

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DETECCIÓN Y MONITOREO DE RADIACIÓN GAMMA PARA EL MINISTERIO DE ELECTRICIDAD Y ENERGÍA RENOVABLE

W. Pavón Vallejos, Ing. L. Orozco, Ing. F. Pineda

Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

Av. General Rumiñahui S/N, Sangolquí, Ecuador.

E-mail: wilsonpavonv@gmail.com, lorozco@espe.edu.ec, fpineda@espe.edu.ec

Resumen--El presente documento describe la implementación del sistema contribuye al control de la exposición máxima anual y permite detectar inmediatamente cuando los niveles de radiación sobrepasan los permitidos. La investigación desarrollada modela la estructura de un detector de radiación para producir múltiples detectores en base al prototipo.

Palabras claves: electrónica nuclear, exposición a la radiación, detección de radiación, prototipo, radiación gamma.

I. MARCO TEÓRICO

El diseño de detectores de radiación se basa en el conocimiento de la interacción de las radiaciones con la materia, principalmente a través de la ionización y excitación de sus átomos; puede haber emisión de luz, cambio de temperatura o efectos químicos, todo lo cual puede ser un indicador de la presencia de radiación. Los métodos de detección de radiación ionizante más empleados son: ionización de gases, centelleo de sustancias, cámaras de ionización, termoluminiscencia y película fotográfica, en donde se muestra la clasificación de los diferentes detectores de radiación.

Los detectores actualmente permiten investigar la naturaleza de las radiaciones nucleares y ha servido para la aplicación beneficiosa de las radiaciones en medicina, industria e investigación, así como para la prevención de los riesgos que pudieran entrañar la radiación. Los detectores basan el funcionamiento en la interacción de la radiación con el material del propio detector, dado que la radiación es una forma de energía (SCAN, 2002). Esta energía puede depositarse parcial o totalmente en un medio adecuado produciendo así un efecto determinado.

II. EL DETECTOR GEIGER MÜLLER

Un tubo Geiger Müller, mírese la Figura. 1, consiste en dos electrodos con un gas inerte a baja presión entre ellos. El tubo está cerrado por una fina ventana para que a través de ella penetre y llegue al gas la radiación ionizante. El electrodo externo es usualmente un cilindro, mientras que el interior es un alambre delgado, generalmente tungsteno, colocado en el centro del cilindro. La diferencia de potencial produce un campo eléctrico entre ambos electrodos que provoca que cualquier radiación directamente ionizante que entra en el tubo provoque una avalancha, la cual produce un pulso de corriente que señala el paso de radiación, es decir, cuando una partícula pasa por el gas, ioniza las moléculas del mismo liberando electrones [1]. Si la intensidad de campo eléctrico es demasiado pequeña, no se produce pulso alguno, y si es demasiado alta se produce una descarga continua incluso en ausencia de radiación.

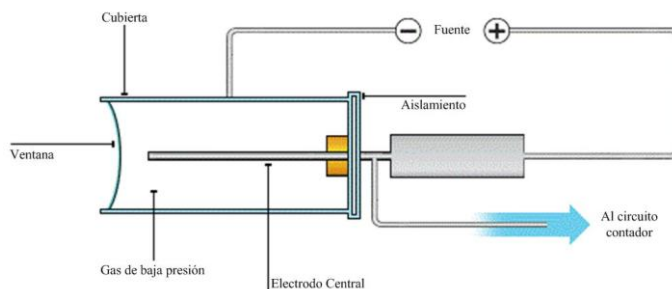


Figura. 1 Detector Geiger Müller (BBC, 2008)

El tubo Geiger Müller no distingue entre tipos de partículas, y no es capaz de proporcionar el valor de sus energías; éste sólo proporciona información sobre el número de partículas que han interactuado en el detector [1].

El detector de radiación debe reunir por su particular trabajo, características especiales que lo diferencien a cualquier otro detector. En este sentido [1] describe a los detectores de radiación con tubo Geiger Müller como:

Los contadores Geiger son instrumentos destinados a detectar y medir radiación ionizante, particularmente útiles en la inspección de áreas y/o personal. Si se los utiliza en situaciones de emergencia radiológica (accidentes con liberación de material radioactivo), puede ser necesario que personal ingrese a zonas con niveles de actividad desconocidos. Una lectura errónea puede conducir a una sobreexposición y es por ello importante lograr un alto nivel de confianza en el instrumento de medición (p.1)

Por ello, la importancia de la confiabilidad del sistema y del dispositivo creado en el proyecto.

