

Instrumento Portátil de Vigilancia Radiológica para Instituciones Hospitalarias con Categorías 1, 2 y 3 por su Peligrosidad Radiactiva

Portable Radiological Surveillance Instrument for Hospital Institutions with Categories 1, 2 and 3 for their Radioactive Danger

Rene B. Toledo Acosta; Alejandro Álvarez Rodríguez; Jossue Arteché Díaz & Guillermo Mesa Pérez

TOLEDO, A. R. B; ÁLVAREZ, R. A; ARTECHE, D. J & MESA, P. G. Instrumento portátil de vigilancia radiológica para instituciones hospitalarias con categorías 1, 2 y 3 por su peligrosidad radiactiva. *J. health med. sci.*, 4(4): 281-286, 2018.

RESUMEN: La implementación de una arquitectura de detección de eventos de seguridad física nuclear ha permitido al Centro Nacional de Seguridad Nuclear (CNSN) de Cuba tomar experiencia del desarrollo de la tecnología de evaluación remota de alarmas. En tal sentido, se dispone a extender esas ventajas para introducir cambios sustantivos en la supervisión y control de la seguridad de la aplicación de las tecnologías nucleares, aprovechando las capacidades técnicas, los recursos humanos del Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN) y su experticia en el desarrollo de instrumentación nuclear, captura y acople de señales para transmisión remota de las mismas y desarrollar indicadores de desempeño de la gestión de la seguridad a partir de un sistema de medición permanente y en tiempo real. Así, el objetivo de este trabajo consistió en disponer, con know-how propio, de un Sistema Nacional de Monitoreo y Control permanente y en tiempo real de variables relacionadas con la seguridad tecnológica y física aplicando el estado más actual del arte en la instrumentación nuclear incluyendo la aplicación de plataformas Arduino y Raspberry Pi en el instrumento desarrollado. Por tanto, en el presente trabajo se describe el Instrumento portátil de vigilancia radiológica desarrollado para su uso en instituciones hospitalarias con categorías 1, 2 y 3 por su peligrosidad radiactiva. El instrumento constaba de dos secciones, el Arduino Nano que forma un dosímetro para la adquisición en tiempo real de los pulsos digitales proveniente de un contador GEIGER y el Raspberry Pi que se ocupaba del almacenamiento de la información de las tasas de dosis ambientales. Estos resultados se comparaban con umbrales de alarma preestablecidos por el Órgano Regulador y Centro Nacional que certificó y calibró el instrumento. La aplicación de plataformas Arduino y Raspberry Pi en el instrumento permitió agilizar y fortalecer las capacidades nacionales de vigilancia de la seguridad permanente y en tiempo real de las instalaciones hospitalarias en primera instancia. El desarrollo de este instrumento permitió sentar las bases para la implementación de indicadores de desempeño de la gestión de seguridad física a partir de la supervisión y el control permanente de vigilancia radiológica del Órgano Regulador Nacional.

PALABRAS CLAVE: Vigilancia radiológica, dosimetría, plataforma Raspberry, plataforma Arduino, contadores Geiger.

INTRODUCCIÓN

En las instituciones hospitalarias que manipulan equipos de rayos X y fuentes radiactivas para el diagnóstico y tratamiento de diversas enfermedades se deben cumplir las normas establecidas de seguridad radiológica. Los técnicos que ofrecen los servicios de radiología, medicina nuclear y radioterapia oncológica poseen una preparación específica en la utilización de los equipos de radiación o en la manipulación de fuentes radiactivas. Son los denominados

“trabajadores expuestos”. Al mismo tiempo, otros trabajadores y pacientes también pueden estar expuestos a las radiaciones.

La tecnología nuclear para vigilancia y protección radiológica se relaciona con la adquisición y procesamiento de las señales nucleares emitidas por las radiaciones ionizantes imprescindibles para su utilización en tratamientos a pacientes en instituciones del

Sistema Nacional de Salud de cualquier país. En conformidad con lo establecido en las reglas básicas de seguridad en Cuba (NC, 1981), las instalaciones hospitalarias que utilizan fuentes de radiaciones ionizantes deben cumplir con requisitos técnicos de seguridad para que la evaluación y el control de los riesgos por el uso de las radiaciones ionizantes contribuya a un desarrollo equitativo y sostenible (AAPM, 1995) para que las exposiciones ocupacionales y las exposiciones potenciales se mantengan en valores tan bajos como sean posibles y que no superen los límites establecidos en la normativa.

