicación acústica, cuya tasa de repetición de pulsos audibles sea proporcional a la tasa de dosis.
- e) Las alarmas sonoras portátiles deben calibrarse en períodos que no excedan de un año. Se considera aceptable una desviación inferior al $\pm 20\%$ respecto a la respuesta esperada.

9.- Del Personal Ocupacionalmente Expuesto.



El personal que realiza prácticas de radiografía industrial debe poseer los requerimientos mínimos siguientes:

a) Ser mayor de 18 años, poseer escolaridad mínima de bachillerato, haber aprobado un Curso de Seguridad Radiológica orientado al manejo y operación del equipo de radiografía industrial, dicho curso debe estar reconocido por la Autoridad Reguladora y acreditar un mínimo de seis meses de experiencia en el manejo de equipos de radiografía industrial;

b) El asistente del operador debe ser mayor de 18 años, poseer escolaridad mínima de bachillerato, haber aprobado un Curso de Seguridad Radiológica orientado al manejo y operación del equipo de radiografía industrial, dicho curso debe estar reconocido por la Autoridad Reguladora y poseer experiencia de trabajo con radiaciones ionizantes directamente relacionados con la practica de radiografía industrial.

10.- De la operación de equipos.

Para la operación de los equipos de rayos X en la práctica industrial, se debe cumplir con los siguientes requerimientos:

a) El operador deberá estar acompañado por un asistente o auxiliar para realizar trabajos de radiografía industrial.

b) La operación de los equipos se realizará en correspondencia con los procedimientos debidamente establecidos en los marcos del programa de garantía de calidad de la entidad y en correspondencia con procedimientos establecidos por el fabricante;

c) Se debe contar con los manuales de operación de los equipos en idioma español y a disposición de los trabajadores;

d) Se debe contar con accesorios y medios de protección personal adecuados para cada operación;

e) En la operación de cada equipo deben intervenir dos personas como mínimo y ambos deben aparecer registrados en los límites y condiciones del permiso.

f) Cuando en la misma área de operación se trabaje con más de un equipo, los operadores deben coordinar las tareas de modo de prevenir que ocurran situaciones accidentales;

g) Sólo podrán ingresar en el área de operación las personas autorizadas o supervisadas por el operador.

h) Previo al inicio de cada jornada de trabajo de radiografía industrial, se deberá chequear el buen funcionamiento del medidor de tasa de dosis y alarmas sonoras portátiles.



i) Cuando no se esté realizando la exposición radiográfica se debe mantener en posición "apagado" en el panel de control del equipo de radiografía.

j) Mientras dure la exposición se debe mantener el equipo monitor de radiación a su nivel de mayor sensibilidad; el operador y asistente del operador deben situarse alejados del punto de exposición como mínimo a una distancia donde las tasas de dosis no superen los 20 mSv/h. Siempre que sea posible se situarán detrás de barreras de protección disponibles en el área de trabajo, manteniendo siempre el control sobre el panel de mando del equipo de radiografía y la zona controlada y donde se pueda impedir el acceso a la misma de personas durante la exposición.

k) Durante los trabajos de radiografía industrial y siempre que sea posible, el operador deberá ubicar el panel de control del equipo de radiografía fuera de la zona controlada a la máxima distancia del tubo generador de rayos X. En el caso que en la práctica esto no sea posible, el operador debe controlar su permanencia en esta área garantizando que la dosis recibida sea tan baja como sea razonablemente posible.

l) Siempre que sea posible desde el punto de vista de protección radiológica, los trabajos de radiografía industrial se realizarán con el uso de colimadores.

m) El operador en el intervalo de tiempo que media entre una radiografía y otra no debe alejarse del panel de control del equipo. En el caso que por necesidad de trabajo en el propio lugar donde realiza la radiografía sea posible esta circunstancia, deberá desconectar la alimentación eléctrica del equipo y llevar consigo la llave del panel de control de éste.

n) Después de concluida la exposición, para acercarse al tubo generador de rayos X el operador o asistente del operador deberá verificar que los dispositivos de señalización del panel de control del equipo indiquen que el alto voltaje se encuentra desconectado y comprobar a través del control radiológico que la exposición ha cesado.

