

# Nuevo dosímetro de zona programable para la medición y monitoreo operacional de la radiación gamma externa

René B. Toledo Acosta<sup>1</sup>, Raúl Arteché Díaz<sup>1</sup>, Guillermo Mesa Pérez<sup>1</sup>, Sandra Fernández Yáñez<sup>1</sup>, José A. Tamayo García<sup>2</sup>, Gilberto Alonso Villanueva<sup>2</sup>, Bárbara Fuentes González<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear, Cuba, [toledo@ceaden.edu.cu](mailto:toledo@ceaden.edu.cu),

<sup>2</sup> Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones, Cuba, [gilberto@cphr.edu.cu](mailto:gilberto@cphr.edu.cu)

## RESUMEN / ABSTRACT

La detección y la medición de las radiaciones nucleares se han convertido en un importantísimo renglón en la aplicación de los detectores nucleares y específicamente los Geiger-Muller. Los tubos Geiger con una alta sensibilidad de detección, su robusta construcción y un simple circuito adjunto continúan siendo uno de los detectores más usados en todas las áreas de aplicación en la física e investigaciones nucleares.

Se presenta un nuevo diseño de instrumento para medir la tasa de dosis externa ambiental de radiación gamma desde 0.05μSv/h hasta 10mSv/h. Consta de tres elementos fundamentales: el detector Geiger-Muller, una tarjeta electrónica de adquisición y control y el software de aplicación. El instrumento se comunica a través de una interfase USB con la computadora solo para variar y ajustar los parámetros de la calibración. El software se desarrolló en lenguaje C utilizando el compilador PICC4.08.

Palabras claves:

*The detection and the measurement of the nuclear radiations have turn into an important item in the nuclear detectors application and specifically the Geiger Muller ones. Coming from theirs high detection sensibility, robust construction and relative simplicity of the associated circuit, the Geiger Tubes are still one of the most widely used detectors in all the application areas regarding physics and nuclear investigations*

*A new design instrument is presented to be measures the ambient dose of external γ(gamma) radiation since 10 mSv/h. It consists of three elements: Geiger-Muller detector, the electronic board for the acquisition and control and the application software. The instrument communicates through a USB interface to the Personal Computer only for adjust calibration parameters. The software was developed in the C programming language using PICC4, 08 compilers.*

*Key words: measuring instruments, data acquisition systems, electronic equipments, design, microcontrollers, gamma radiation, gamma sources, radiation doses, radiation protection, dosimeter, certification, control, nuclear medicine.*

*A new programmable zone dosimeter for Operational monitoring and measurement of external gamma radiation*

## INTRODUCCION

Con la necesidad de velar por el medio ambiente y la protección individual y colectiva, la detección y la medición de las radiaciones nucleares se ha convertido en un importantísimo renglón en la aplicación de los detectores nucleares y específicamente los Geiger-Muller. Los tubos Geiger con una alta sensibilidad de detección, su robusta construcción y un simple circuito adjunto continúan siendo los detectores más usados en todas las áreas de aplicación en la física e investigaciones nucleares.

Los usos más típicos de los Geiger han sido en la detección de las partículas alfa  $\alpha$ , beta  $\beta$ , rayos  $x$  y partículas gamma  $\gamma$ . Las

aplicaciones típicas se encuentran en: chequeo sistemático de las propiedades de los colimadores, en la seguridad del personal, en cualquier situación de contaminación y en el monitoreo del ambiente cerca de las instalaciones nucleares. El ambiente cerca de las fuentes de las instalaciones nucleares es generalmente monitoreado por un número de instrumentos periféricos cada uno con dos tubos Geiger Muller. Para estas aplicaciones en la detección de accidente nuclear son ideales los zp1301 o el zp1313 para el monitoreo de alto nivel de radiación y los zp1221/01 y zp1320 para el monitoreo de bajo nivel de radiación.

Al mismo tiempo en una Institución médica donde se labore con fuentes radiactivas o radiofármacos es imprescindible disponer de un Dosímetro de Zona que mida tasas de dosis ambiental hasta 10mSv/h. Para disminuir el consumo de

corriente y abaratar los costos se diseñó el instrumento relacionado con una base tecnológica superior a sus predecesores <sup>/1, 2, 3/</sup>.

El empleo de este instrumento constituye una obligación establecida por la Organización Mundial de la Salud OMS y el OIEA mediante la norma IEC846 <sup>/4/</sup>.