En aquellas áreas donde se utilizan, preparan o almacenan sustancias radiactivas deben ser objeto de vigilancia radiológica periódica (diaria, semanal, mensual) en función del uso y de los requerimientos legales. Las medidas de vigilancia tienen como objetivo mantener los niveles de radiación tan bajos como sea razonablemente posible.

El Reglamento de Protección Hospitalaria contra Radiaciones Ionizantes (BOE, 1992, 2001; OIEA, 2011), establece unos límites para la dosis efectiva de radiación que no pueden superarse, y son los siguientes:

- Trabajadores expuestos: Pueden recibir hasta 100 mSv en 5 años (media de 20 mSv al año), pero sin superar los 50 mSv en un año. La trabajadora embarazada no podrá recibir una dosis de radiación tal que la dosis al feto sea superior a 1 mSv durante todo el embarazo.
- Público: Puede recibir hasta 1 mSv al año, pero en circunstancias especiales se podrá permitir un valor superior, siempre que no se supere el valor de 5 mSv en 5 años.
- Instrumentos de medida: La vigilancia se realiza mediante monitores de radiación portátiles o con dosímetros portátiles y los resultados obtenidos se comparan con los límites de dosis.

Además de las mediciones anteriores, los trabajadores que desarrollan su tarea en el interior de zonas controladas deben llevar un dosímetro personal que permita conocer su nivel de exposición a las radiaciones. Estos dispositivos registran la exposición que un trabajador recibe por estar empleado en una instalación determinada. El dosímetro es personal e intransferible, se lleva durante un mes y, al cabo de este periodo, se envía para su lectura a un centro au-

torizado. La dosis de radiación recibida queda registrada en un historial dosimétrico del individuo, que tiene carácter legal y debe conservarse durante un periodo de tiempo de 30 años.

La aplicación de plataformas Raspberry Pi y Arduino en el instrumento posibilitó agilizar y fortalecer las capacidades nacionales de vigilancia de la seguridad permanente y en tiempo real de las instalaciones hospitalarias en primera instancia. Se implementan nuevos indicadores de desempeño de la gestión de seguridad a partir de la supervisión del Órgano Regulador Nacional.

MATERIAL Y MÉTODO

El instrumento desarrollado se aplicó en el monitoreo y control permanente y en tiempo real de variables relacionadas con la Seguridad Radiológica y Física de Instituciones Hospitalarias que manipulen fuentes radiactivas y tengan una amplia interacción con las radiaciones ionizantes para ajustes de equipamiento y para tratamientos con pacientes. Se previó la conexión del instrumento al Centro de Monitoreo y Control Nacional de Alarmas (CNA) para la vigilancia Radiológica en tiempo real.

Para una mayor comprensión por los especialistas y técnicos del instrumento en la Figura 1 se muestra el diagrama de su composición. Se compone de dos secciones: La primera sección conformada por el Arduino Nano (Herrador, 2009) formando un Dosímetro (Toledo *et al.*, 2002; 2010), para la adquisición en tiempo real de los pulsos digitales proveniente de un contador GEIGER, Kit Arduino Diy (Do it yourself) (McRoberts, 2013) Compatible Versión 3.00 (Geiger Counter Module, Versión 3.00). Estos pulsos fueron acumulados y convertidos a $\mu\text{Sv/h}$ para las tasas de dosis ambiental mostrados en una pantalla gráfica y enviados a la segunda sección, donde el Raspberry Pi (Dennis, 2016) se ocupa del almacenamiento de la información.

Los valores de las tasas de dosis se compararon con umbrales de alarma preestablecidos por el Órgano Regulador y Centro Nacional que certificó y calibró el instrumento. Así, en caso que los valores detectados superasen el umbral de media alarma se activaba un indicador LED de color amarillo y en caso de excediera el umbral de alarma máxima se activaba otro de color rojo, en conjunto con una alarma sonora proveniente de una bocina interna del instrumento.

