

COMPARACIÓN DE TÉCNICAS DE INSPECCIÓN RADIOLÓGICA RAYOS X CON GAMMAGRAFÍA

Mónica Melgarejo^{1*}, *Agustín Martínez*², *Yaneth Pineda*³, *Mónica Sánchez*⁴

1: Ingeniero en Metalurgia, Msc (c) en Materiales. Instituto para la Investigación e Innovación en Ciencia de los Materiales –INCITEMA-. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia

2: Físico, PhD. En Radiología Médica. Grupo de Física Nuclear Aplicada y Simulación, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia

3: Ingeniero en Metalurgia, Phd. en Ingeniería Mecánica. Instituto para la Investigación e Innovación en Ciencia de los Materiales –INCITEMA-. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia

4: Estudiante Escuela de Ingeniería Metalúrgica. Grupo de Física Nuclear Aplicada y Simulación, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia

*Contacto: monica.melgarejo@uptc.edu.co

RESUMEN

La selección del tipo de radiación que se use en radiografía industrial es fundamental para la medición de la vida útil de piezas metálicas [1,2,3]. Las técnicas convencionales usadas en radiografía industrial son: rayos X y radiación gamma (^{60}Co e ^{192}Ir), la diferencia radica en la fuente emisora de radiación [4]. El objetivo principal de este trabajo es exponer la comparación entre las técnicas de inspección radiológica rayos X con gamma. Este comparativo se efectúa mediante el uso de 4 piezas patrón fabricadas de acero A36 con espesores de 20 mm y 12 mm. La razón de la selección de dos espesores distintos es el determinar la relevancia del espesor de la pieza a inspeccionar con la calidad de la imagen y analizar la sensibilidad de las técnicas, Rayos X y Co-60. Para esto, se hace uso de los indicadores de calidad de imagen (ICI). Estos indicadores permiten establecer características que hablan de la calidad de la imagen, contraste y dejan ver la definición con que aparecen los detalles de la imagen [5,6]. Además de los ICI, se recomienda la aplicación del “Índice de visibilidad N”. Este índice debe seguir las recomendaciones de cuanto mayor es N [7], más alta es la calidad de la imagen [8,9].

Palabras Clave: *Radiografía Industrial, Defectología, rayos X, Gammagrafía, Cobalto-60.*

ABSTRACT

Selecting the type of radiation to be used in industrial radiography is essential to measure the lifetime of metal pieces [1, 2, 3]. Conventional techniques used in industrial radiography are: X-ray and gamma radiation (^{60}Co e ^{192}Ir), the difference lies on the radiation source [4]. To present the comparison between radiographic inspection techniques with gamma rays x, is the main objective of this paper. This comparison is performed by the use of 4 parts of A36 manufactured pattern with thickness of 20 mm and 12 mm. In order to determine the relevance of the thickness of the work piece to inspect the quality of the image and analyze the sensitivity of the techniques (X-ray and Co-60), selection of two different thicknesses was done. For this, it makes use of image quality indicators IQI, these indicators establish characteristics that define the image

quality, contrast and definition reveal the displayed image details [5, 6]. In addition to the ICI, we recommend the application of "visibility index N". This index should follow the recommendations of the higher N [7], the higher the image quality [8, 9].

KEYWORDS: *Industrial Radiography, Defectology, X-ray, scan, Cobalt-60*

1 INTRODUCCIÓN

La radiografía industrial es uno de los ensayos no destructivos más usados en la inspección de piezas metálicas dado que otorga información detallada de discontinuidades internas presentes que permiten determinar el grado de calidad del producto terminado. La selección del tipo de radiación que se use es fundamental, debido a que este influirá en calidad de la inspección radiográfica [10, 11, 12]. Las técnicas convencionales más usadas en radiografía industrial son: rayos X, gammagrafía (^{60}Co e ^{192}Ir). La diferencia entre las dos radica en la fuente emisora de radiación [13, 14].

