

Neutrografía con el reactor RP-10 y sus aplicaciones prácticas

Alcides López*, Javier Gago

Dirección de Investigación y Desarrollo, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

Resumen

La neutrografía es una técnica de ensayo no destructivo, sus características principales son la elevada absorción neutrónica de los elementos ligeros y la alta contrastación de materiales de densidades similares, entre las aplicaciones típicas podemos mencionar al análisis de combustibles nucleares, detección de materiales hidrogenados y orgánicos, detección de fallas en álabes de turbinas, corrosión en componentes de aeronaves, control de calidad de materiales cerámicos, detección de drogas y materiales explosivos (útiles en la industria pirotécnica y de municiones), estudio de materiales arqueológicos, detección de películas lubricantes en sistemas de rodamiento así como procesos dinámicos de lubricación y combustión entre otros. En el presente trabajo se muestran variados ejemplos aplicativos obtenidos con el reactor RP-10.

Palabras claves: Neutrografía, Ensayos no destructivos, Aplicaciones nucleares

Abstract

Neutrography is a non destructive essay, their principal characteristics are the high neutron absorption by light elements and the high contrast of materials of similar thickness, the typical applications that we can mention are the analysis of nuclear fuels, detection of hydrogenated and organic materials, detection of flaws in turbine blades, corrosion in airships components, ceramic materials quality control, drugs and explosive materials detection (useful in the pyrotechnic industry and ammunitions), study of archaeological materials, detection of lubricating film in bearing systems as well as dynamic processes of lubrication and combustion and so for. In the present work, varied examples of applications obtained with the RP-10 reactor are shown.

Keywords: Neutrography, Non destructive testing, Nuclear applications

1. Introducción

La neutrografía o radiografía neutrónica es una técnica de ensayo no destructivo que permite ver o fotografiar el interior de estructuras sólidas por medio de un haz de neutrones, juega un importante rol en la medicina, biología y ciencia de los materiales aportando importantes aplicaciones en forma de imágenes. La característica principal de esta técnica es la elevada penetración a través de materiales industriales basados en acero, aluminio, zirconio, etc. Los neutrones son eficientemente absorbidos solo por unos pocos elementos ligeros como el hidrogeno, boro, cadmio, samario y gadolinio [1-3]. Por ejemplo, los materiales orgánicos o el agua atenúan fuertemente a los neutrones debido a su alto contenido de hidrogeno, mientras que muchas estructuras hechas con aluminio o acero resultan casi transparentes, muestra además una alta contrastación de materiales con similares densidades [1-5].

La neutrografía es una técnica similar a la

radiografía por rayos X o gamma y tiene algunas ventajas particulares en el campo nuclear, aeroespacial, en la industria de plásticos y látex, también ha sido adoptado como un método estándar para el estudio comparativo de absorción de agua en madera, polímeros y compositos madera-polímero donde se miden las variaciones de la densidad óptica de dichos materiales [6,7], entre otros.

Entre las aplicaciones típicas de la radiografía neutrónica podemos mencionar al análisis de combustibles nucleares, detección de materiales hidrogenados y orgánicos, detección de fallas en partes de maquinas, corrosión en componentes de aeronaves, control de calidad de materiales cerámicos, detección de drogas y materiales explosivos (útiles en la industria pirotécnica y de municiones), estudio de materiales arqueológicos, detección de películas lubricantes en sistemas de rodamiento así

* Correspondencia autor: alopez@ipen.gob.pe

como procesos dinámicos de lubricación y combustión, entre otros. Debido a que la neutrografía permite alcanzar importante resolución de imagen (50 μm), ha hecho posible las neutrografías microscópicas, las que requieren del uso de microscopios de luz para la amplificación correspondiente de la imagen, resultados importantes han sido obtenidos en el estudio de cortes histológicos analizados con esta técnica [8,9].

Los neutrones al interactuar de manera diferente con la materia, ofrecen información complementaria a los observados con rayos X o gamma, al requerir de una fuente de neutrones, las aplicaciones se ven bastante limitadas y solo algunas instituciones como el IPEN tienen la capacidad de ofrecer esta facilidad neutrográfica al usuario.

2. Parte Experimental

El conducto de irradiación N° 4 del reactor RP-10 consta, en su primera parte, de un colimador cónico con sus paredes recubiertas de cadmio, este colimador va dentro de la piscina y puede ser desplazado en forma automática desde su posición normal que está a 50 cm hasta la posición de irradiación, movimiento que se hace por medio de un mecanismo de poleas.