El nombre elegido para el Sistema, para fines prácticos es el nombre de la institución que auspicia el Proyecto, debido a su importancia en el área de las radiaciones a nivel nacional. Este se acompaña de un número que refleja la versión de la aplicación.

Nombre del sistema **SCAN 1.0**

III. BLOQUE DETECTOR DE RADIACIÓN

En la Figura. 2 se muestra un diagrama de bloques, en donde se describe las partes constitutivas que forman parte del Detector de Radiación; estas partes se diseñan en los siguientes apartados. El diagrama de bloques se centra en la característica fundamental de medición de radiación. El conjunto de detector, acondicionamiento y medidor, busca que el dispositivo logre tener el alto nivel de confianza para medición de radiaciones ionizantes.

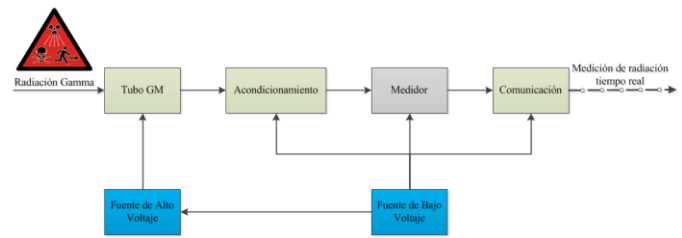


Figura. 2 Partes constitutivas del Detector de Radiación

Fuente de Alto Voltaje de Corriente Directa

Las fuentes de alimentación de alta tensión son necesarias para operar los detectores nucleares, el valor y la polaridad de la alta tensión dependen del tipo de detector. En este caso el detector Geiger Müller, no es la excepción, necesita de alta tensión bien regulada para producir resultados fiables. Debido a que los voltajes requeridos son superiores a los 400 voltios, el circuito rectificador es también un multiplicador de tensión [1].

La salida de la fuente de alto voltaje necesario para el tubo LND 712, dado por el fabricante [1], debe ser entre 450 a 650 voltios; para determinar el valor específico dentro de este rango se realizó un ensayo para determinar la curva plateau del tubo GM, el ensayo de determinación de la curva; como conclusión del ensayo se determinó que el voltaje que le permite al detector permanecer en la región GM es de 500 voltios, que es el elegido para la fuente de alto voltaje. El objetivo del circuito de alta tensión se puede observar en la Figura. 3, mírese que la entrada del circuito es un voltaje continuo de 5 voltios, mientras que la salida será un voltaje de 500 voltios de corriente directa.

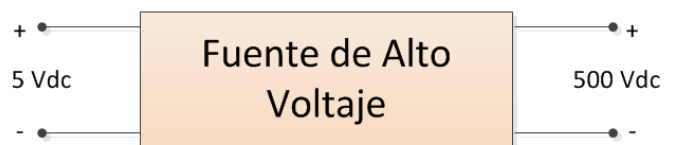


Figura. 3 Objetivo del Circuito de Alto Voltaje

Internamente para lograr la implementación del circuito de alto voltaje se utilizarán algunos circuitos constitutivos, los que se muestran el diagrama de bloques Figura. 4. Los circuitos se analizarán independientemente en los siguientes títulos, pero integrando todos los elementos formarán el circuito de Alto Voltaje.



Figura. 4 Diagrama de bloques del circuito de la fuente de alto voltaje

Acondicionamiento de Pulsos Nucleares

El circuito de acondicionamiento de pulsos nucleares, tiene por objetivo mejorar la señal proveniente del cátodo del tubo GM, como se observa en la Figura. 5 a la entrada del presente bloque ingresa un pulso con amplitud variable, por consecuencia, esta señal no es tratable; y a la salida se tendrá una señal cuadrada adecuada para un dispositivo microcontrolador con tecnología TTL¹

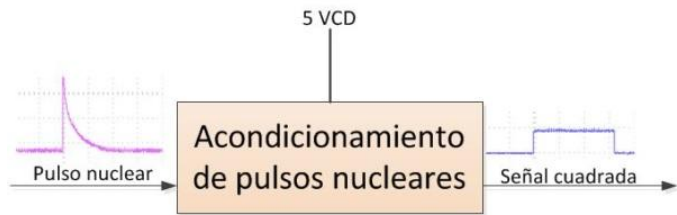


Figura. 5 Objetivo del circuito de acondicionamiento de pulsos nucleares

El circuito propuesto para el acondicionamiento de pulsos nucleares, se presenta en la Figura. 6, en donde se han tomado en cuenta características para que cumpla con satisfacción la función encomendada. Se puede observar que la propuesta está compuesta por los circuitos de acoplamiento, inversión y el multivibrador monoestable. Para el cumplimiento de las especificaciones iniciales del circuito de acondicionamiento de pulsos nucleares, se pondrá a consideración el circuito multivibrador monoestable el cual es la solución para el problema planteado.