La calidad de la imagen radiográfica en las dos técnicas utilizadas se evalúa mediante el empleo de Indicadores de Calidad de Imagen (ICI) de hilos y agujeros, determinando por una parte el contraste de la imagen y de otro lado, definiendo el detalle de menor tamaño que el ensayo es capaz de detectar [15,16]. Además de los ICI, se recomienda para una mejor estimación de la calidad de la imagen, la aplicación del "Índice de visibilidad" N [17]. Este índice debe seguir las recomendaciones de cuanto mayor es N, más alta es la calidad de la imagen [18, 19, 20]. Los ICI son usados en este trabajo para evaluar la calidad en las imágenes obtenidas, cuando son sometidas a irradiación por las dos técnicas radiográficas (rayos X y gammagrafía) [21, 22].

2 MATERIALES Y MÉTODOS

Para el desarrollo de esta investigación se inspeccionaron cuatro piezas patrón fabricadas en acero A36 [23] con discontinuidades características (poro, grieta, penetración incompleta e inclusión de escoria) [24] soldadas con procedimiento tipo SMAW (shielded metal arc welding), con junta en "V" sencilla y ángulo de chaflán de 33° certificadas por la AWS [25], con área de 100×200 mm. Se seleccionaron dos espesores de inspección distintos: a 12 y 20mm para determinar la influencia del proceso físico de la inspección realizada con las dos técnicas, rayos X y gammagrafía.

2.1 Radiografía con rayos X

Se utilizó un equipo SITEX 180 marca ICM. Para la inspección a prueba fue usado un voltaje de 160 kV y una corriente de 2.4 mA. El tiempo de exposición con rayos X se calculó de acuerdo con el espesor de la pieza y la curva característica para acero suministrada por el fabricante [26]. La película utilizada fue Structurix D7 grano grueso [27] a una distancia de 70 cm foco película por requerimiento del fabricante.

2.2 Radiografía con rayos gamma

Se realizó con una fuente de ^{60}Co marca Sentinel, que a la fecha de la inspección presentaba una actividad de 37.9 Ci [28]. El tiempo de exposición se calculó siguiendo la ecuación (1):

$$t = \frac{F \cdot A \cdot d^2}{S}, \quad (1)$$

dónde, t es el tiempo (minutos), F es el factor de película, A es el factor de absorción, d es la distancia foco-película (cm) y S es la actividad (mCi). La película usada en este caso fue Structurix D7 grano grueso de 70 mm de ancho [29]. El procedimiento usado en la toma radiográfica se realizó mediante la técnica de Exposición Pared Sencilla con la fuente radiográfica ubicada paralelamente a 12 pulgadas de la pieza patrón por recomendación del código aplicable [30], realizando dos exposiciones por platina en cada caso. La distancia D entre la fuente y la superficie a radiografiar se calculó siguiendo la ecuación 2:

$$d_{min} = \frac{T \cdot x}{K}, \quad (2)$$

dónde d_{min} es la distancia mínima en pulgadas entre la fuente y la superficie a radiografiar. T es el tamaño efectivo de la fuente o del punto focal dado en pulgadas. x es el espesor de la soldadura, incluyendo el refuerzo y a esto se debe adicionar la distancia entre la soldadura del lado de la película y la pieza, en pulgadas y K es la constante que relaciona la densidad del material radiográfico.

La calidad conclusiva de cada imagen radiográfica, es sometida a la capacidad para observar la imagen del indicador de calidad utilizado y el hilo más pequeño en diámetro expuesto determinando el índice de visibilidad N de la ecuación 3, junto con la identificación de la definición del agujero más pequeño en el indicador de agujeros seguido por el código [31].

$$N = a - b \quad (3)$$

Donde, N es el índice de visibilidad, a es el número de hilos visibles en la imagen y b es el número de hilo del ICI empleado. Los ICI usados fueron hilos tipo 1B (6 hilos) según los requisitos de ASTM E 142 [30] bajo los criterios y tablas del código ASME Sección V artículos 1 y 2 normalizados [18] y de agujero tipo 70.

3 RESULTADOS

En la inspección radiográfica para el comparativo se obtuvieron cuatro imágenes a analizar, dos irradiadas con rayos X (izquierda) a piezas de 12 y 20 mm de espesor y dos irradiadas con rayos gamma (derecha) también a piezas de 12 y 20 mm de espesor.

