

## Modernización del sistema de contaje beta del equipo LAS-3A

Oscar Baltuano<sup>1,\*</sup>, Ricardo Ruíz<sup>2</sup>, José Osos<sup>2</sup>, Yuri Hernández<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dirección de Investigación y Desarrollo, Instituto Peruano de Energía Nuclear,  
Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

<sup>2</sup> Dirección de Servicios, Instituto Peruano de Energía Nuclear, Av. Canadá 1470, Lima 41, Perú

### Resumen

Se describe la modernización de una parte de la electrónica asociada al sistema de contaje beta total del equipo LAS-3A. Por su antigüedad, este sistema presentaba múltiples fallas y dificultad para obtener repuestos. Un contador/temporizador (escalímetro) basado en un microcontrolador PIC18F2320 y nuevas etapas de amplificación y acondicionamiento analógico de las señales provenientes de los detectores han reemplazado a los circuitos electrónicos originales del equipo. Previamente, ha sido necesario desmontar los detectores y estudiar la operación de los preamplificadores. Esta fase ha sido necesaria para tener en cuenta las características de operación y considerarlas en el diseño de los circuitos de tratamiento analógico.

### Abstract

Describes the upgrading of associated electronic of total beta counting system LAS-3A. For its age, this system had multiple failures and difficulty for spare parts. A counter/timer (scaler) based on a PIC18F2320 microcontroller and new stages of amplification and analog processing signals from detector have replaced the original electronics systems. Previously, has been necessary to remove the detectors to analyze the preamplifiers operation. This has been necessary to take in account operating characteristics and consider in the design of analog processing circuits.

### 1. Introducción

Un sistema de contaje beta total permite detectar la cantidad total de partículas beta generadas por decaimiento radioactivo y que son emitidas por una muestra ambiental. Considerando que todos los radionúclidos de importancia ambiental, a excepción de los, elementos transuránicos, son emisores beta, una forma rápida de identificar una contaminación radiactiva es a través del monitoreo de los índices beta total. Por otro lado, a partir de esta medición es posible determinar ciertas características de la composición isotópica de los elementos en la muestra estudiada.

El Laboratorio de Radiometría Ambiental de la Dirección de Servicios del IPEN posee un equipo para realizar este tipo de mediciones, denominado Sistema de Contaje de Baja Actividad LAS-3A, el cual ha sido fabricado en la década de los años sesenta; debido a su antigüedad, la tasa de fallas se ha venido incrementando en los últimos años y la obtención de repuestos era cada vez más difícil.

El sistema consta de un cabezal de detección que contiene 2 detectores de centelleo plástico acoplados a los tubos fotomulti-

plicadores y preamplificadores, todo ello montado dentro de un blindaje de plomo. El cabezal de detección se encuentra acoplado a un módulo de control electrónico que contiene las tarjetas electrónicas que proporcionan la alta tensión requerida por los tubos fotomultiplicadores, amplificadores y circuitos de acondicionamiento para las señales de los detectores, y un contador/temporizador (escalímetro) el cual es configurable a través de los botones del panel frontal (Figura 1).



**Figura 1.** Primer plano del panel frontal del módulo de control electrónico.

Luego de la evaluación de operación de todo el sistema y teniendo en cuenta la limitada información técnica del mismo se optó por

\* Correspondencia autor: obaltuano@ipen.gob.pe

mantener intacto el cabezal de detección (Figura 2) y rediseñar los amplificadores, conformadores y el contador/temporizador para reemplazarlos por dispositivos electrónicos más modernos y flexibles.



**Figura 2.** Primer plano cabezal de detección conteniendo los dos detectores de centelleo plástico acoplados a tubos fotomultiplicadores y preamplificadores.