Figura 1. Instalación de una cámara de ionización en la salida del haz de neutrones del RP-10 para la correspondiente prueba neutrográfica, delante se aprecia el atenuador de neutrones A.

La segunda parte del colimador consta de dos cilindros recubiertos de cadmio cuyo objetivo es absorber a los neutrones térmicos no colimados que salen de la base del colimador, al final de dichos cilindros se encuentra un obturador de plomo y cadmio que cubre la apertura del conducto y es controlado por un sistema neumático (flecha azul, Figura 1). El blindaje al exterior del conducto está conformado por paredes de hormigón,

formando un recinto cerrado en cuyo interior se encuentra un atenuador de neutrones (A en Figura 1). La potencia nominal de operación del RP-10 fue de 10 MW, con un flujo aproximado de 6×10^6 n/cm²s, el diámetro del haz neutrónico fue de 25 cm.

Algunos trabajos realizados hasta la fecha han consistido en la caracterización óptica del haz neutrónico del reactor RP-10, el análisis de fallas en cámaras de ionización, filtrado de la radiación gamma en las neutrografías, estudio de materiales orgánicos, estudio de la absorción neutrónica del agua, humedad en la madera, entre otros.

El análisis de la absorción óptica del plexiglás escalonado (Figura 2) tiene un comportamiento de acuerdo a la ecuación:

$$D_{op} = A+B.exp(-CX).....(1)$$

Donde A, B y C son constantes y X el espesor [9] adicionalmente se nota un efecto dispersivo.

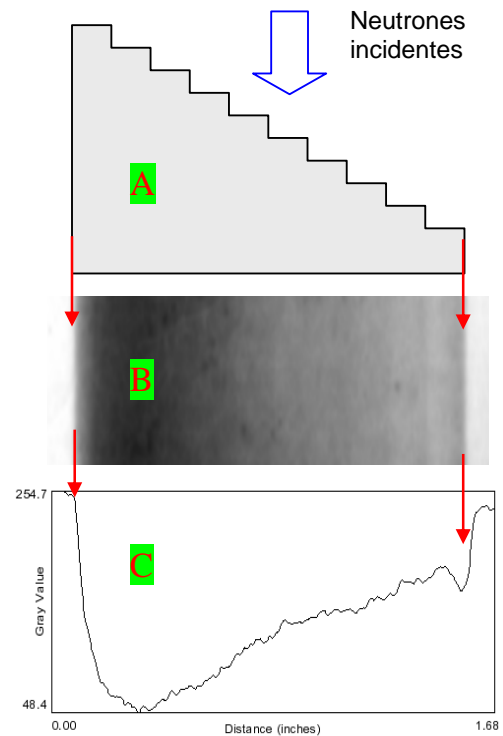


Figura 2. A) Escalones de plexiglás, B) Neutrografía y C) Variación de la densidad óptica en función del espesor de la muestra. Se observan los efectos de borde.

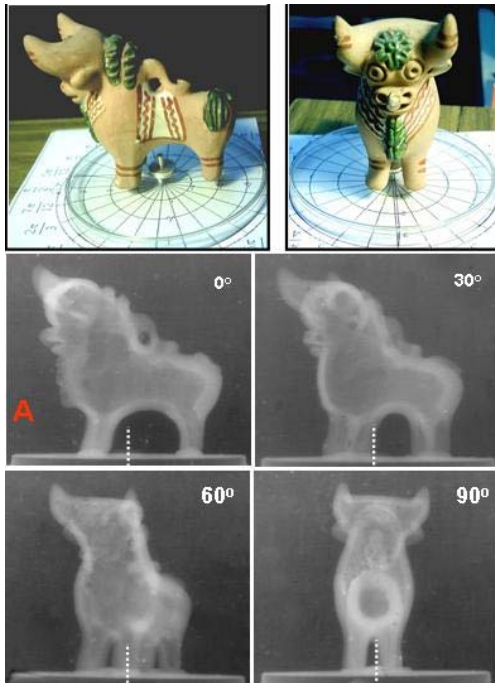


Figura 3. Arriba, Imágenes reales de un objeto cerámico. Abajo, neutrografías para estudios de reconstrucción tomográfica en diferentes posiciones de rotación.

