

# PRUEBAS AUTOMATIZADAS A LA ELECTRÓNICA EN UN SISTEMA DE DETECTORES DE MICROBANDAS PARA RAYOS X DE ENERGÍA DUAL

Lourdes Bolaños Pérez<sup>1</sup>, Ana E. Cabal Rodríguez<sup>1</sup>, Angelina Díaz García<sup>1</sup>, Krzysztof S'wientek<sup>2</sup>,  
Paolo Giubellino<sup>3</sup>, Alberta Marzari-Chiesa<sup>3</sup>, Francesco Prino<sup>3</sup>, Luciano Ramello<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN)  
Calle 30 N° 502 e/ 5<sup>a</sup> Ave. y 7ma. Playa, Ciudad de La Habana, Cuba

<sup>2</sup>Faculty of Physics and Nuclear Techniques, University of Mining and Metallurgy, Kraków, Poland

<sup>3</sup>University and INFN, Torino, Italy  
lourdescuba@yahoo.com

## Resumen

Para la radiografía digital se requieren circuitos que realicen la recepción y procesamiento de señales nucleares de múltiples canales simultáneamente. Estos circuitos se deben someter a pruebas para caracterizar su funcionamiento. En este trabajo se describen pruebas automatizadas para controlar por software desde una computadora personal la caracterización de un sistema basado en circuitos integrados específicos del tipo RX64DTH con detectores de microbandas y se muestran los resultados.

## AUTOMATED TESTING OF MICROSTRIP DETECTORS READOUT SYSTEM FOR X-RAY DUAL ENERGY

### Abstract

Circuits that carry out the signal acquisition and processing by multiple channels are required in digital radiography. These circuits should be tested in order to characterize their performance. This paper describes an automated system to control (by a software, from a personal computer) the characterization of a system based on RX64DTH specific integrated circuits with microstrip detectors. The results are shown.

*Key words: image processing, calibration, SI microstrip detectors, readout systems, integrated circuits, X-ray detection, analog-to-digital converters, X-ray radiography, digital systems*

## INTRODUCCIÓN

La radiografía de energía dual es una técnica efectiva [1,2] que permite mejorar el contraste de detalles de interés al descartar datos de fondo desordenados.

Si bien la radiación de sincrotrón monocromática es la mejor opción para la técnica de energía dual, ya está disponible otra técnica de rayos X convencionales que ofrece calidad de imagen a un costo considerablemente reducido.

Se trata de detectores de microbandas y la electrónica asociada VLSI con capacidad de conteo de fotón simple [3-7]. En los años 2002-2003 se realizaron experimentos de imagenología en las instalaciones de rayos quasimonocromáticos en la Universidad de Ferrara y se reportaron resultados [8,9].

El objetivo del trabajo fue caracterizar, mediante pruebas a la electrónica de lectura, una tarjeta de adquisición para un sistema de detectores de 384

canales, a ser utilizada en imagenología de rayos X de energía dual, basada en un circuito integrado para aplicación específica (ASICs) del tipo RX64DTH.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sistema bajo prueba

La figura 1 muestra una fotografía del sistema bajo prueba. El circuito de lectura de este prototipo se basó en el RX64DHT que es un ASIC y se utiliza para adquirir señales de detectores de silicio tipo strip (también conocido como de bandas o tiras) [10]. Diseñado y fabricado con la tecnología utilizada en nuestros días para la fabricación de microchips CMOS AMS 0,8  $\mu\text{m}$ , este ASIC consiste en: 64 canales de *front-end* (preamplificador, conformador y dos discriminadores cada uno), 128 contadores pseudo-aleatorios (20 bits cada uno), conversores analógico-digitales (DACs) internos: dos de 8 bits para el umbral y tres de 5 bits para la polarización, circuito interno de calibración (genera una onda

cuadrada de 1mV-30 mV), lógica de control y circuito de entrada/salida.

Al posibilitar el conteo de fotones con dos umbrales de discriminación diferentes, este ASIC facilita un uso directo en técnicas de imagenología por energía dual [11] y particularmente para algoritmos de cancelación de contraste.