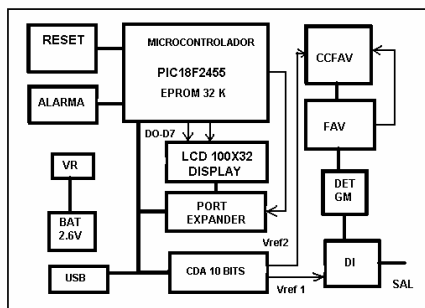
Las características técnicas logradas son producto de la propia calidad tecnológica de los componentes electrónicos utilizados y del diseño seleccionado.

## DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE

El Dosímetro de Zona es básicamente un dispositivo para la realización de radiometría nuclear por un solo canal de detección partiendo de un detector Geiger-Muller del tipo zp1320. El instrumento se compone de las siguientes partes fundamentales: fuente de alto voltaje para el detector Geiger Muller, circuito para la adquisición y control de la información con salida a Display, la interfase USB solo para ajustar y variar los parámetros de calibración del instrumento y por último el software de aplicación. Además, el instrumento permite la realización de las mediciones con las condiciones de automatización, seguridad y confiabilidad necesarias y mantener fijas las posiciones alcanzadas, lo que posibilita repetir las mediciones con las mismas condiciones.

El núcleo del hardware del instrumento es el microcontrolador PIC18F2455 <sup>/5/</sup>.

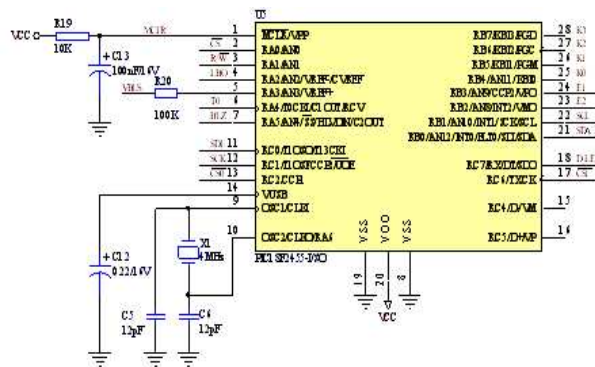
En la figura 1 se muestra el diagrama en bloques de los circuitos electrónicos del Dosímetro de Zona.



**Figura 1**  
**Diagrama en bloques del Dosímetro de Zona DZ10GM**

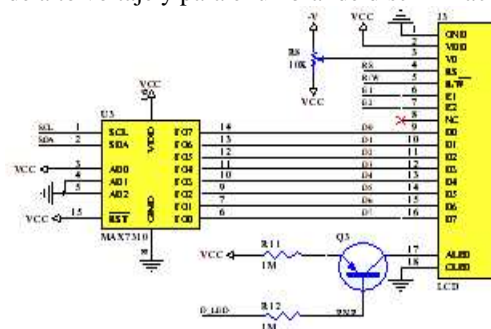
La sección radiométrica esta constituida por un comparador integral. Los pulsos de salida (SAL) del comparador se conectan directamente a la entrada de conteo del microcontrolador T0.

La sección digital del instrumento emplea el microcontrolador PIC18F2455 <sup>/5/</sup> para implementar el contador y el temporizador /Fig. 2/.



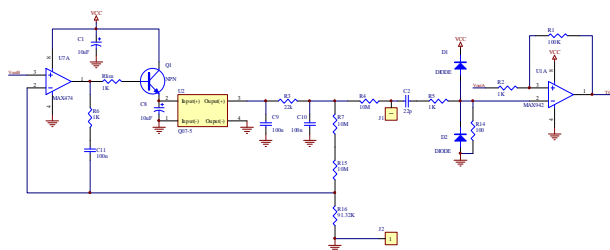
**Figura 2**  
**Circuito sobre la base del Microcontrolador PIC18F2455**

El microcontrolador utilizado se encarga de todo el funcionamiento del instrumento, entre los cuales se encuentra atención a teclado (CTR), a Display y por la capacidad interna de Memoria EPROM, almacenar el software de aplicación. La salida de datos del microcontrolador se conecta a un expansor de puerto MAX7310 <sup>/6/</sup> para la transmisión de estos hacia el display y a cuatro convertidores digital-análogos del tipo DAC 6574 <sup>/7/</sup> de 10bits para fijar los voltajes de referencias para la fuente de alto voltaje y para el umbral de discriminación.