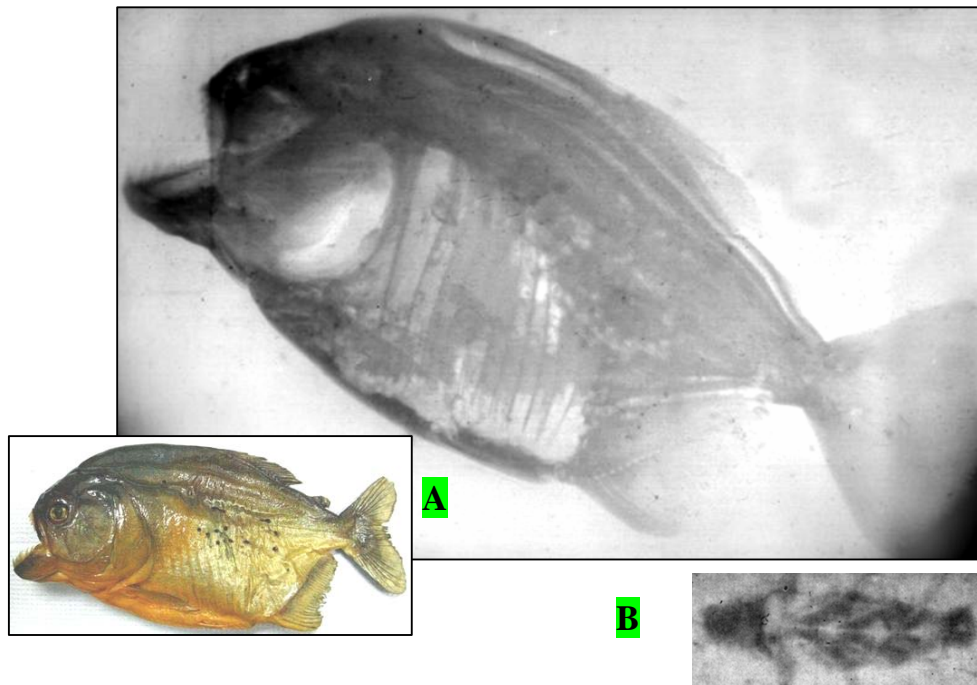


Figura 4. A) Imagen real y Neutrografía por transmisión de materiales orgánicos (Piraña disecada) existen muchos aspectos interesantes para ser investigados en la campo de la biología con la ayuda de los neutrones. B) Parte baja, neutrografía del tórax y cabeza de una cucaracha.

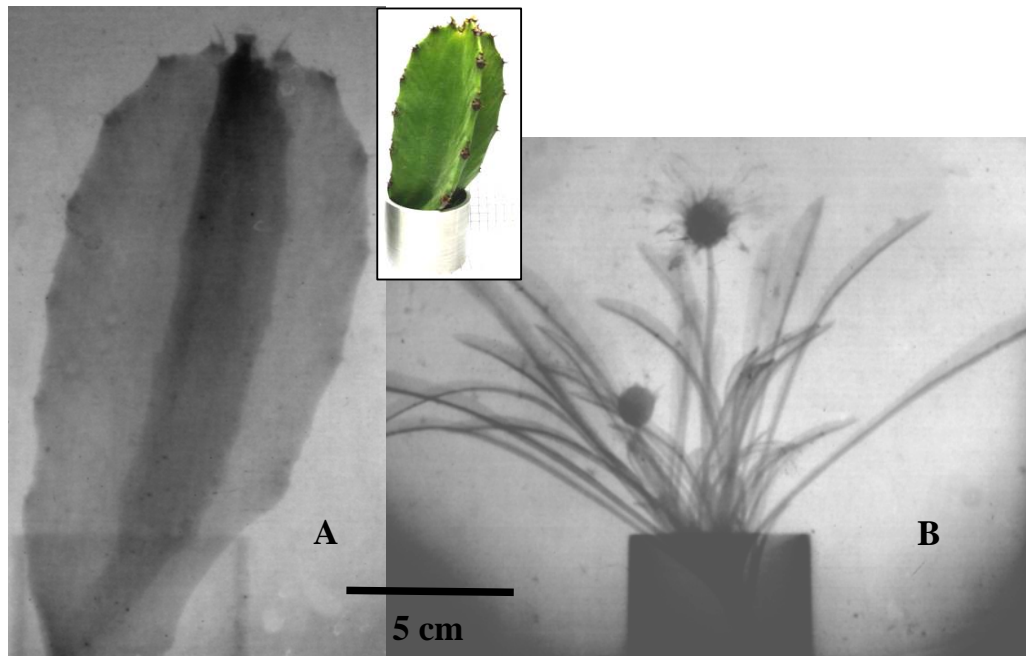


Figura 5. Neutrografía de materiales orgánicos correspondientes a plantas vivas A) Cactus y B) Planta con dos flores.