El sistema consta de seis ASICs RX64DTH, que sirven a un total de 384 detectores. Los sensores y los circuitos integrados se combinan en una misma tarjeta de circuito impreso que contiene las señales, las líneas de alimentación y el soporte metálico. El detector y el ASIC se conectan mediante un adaptador de paso en el propio circuito impreso y utilizando «wire bonding», que es un método utilizado para conectar alambres muy finos a componentes semiconductores.

Nos propusimos realizar mediciones que nos permitieran calcular la ganancia, desplazamiento y ruido de carga equivalente del circuito mediante un programa que automatizara la variación de los parámetros de entrada dentro de los intervalos de interés y el cálculo de los resultados.

### Método para la calibración

En la figura 2 se muestra un diagrama en bloques del ASIC RX64DTH. En nuestro caso, se requería calcular la ganancia y el desplazamiento del cero de la escala (offset) del bloque de lectura para diferentes valores de polarización del circuito amplificador-conformador. Asimismo era necesario conocer el comportamiento de la carga de ruido equivalente (ENC).

El proceso completo fue controlado y monitoreado por Automatic Calculation.vi, un software diseñado para este propósito. Con el software se automatizó la calibración y la adquisición de los

resultados. Cada medición se programó para diferentes valores de Cascode y Calibración, que son dos parámetros controlados por los DACs contenidos en la tarjeta RX64DHT.

El programa Automatic Calculation se desarrolló teniendo en cuenta la necesidad de establecer los intervalos a variar de cada uno de los parámetros de interés a la entrada de los DACs, y para que los resultados de cada prueba se salvaran en ficheros previamente identificados por el usuario. De esta forma la caracterización de los 384 detectores se podía realizar en una sola corrida (alrededor de 10 horas) sin necesidad de intervención humana.

En el programa, los valores digitales seleccionados para el DAC que actúa sobre la resistencia de retroalimentación del preamplificador fueron: 30, 36, 42, 48, 54, 60, de acuerdo con especificaciones obtenidas en pruebas anteriores [7,10]. Además, con la variación cíclica de Calibración provocamos que pulsos analógicos de voltaje de: 9,677; 10,645; 11,612; 12,580; 13,548 y 14,516 mV (correspondientes a: 4394,5; 4834; 5273,4; 5712,9; 6152,3; 6591,8 eI respectivamente) se aplicaran a la entrada del circuito de lectura. Para cada una de esas amplitudes se aplicaron 500 pulsos a la entrada del amplificador. Como el barrido se realizó variando sólo el umbral inferior y manteniendo el superior en su valor máximo, se obtuvo para cada canal un espectro integral.

El parámetro Cascode se relaciona con la resistencia de retroalimentación del preamplificador, por lo que es significativa su relación con la ganancia y el offset para considerar el punto de trabajo en la aplicación que se vaya a implementar en el futuro. Además, el programa Automatic Calculation.vi tomó en secuencia estos resultados, los suavizó y diferenció utilizando un procedimiento de Savitzky-