11.- De la operación en instalaciones fijas.

Para la práctica de radiografía industrial que se efectúe en instalaciones fijas se debe cumplir con los siguientes requerimientos.

a) El recinto de irradiación sólo se destine a la operación y resguardo de equipos;

b) La operación de los equipos debe realizarse desde el exterior del recinto de irradiación;



c) En la parte exterior de los accesos a las instalaciones de irradiación se debe colocar la señalización del símbolo internacional de radiación ionizante y un rotulo que explique su significado y el aviso "PELIGRO ZONA DE RADIACIÓN".

d) En la parte exterior de los accesos a las instalaciones de irradiación debe colocarse la señal luminosa de advertencia la cual se mantendrá encendida cuando comience la exposición y permanezca funcionando durante todo el tiempo que dure la misma;

e) En el exterior del recinto, se deberá contar con una alarma sonora que se active cuando se va a comenzar la irradiación, la cual debe ser accionada por un detector de irradiación ubicado en el interior del mismo.

f) Las puertas de acceso al interior del recinto de irradiación deben estar debidamente cerradas, independientemente de que estas posean o no sistemas de enclavamiento del funcionamiento del equipo de radiografía.

g) En el interior del recinto de irradiación no deben permanecer personas, una vez que hayan sido cerradas las puertas de accesos al mismo.

h) El panel de control del equipo debe mantenerse siempre bajo vigilancia y control del operador o del asistente durante todo el tiempo de trabajo con el equipo. En el caso que ambos pudieran alejarse del equipo, el operador deberá retirar y llevar consigo la llave del panel de control del equipo.

i) No debe permitirse el acceso de personal al recinto luego de concluida la exposición, hasta que no sea verificada con los equipos monitores que ha cesado la exposición.

12.- De la restricción de dosis.

Para la práctica de radiografía industrial con rayos X, se aplicarán las restricciones de dosis efectivas siguientes:

a) 6 mSv por año para personal ocupacionalmente expuesto.

b) 0.5 mSv por año para miembros del público.

Debe limitarse tanto como sea razonablemente posible la probabilidad de ocurrencia de situaciones accidentales, utilizando procedimientos y elementos de seguridad apropiados, que permitan además, la detección temprana de tales situaciones.

En caso de situaciones accidentales deben llevarse a cabo las acciones correctivas necesarias, mediante los procedimientos y los elementos apropiados de modo que las dosis que se generen resulten tan bajas como sea razonablemente posible.



13.- De la colimación.

Siempre que sea necesario, durante la exposición con haz colimado, se dirigirá el haz de radiaciones en una dirección tal que no existan edificaciones cercanas, ni la posibilidad de permanencia o tránsito de personas, aún fuera de los límites de la zona supervisada. Preferiblemente el haz de radiaciones se dirigirá hacia abajo o hacia arriba, siempre y cuando estas direcciones cumplan con la condición antes expuestas.

14.- Programa de Mantenimiento.

El Titular del permiso deberá establecer un programa para el mantenimiento preventivo y la ejecución de revisiones periódicas de los equipos en correspondencia con las recomendaciones del fabricante.

El programa de mantenimiento deberá incluir, entre otros aspectos, los siguientes:

- a) Las verificaciones rutinarias pre-operacionales establecidas por el fabricante que debe realizar el operador antes del empleo rutinario del equipo de radiografía industrial;
- b) Verificación de las conexiones;
- c) Verificación de los sistemas de control de los parámetros para la exposición de rayos X;
- d) Verificación de los sistemas de seguridad e indicadores del panel de control de los equipos de radiografía con rayos X;
- e) Estado general del panel de control y el tubo generador de rayos X;
- f) Buen funcionamiento del sistema de seguridad de cierre por llave del panel de control;
- g) Estado adecuado de los cables de control.
- h) Estado adecuado de las señalizaciones.
- i) Revisiones periódicas planificadas.