Figura. 6 Diagrama de bloques del Acoplamiento de Pulsos Nucleares

Circuito Micro Procesado

El bloque detector de radiación es independiente en funcionamiento del bloque de Adquisición y Almacenamiento, de forma que, puede medir dosis de radiación sin necesidad de estar conectado a un sistema computacional más complejo. Este precedente exige que el detector de radiación pueda independientemente realizar todas las funciones encomendadas para el bloque en mención. Por esto, el detector de radiación tiene una estructura micro-procesada que permite convertir los pulsos nucleares en datos para visualizar, grabar internamente y transmitir al siguiente bloque del sistema.

Observando las necesidades, se plantea que el sistema micro procesado debe tener los requerimientos explicados en la Figura. 7. Puertos de entrada y salida para el sistema micro-procesado del bloque detector de radiación.

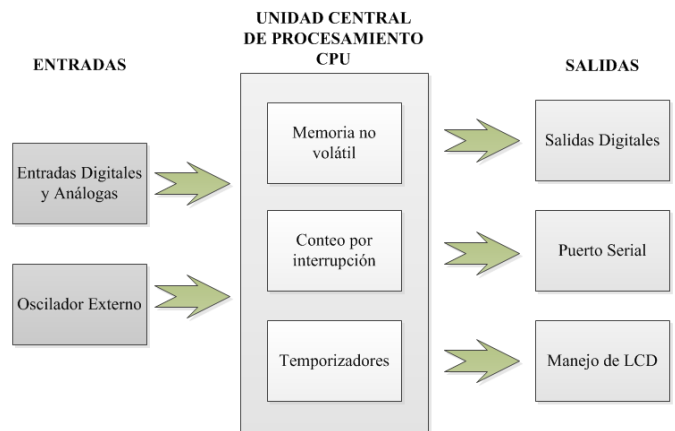


Figura. 7. Puertos de entrada y salida para el sistema micro-procesado del bloque detector de radiación.

Interfaz de Comunicación

La interfaz de comunicación del Sistema de Detección de Radiación Gamma, por el Alcance del Proyecto, debe tener dos

¹ TTL proviene de las siglas en inglés de "lógica de transistor a transistor"

posibilidades de comunicación: **inalámbrica** como interface para la operación normal; y **alámbrica** en aplicaciones en donde se requiera que el detector tome medidas dentro de un lugar en donde sea imposible una comunicación de este tipo, por ejemplo, cuando se requiera calibrar el detector en el Laboratorio de Patrones Secundarios de la SCAN, sabiendo que se realiza dentro de un bunker blindado de plomo. En la Figura. 8, se representan las dos formas de comunicación con el Bloque de Adquisición y Almacenamiento.

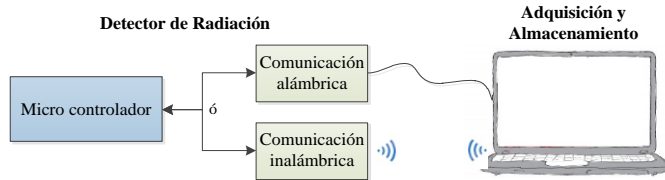


Figura. 8 Interface de comunicación del Detector de Radiación

Comunicación inalámbrica por medio de módulos XBEE



Figura. 9. (ar.) Logo Digi, (iz.) Modulo XBEE, (der.) XStick (Digi International Inc., 2013)

La comunicación elegida como interface inalámbrica para el detector de radiación son los módulos de radio frecuencia XBee fabricados por la empresa Digi [1]. Seleccionados en base, a que los módulos presentan una solución excepcionalmente potente para la implementación de redes

inalámbricas en sus aplicaciones de comunicaciones de datos, por la velocidad y distancia de transmisión, que cumplen con la característica requeridas por el sistema. Se muestra el logo de Digi y el módulo XBee en la Figura. 9.

Red de Detectores

El protocolo que se implementa por medio de los módulos XBee es la IEEE 802.15.4, conocido como ZigBee que es una herramienta de tecnología inalámbrica de corto alcance bajo consumo, provee flexibilidad y es una solución para aplicaciones de seguridad y automatización, el protocolo implementa las capas física y de enlace de datos, Figura. 10 (Craig, 2004).