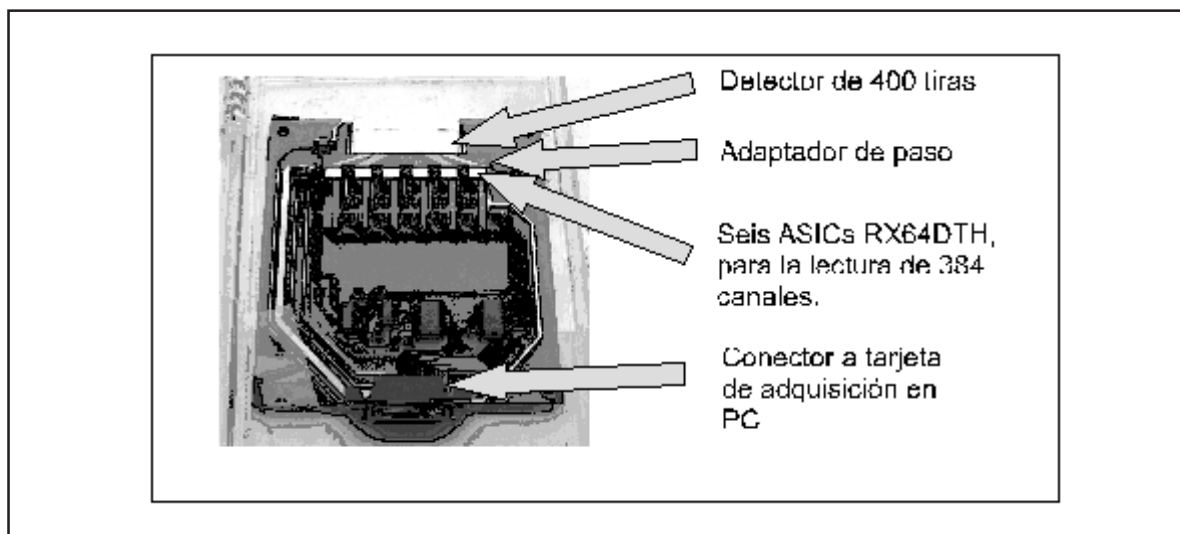


Figura 1. Fotografía de la tarjeta bajo prueba.

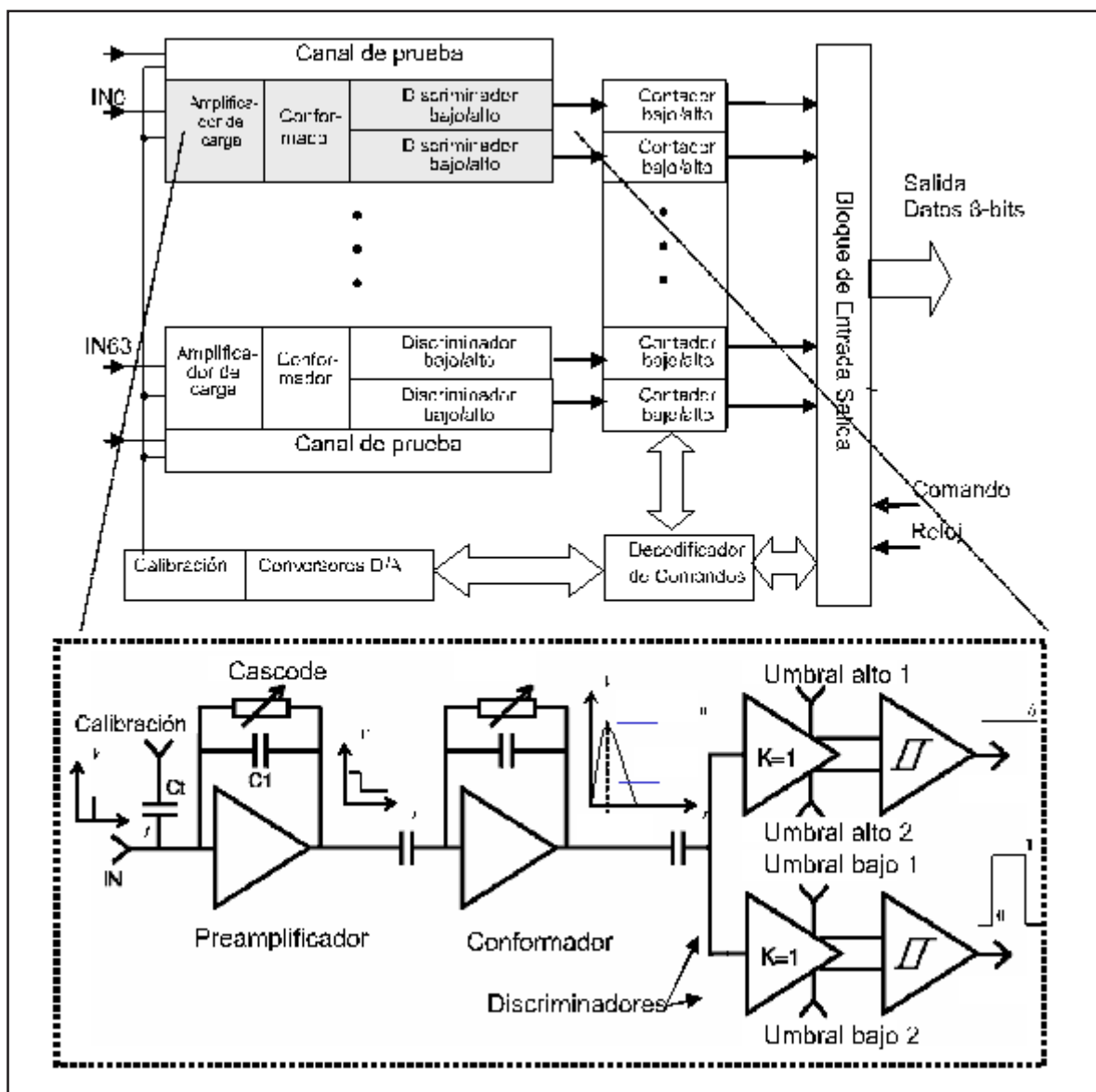


Figura 2. Diagrama en bloques del ASIC RX64DTH con el detalle de la parte analógica de un canal.