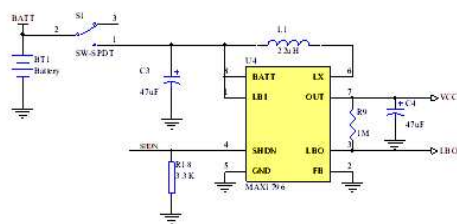
**Figura 3**  
**Circuito de salida a display con un expansor de puerto programable de 8 bits.**

La fuente de alto voltaje (Fig. 4) se diseñó con un convertor DC-DCHV (circuito híbrido de bajo consumo), pequeñas dimensiones y alta estabilidad QO-7 <sup>/8/</sup> que garantiza la polarización correcta del detector (DET) Geiger-Muller. El rango de regulación de la fuente va desde 100V hasta 700V, aunque el intervalo de voltaje de alimentación del detector para obtener mayor eficiencia en los conteos esta entre 510 y 600 voltios rango de voltaje óptimo señalado por el productor. Al circuito se le adicionó un circuito de regulación del voltaje de entrada y un circuito de filtrado para el voltaje de salida hacia el detector.



**Figura 4**  
**Circuito de control de la Fuente de Alto Voltaje sobre la base del circuito DC-DC Q0-7 y el circuito de salida de conteos**

En la sección de alimentación se emplean baterías recargables de 1.2V y de 1000mA/h para garantizar el tiempo de trabajo ininterrumpidamente de esta clase de instrumentos. A la batería se le conecta un circuito DC-DC MAX 1796 <sup>/9/</sup> /Fig. 5/ para ajustar el voltaje de alimentación de +5V a todo el circuito analógico y digital del instrumento.



**Figura 5**  
**Circuito de control del voltaje de alimentación para todo el instrumento sobre la base de un DC-DC MAX1796**

## DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE DE APLICACIÓN

El software se desarrolló en lenguaje C utilizando el compilador PICC4.08.

El programa principal cuenta con 4 ficheros:

**Dosim. C:** contiene el programa principal y las demás funciones escritas en C.

**CSARTUP.S03:** contiene las inicializaciones de las variables, se define el stack y los vectores de interrupción.

**Interrup.S03:** contiene las subrutinas de atención a interrupciones y las declaraciones del grupo de variables fijas (no deben ser inicializadas cuando empieza el programa, sino que mantienen sus valores en memoria, entre ellas: factor de calibración, etc.).

**Dosim.XCL:** contiene las definiciones de las direcciones de los segmentos, el stack interno, el banco de registro así como de los comandos para el enlazador.

La medición se realizó fijando el valor del alto voltaje al detector y el nivel de discriminación de los impulsos

provenientes del tubo GEIGER. Posteriormente se tomó el conteo de cada segundo y se comparó con el promedio de los conteos de los últimos  $\tau$  segundos. El valor de  $\tau$  se fijó en un rango de 1 a 25 segundos. Con este método se logró promediar las fluctuaciones de las radiaciones y además permitió visualizar rápidamente un cambio de intensidad. Se obtuvo una indicación sonora por cada partícula detectada. El nivel de alarma se chequeó cuando el promedio sobrepasa el nivel de alarma fijado y es cuando se emite un sonido agudo.

Los valores de  $\tau$  (cantidad de segundos para los que se calcula el promedio), la desviación que indica si un cambio es significativo, el nivel de alarma, la posibilidad de indicación sonora y el factor de calibración se pudieron introducir y/o modificar a través de la opción Setup.

Con los valores *conteo* y *tiempo* se obtuvo la cantidad de conteos por segundos, la que se multiplicó por el factor de calibración y dio como resultado la potencia de dosis en  $\mu\text{Sv/h}$ .

Los parámetros de la medición son especificados o modificados por mediación de la tecla SETUP. En el software se logró que en el momento de variar la configuración del instrumento se desconecte el alto voltaje con el fin de disminuir el consumo.

## CONCLUSIONES

Con la ejecución de este proyecto se cumplió a cabalidad con los objetivos propuestos del diseño de un nuevo Dosímetro de Zona calibrado por los Laboratorios Secundarios de Calibración Dosimétrica del CPHR. Los resultados finales de las mediciones se adjuntan en las tablas 1, 2, 3. Según señala la norma IEC 846 del OIEA el error intrínseco para instrumentos de esta clase no debe sobrepasar el 40%. El instrumento de referencia logró en general en las tres escalas de las tasas de dosis del irradiador del CPHR un 6.79 % sin incluir las escalas medias de 45.8  $\mu\text{Sv/h}$  y 68.6  $\mu\text{Sv/h}$ . Incluyendo los valores obtenidos en estas dos magnitudes se obtuvo el 8.6%. Esto demostró que el Dosímetro de Zona diseñado cumple con la norma establecida para esta clase de instrumentos. Por los resultados alcanzados se emitió el Certificado de Calibración CPR1043 y el sello de "CALIBRADO".