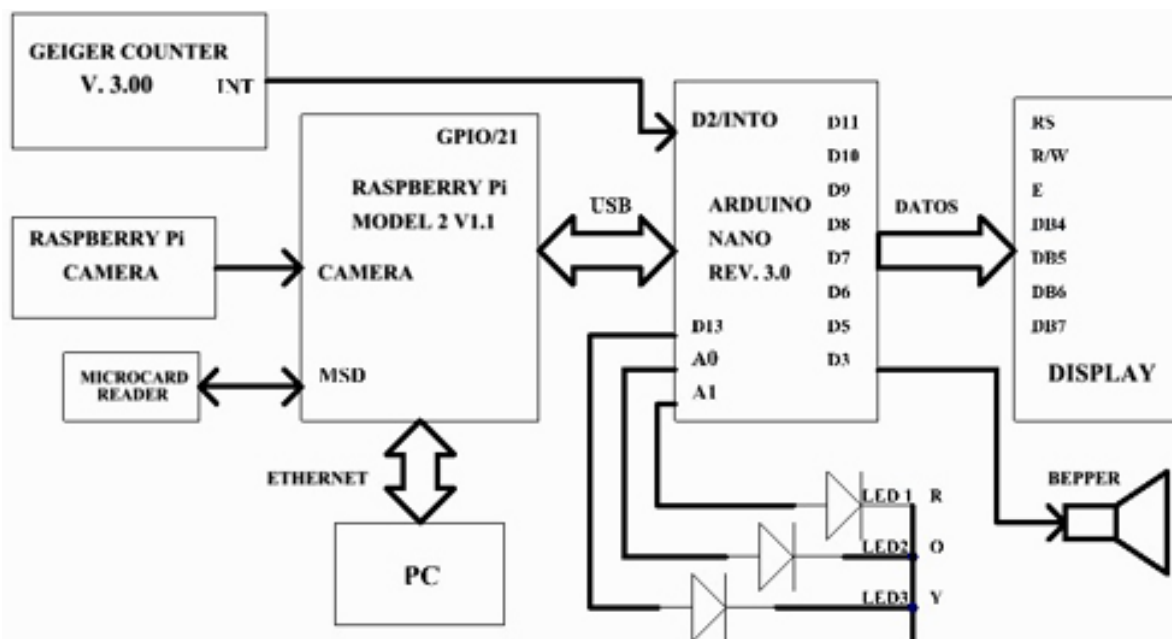


Fig. 1. Diagrama simplificado de la composición del instrumento para el monitoreo y control Radiológico.

En la sección formada sobre Raspberry Pi se encargaba del registro y almacenamiento en la micro SD de los valores de las tasas de dosis proveniente del Arduino Nano, dejando constancia del instante en que la medición fuera realizada. En caso de que el valor de lectura recibido fuese mayor que el umbral de media alarma se tomaba una foto adjuntándose al dato de medición. A su vez, el software permitía el acceso remoto desde un ordenador vía internet haciendo posible para los usuarios un análisis más detallado de las mediciones realizadas.

Un análisis detallado del funcionamiento se muestra en el diagrama funcional del instrumento para el monitoreo y control radiológico (Fig. 2).

La programación del instrumento se encontraba dividida en dos segmentos; una parte está escrita en el software nativo para Arduino IDE (Integrated Development Environment) (Culkim & Hagan, 2017), mientras que la otra se encuentra escrita en QT (Cross Compiler for Raspberry Pi) dentro de la Raspberry Pi (Dennis).

Para el desarrollo del software del Arduino se empleó la lógica de funcionamiento descrita en la Figura 2. Inicialmente se definen las bibliotecas a usar en el programa, se declaran las variables, se escriben las dos funciones básicas principales de la programación de Arduino; la función SETUP, dentro de la cual se definen los pines del Arduino con los que se van a

trabajar, se inicializan los registros de interrupciones, así como otros parámetros del sistema. Posteriormente, en la función LOOP, se describe el conjunto de tareas que llevara a cabo el dispositivo tales como; transmisión y recepción por puerto serie, visualización de datos en pantalla y activación de los diferentes mecanismos de Alarma.