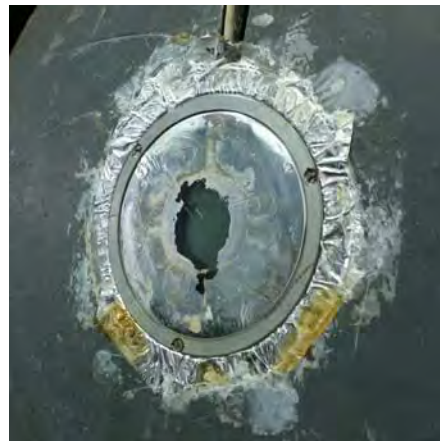
## 2. Experimental

### 2.1 Análisis y mantenimiento de cabezal de detección

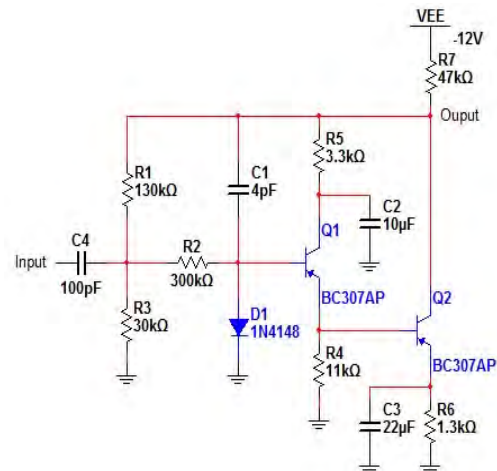
Se procedió con el desmontaje de todo el cabezal de detección con la finalidad de verificar la integridad de los detectores y determinar su correcta operación en forma independiente. Se observó que en ambos detectores, el protector metálico reflectivo que recubre el plástico centellador se encontraba rasgado, razón por la cual, cualquier ingreso de luz al interior del cabezal podía generar señales de ruido a la salida de los detectores (Figura 3). Se realizó el cambio de este material reflector, utilizando papel de aluminio de uso cotidiano en aplicaciones de laboratorio.

Durante el desmontaje de los tubos fotomultiplicadores se observó, que acoplados a los mismos, se encontraban los preamplificadores que utilizaban un cable de -12 V para la alimentación, no existiendo otro cable para la señal de pulsos del detector. Esta configuración prácticamente inexistente en los sistemas modernos, implica que la

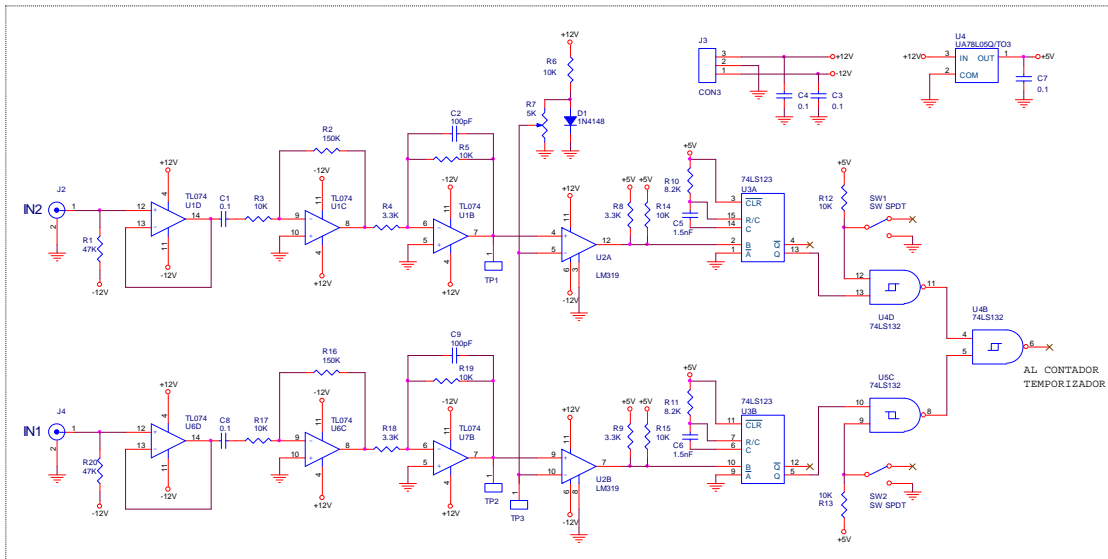
señal de pulsos entregada por el detector, viaja en forma de una caída de tensión sobre el cable de alimentación del preamplificador. Este hallazgo origina la necesidad de colocar una resistencia en serie con la alimentación de -12 V para generar la caída de tensión que será desacoplada en el amplificador. Dicha configuración utiliza un cable menos en la conexión del preamplificador, pero eleva la impedancia de salida del mismo con el consecuente incremento del nivel de ruido de la señal. La configuración anterior se vio confirmada luego de levantar el diagrama esquemático del preamplificador (Figura 4) y realizar las pruebas de funcionamiento en programas de simulación por computadora.