15.- Criterios Adicionales para Áreas Abiertas.

Para la realización de trabajos de radiografía industrial en condiciones de campo se deberá disponer de la cantidad suficiente de medios necesarios tales como: cintas, cuerdas o barreras, carteles con señales de peligro radiológico y otros medios, para la delimitación y señalización de las zonas radiológicamente peligrosas.

Antes de comenzar a realizar los trabajos de radiografía industrial el operador deberá coordinar con los jefes o propietarios de las áreas aledañas a la zona donde se realizará la exposición radiográfica, a fin de evitar la permanencia de personas ajenas al trabajo de radiografía en



los alrededores de la zona radiológicamente delimitada y disminuir la posibilidad de acceso accidental a la misma. En los casos que se realicen radiografías en lugares donde puedan transitar personas ajenas a la actividad, los operadores deberán tomar las medidas pertinentes de tal manera que avisen o indiquen sobre el riesgo existente y la ocurrencia de la exposición inadvertida. En el caso que existiera el acceso de alguna persona en la zona controlada durante la exposición, se detendrá inmediatamente la misma y se pondrá en práctica el plan de emergencia radiológica.

16.- Delimitación física del área.

El operador o su auxiliar previo a la operación del equipo de rayos X, deben delimitar el área de operación mediante barreras físicas apropiadas, ubicadas de tal manera que permitan prevenir el acceso inadvertido de personas, estableciendo límites para la tasa de dosis equivalente ambiental en el exterior de dicha área para cada caso particular, verificando por medición que durante la exposición no se excedan de dichos límites.

17.- De la zona controlada y supervisada.

Para definir y acotar claramente la zona controlada y la zona supervisada en trabajos de radiografía industrial en condiciones de campo, se deberá llevar a cabo un estudio previo del área donde se van a realizar las exposiciones analizando para tal efecto: protecciones posibles existentes, posibilidades de acceso, nivel de ocupación de zonas circundantes, luces, etc

Además, el responsable de protección radiológica o el operador, deberá acordar con el responsable del lugar de trabajo las disposiciones pertinentes que impidan el acceso a personal no autorizado, custodia de las llaves y horario de trabajo.

18.- Dosimetría personal y estimación de la exposición ocupacional.

Los trabajadores de las zonas controladas y supervisadas deberán tener un control dosimétrico individual obligatorio para evaluar las dosis a cuerpo entero.

Con el objeto de contar con una evaluación inmediata de las dosis que puedan recibirse en operaciones con determinado nivel de riesgo, se requiere de dosímetros de lectura directa con alarma sonora para ser usados de forma complementaria con los dosímetros personales.

Durante el manejo del equipo de rayos x industrial, el operador y el auxiliar deben portar, cada uno, un dosímetro de película o termoluminiscente, un dosímetro de lectura directa y una alarma sonora.



Los dosímetros de lectura directa deben tener un intervalo de medición de 0 mSv a 2 mSv (0 mR a 200 mR), y deben ser recargados al inicio de cada jornada de trabajo.

Cada dosímetro de película o termoluminiscente deben estar asignados en forma exclusiva a una sola persona para su uso y registro mensual correspondiente.

Los dosímetros de lectura directa se deben revisar en periodos que no excedan de un año para verificar su correcta respuesta a la radiación, la respuesta se considera aceptable si la desviación de la medición con respecto a la lectura esperada es inferior a un $\pm 30\%$;

19.- Monitoreo de áreas.

Durante las exposiciones de radiografía industrial se deberá efectuar un monitoreo de las áreas involucradas por las mismas y llevar a cabo un registro de vigilancia radiológica.