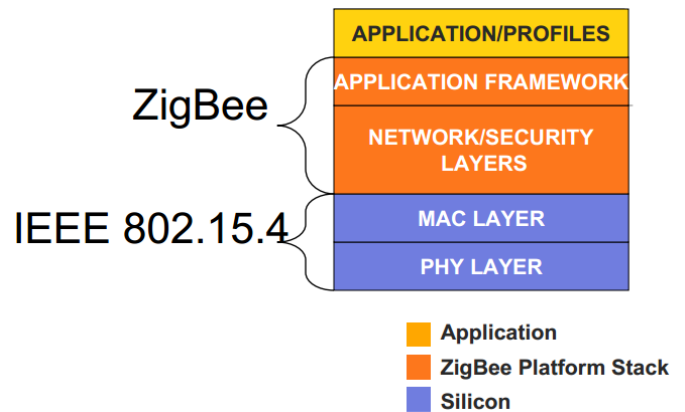


Figura. 10. Capas que implementa el protocolo IEEE 802.15.4 (Craig, 2004)

El protocolo como capa física define al aire como medio físico, determina las características materiales, maneja las señales eléctricas del medio de transmisión y los niveles de tensión y se encarga de transmitir el flujo de bits a través del medio. Y como capa de enlace de datos direcciona al medio, detecta errores, distribuye ordenadamente las tramas, y controla el flujo de los datos.

Alimentación Eléctrica

La fuente de alimentación se desarrolla sabiendo que el bloque Detector de Radiación requiere de voltaje de corriente directa con una amplitud de 5V y una corriente de 300 mA, determinada experimentalmente, con el mejor desempeño en regulación y con el mínimo rizado posible. Con portabilidad en

su funcionamiento, es decir, puede ser transportado por que tiene baterías que le permiten funcionar sin estar conexas a una fuente de alimentación externa.

La fuente de alimentación eléctrica o regulador de voltaje se define según (Boylestad & Nashelky, 2009), como: “Comenzamos con un voltaje de ca² y obtenemos un voltaje de cd³ constante al rectificar el voltaje de ca y luego filtrarlo para obtener un nivel de cd, y, por último, lo regulamos para obtener un voltaje de cd fijo deseado” (p. 773).

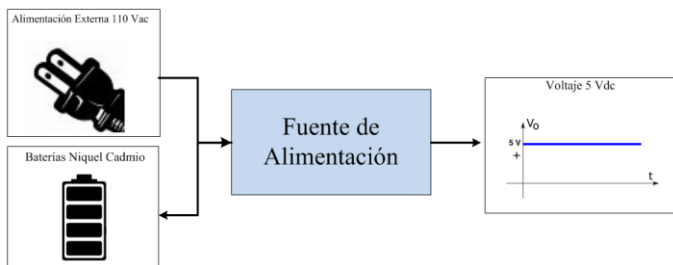


Figura. 11. Diagrama del objetivo de la fuente de alimentación

Obsérvese la anterior figura, en donde se gráfica el objetivo del circuito de alimentación eléctrica, en donde se tiene como entrada: la alimentación eléctrica externa domiciliar de 110 Vac y el voltaje de las baterías Niquel Cadmio⁴, nótese que este es un canal bidireccional con el objetivo de cargarlas cuando sea necesario; mientras que la salida es el voltaje de 5 voltios para el funcionamiento del detector.

Diseño Mecánico

El diseño mecánico del Detector de Radiación, se lo realiza antes del circuito impreso para determinar así, las dimensiones máximas de ancho y largo de la tarjeta electrónica, la caja en la cual está confinado el detector de radiación.

Las dimensiones del case del detector de radiación, son de: ancho 15.72 [cm] de largo, 9.51 [mm] de ancho y 5 [cm] de altura, Figura. 3.56. Con este precedente, la tarjeta electrónica se ha realizado con las dimensiones de 12,5 [cm] de largo y 8 [cm] de ancho.