La Raspberry Pi emplea mayoritariamente sistemas operativos basados en el núcleo Linux, tales como, FEDORA (PIDORA), ARCH LINUX (ARCH LINUX ARM), SLACKWARE LINUX y DEBIAN (RASBIAN) (Warren, 2016), este último es el recomendado por el fabricante y el empleado para el desarrollo del instrumento en cuestión. La programación y desarrollo de la aplicación que nos concierne se realizó utilizando el software de desarrollo multiplataforma QT para RASBIAN mediante el cual se diseñó una interfaz gráfica para el uso amigable del mismo por parte de los posibles usuarios. Señalar que el mismo corre de forma automática tras completar con el encendido del sistema operativo, como se muestra en la Figura 2. Tras el inicio total de la Raspberry Pi el software del instrumento en operación comienza de forma automática con una serie de tareas preestablecidas mediante las cuales configura y calibra las mediciones realizadas por el Arduino, así como se encarga de la recepción y almacenamiento de las misma con su respectivo registro de tiempo y a su vez imagen fotográfica en caso de ser requerido.

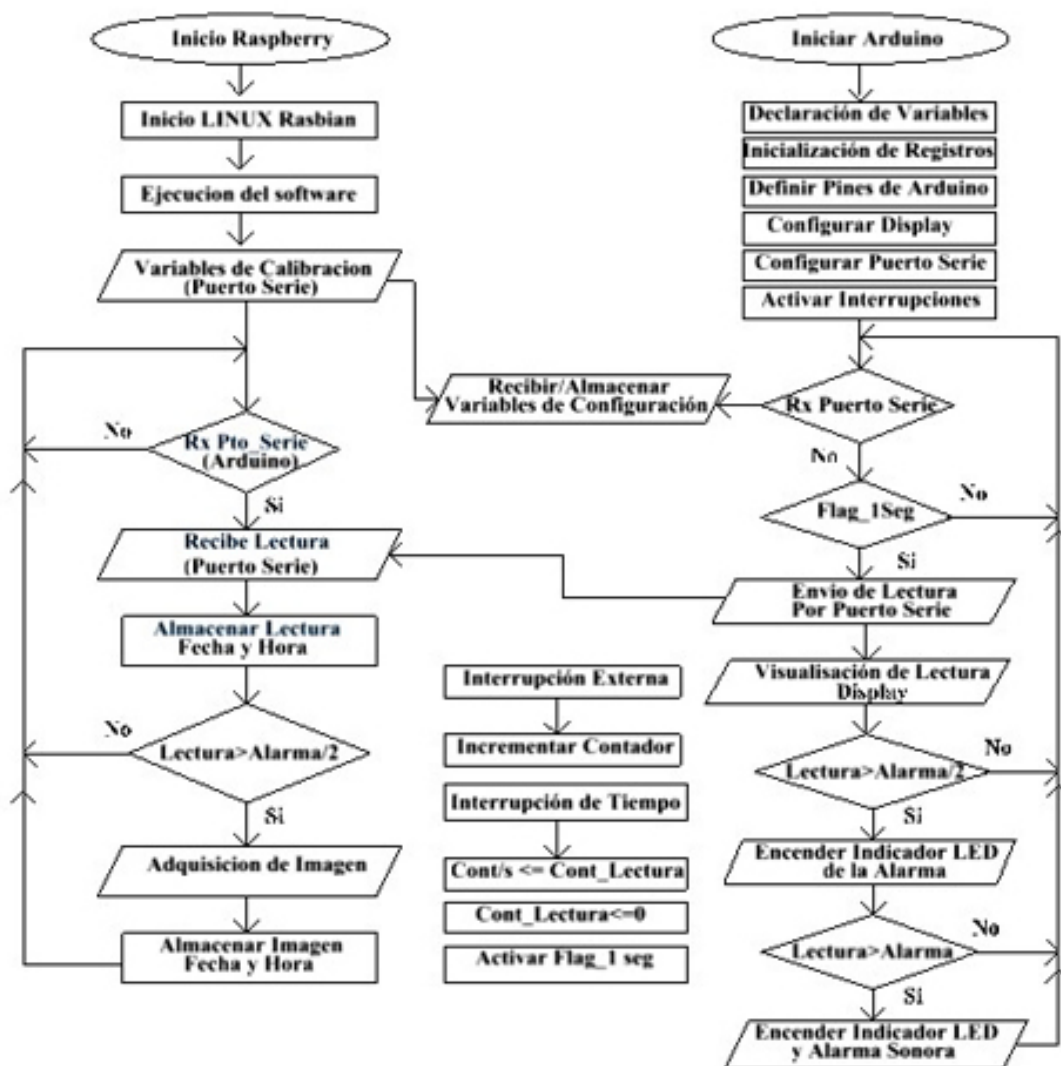


Fig. 2. Diagrama funcional del Instrumento de Vigilancia para el monitoreo y control radiológico.