4.9 Criterios de Criticidad

Procedimiento mantenimiento centrado en la confiabilidad
criterios de criticidad

IDENTIFICACION, EVALUACION, Y CONTROL DE RIESGOS SSMA

1.- objetivo

Establecer la metodología para identificar los peligros, riesgos y otros aspectos, para evaluar y controlar los riesgos relativos y salud ocupacional, la seguridad y el medio ambiente para luego definir y aplicar los mecanismos de criticidad, para aplicaciones de radiografía industrial, para cualquier industria.

2.- alcance

Este documento aplica a todas las instalaciones y áreas de operación de la empresa donde se requiera un nivel de confiabilidad en el funcionamiento de la maquinaria.

3.- Responsabilidades

3.1 Jefe de Supervisión SSMA.

- Elaborar, modificar, cuando sea necesario los cambios del presente documento.
- Dirigir la ejecución de lo establecido en este procedimiento y asegurar su implementación.
- Controlar la implementación y verificación de la eficacia de las medidas de control resultantes de la evaluación de riesgos.
- Difundir cambios realizados a este documento. Cuando sea necesario capacitar al personal afectado en la aplicación de la nueva documentación.

1.2 Coordinador SSMA.

- Revisar el presente documento verificando la adecuación de los mismos a las actividades de la empresa.



- Designar a los responsables de poner en práctica lo establecido en este documento y evaluar su desempeño.

1.3 gerente de proyecto

- aprobar el presente documento
- asignar los recursos que sea necesario para el cumplimiento de lo establecido en este documento

1.4 personal SSMA

- colaborar en la identificación de peligros a los jefes de área
- valorar los riesgos en conjunto con los jefes de área.
- Monitorear el cumplimiento de las medidas de control resultantes de la evaluación de riesgos.

1.5 Gerentes de proyecto, superintendente

2. Desarrollo

El análisis de identificación, evaluación y control de riesgos SSMA se aplicara a los siguientes casos.

- a) cuando se realice una actividad en su etapa de planificación.
- b) Cuando exista un cambio en las instalaciones
- c) Adquisición de nuevo equipamiento
- d) Cambio en la metodología de la operación.
- e) Cambios sobre los procesos nuevos proyectos y obras.

3. Identificación de peligros.

El proceso de identificación, evaluación y control de riesgos relativos a la seguridad, salud ocupacional y medio ambiente, se lleva a cabo con la participación del personal responsable de las áreas identificadas en la empresa.



4. valoración de riesgos

Esta actividad tiene por objeto asignarle un valor a los factores de riesgo. Gravedad de las consecuencias (G) y probabilidad de ocurrencia (P). el producto de ambos factores da como resultado el riesgo.

Nivel de riesgo = Probabilidad x Gravedad

Riesgo = P x G

Los valores pueden tomar estos factores están definidos en la siguiente tabla

Valoración de los riesgos		
Factor	Descripción	Valor
gravedad	Posible fatalidad por accidente o enfermedad laboral (exposición a radiación nociva). Exposición masiva del personal a un riesgo de elevado potencial. Podría ocasionar paro total o definitivo de las operaciones de la empresa.	4
	Podría ocasionar daños a la salud sin provocar perdida de vida (lesiones crónicas en la columna, quemaduras extensas de primer grado) incluyendo incapacidad parcial y permanente. Impacto considerable en la reputación de la empresa o compañía. Podría ocasionar paro parcial o temporal de las operaciones.	3
	Podría ocasionar lesiones menores en la salud (contusiones o traumatismos fuertes, heridas superficiales, quemaduras de segundo grado, intoxicación aisladas, hemorragia continua), afectar el rendimiento laboral, limitar ciertas actividades temporalmente, efectos limitados sobre el medio ambiente, contaminaciones menores, remediables y no repetitivas, impacto leve en la reputación de la empresa.	2
	Efectos leves en la salud, incluyendo primeros auxilios, tratamiento medico y que no afectan el rendimiento laboral ni causan incapacidad y tampoco la perdida de jornada laboral (contusiones menores, cortaduras o raspaduras superficiales, quemaduras de primer grado, esguinces. Hemorragia por goteo), sin daño ambiental, pero con desviación menor de las buenas practicas ambientales. No afectan en lo absoluto la reputación de la empresa.	1
probabilidad	Es muy probable que ocurra, por que no existe medidas de control ni experiencia operacional.	4
	Es probable que ocurra, por que no existe medidas de control ni experiencia operacional son insuficientes.	3