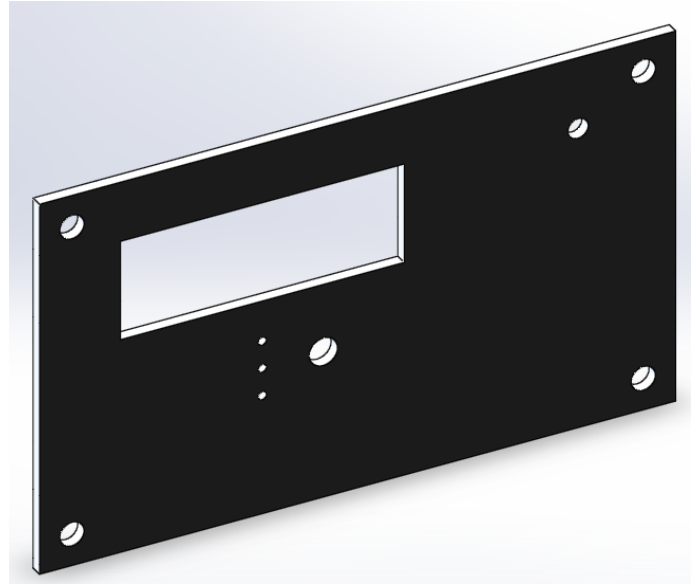


Figura. 12. Parte frontal de la caja para el Detector de Radiación

La disposición de los elementos está distribuida de forma que la tarjeta electrónica estará sujeta a la cara frontal del case para poderlo retirar y facilitar la visualización de los elementos internos. Y las baterías de alimentación estarán alojadas en la parte trasera del case del Detector de Radiación.

Circuito Impreso

El presente apartado tiene por objetivo el diseño y la realización del circuito electrónico sobre un soporte rígido que lleva situados los conductores sobre él de forma pegada y sujeta, este es el circuito impreso. Para el diseño del circuito impreso se ha considerado las etapas de desarrollo del esquemático, simulación y fabricación del arte de PCB utilizando aplicaciones que permiten realizar el Diseño Asistido por Computadora (CAD). Se establecen técnicas, normas y recomendaciones que se han tomado en cuenta durante el avance del mismo, solucionando las diversas anomalías, físicas, electromagnéticas y de radiación, presentes en el PCB.

² ca corresponde a las siglas de corriente alterna.

³ cd corresponde a las siglas de corriente directa.

⁴ Compuestos químicos que componen las baterías

IV. BLOQUE ADQUISICIÓN Y ALMACENAMIENTO

El desarrollo lógico del bloque de Adquisición y Almacenamiento se realiza en base a lo expuesto en el apartado 1.2 Alcance del Proyecto, y para precisar detalles se muestra la Figura. 15, en donde se muestran las partes constitutivas del presente bloque y se puede visualizar la presencia de un computador que tiene la capacidad e monitorear los niveles de radiación a través de una interface humano máquina (HMI), a su vez de visualizar los datos en tiempo real se puede almacenar en una base de datos.

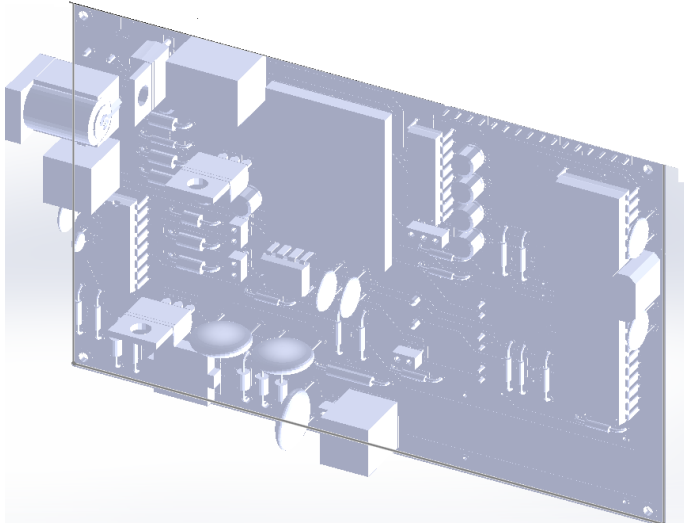


Figura. 13. Modelamiento tridimensional de la tarjeta del Detector de Radiación

La señalética dispuesta en la cara frontal del Detector de Radiación, tienen por objetivo reconocer las accionamientos e indicaciones que el detector de radiación dispone, esta señalética se muestra en la Figura. 14, nótese la existencia de dos controles: Power, que permite activar la alimentación, y Reset que encera la medición de radiación; mientras que los indicadores: Nuclear pulse, se encenderá cuando se detecte un pulso nuclear; el indicador Communication, estará activo cuando se tenga comunicación con el computador; y el indicador Operation titila mientras el funcionamiento del dispositivo sea el correcto.