El nuevo diseño posibilitó disponer de un instrumento de alta tecnología y de producción nacional para ser utilizado en los módulos de medicina nuclear y otras instituciones que necesiten medir la tasa de dosis ambiental de rayos gamma en un rango desde 0.05  $\mu\text{Sv/h}$  y hasta 10mSv/h.

**Tabla 1. Tasas de dosis altas con el filtro OB6-1.**

IRRADIADOR GAMMA/Filtro OB6			
DFD (cm)	Valor patrón $\mu\text{Sv/h}$	Valor real $\mu\text{Sv/h}$	Error Intrínseco
200	9464,517	9576.0	1,17%
225	7478,082	7758,0	3,74%
275	5005,917	5114,0	2,15%
400	2365,992	2074,0	12,34%
700			
800			
1000			

**Tabla 1. Tasas de dosis medias con el filtro OB6-2**

IRRADIADOR GAMMA/Filtro OB6-2			
DFD (cm)	Valor patrón $\mu\text{Sv/h}$	Valor real $\mu\text{Sv/h}$	Error Intrínseco
200	933,329	977.0	4,67%
225	737,560	744,6	0,95%
275	493,892	530.0	7,31%
400	233,622	268,0	14,71%
700			
800			
1000			

**Tabla 1. Tasas de dosis bajas con el filtro OB6-3**

IRRADIADOR GAMMA/Filtro OB6-3			
DFD (cm)	Valor patrón $\mu\text{Sv/h}$	Valor real $\mu\text{Sv/h}$	Error Intrínseco
200	86,982	97.78	12,41%
225	68,663	80,76	17,61%
275	45,878	56,36	22.84%
400	21,583	24,40	13.05%
700	8,29	8,756	5.62%
800	6,62	7,154	8.06%
1000	4,35	4,402	1.95%

## REFERENCIAS

/1/ Programmable Zone Dosimeter for Operational Monitoring and Measurement of External Gamma Radiation. Sixth

Mexican Symposium on Medical Physics, México City, México 2002, Page. 247-250

/2/ Glenn F. Knoll. Radiation, Detection and Measurement. 1979.

/3/ Manual del Dosímetro de Zona DKC-04. Certificado 2.805.395 PS-A.

/4/ Norma del OIEA No: IEC 846:1989

/5/ Microchip Technology Inc. PIC18F2455 Data Sheet, 2007

/6/ Maxim. 2-Wire-Interfaced 8 Bit I/O Port Expander with Reset. Data Sheet 19-2698, Rev0, 1/03

/7/ Texas Instruments. Quad 10 Bit, Low Power Voltage output, I<sup>2</sup>C Interface Digital to Analog-Converter. December 2003.

/8/ EMCO High Voltage Corporation. Ultra Miniature DC to HV DC Converters Q-Series.

/9/ Maxim. Low Supply Current Step-Up DC-DC Converters with True Shutdown Data Sheet, 19, 1798, Rev0, 12/00.

## 1. OTRA BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

/1/ PROGRAMANDO EN C++, Editora CAMPUS, 1993.

/2/ Ingeniería del Software: un enfoque práctico. Mc Graw Hill, Madrid 1993

/3/ Windows Wisdom for C and C++ Programmers, John Wiley and S., New York, 1993.

/4/ Data Transmission Circuits, Data Books, 1993

/5/ Frank H. Attix, "Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry". John Wiley and Sons. 1986

/6/ J.R. Greening. "Fundamentals of Radiation Dosimetry". Medical Physics Handbooks. 2<sup>nd</sup> edition. Adam Hilger Ltd. 1985.

/7/ Harold E. Johns y John R. Cunningham, "The Physics of Radiology". 4<sup>th</sup> edition. Charles C Thomas Publisher, 1983.

/8/ James E. Turner, "Atoms, Radiation and Radiation Protection" 2<sup>nd</sup> edition. 2004.

/9/ B. Dorschel, V. Schricht, J. Steuer, "The Physics of Radiation Protection", Nuclear Technology Publishing, 1996.

/10/ Geiger Muller Tubes, Manual CENTRONIC, 1992

## AUTORES

René B. Toledo Acosta, Físico, PhD. en Ciencias Técnicas, Investigador Auxiliar, CEADEN, [toledo@ceadn.edu.cu](mailto:toledo@ceadn.edu.cu)

Jefe de Proyecto Ramal sobre el Desarrollo, introducción y Generalización del Dosímetro de Zona DZ10GM en el país.