	Es poco probable que ocurra, por que existe medidas de control implementadas y experiencia operacional.	2
	Es improbable, por que las medidas de control implementadas son afectivas y se cuenta con experiencia operacional.	1

5. nivel de riesgo

el valor del nivel de riesgo será resultante del producto del nivel de probabilidad y el nivel de gravedad (R=PxG). La siguiente figura muestra, en forma de matriz, las combinaciones de valores que puedan tomar los riesgos:

Matriz de cuantificación de riesgos

gravedad probabilidad	4 Muerte o enfermedad ocupacional, daños irreversibles al medio ambiente	3 Lesiones o enfermedades incapacitantes, daños ambientales graves	2 Lesiones o enfermedades que requieran asistencia medica daños ambientales menores	1 Lesiones menores sin perdida de tiempo daño ambiental incipiente y sin perjuicios
4 (muy probable)	16	12	8	4
3 (probable)	12	9	6	3
2 (poco probable)	8	6	4	2
1 (improbable)	4	3	2	1



6.- control de riesgos (referencias de colores)

12 -16	Riesgo intolerable	No debe comenzar ni continuar la actividad, la tarea debe cambiar o suspenderse hasta que el riesgo sea moderado
8 - 9	Riesgo importante	No se iniciara el trabajo hasta que no se haya reducido el riesgo y se haya implementado las medidas de control. Introducir los cambios que sean necesarios en el entorno de trabajo para conseguir condiciones mas seguras de trabajo y el riesgo sea moderado.
4 - 6	Riesgo moderado	Establecer medidas de control que minimicen los posibles daños. Difundir las acciones de control y monitorear continuamente su cumplimiento.
1 - 3	Riesgo tolerable	No hacen falta controles adicionales. Se requiere monitoreo para asegurar que se mantengan los controles.

Los riesgos mayores o iguales que 4 (colores rojo, anaranjado, y amarillo), quedaran registrados en la hoja de control y serán controlados de acuerdo a su importancia y preverán su aporte para:

- establecer objetivos y requisitos en las instalaciones y/o barreras físicas de control.
- Establecer procedimientos operativos y planes de contingencia.
- Definir necesidades de capacitación y establecer actividades de seguimiento y medición.

6.- Monitoreo de la implementación de las medidas de control

Todos los riesgos con nivel intolerable o importante deben ser reducidos en forma obligatoria al nivel moderado. El proceso consiste en aplicar medidas de control tales que el riesgo inicialmente identificado como intolerable o importante disminuya hasta lograr que el llamado riesgo residual tenga un valor igual o menor a 6.

El valor de riesgo se tabulara en la matriz



El monitoreo de la implementación y el mantenimiento de las medidas de control se realizara mediante supervisión constante, auditorias internas, inspecciones periódicas planificadas o cuando sea necesario.

Cuando exista alguna desviación de la implementación de las medidas de control se toman las correspondientes acciones preventivas y correctivas que eliminen las causas de las desviaciones, estas serán revisadas mediante el proceso de evaluación de riesgos. La actualización de la evaluación será documentada e informada en la revisión por la dirección.





Capítulo V

Resultados y conclusiones

5.1 Presentación, Análisis e Interpretación

Como principal conclusión se tiene: que un equipo de rayos X medico, puede ser utilizado para tomar radiografías industriales, bajo ciertas condiciones de tiempo de exposición, nivel de radiación, e intensidad de radiación como se observa en el capitulo III.

En el capitulo IV se observa que las variables que intervienen para una correcta toma radiográfica son: el tiempo de radiación, la intensidad de radiación, la distancia focal.