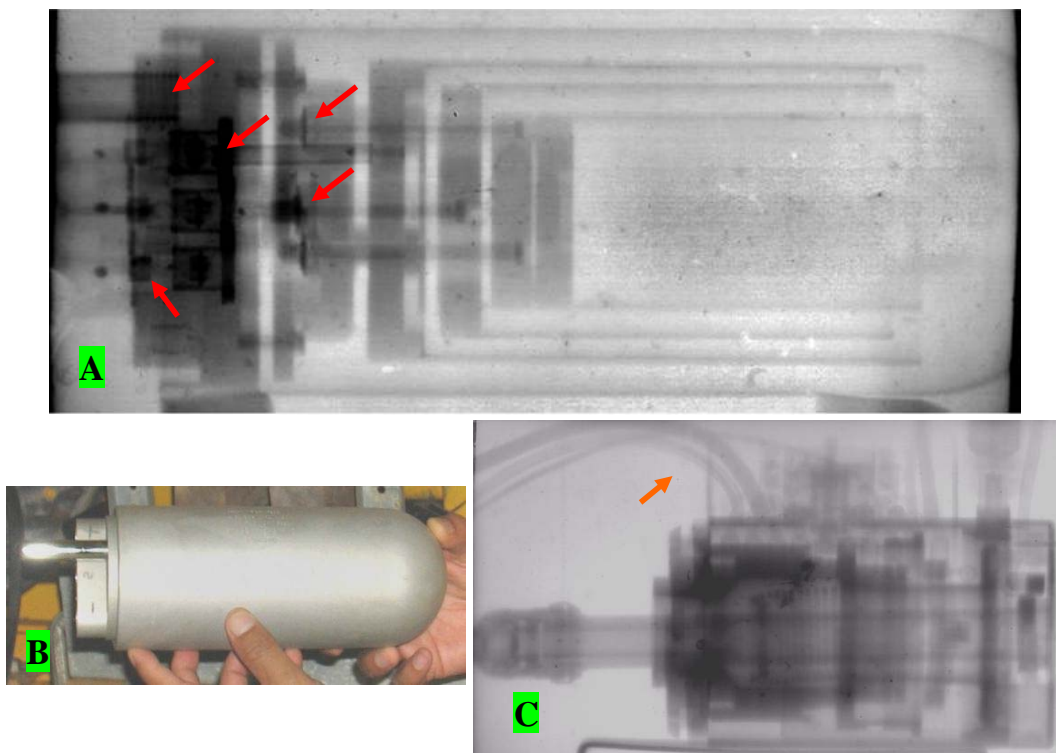


Figura 6. A) Neutrografía de una cámara de ionización mostrando en alto contraste los sellos aislantes en la base y en los porta electrodos (flechas rojas). B) Imagen real de dicha cámara y C) Neutrografía de un goniómetro de microscopio electrónico. Imágenes que demuestran las ventajas del método, donde las partes metálicas se ven muy transparentes mientras que pequeñas piezas aislantes o plásticas se notan muy resaltadas.



Figura 7. Neutrografías en tamaño natural y sus correspondientes imágenes reales de piezas arqueológicas metálicas correspondientes al período Intermedio Tardío (1000 – 1470 d. C.), su procedencia conocida es la costa norte del Perú. Como se puede apreciar, las piezas aún no han sido restauradas, motivo por el cual las neutrografías muestran con alto contraste las capas afectadas por la corrosión y en el caso D muestra la presencia de tres piedras al interior. A) Punta de 27 cm de long. B) Gancho. C) Campanilla y D) Chalchalcha o sonaja.