**Figura 3.** Recubrimiento metálico reflectivo dañado sobre el plástico centellador de uno de los detectores del cabezal de detección.



**Figura 4.** Diagrama esquemático de los preamplificadores acoplados al ánodo de cada fotomultiplicador. (La resistencia R7 de 47K se encuentra montada en el amplificador y es a través de la cual se produce la caída de tensión proporcional al pulso generador por el detector).

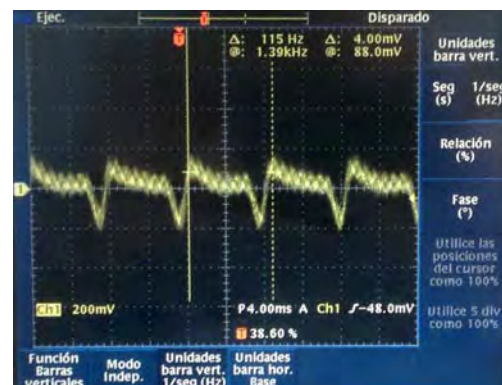


**Figura 5.** Diagrama esquemático de los amplificadores/conformadores y las compuertas selectoras de los pulsos provenientes de ambos detectores.

## 2.2 Rediseño de los circuitos de amplificación y acondicionamiento de señal

Los pulsos entregados por los preamplificadores son pulsos positivos cuasi exponenciales, pero montados sobre la línea de alimentación de -12V. Experimentalmente se determinó que la constante de tiempo de estos pulsos está en el orden de  $6 \mu\text{s}$  y la amplitud de los mismos en el rango de algunos mV, cuando el voltaje del tubo fotomultiplicador es 800 V. Para acondicionar las señales provenientes de los dos detectores, se diseñaron dos circuitos electrónicos idénticos, uno para cada detector. El diagrama esquemático de los circuitos se muestra en la Figura 5. En ella puede observarse la resistencia (R1 y R20) que producen la caída de tensión de los pulsos provenientes de los detectores. Ambas señales son pasadas a través de seguidores de tensión TL074 (UID y U6D) para luego ser acopladas en AC (C1 y C8) y eliminar el nivel de continua de -12 V antes de ser amplificadas mediante OPAMPs, en configuración de inversores con ganancia 15 (UIC, U6C). Como etapa final del tratamiento analógico, las señales de ambos detectores son pasadas por un filtro pasa bajo de un polo con ganancia 3 y constante de tiempo de  $1 \mu\text{s}$ . Con esta consideración, los pulsos obtenidos tendrán forma semi gaussiana y pueden ser fácilmente comparados con un voltaje de referencia para

convertirlos en pulsos digitales con forma rectangular mediante los comparadores del CI LM319 y cuyo voltaje umbral puede ajustarse dependiendo de las condiciones requeridas. Con el objeto de conformar mejor los pulsos rectangulares y reducir el tiempo muerto por apilamiento son pasados por dispositivos monoestables no redisparables 74LS123 (U3). Finalmente, ambas señales pueden ingresar individualmente o sumadas al contador/temporizados a través de la compuerta NAND U4B.