Al hacer el comparativo entre las imágenes obtenidas para las muestras con 12 mm de espesor tomadas con rayos X y gammagrafía de la figura 1, se puede determinar un alto índice de visibilidad en la imagen con rayos X, contándose mayor cantidad de hilos visibles del ICI en la

imagen (5 hilos, $N = -1$), y mayor sensibilidad de detección al fijarse con nitidez el hilo de menor diámetro (0,254 mm - ASME V artículo II tabla 233). Con gammagrafía solamente se pueden distinguir 2 hilos del ICI con muy poca definición, su índice de visibilidad es de -4 haciéndolo menor que con rayos X.

Para las piezas con mayor espesor (20mm) se obtiene un mejor índice de visibilidad en las tomas hechas con gammagrafía, donde se pueden distinguir tres hilos del ICI ($N = -3$). En la toma con rayos X los hilos presentan muy poco contraste, haciéndolos no visibles ($N = -6$). En los ICI de agujero se puede determinar mejor definición y contraste con gammagrafía al manifestarse con mayor nitidez el agujero más pequeño. Al igual, se puede observar con mayor definición la discontinuidad y el cordón de soldadura con gammagrafía, como se ve en la figura 2.



Figura 1. Comparativo rayos X con gammagrafía en pieza de 12 mm de espesor.



Figura 2. Comparativo rayos X con gammagrafía en pieza de 20 mm de espesor.

Otro aspecto a tener en cuenta en la evaluación con las dos técnicas utilizadas es el tiempo de irradiación. En la tabla 1 se muestran los tiempos utilizados para cada una de las tomas, se puede prestar atención a un tiempo demasiado largo en la exposición con rayos X para las piezas con mayor espesor (20mm) haciendo que el tubo de rayos X tenga que autorefrigerarse cada 5 minutos aumentando el tiempo de exposición en un 50%, traduciéndose en gastos de energía, tiempo y desgaste del tubo.

Tabla 1. Tiempo de exposición y distancia para cada técnica utilizada

Espesor pieza [mm]	Tiempo Exposición [s]	Distancia Foco-película [cm]	Técnica radiográfica
12	300	70	RX
12	28	30.48	RG
20	549	70	RX
20	36	30.48	RG

4 CONCLUSIONES

La única forma de determinar si una imagen radiográfica cumple con estándares de calidad en contraste, definición y nitidez es por medio del uso de indicadores de calidad, seleccionados teniendo en cuenta las características de las piezas a radiografiar y siguiendo las sugerencias de los códigos aplicables. La selección de los indicadores de calidad es independiente del tipo de técnica radiográfica utilizada.

De acuerdo a la cantidad de hilos del indicador de calidad visibles en cada una de las imágenes radiográficas se puede deducir que a bajos espesores (12 mm), el índice de visibilidad aumenta en la técnica de rayos X, mientras que con el aumento del espesor (20 mm), el índice de visibilidad mejora para gammagrafía.

La selección de la técnica radiográfica depende directamente del espesor de la pieza que se quiera inspeccionar y de la calidad de la imagen que se quiera obtener. Cuando una imagen radiográfica no presenta buena definición y su contraste es bajo se pueden originar indicaciones falsas, fundando un análisis de inspección erróneo. Además, se debe tener en cuenta aspectos como: el tiempo de exposición total, la fuente de generación de energía, el sitio y condiciones geográficas de la toma, el transporte y cuidado de los equipos; sabiendo que en la industria se deben presentar resultados rápidos, confiables, de calidad, seguras [32] y a bajos costos.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. P. Ciorau. Critical comments on the use of X-rays and Ir-192 for detecting linear discontinuities. *NDT International*. 23(6): 345-350. 1990.
2. J. E. Holmström. Exposure values for a 300 kV halfwave X-ray unit using three X-ray films of different film classes. *NDT & E International*. 31(1):33-41. 1998.
3. Handbook on radiation probing, gauging, imaging and analysis. E.M. Hussein. Volume I: Basics and Techniques. Springer-Verlag New York . Mayo de 2003. ISBN: 1402012942.
4. Métodos de ensayos no destructivos. F. Ramírez Gómez. INTA, D.L. Madrid 1996-1998. ISBN 8492079827 (Tomos I y II), ISBN 8492079878.