Golay, procesándolos luego por un ajuste gaussiano. Las posiciones de los picos calculadas de esta manera se corrigieron también automáticamente, utilizando como referencia pruebas anteriores de voltajes de los DACs que se encontraban almacenadas en ficheros.

**RESULTADOS**

Durante el proceso, el programa graficó el conteo de cada canal, como se observa en la figura 3(a). En el gráfico de superficie se aprecia un comportamiento ligeramente diferente en las fronteras entre los seis bloques de lectura, fenómeno que ocurre comúnmente en la fabricación de módulos semiconductores.

Para cada valor de voltaje aplicado a la entrada del bloque, se calculó el voltaje provocado por el electrón. Con las distribuciones de carga vs. posición del pico, que siguen un comportamiento lineal, se obtuvieron los valores de ganancia y offset que caracterizan al circuito de amplificación y conformación de la señal analógica.

Se observa la significativa correlación negativa entre la ganancia y la resistencia de retroalimentación (controlada por el DAC Cascode) para cada uno de los circuitos.

Se procedió a promediar la ganancia de cada uno de los circuitos integrados y graficarlos, obteniéndose las características que se muestran en la figura 4.

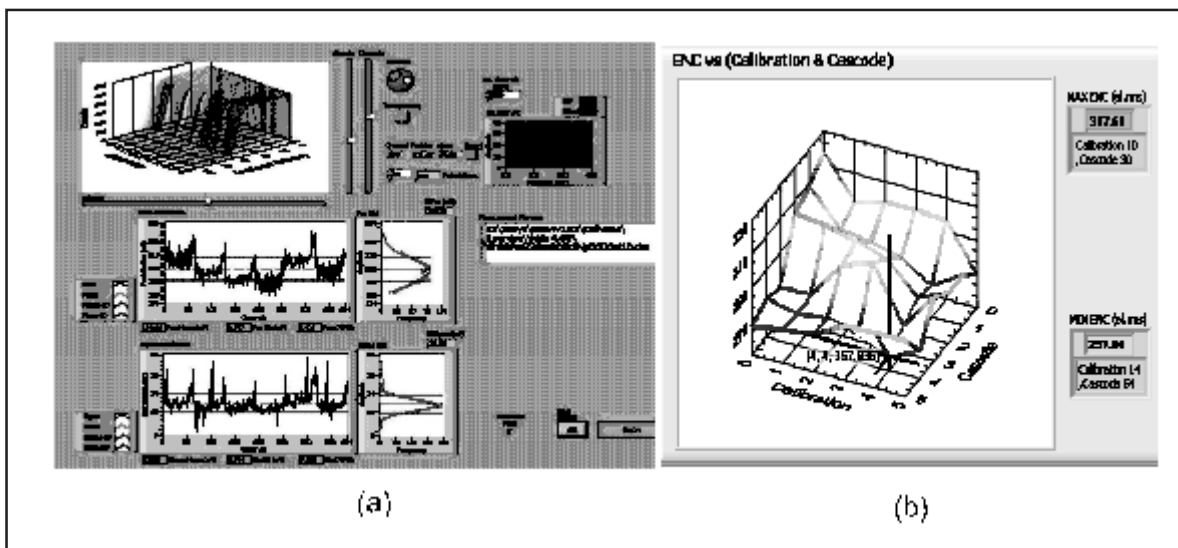


Figura 3. Paneles frontales del programa Automatic Calculation.vi, en LabView: (a) gráfico de conteos vs. canal y curvas de posición del pico para cada circuito. (b) gráfico de superficie de la variación de ENC vs. Calibración y Cascade.