En la Figura 3 se muestra una imagen capturada por la cámara, en la que aparece graficada las tasas de dosis en intervalos de un minuto registradas por el instrumento. En la parte inferior de la gráfica se indican, la fecha, la hora y la tasa de dosis absorbida en $\mu\text{Sv/h}$, lo que facilita la toma de decisiones más oportuna para el usuario y el Órgano Regulador sobre la seguridad radiológica de ese laboratorio o unidad hospitalaria; así como, la trazabilidad ante la respuesta de sucesos radiológicos y eventos de seguridad física nuclear.

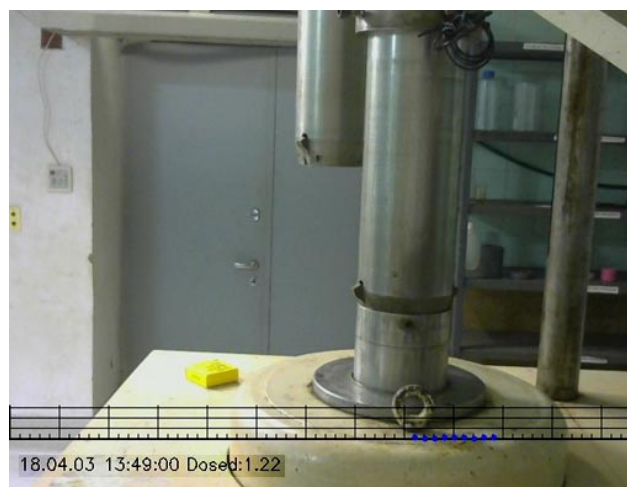


Fig. 3. Imagen tomada por el instrumento descrito en el Irradiador GAMMA del CEADEN.

RESULTADOS

Se logró introducir las plataformas Arduino y Raspberry Pi y dominar la programación de las mismas para varias aplicaciones, incluyendo, aplicaciones nucleares. Se logró fortalecer las capacidades nacionales sobre la vigilancia de la seguridad permanente y en tiempo real de las instalaciones hospitalarias. Se sentaron las bases para la implementación de indicadores de desempeño de la

gestión de seguridad a partir de la supervisión y control permanente y en tiempo real y para el desarrollo de nuevos procedimientos utilizando el instrumento desarrollado.

Los resultados de las tasas de dosis obtenidos luego de la calibración del instrumento desarrollado se observan en la Tabla I. Al utilizarse la misma plataforma del Contador y detector Geiger Müller en el Instrumento Gamma Alarma Estacionaria (Toledo *et al.*, 2017) los resultados coincidieron.

Tabla I. Resultados de la verificación dosimétrica de los parámetros metrológicos del instrumento con el detector J614 de fabricación China, eficaz hasta 1000 $\mu\text{Sv/h}$.

Escala	Valor Patrón	Indicaciones del Instrumento	Error Intrínseco Relativo %
10 $\mu\text{Sv/h}$	5,82 $\mu\text{Sv/h}$	5,69 \pm 0,33	2
100 $\mu\text{Sv/h}$	60,55 $\mu\text{Sv/h}$	66,32 \pm 1,86	10
1000 $\mu\text{Sv/h}$	650,47 $\mu\text{Sv/h}$	691,82 \pm 27,46	6

DISCUSIÓN

El desarrollo de instrumentos para la dosimetría ha estado en la primera línea de las investigaciones en la subdirección de instrumentación del CEADEN como se muestra en la literatura consultada. Otra línea que se ha estado analizando, consiste en la instalación de Irradiadores Gamma como en el CEADEN. Dos nuevas instalaciones han sido adquiridas y puestas en funcionamiento. Una tercera ha sido rediseñada y, a corto plazo, se prevé su carga. Un cuarto irradiador ha sido recargado y está en pleno funcionamiento. La incorporación de otros es avizorada como parte del Proyecto de Desarrollo Económico y Social en Cuba con vistas al 2030. Así mismo, un Comité Técnico Nacional ha sido constituido con el objetivo de potenciar un desarrollo estructurado, normalizado y sostenible de la irradiación en este país.