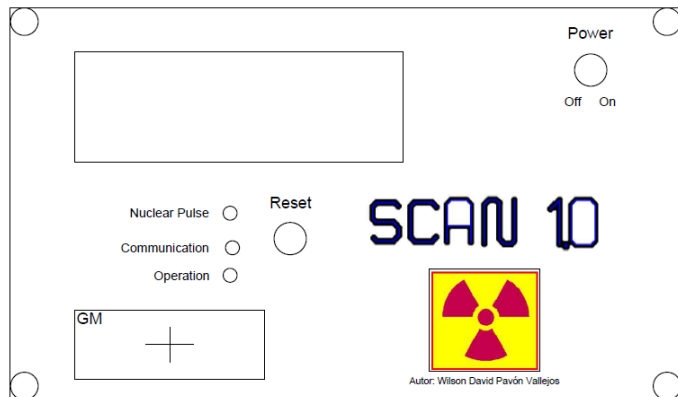


Figura. 14. Señalética dispuesta en la cara frontal del Detector de Radiación

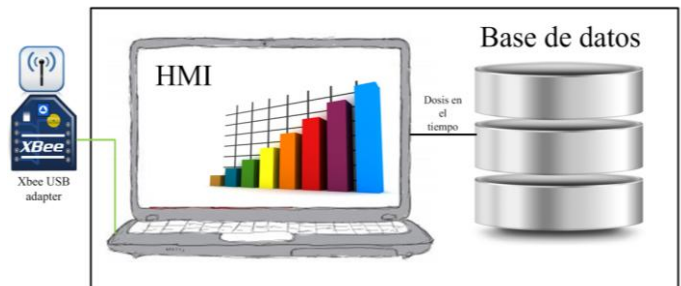


Figura. 15. Partes Constitutivas del bloque de Adquisición y Almacenamiento

Interface humano máquina HMI

El HMI se define como el punto en el que seres humanos y computadores se ponen en contacto, transmitiéndose mutuamente tanto información, órdenes y datos como sensaciones, intuiciones y nuevas formas de ver las cosas (Rodríguez, 2013). Sin embargo, por otro lado, la interfaz es también un límite a la comunicación, es así como en muchos casos la interfaz se convierte en una barrera debido a un pobre diseño y una escasa atención a los detalles de la tarea a realizar.

La pantalla principal de la interface del Sistema tiene la distribución, tomándose en cuenta todas las características y recomendaciones antes expuestas. Mírese en la Figura. 16 en donde se copia la interface resultado de la aplicación.

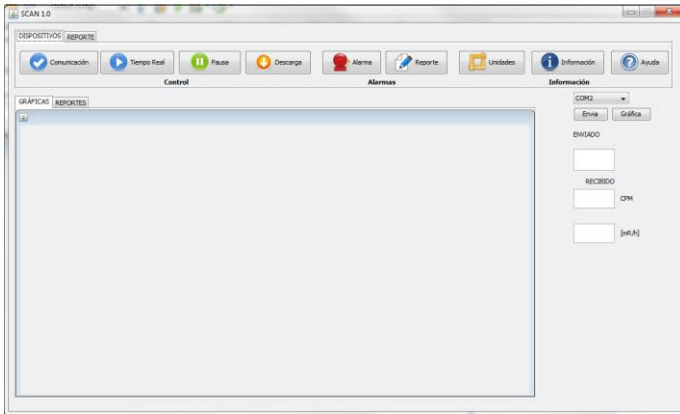


Figura. 16. Resultado del diseño del HMI del Sistema

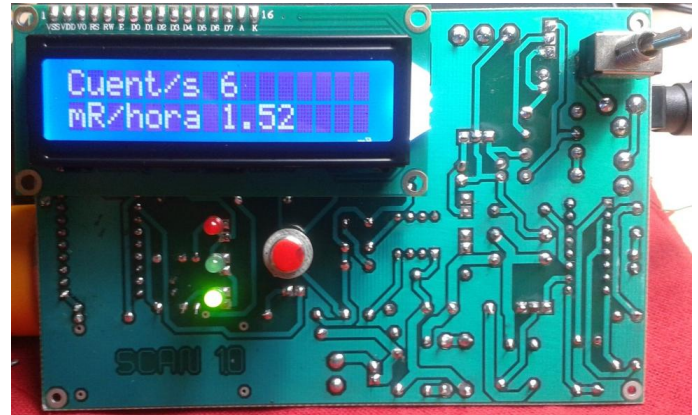


Figura. 19. Elementos internos del Detector de Radiación II

V. RESULTADOS

El Detector de Radiación finalizado se muestra en la Figura. que indica la parte frontal y la señalética establecida. Mientras que el circuito impreso terminado se muestra en la Figura. 18 y en la Figura. 19, que expone el anverso y reverso, respectivamente de la tarjeta electrónica.