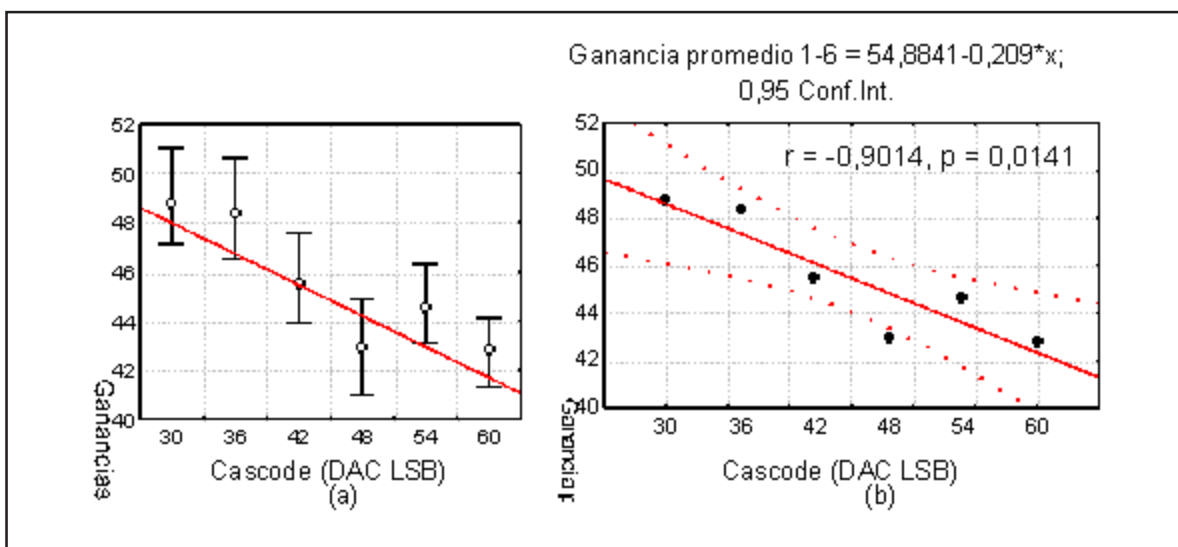


Figura 4. Gráficos de ganancia promedio para la tarjeta: (a) Uniformidad de los límites mínimo y máximo en cada valor de Cascade. (b) Ajuste lineal de los promedios y correlación entre Ganancia y Cascade.

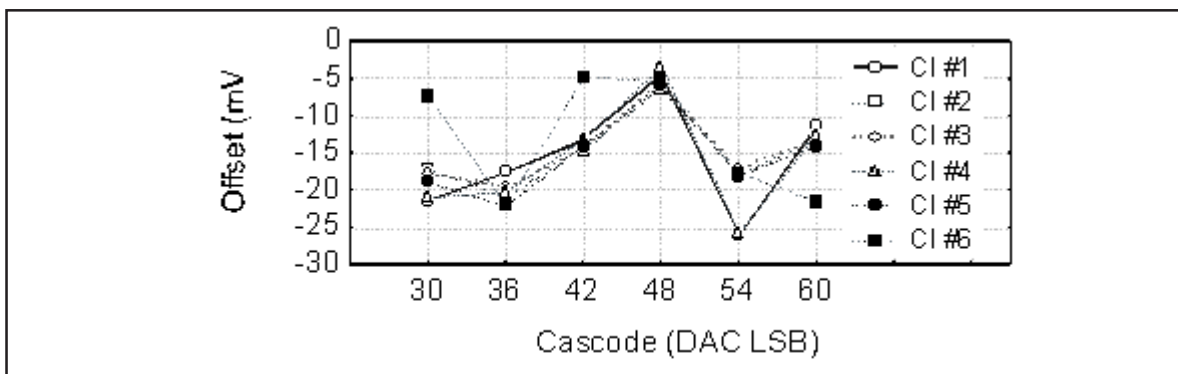


Figura 5. Gráficas de offset vs valor digital del DAC de Cascade para cada uno de los circuitos integrados.

Se pudieron determinar los valores de offset para cada circuito.

La carga de ruido equivalente se calculó como:

Sigma

Ganancia

$$ENC = \frac{\text{Sigma}}{\text{Ganancia}}$$

Donde:

Sigma = desviación estándar de la distribución gaussiana.

Ganancia = pendiente de la línea recta carga vs. Posición del pico.