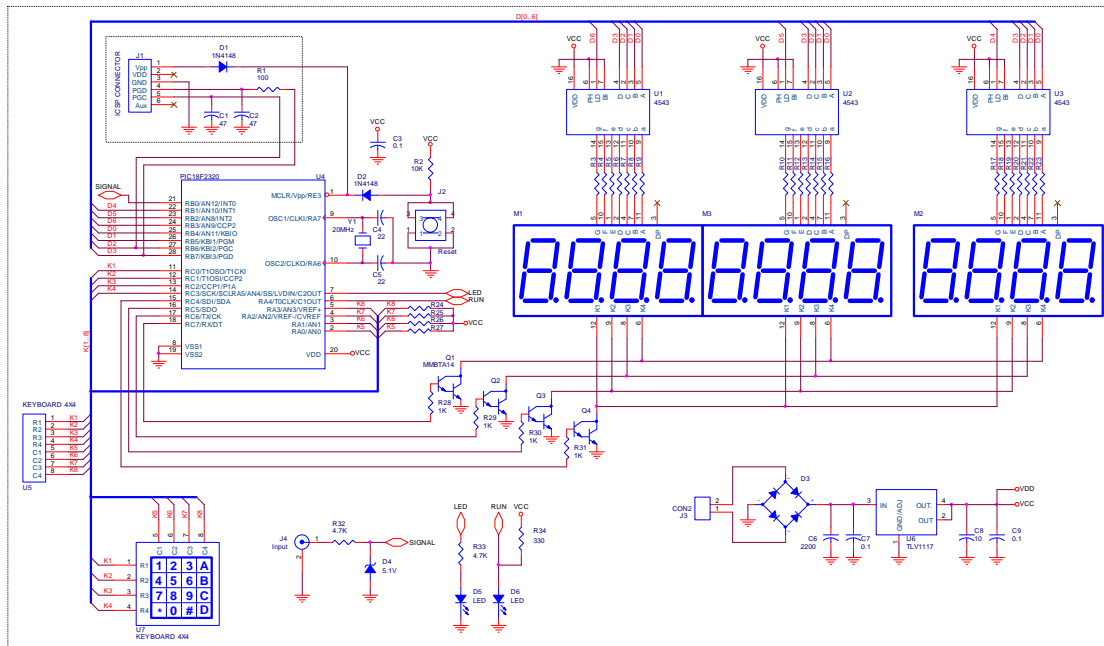


**Figura 6.** Captura de pantalla de osciloscopio donde se observa el nivel de ruido introducido en los circuitos analógicos por el funcionamiento de las fuentes de alta tensión.

Cabe resaltar que las fuentes de alta tensión para ambos detectores no sufrieron modificaciones y las mismas generan, sobre los circuitos analógicos, un nivel de ruido total que oscila entre los 50 mV y 200 mV dependiendo del blindaje y de la posición donde se realice la medición. Por esta razón,

y para evitar contar pulsos considerados como ruido, el nivel del discriminador en los

comparadores ha sido fijado en 250 mV.



**Figura 7.** Diagrama esquemático del contador/temporizador digital que ha sido construido.

### 2.3 Diseño del contador/temporizador (escalímetro)

De acuerdo con los requerimientos del usuario se diseñó y construyó un escalímetro basado en un microcontrolador PIC18F2320, el cual es capaz de controlar un display de 8 dígitos y que permite realizar contajes desde 0 a 99'999,999 (Figura 7). La temporización se realiza en minutos y se visualiza en un display de 4 dígitos, lo que permite tiempos de contaje de hasta 9,999 minutos. La temporización tiene un error total de 0.02 % lo cual no representa un problema para las aplicaciones en las cuales se usará el equipo. Se utiliza una interrupción de hardware para realizar el contaje de pulsos y debido a la alta velocidad de respuesta del microcontrolador, el retardo asociado es de 0.2  $\mu$ s, lo que en términos prácticos no representa un periodo de latencia significativo. Se ha incluido un teclado matricial de 4 x 4 teclas para realizar el prefijado del tiempo de contaje deseado, además de proporcionar las funciones básicas para la operación de equipo. El firmware del microcontrolador ha sido escrito en lenguaje C++ usando el compilador MPLAB XC8 v1.12 sobre el entorno de desarrollo MPLAB

X IDE v1.51, programas que son de libre disponibilidad en sus versiones limitadas.

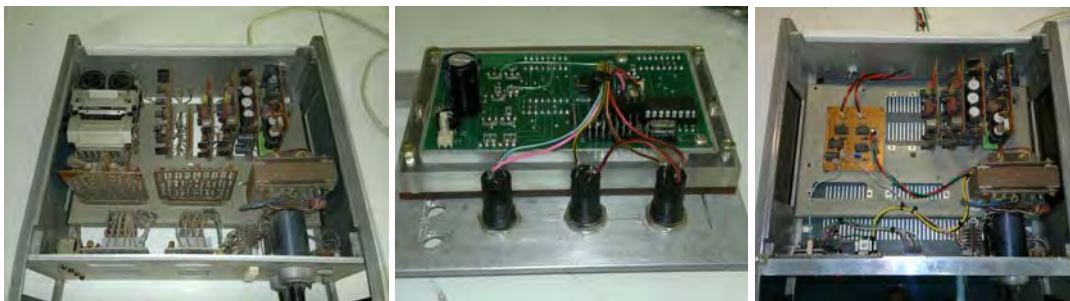
### 3. Integración y puesta en operación