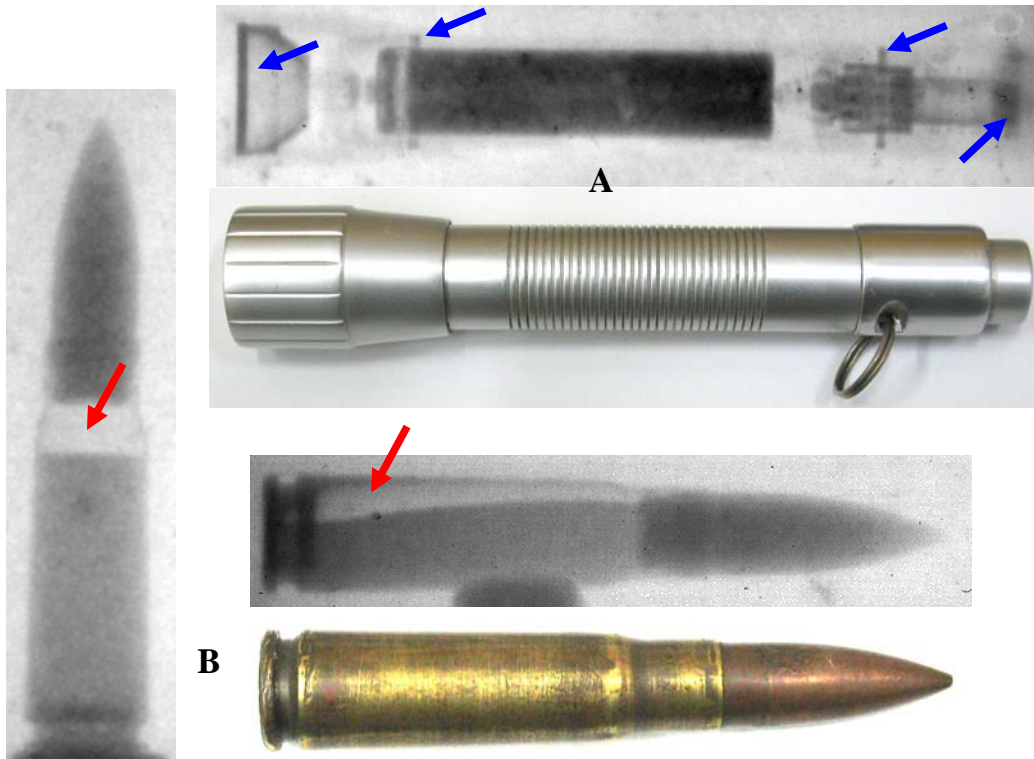


Figura 8. A) Imagen real y neutrografía de una linterna de inmersión acuática, al interior se observa la pila eléctrica conteniendo una pasta electrolítica, se indica con flechas azules los sellos de jebes. B) Imagen real y neutrografías en posiciones vertical y horizontal de una bala donde se aprecia la forma de acomodación de la pólvora y el espacio vacío (flechas rojas).

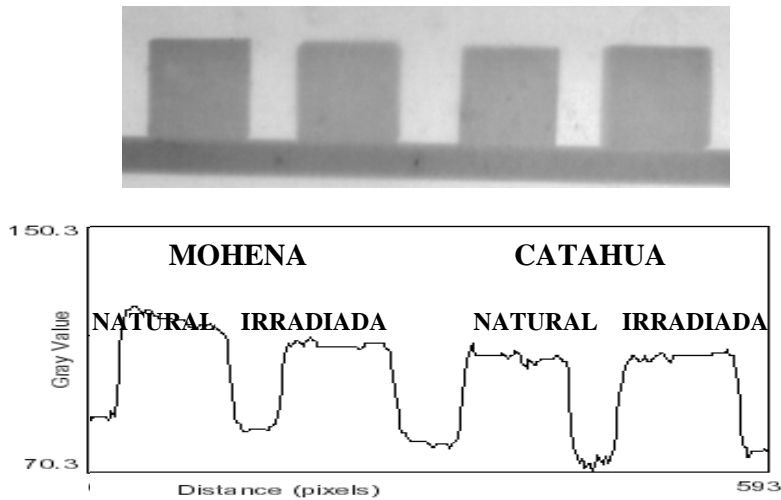


Figura 9. Neutrografías y espectros de absorción neutrónica de muestras de madera de la amazonía peruana (Mohena y Catahua) sometidas a pruebas de absorción de agua, las maderas se comparan con las que han sido polimerizadas con PVA e irradiadas con rayos gamma.