Se calculó el valor promedio ENC para los seis circuitos (ver tabla). Asimismo, el programa Automatic Calculation.vi permitió caracterizar el comportamiento de ENC respecto a la variable Cascade como se mostró en la figura 3(b).

**DISCUSIÓN**

En la figura 4 se aprecia la correlación negativa de la ganancia y la resistencia de retroalimentación del preamplificador (Cascade). Por el contrario, en la figura 5 se observa que la correlación con el offset no resulta muy significativa, a la vez que hay mayor dispersión de los valores para cada caso. No se reporta en otros artículos el

comportamiento del parámetro offset con mayor precisión.

Por otra parte, los valores de ENC disminuyen linealmente con el aumento del valor digital del DAC que controla Cascade. En la figura 6(a) se observa una proyección de la superficie calculada por el programa y se evidencia que en la zona de Cascade entre 54 y 60 los valores son los menores. En la figura 6(b) se aprecia que en esa propia zona la desviación estándar también es menor, particularmente para 54. En la tabla se muestra que los menores valores, como promedio, están en Cascade 54.

**CONCLUSIONES**

Se automatizó el proceso de comprobación del circuito de lectura de detectores microstrip para 384 canales utilizando un ASIC del tipo RX64DHT. El procedimiento trabajó eficientemente mostrando todos los parámetros bajo inspección. Se ha confirmado el comportamiento de la ganancia y en el futuro se podrán realizar pruebas más precisas en intervalos más pequeños de variaciones aprovechando la automatización lograda en este trabajo.

Los resultados mostrados se pueden utilizar para configurar el sistema al trabajar con diferentes aplicaciones, como imageneología por K-edge

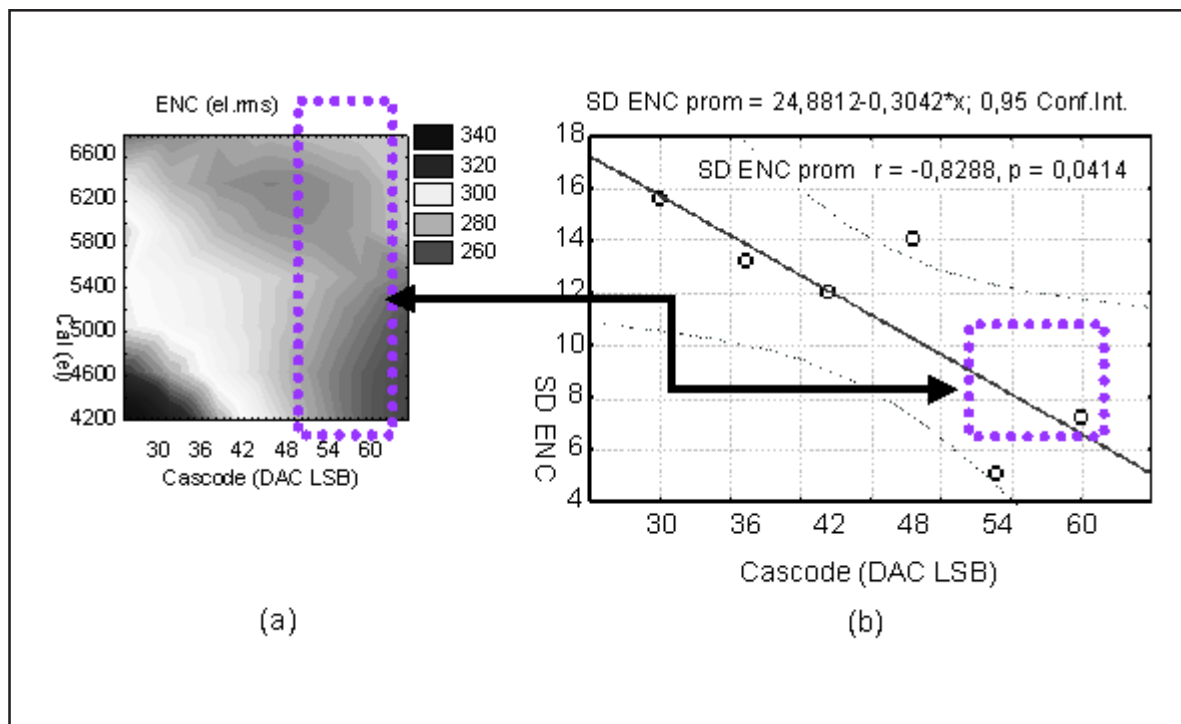


Figura 6. Comportamiento de ENC con el parámetro Cascade. (a) Proyección de la superficie Cascade vs Calibration vs ENC. (b) Distribución de la Desviación Standard del ENC.