El sistema de vigilancia desarrollado, por las situaciones de algunas áreas en Cuba se adecuará al riesgo asociado a la práctica por lo que las estimaciones de dosis deben evaluar las exposiciones externas de las radiaciones, la incorporación de los radionúclidos, determinando su actividad y la concentración y, las características de los grupos de referencia de la población con las vías efectivas de transferencia de las sustancias radioactivas.

Durante el evento XI Congreso Regional de Seguridad Radiológica y Nuclear celebrado en La Habana

el 2018 se discutieron varios aspectos con especialistas de la región sobre cómo prevenir la ocurrencia de los efectos determinísticos de las radiaciones ionizantes manteniendo las dosis inferiores a los umbrales y la reducción de la inducción de los efectos estocásticos.

Los resultados obtenidos en esta primera etapa indican que debemos fortalecer aún más los Sistemas de Vigilancia Radiológica procedente de varios países que han sido instalados en nuestro país para lograr el perfecto funcionamiento de los mismos en aras de la seguridad del personal directamente expuesto y de los pacientes que se encuentran en las instalaciones hospitalarias.

Actualmente, la introducción y generalización de los avances tecnológicos en la sociedad están costando mucho esfuerzo por los especialistas debido a la falta de financiamiento oportuno, por lo que cuando culmina un desarrollo, éste casi está obsoleto. Por ese motivo, desde un principio desarrollamos nuestro sistema con financiamiento propio para estar a la altura de la modernidad del avance tecnológico y sus aplicaciones y en una primera etapa depender de nosotros mismos.

Se logró disponer con know-how propios un instrumento para la Vigilancia Radiológica en tiempo real para su introducción en las instituciones hospitalarias que empleen fuentes radiactivas comprendidas en las cate-

gorías 1, 2 y 3 por su peligrosidad, y para la seguridad de los pacientes expuestos a las radiaciones ionizantes.

El Instrumento de Vigilancia Radiológica culminado cumplió a cabalidad las expectativas de los objetivos iniciales del proyecto de investigación en lo que respecta a la asimilación y desarrollo de nuevas plataformas electrónicas como Arduino y Raspberry Pi para la conformación del instrumento. De esta forma, nuestros especialistas han logrado asimilar estas técnicas que posibilitan el desarrollo de innumerables aplicaciones en el campo de la ciencia y la tecnología en nuestro país.

Indudablemente que el Sistema de Vigilancia Radiológico desarrollado se aplica no solo en Instituciones Hospitalarias, sino también, en Instituciones y Empresas que manipulan fuentes radioactivas o simplemente prestan servicios externos.

TOLEDO, A. R. B.; ÁLVAREZ, R. A.; ARTECHE, D. J. & MESA, P. G. Portable radiological surveillance instrument for hospital institutions with categories 1, 2 and 3 for their radioactive danger. *J. health med. sci.*, 4(4): 281-286, 2018.

ABSTRACT: The implementation of a nuclear physical security event detection design has allowed the National Center for Nuclear Safety (CNSN) from Cuba to gain experience in the development of remote alarm evaluation technology. In this regard, it is prepared to extend these advantages to introduce substantive changes in the supervision and control of nuclear technologies application safety, harnessing the technical capabilities, human resources from the Center of Technological Applications and Nuclear Development (CEADEN) and its expertise in the development of nuclear instrumentation, signals capture and coupling for their remote transmission and the development of safety management performance indicators from a permanent measurement system in real time. Therefore, the aim of this work consisted in making available, with own know-how, a Permanent and real-time National Monitoring and Control System for related variables to technological and physical safety, applying the most current state of the craft in nuclear instrumentation, including the application of Arduino and Raspberry Pi platforms in the developed instrument. Thus, in the present work the portable instrument of radiological surveillance developed is described for its use in healthcare institutions with 1, 2 and 3 category for its radioactive risk. The instrument had two sections, Arduino Nano, that forms a dosimeter for the acquisition in real time of digital pulses coming from a GEIGER counter, and Raspberry Pi, that deals with the data storage from environmental dose rates. These results were compared with alarm thresholds preset by the Regulatory Authority and the National Centre that certificated and calibrated the instrument. In first instance, the application of Arduino and Raspberry Pi platforms in the instrument allowed to facilitate and strength the national capabilities of permanent and in real time surveillance safety of healthcare institutions. This developed instrument allowed setting the bases for the implementation of performance indicators of physical safety management from the supervision and radiological surveillance permanent control of the National Regulatory Authority.