Otras variables que no se tomaron en cuenta son: el tipo de película radiográfica, el líquido revelador, el tipo de líquido fijador, el tiempo de revelación, ya que estos parámetros se deja para una próxima experimentación.

5.2 Comprobación de la Hipótesis

Observando los resultados de los experimentos en el capitulo III y IV, se comprueba que la determinación de los parámetros de radiación en equipos médicos aseguran una correcta detección de fisuras internas en materiales y soldaduras, por lo cual la hipótesis queda demostrada. Es decir se puede realizar tomas de radiografía industrial con un equipo medico.

5.3 Conclusiones

Se puede llegar a las siguientes conclusiones, que los parámetros de radiación afectan una correcta toma de radiográfica como se observa en el capitulo III.

Entre otras conclusiones, es que se puede sacar radiografías industrial con un equipo de rayos X medico, por lo cual los costos se reducen y la accesibilidad a este tipo de técnica se aumenta, esto se observa en el capitulo III y IV

Como se observa en el capitulo IV, se cuantifica el nivel y el tiempo de radiación según el material que tiene la muestra.



La radiografía con un equipo medico, también puede ser utilizada para otro tipo de aplicaciones como se observa en el experimento 3 del capítulo III.

La técnica de radiografía industrial se puede utilizar para realizar el mantenimiento centrado en la confiabilidad, previamente realizando un análisis de criticidad para justificar el costo.

5.4 Sugerencia Para Investigación Consecutiva

Sugerencias De Protección

No olvidar utilizar en tomas radiográficas el chaleco de plomo, esto para evitar posibles radiaciones en el cuerpo.

Los niveles de radiación se deben utilizar de menor a mayor e ir incrementando poco a poco.

Utilizar el disparador remoto, ya que es una buena forma de protección

5.5 Sugerencias del equipo al sacar radiografías

Según el tipo, tamaño, espesor del material a sacar radiografía se sugiere no utilizar un equipo de baja potencia (utilizar uno mayor a 60 Kilo Voltios), e intensidad de radiación de 200 mA, para tomar radiografías de mayor calidad.

Para utilizar otro tipo de materiales como el aluminio se debe utilizar intensidades menores de potencia.

Otro parámetro que no debe olvidarse es la intensidad, esta debe ser mayor que 100 mili amperios.

Para poder observar la toma radiográficas se debe utilizar el negatoscopio.



Referencias bibliográficas

- [1] LIDIO E. MOSCA OSCAR A. BASSEUR - TECNOLOGÍA RADIOLÓGICA
- [2] TÉCNICAS PARA PROYECCIONES RADIOGRÁFICAS DR EMILIO MOSSCA
- [3] DOUGLAS S KATZ, MD KEVIN R. MATH MD, STUARD A. GROSKIN, MD SECRETOS DE LA RADIOLOGIA MC GRAW HILL INTERAMERICANA

URL

- [4] <http://www.4shared.com> norma ASME
- [5] <http://www.uma.es/scai/index.html>, difracción de los rayos X
- [6] http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1901/rontgen-bio.html, rayos X
- [7] http://cursos.libertaddigital.com/plantilla_ficha_curso.htm?curso_id=29110 curso de radiografía

Otras referencias

- [8] Manuel Martínez Morrillo, video interactivo un paseo por la radiología, servicio de publicaciones e intercambio científico, universidad e Málaga

Cursos y Seminarios

- [9] Técnicas de Análisis no Destructivo, Facultad Técnica UMSA, 2010
- [10] Curso Ensayo Por radiografía Nivel 1, 2010, INSPAIN
- [11] Curso Ensayo Por ultrasonido Nivel 1, 2010, INSPAIN
- [12] Curso Ensayo Por Líquidos Penetrantes Nivel 1, 2010, INSPAIN
- [13] Curso Ensayo Por Partículas Magnéticas Nivel 1, 2010, INSPAIN





ANEXOS