3. Resultados y Discusión

El estudio de las neutrografías de materiales de diferente espesor sirve para correlacionar la absorción neutrónica con la variación de la densidad óptica, las neutrografías de objetos

en posiciones rotadas sirven para su reconstrucción tomográfica. Los materiales orgánicos también tienen aplicación; por ejemplo, pueden estudiarse el crecimiento de raíces, distribución de nutrientes en el suelo, y en las plantas, detección de contaminantes

y venenos, así como estos, existen muchos aspectos interesantes para ser investigados en la campo de la biología con la ayuda de los neutrones.

La extremada penetración de los neutrones en los metales hace que las neutrografías tengan ventajas importantes, debido a que las partes metálicas se ven muy transparentes mientras que pequeñas piezas aislantes o plásticas se notan muy resaltadas. El estudio de piezas arqueológicas de nuestra herencia cultural es otro campo de aplicación importante y puede ayudar a la mejor interpretación del pasado y darle mayor valor agregado mejorando su impacto incluso turístico.

Otras aplicaciones de la neutrografía permiten obtener espectros de absorción neutrónica de muestras de madera sometidas a pruebas de absorción de agua, o localización de pólvora en el interior de las municiones. Las variadas aplicaciones de la neutrografía tendrán un futuro promisorio con el desarrollo de hardware y software para análisis de fases y estudios de procesos dinámicos.

4. Conclusiones

Las pruebas neutrográficas realizadas en las instalaciones del reactor RP-10 del IPEN muestran la capacidad para realizar ensayos de inspección no destructivos usando los neutrones, lo que amplía la capacidad de análisis del reactor RP-10 a un ámbito muy variado como el estudio del agua en la tierra, distribución del agua de riego, nutrientes en las plantas, investigación de defectos al interior de muestras metalúrgicas, control de calidad de determinados productos, etc. Esta facilidad es ahora extendida a todos los investigadores nacionales y extranjeros (Universidades, institutos, industria, etc.) promoviendo tanto la enseñanza como la investigación.

Con la adquisición de imágenes en tiempo real, la técnica promete una mejora sensible en su uso. El sistema de neutrografía implementada se encuentra apto para su uso continuo.

5. Agradecimientos

A la Arqueóloga Luisa Vetter por proporcionarnos las muestras arqueológicas metálicas.

6. Bibliografía

- [1]. International Atomic Energy Agency. Neutron imaging: A non-destructive tool for materials testing. IAEA-TECDOC-1604. Vienna: IAEA; 2004.
- [2]. Shaikh AM. Development of neutron and x-ray detectors and neutron radiography at Barc. Barc Newsletter. 2006; 273:8-23.
- [3]. Wade JR, *et al.* Real-time neutron radiography applications for the automotive industry. UCD McClellan Nuclear Radiation Center (Univ. California, Davis); 2003.
- [4]. Ravello Y. Caracterización y puesta a punto de la facilidad de neutrografía del reactor nuclear RP-10. [Tesis Lic. en Ciencias mención Física]. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería; 2001.
- [5]. Munive M. Caracterización en energía de un haz de neutrones térmicos. [Tesis Lic. en Física]. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería; 2000.
- [6]. Nurul Islam MD. Development of electronic imaging system for real time neutron radiography at Triga MK-II research reactor of AERE, Savar Dhaka and utilization for research & industrial application. In: International Atomic Energy Agency. Neutron imaging: A non-destructive tool for materials testing. Vienna: IAEA; 2008. p. 45-52.
- [7]. Gago J, Munive M, López A, *et al.* Caracterización entre la densidad de maderas amazónicas peruanas mediante la atenuación de la radiación gamma y neutrónica. En: Instituto Peruano de Energía Nuclear. Informe Científico Tecnológico 2007. Lima: IPEN; 2008. p. 72-78.
- [8]. Pugliesi R, Andrade MLG, Pereira MAS, *et al.* New radiographic images from old neutron converter screens. In: International Atomic Energy Agency. Neutron imaging: A non-destructive tool for materials testing. Vienna: IAEA; 2008. p. 79-99.
- [9]. Dinca M. The implementation of a charge coupled device (CCD) camera in a neutron imaging system for real time and tomography investigations. In International Atomic Energy Agency. Neutron imaging: A non-destructive tool for materials testing. Vienna: IAEA; 2008. p. 53-69.