Figura. 17. Cara frontal del Detector de Radiación

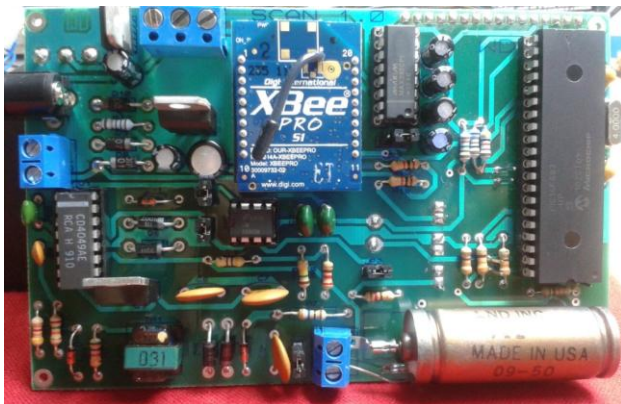


Figura. 18. Elementos internos del Detector de Radiación I

El resultado se observa en las Figura. 20, la Figura. 21 y la Figura. 22 las mismas que comparan las diferentes mediciones experimentales obtenidas con los límites inferiores y superiores permitidos, en las tres figuras obsérvese que ninguna medición sale del mencionado rango.

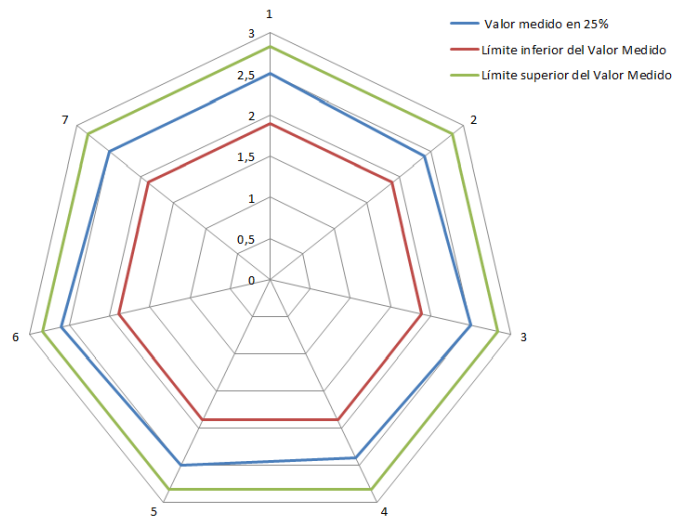


Figura. 20. Comparación de los valores experimentales y límites permitidos en el 25% del rango del Detector

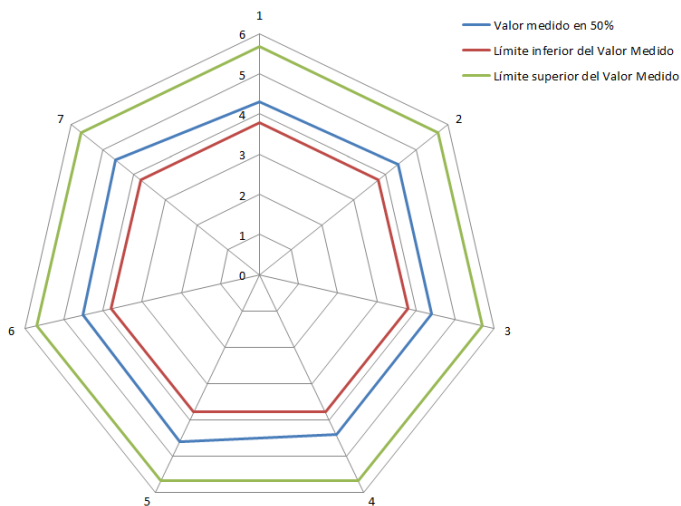


Figura. 21. Comparación de los valores experimentales y límites permitidos en el 50% del rango del Detector

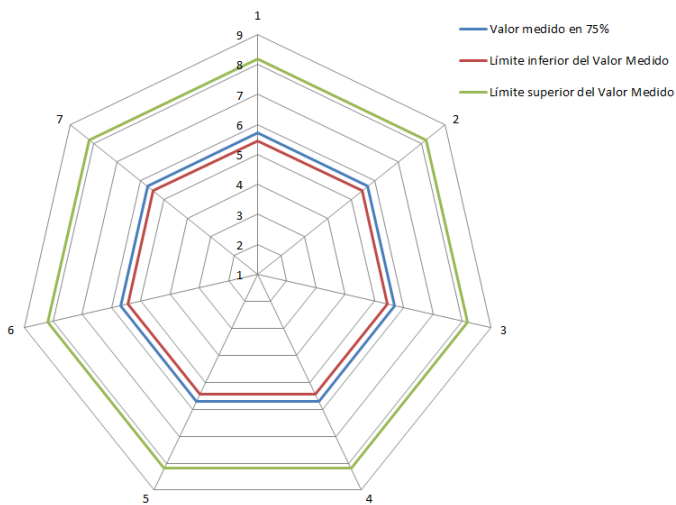


Figura. 22. Comparación de los valores experimentales y límites permitidos en el 75% del rango del Detector

VI. CONCLUSIONES

Con la ejecución del proyecto se cumple cabalmente con los objetivos propuestos del diseño de un Sistema de Detección y Monitoreo de Radiación Gamma para medir la exposición a la radiación del personal ocupacionalmente expuesto del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.