Tabla.ENC obtenido para cada valor de pulso de calibración

Cascode	ENC (el.rms)						ENC
	Cal 10	Cal 11	Cal 12	Cal 13	Cal 14	Cal 15	Promedio
	(el)	(el)	(el)	(el)	(el)	(el)	(el.rms)
30	317,61	292,77	297,83	297,73	296,45	268,93	<b>257,33</b>
36	307,73	286,86	284,18	279,52	268,08	279,31	<b>248,81</b>
42	302,05	299,86	295,35	289,39	271,51	279,33	<b>254,21</b>
48	268,28	269,23	291,91	297,61	265,25	287,79	<b>246,87</b>
54	272,59	267,90	270,67	266,70	<b>257,94</b>	266,41	<b>236,60</b>
60	266,81	269,55	271,80	281,61	282,69	282,64	<b>245,01</b>

substraction. Para las mediciones con este sistema se podrá configurar el circuito «front-end» de forma tal que suministre una ganancia adecuada con el mínimo de ruido.

**AGRADECIMIENTOS**

El colectivo de autores desea agradecer al programa Alpha código II-0042FA «Development of a Silicon Detector for photon counting to be used in dual energy digital radiography in the range 18-40 keV», a la Facultad de Física de la Universidad e INFN de Turín (Italia) y al CEADEN (Cuba), por el apoyo brindado para el desarrollo de esta investigación.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

[1] ÁLVAREZ RE, MACOVSKI A. Energy-selective reconstruction in X-ray computerized tomography. *Phys. Med. Biol.* 1976; 21: 733-744.  
 [2] LEHMANN L A, et al. Generalized image combinations in dual KVP digital radiography. *Med. Phys.* 1981; 8: 659-677.  
 [3] DABROWSKI W, et al. A readout system for position sensitive measurements of X-ray using silicon strip detectors. *Nucl. Instr. And Meth A.* 2000; 442: 346-351.  
 [4] GRYBOS P, DABROWSKI W. Development of fully integrated readout system for high count rate position sensitive measurements of X-rays using silicon strip detectors. *IEEE Trans. Nucl. Sci.* 2001; 48: 466-472.

[5] GRYBOS P, et al. Multichannel mixed-mode IC for digital readout of silicon strip detectors. *Microelectronics Reliability*, 2002; 32: 427.  
 [6] BOLLINI D, et al. Energy resolution of silicon detector with the RX64 ASIC designed for X-ray Imaging. *Nucl. Instr. and Meth. A.* 2003; 515: 458-466.  
 [7] GRYBOS P, et al. RX64 DTH – A fully integrated 64 – channel ASIC for digital X-ray imaging system with energy window selection. *IEEE NSS-MIC Conference*, Rome, 2004.  
 [8] BALDAZZI G, et al. Results about imaging with silicon strips for Angiography and Mammography. *VII Mexican Symposium on Medical Physics. AIP Conf. Proc.* 2003; 682: 14-23.  
 [9] CABAL RODRÍGUEZ AE, et al. X-ray imaging with a single photon counting system. *Proc. EXRS 2004 Eur. Conf. On X-Ray Spectrometry*. Alghero. Italy, 2001.  
 [10] DABROWSKI W, GRYBOŒ P, HOTTOWY P, ŒWIENTEK K, SZCZYGIEL R. Design and test of pseudo-random counters and control logic for a multichannel mixed-mode IC for readout of silicon strip detectors. *Proceeding of the 8-th International Conference. Mixed Design of Integrated Circuits and Systems. MIXDES 2001*. Zakopane, Poland, 21-23 June 2001, 143-148.  
 [11] ÁVILA C, LOPEZ J, SANABRIA JC, BALDAZZI G, BOLLINI D, et al. Contrast cancellation technique applied to digital X-ray imaging using silicon strip detectors. *Medical Physics.* 2005; 32 (12): 3755-3766.

Recibido: 25 de mayo de 2007  
 Aceptado: 26 de marzo de 2008