5. Criscuolo, E. L., "Correlation of Radiographic Penetrators," *Materials Research and Standards*, Vol. 3, June 1963.
6. D'Adler, J. R. *Materials Evaluation*. September. 1966.
7. American Society of Mechanical Engineers. ASME V. ARTICLE II. Radiographic Examination. 2010.
8. M. Evrard, J. Dubresson. Image quality in radiography. *Non-destructive testing*. 4(6): 396-400. 1971.
9. L. Panaitescu. Assessing the Quality of a Radiographic Image. *Materials Evaluation*. 29(7): 153-158, 1971.
10. P. Ciorau. Critical comments on the use of X-rays and Ir-192 for detecting linear discontinuities. *NDT International*. 23(6): 345-350. 1990.
11. J. E. Holmström. Exposure values for a 300 kV halfwave X-ray unit using three X-ray films of different film classes. *NDT & E International*. 31(1):33-41. 1998.
12. Handbook on radiation probing, gauging, imaging and analysis. E.M. Hussein. Volume I: Basics and Techniques. Springer-Verlag New York . Mayo de 2003. ISBN: 1402012942.
13. Métodos de ensayos no destructivos. F. Ramírez Gómez. INTA, D.L. Madrid 1996-1998. ISBN 8492079827 (Tomos I y II), ISBN 8492079878.
14. B. Raj, T. Jayakumar and B. P. C. Rao. Non-destructive and evaluation for structural integrity. *Sadhana*, 20 (1): 5-38. 1995
15. Criscuolo, E. L., "Correlation of Radiographic Penetrators," *Materials Research and Standards*, Vol. 3, June 1963.
16. D'Adler, J. R. *Materials Evaluation*. September. 1966.
17. RAMIREZ, Francisco. Introducción a los métodos de ensayos no destructivos de control de la calidad de los materiales. Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial Esteban Terradas. Segunda edición. Madrid. P. 70-82. ISBN 84-500-2237-1.
18. ASME V. ARTICLE II. American Society of Mechanical Engineers. Radiographic Examination. 2010.
19. M. Evrard, J. Dubresson. Image quality in radiography. *Non-destructive testing*. 4(6): 396-400. 1971.
20. L. Panaitescu. Assessing the Quality of a Radiographic Image. *Materials Evaluation*. 29(7): 153-158, 1971.

21. U. Bulubay, A. B. Tugrul. Quantitative evaluation of intensifying screen materials in Co-60 radiography for steel parts. *NDT & International*. 31(3):193-199, 1998.
22. G. Barnea and C. E. Dick. Coupled electron/photon Monte Carlo calculations of X-ray scattering with application to industrial radiography. *NDT International*. 20:111-115, 1987.
23. ASTM A36/A 36M-04. American Society for Testing and Materials . Standard, Specification for carbon structural steel. USA, (2004).
24. <http://www-01.ibm.com/software/analytics/spss/>
25. AWS B1.10. American Welding Society. Guide for the nondestructive inspection of welds (Supersedes AWS B1.0-77). United States. (2000).
26. User Manual SITEX 180 To 360 KV with SCU 286. Version 2.0. ICM Industrial Control Machines S.A. (2011).
27. <http://www.fujifilm.com/products/ndt/ix-film/>
28. <http://sentinel.thomasnet.com/keyword/gamma-radiography/gamma-ray-collimators-2?plpver=10&keyword=Co+60&key=product&keycateg=1022&keyprod=1078&SchType=2>
29. <http://www.tedndt.com/cat/cat28.php>
30. ASTM E142-92. American Society for Testing and Materials. Method for Controlling Quality of Radiographic Testing. USA. (2000).
31. ASME V. Boiler and Pressure Vessel Code. American Society of Mechanical Engineers. New York. (2013)
32. OIEA TS-R-1. Organismo Internacional de Energía Atómica. Reglamento para el transporte seguro de materiales radioactivos (2009).