El estudio del arte de las radiaciones ionizantes permite ampliar el conocimiento de la detección de la radiación, para

aprovechar el comportamiento físico y eléctrico de la ionización en el tubo Geiger Müller.

El diseño de la Fuente de Alto Voltaje concluyó, que su salida tiene una precisión de $\pm 1.6\%$, excelente estabilidad y un mínimo rizado. Y el resultado de la fuente de alimentación con carga, arroja un error de 0.01 [V], y tiene un rizado menor de 100 [mV] mejorando la estabilidad general del sistema.

La precisa medición de radiaciones ionizantes se logra evitando el desfase y reduciendo el ruido del pulso nuclear, esto se logra por medio del circuito de acondicionamiento de pulsos nucleares. También la medición de radiación es dependiente del tiempo, y es necesaria una correcta temporización desde el circuito micro controlador para el conteo de pulsos, teniendo un error en tiempo de 0.01%.

Con resultados finales de las mediciones se obtuvo un factor de calibración de 1.08 con lo que se cumple el procedimiento establecido para instrumentos Detectores de Radiación. Por consiguiente, se recibió el certificado de calibración del Laboratorio legalmente constituido para emitirlo.

El Sistema permite tener un instrumento de alta tecnología y de producción nacional inalámbrico y portable; que puede ser utilizado en los módulos de medicina nuclear y otras instituciones que necesiten medir la exposición ambiental de rayos gamma en un rango desde 0.0625 mR/h y hasta 10mR/h.

El Costo del Sistema representa solo una fracción de los Sistemas comerciales establecidos con capacidades similares, lo que permitirá expandir el proyecto y reproducirlo como detector de radiación para instalaciones, en donde se trabaje con fuentes de radiación.

VII. RECOMENDACIONES

Se recomienda probar diferentes análisis estadísticos más complejos implementados en el sistema micro procesado para mejorar, aún más, la medición de Radiación Ionizante.

Para los siguientes prototipos se recomienda implementar la fuente de 3.3 V para los módulos XBee, reducir el tamaño del circuito impreso utilizando elementos superficiales e incluir potenciómetros para modificar el alto voltaje y el factor de calibración en el detector.

Se recomienda mejorar el manejo de la carga y descarga del circuito de acople de las baterías que proporcionan energía al Detector de Radiación para que este proceso sea de forma automática.

La comunicación inalámbrica establecida en el Sistema permite versatilidad en el manejo de datos, debido a la capacidad de manejar redes de detectores de radiación, con lo que se recomienda explotar dichas posibilidades de comunicación..

Referencias Bibliográficas

- [1] SCAN, Curso Básico de Protección Radiológica, Quito: Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica (CEEA), 2002.
- [2] Universidad Complutense de Madrid, «Facultad de Ciencias Físicas,» 20 junio 2010. [En línea]. Available: <http://nuclear.fis.ucm.es/LABORATORIO/guiones/Caracterizaci%F3ndeGeiger.pdf>. [Último acceso: 1 agosto 2013].
- [3] BBC, «Detección de radiación usando el tubo Geiger Muller,» 5 noviembre 2008. [En línea]. Available: http://www.bbc.co.uk/bitesize/standard/physics/health_physics/nuclear_radiation/revision/5/. [Último acceso: 1 agosto 2013].
- [4] Universidad de Valencia, Laboratorio de Física Nuclear y de Partículas, Valencia: Facultad de física, 2013.
- [5] IAEA, «Nuclear Electronics,» Seibersdorf, 2002.
- [6] LND, INC, «Detector LND 712,» 15 junio 2013. [En línea]. Available: <http://www.lndinc.com/products/pdf/711/>.
- [7] Digi International Inc., XBee/XBee-Pro RF Modules, Minnetoka: Digi International, 2013.
- [8] B. Craig, ZigBee, ZigBee Alliance, 2004.
- [9] R. Boylestad y L. Nashelky, Electrónica: Teoría de circuitos y dispositivos electrónicos, México: Prentice Hall, 2009.
- [10] P. Rodríguez, «Diseño de Interfaces Hombre - Máquina (HMI),» 20 Octubre 2013. [En línea]. Available: <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r94806.PDF>.