KEY WORDS: radiological surveillance, dosimetry, Raspberry platforms, Arduino platforms, Geiger counters.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Dennis, A. K. *Raspberry Pi Computer Architecture Essentials. Explore Raspberry Pi's architecture through innovative and fun projects.* Packt Publishing, Birmingham, 2016.
- Culkim, J & Hagan, E. *Learn Electronics with Arduino: An Illustrated Beginner's Guide to Physical Computing (Make: Technology on Your Time).* Maker Media, San Francisco, CA, 2017.
- American Association of Physicists in Medicine (AAPM). Report No. 053. Radiation Information for Hospital Personnel. American Association of Physicists in Medicine, 1995. Disponible en: <https://www.aapm.org/pubs/reports/detail.asp?docid=52>.
- McRoberts. M. *Beginning Arduino. Technology in action.* 2 ed., Kindle Edition, 2013.
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA). Protección radiológica y seguridad de las fuentes de radiación: normas básicas internacionales de seguridad edición provisional. Requisitos de seguridad generales. Organismo Internacional de Energía Atómica, Viena, 2011. Disponible en: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/SupplementaryMaterials/SupM_Pub1531_Spanish.pdf.
- Herrador, R. E. Guía de Usuario de Arduino. I.T.I. Sistemas, Universidad de Córdoba, San Francisco, California, 2009. Disponible en: http://www.tecnologia.org/imaxes/Arduino_user_manual_es.pdf.
- Boletín Oficial del Estado (BOE). *Real Decreto 1891/1991 RD 1891/1991, de 30 diciembre, sobre instalación y utilización de aparatos de rayos X con fines de diagnóstico médico.* Boletín Oficial del Estado, 3 de enero de 1992.
- Boletín Oficial del Estado (BOE). *Real Decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes.* Boletín Oficial del Estado, 26 de julio de 2001.
- Norma Cubana (NC). *Reglas Básicas de Seguridad.* NC-6901-811981. Norma Cubana, 1981.
- Toledo, R.; Osorio, J. F.; López, E.; Claro, L. P. & Galván, J. Programmable Zone Dosimeter for Operational Monitoring and Measurement of External Gamma Radiation. AIP Conference Proceedings, 630:247-250, 2002. Disponible en: <https://aip.scitation.org/doi/abs/10.1063/1.3682869>.
- Toledo, A. R.; Artech, D. R.; Mesa, P. G.; Fernández, L. S.; Fuentes, G. B.; Tamayo, G. J. A. & Villanueva, G. A. Nuevo dosímetro de zona programable para la medición y monitoreo operacional de la radiación gamma externa. *Nucleus*, 48:27-29, 2010.
- Toledo, A. R.; Mesa, P. G.; Soguero, G. D.; Fernández, Y. S.; Robaina, B. M. B. & Valdés-Balsinde, F. Alarma gamma para la protección radiológica. *Nucleus*, 61:39-43, 2017.
- Toledo, A. R.; Álvarez, A.; Artech, J. & Pérez, G. *Nuevo Sistema de Vigilancia Radiológica. XI Congreso Regional de Seguridad Radiológica y Nuclear. Congreso Regional IRPA. Cultura de Seguridad, un compromiso compartido.* La Habana Cuba, 16-20 abril 2018.
- Warren, W. G. *Experimenting with Raspberry Pi.* Apress, Berkeley, CA, 2016

Dirección para correspondencia:

Rene B. Toledo Acosta

Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN)

La Habana - CUBA

E-mail: toledo@ceaden.edu.cu

Recibido : 01-08-2018

Aceptado: 13-10-2018