Se ha mantenido la carcasa original del equipo, pero ha sido necesario retirar la tapa frontal de aluminio y reemplazarla por otra nueva para alojar los controles (Figura 9). Se decidió mantener intactas las tarjetas que proporcionan la alta tensión para ambos detectores, retirándose todas las demás tarjetas electrónicas. La tarjeta que contiene el contador/temporizador se ha montado directamente sobre el panel frontal junto con el teclado matricial y los botones complementarios. Las etapas de tratamiento analógico y demás (Figura 5) se han montado sobre una tarjeta de prototipos y se ha instalado dentro del gabinete del equipo. Ha sido necesario adicionar algo de blindaje para evitar las interferencias electromagnéticas asociadas a la operación de las fuentes de alta tensión (Figura 6). Los voltajes para la operación de las etapas analógicas y el contador/temporizador son proporcionados por la tarjeta de baja tensión original del equipo. Los ensayos experimentales realizados para la determinación de la eficiencia instrumental utilizando fuentes de



Sr-90 presentaron un valor promedio de 11.42 %, muy cercano a la eficiencia instrumental de 11.10 % que presentaba el equipo en el año 2011, antes de su

modernización; igualmente, el fondo instrumental no ha variado, manteniendo en valor promedio de  $6.8 \pm 0.2$  cuentas por minuto.



**Figura 8:** Imágenes donde se observa el interior del módulo LAS-3A original (izquierda), detalle posterior del montaje del contador/temporizador digital (medio) y aspecto del interior del módulo luego de las actualizaciones con la nueva tarjeta de acondicionamiento analógico (derecha).

#### 4. Conclusiones

La modernización y puesta en operación rutinaria de este equipo se ha realizado a una fracción muy pequeña del costo económico y de horas hombre que podría haber implicado su reparación o compra de un equipo nuevo. Los componentes utilizados están disponibles comercialmente lo que facilita el mantenimiento del equipo por algunos años más en adelante.



**Figura 9.** Vista del panel frontal modificado para incluir las actualizaciones de hardware.

Gran parte de las funciones analógicas del equipo han sido reemplazadas por funciones digitales que le proporcionan mayores prestaciones.

El proceso de modernización de este equipo ha requerido el desmontaje del sistema de detección lo que ha permitido elaborar la documentación técnica de los detectores y preamplificadores utilizados. En un futuro, esta información será de mucha utilidad para las tareas de mantenimiento y eventualmente el cambio de los preamplificadores por versiones más modernas en las que la señal proporcionada por los detectores no viaje a través de la línea de alimentación de -12V,

con la consiguiente mejora de la relación señal a ruido. Esto último será fundamental si en un futuro se prevé actualizar este equipo para realizar espectrometría beta.

#### 5. Bibliografía

- [1] Kumar A, Waker AJ. An experimental study of the relative response of plastic scintillators to photons and beta particles. *Radiation Measurements*. 2012; 47(10):930-935.
- [2] EMI Electronics Limited. Photomultiplier Tubes, Catalogue Supplement. England, 1972.
- [3] Microchip Technology Inc. PIC18F2320 Data Sheet. [Homepage en Internet]. Disponible en: <http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en010267>
- [4] Osore JM. Calibración del sistema de radiometría beta de bajo fondo LAS-3A para el análisis de radiactividad beta total y Sr-90 en filtros. Documento Técnico DT11-022. Laboratorio de Radioecología. Instituto Peruano de Energía Nuclear. Lima, Perú. 2011. 7 p.
- [5] Osore JM. Calibración del sistema beta LAS-3A para actividad beta total con K-40. Documento Técnico DT13-002. Laboratorio de Radioecología. Instituto Peruano de Energía Nuclear. Lima, Perú. 2013. 4 p.
- [6] Osore JM. Calibración del sistema de radiometría beta de bajo fondo LAS-3A para el análisis de Sr-90. Documento Técnico DT13-008. Laboratorio de Radioecología. Instituto Peruano de Energía Nuclear. Lima, Perú. 2013. 4 p.